МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ВІЙСЬКОВА АКАДЕМІЯ (М. ОДЕСА)

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА: застосування, дослідження, освіта

Збірник тез доповідей
Всеукраїнської наукової конференції

15 квітня 2021 року

м. Одеса

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – генерал-майор **ГУЛЯК О.**, начальник Військової академії, канд. юр. наук, доц. (м. Одеса)

Співголова – полковник **ЛІСОВЕНКО Д.**, заступник начальника академії з наукової роботи, канд. тех. наук, доц. (м. Одеса**)**

Члени комітету:

полковник **МАСЛІЙ О**. заступник начальника академії з навчальної роботи, д-р пед. наук, с.н.с. (м. Одеса)

полковник **ГЕВОРГЯН Р.**, начальник факультету ПС РАО, Військова академія (м. Одеса)

прац. ЗСУ **БУКАРОС А.,** завідувач кафедри електротехніки та систем РАО, канд. тех. наук, доц., Військова академія (м. Одеса)

прац. ЗСУ **ГЕРЕГА О.**, д-р. техн. наук, професор (Військова академія, м. Одеса)

прац. ЗСУ **СЕРГЄЄВ В.**, канд. техн. наук, доц. (Військова академія, м. Одеса)

прац. ЗСУ **СЕРГЄЄВ О.**, канд. техн. наук, доц. (Військова академія, м. Одеса)

прац. ЗСУ **ТРУШКОВ Г.**, канд. тех. наук, ст. викладач, Військова академія (м. Одеса)

прац. ЗСУ **КОНЬКОВ К.**, викладач, Військова академія (м. Одеса)

прац. ЗСУ **ОБНЯВКО Т.**, викладач, Військова академія (м. Одеса)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова – БУКАРОС А., завідувач кафедри, канд. тех. наук, доц., Військова академія (м. Одеса)

Члени комітету:

ГВОЗДЕВА І., д-р. техн. наук, професор (НУ «ОМА», м. Одеса)

ГЕРЕГА О., д-р. техн. наук, професор (Військова академія, м. Одеса)

ОНИЩЕНКО О., д-р. техн. наук, професор (НУ «ОМА», м. Одеса)

Секретар конференції – ТРУШКОВ Г., канд. тех. наук, ст. викладач, Військова академія (м. Одеса)

ЗМІСТ

1. *Базилевич М.В., Амброз В.М.* Граничне значення напруги в точці приєднання сонячної електростанції 6
2. *Білоус Д.В., Кузнєцов О.О.* Особливості режимів роботи електромеханічних систем для механізмів наведення на основі імпульсних перетворювачів під дією випадкових шумів ... 8
3. *Букарос А., Коньков К., Кононович І., Герега О.* Кластеризація елементів електронних схем методами теорії протікання 11
4. *Букарос А.Ю., Онищенко О.А., Букарос В.М., Лебедєва Л.В.* Алгоритм діагностики обмерзання випарника суднових холодильних установок 13
5. *Буряковський С.Г., Князєв В.В.* Оцінка відповідності об'єктів озброєння та військової техніки вимогам електромагнітної сумісності 15
6. *Васюченко П.В., Волков І.І.* Моделювання техніко-економічних показників роботи акумуляторних батарей 17
7. *Васюченко П.В., Кучеренко І.А.* Рішення електромеханічних задач з застосуванням пакету моделювання ELCUT 20
8. *Войтенко В. А., Водічев В. А., Гогохія Ю. О.* Аналіз енергетичних показників багатодвигунного асинхронного тягового електроприводу для вантажного транспортного засобу 22
9. *Гвоздева І.М., Гордішевський Л.Г.* Оцінка часу перехідних процесів в безперервних і цифрових системах керування та автоматики електромеханічних комплексів..... 24
10. *Герасименко В.П., Майбородіна Н.В.* Інтелектуальна система контролю та прогнозування для захисту від небезпечної величини струму витоку при обслуговуванні мікронізатора ІММ-20 29
11. *Герасимов С.В.*, *Гаценко Л.В.* Напрями розвитку автоматичних систем контролю та діагностування засобів водного транспорту 32
12. *Георгаліна О.Р.*, *Аркатов Ю.М., Журавльова І.Б.* Методи оцінювання та оптимізації стану енергосистем 34
13. *Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Тарасов К.С., Нечаус А.О. Тарасова В.В.* Дослідження установки відцентрової очистки трансформаторної оливи 36
14. *Горліченко М.Г, Верлан В.А.* Енергозабезпечення автомобільної техніки військового призначення 40
15. *Граняк В. Ф.* Автоматизований вимірювальний контроль ізоляції обмоток електричних машин 44
16. *Данильченко Д.О., Кузнецов Д.С.* Зміна параметрів мережі 35 кВ при впроваджені компенсуючих пристроїв 10 кВ 48
17. *Данильченко Д.О., Потривай А.Е.* Математична модель впливу запиленості поверхні фотоелектричних модулів 49
18. *Завальнюк В.В., Панченко Д.Ю.* Оцінка можливості збільшення ефективності застосування радіонуклідних джерел живлення 50
19. *Зіновкін В. В.* Умови оптимального функціонування багатопараметричних технологічних об'єктів 53
20. *Іохов О.Ю., Малюк В.Г., Каплун Є. О.* Аналіз тенденцій розвитку та створення засобів радіоелектронного придушення і функціонального ураження радіокерованих вибухових пристроїв 55
21. *Кацадзе Т. Л., Настенко Д. В., Панєнко О. М., Янковська О. М.* Нейромережеві засоби забезпечення розрахункової надійності моделювання режимів електричних систем 57
22. *Квашнін В.О., Бабаш А.В., Щербинін О.О, Квашнін В.В.* Розробка моделі скалярної системи електроприводу рециркуляційного насосу 60

23. *Коньков К., Трушков Г., Герега О.* Використання втрат енергії у сердечниках магнітопроводів при довільній формі струму намагнічування 64
24. *Кривда В.І., Рудницький В.Г., Суворов В.О., Зубак В.В.* Моделювання групи сонячних панелей з постійним сонячним випромінюванням 65
25. *Курищук С.І., Солован М.М., Ковалюк Т.Т.* Електричні властивості тонких плівок оксиду міді (CuO) 66
26. *Левицька І.О.* Зменшення додаткових втрат електроенергії в електричних мереж операторів системи розподілу 68
27. *Майбородіна Н.В., Герасименко В.П.* Дискретно підкріплені еліпсоїдальні ортотропні оболонки в енергетиці 71
28. *Машін В.М.* Управління напругою синхронного генератора на базі нечіткої логіки 73
29. *Мороз О.М., Мірошник О.О., Павлов А.О.* Експериментальні дослідження та прогнозування генерації СЕС 76
30. *Мостовий С.П.* Амплітудні та спектральні характеристики сигналу імпульсних акустичних випромінювачів на основі індукційних динамічних перетворювачів 80
31. *Немикіна О.В., Мухомедьярова В.В.* Доцільність заміни електрообладнання для виготовлення та подачі в заводські магістралі стислого повітря 82
32. *Нимич А.В., Шевчук В.Г.* Распространение фронта разложения при протекании высокоэнергетических параллельных реакций 84
33. *Обнявко Т. С.* Енергетична незалежність України як один з ключових чинників протидії зовнішній збройній агресії 86
34. *Прибега Д.В., Смутко С.В.* Автоматичний перемикач джерела живлення 90
35. *Резинкін О.Л., Мостовий С.П., Гученко О.М.* Випробувальний комплекс для визначення найбільш ймовірних місць ураження блискавкою літальних апаратів 94
36. *Рудик А.В., Грицюк В.О.* Дослідження впливу цифрової фільтрації на розпізнавальну здатність зашумлених сигналів енергосистеми 98
37. *Рудик А.В., Ковальчук П.В.* Дослідження розпізнавальної здатності методів цифрового оброблення сигналів енергосистеми 102
38. *Рудик А.В., Салійчук І.Ф.* Модель організації функцій керування та обчислення мобільного робота 106
39. *Сальніков О. М.* Організація резервної захищеної системи обміну повідомленнями та даними у системі управління угрупування НГУ за допомогою загальнодоступних програмних засобів та засобів зв'язку 109
40. *Сергєєв В.В., Сергєєв О.Ю.* Активізація пізнавальної діяльності курсантів в ході підготовки спеціалістів РАО на кафедрі електротехніки та систем РАО 111
41. *Сінявській О.В.* Застосування булевих функцій при синтезі дискретних систем керування 116
42. *Стьопкін В.В., Юдін О.В.* Розробка математичної моделі електропривода постійного струму з компенсуючими зворотними зв'язками 119
43. *Хілов В.С.* Властивості об'єкта керування контуру частоти обертання електрогідромеханічного приводу 123
44. *Цацко В.І., Гаур Т.О., Кулеба Р.Ю.* Вплив обростання судна на його енергетичні характеристики 127
45. *Черкашина В.В., Баклицький В.М.* Вдосконалення техніко-економічних моделей повітряних ліній електропередачі в умовах ринкових відносин 131
46. *Чернюк А.М., Кирисов І.Г., Черевик Ю.О.* Перспективи розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні 133
47. *Шабатура Ю.В., Куценко Б.А.* Особливості застосування віброакустичного методу діагностики артилерійських систем 136

48. *Шабатура Ю.В., Мисик М.М.* Модернізована пропорційна широтно-імпульсна система керування електромагнітним приводом аеродинамічних рулів керованого снаряда... 140
49. *Шабатура Ю.В., Смичок В.Д.* Система знешкодження безпілотних літальних апаратів та їх роїв на основі застосування високоенергетичних електромагнітних імпульсів.. 143
50. *Borodai V.A., Nesterova O.Yu., Kovaliov O.R.* Frequency-step method for controlling the efficiency of electromechanical systems of prolonged operating mode 147
51. *Cheilytko A.O., Osaul O.I., Chernenko T.V.* Investigation of the operation of the vacuum furnaces power equipment thermal protection system..... 151
52. *Kravets T., Shcherba A.* Analysis of "Kropiva", "Ukrop", "Artos" and Basalt-M apparatus standard deviation related to the catalog of geodetic points coordinates..... 155
53. *Nerubatskyi V., Hordiienko D.* Improving of sinusoidal form of the output voltage in semiconductor converters 159
54. *Povorozniuk N.I., Trynus N.V.* Wavelet-based controller of active power filter 163
55. *Malik U. Dilawar, Atif Ali.* Performance management of electric load forecasting for power systems: a review 165

УДК 621.3.015

ГРАНИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ В ТОЧЦІ ПРИЄДНАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Базилевич М.В., Амброз В.М.
Національний університет «Львівська політехніка»

Для практичних цілей іноді необхідно знати можливу граничну напругу в точці приєднання сонячної електростанції (СЕС). Це необхідно для визначення чи напруга в точці приєднання СЕС не перевищить допустимого значення. Іноді необхідно оцінити на яку величину напруга в точці приєднання СЕС може перевищити напругу на РП чи шинах живлячої підстанції, яка є відомою (по даних телевимірів).

Як правило, для цього використовують програми розрахунку режимів електричних мереж. В даному випадку це надлишкова робота і вимагає задати дані усієї мережі. Це не є оптимально. Крім того, на практиці, практично ніколи не рахують режими для мереж 0,4 кВ.

Немає практичної необхідності знати точне значення самої напруги в точці підключення СЕС. Досить знати, що напруга не перевищить допустимих меж. Це є оптимально при обчисленні координат режимів із встановленими малопотужними СЕС.

В СЕС, які служать для вироблення електроенергії на продаж, використовують інвертори, що керуються мережею. Такі інвертори зберігають роботоздатність в широкому діапазоні напруг живлячої мережі. Також вони спроектовані для видачі номінальної (максимальної) потужності, незалежно від напруги живлячої мережі. Активна потужність, яку видає СЕС, обмежується тільки потужністю, яку виробляють сонячні батареї. Коефіцієнт потужності типових інверторів СЕС може змінюватися від 0,8 ємнісного (генерування реактивної потужності) до 0,8 індуктивного (споживання реактивної потужності). В електричних градусах це буде в межах від -36,87° до +39,87°. Типово коефіцієнт потужності СЕС встановлюють рівним 1 – генерування тільки активної потужності.

Найвища напруга в точці приєднання СЕС буде при наступних умовах: СЕС видає максимальну активну потужність; навантаження даної електричної мережі рівне нулю тобто навантаження споживачів рівні нулю і трансформатори 10/0,4 кВ (якщо вони наявні) відключені. Для розрахунків досить врахувати тільки параметри лінії між розподільчим пристроєм (РП) і СЕС або між трансформаторним пунктом (ТП) і СЕС. Параметри інших ліній враховувати не потрібно, включаючи лінію від живлячої підстанції до даного РП (ТП). У випадку, якщо напруга відома на шинах РП, а СЕС ввімкнена на низькій стороні ТП (підключеного до даного РП), то необхідно враховувати повний опір всіх елементів (ліній і трансформаторів) між РП і СЕС.

Обов’язково враховуємо, що напруга в точці приєднання СЕС залежить від напруги на шинах РП. Для зручності приймаємо, що початкова фаза напруги на шинах РП рівна 0°.

Напруга в точці приєднання обчислюється за виразом

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 + \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{CEC} \cdot \underline{Z_{Л}} \qquad (1)$$

де $\dot{U}_1, \dot{U}_2$ - лінійна напруга на шинах РП і в точці приєднання СЕС, відповідно, В;

$\dot{I}_{CEC}$ - струм, який генерує СЕС, А;

$\underline{Z_{Л}}$ - повний опір ланцюжка «РП-СЕС», Ом.

Струм, генерований СЕС визначається за формулою

$$\dot{I}_{CEC} = \left(\frac{\dot{S}}{\sqrt{3} \cdot \dot{U}_2} \right)^* \qquad (2)$$

де * - оператор комплексного спряження;

$\dot{S}$ - повна потужність СЕС, ВА.

Падіння напруги на лінії залежить від повного струму, що по ній протікає - при даній повній потужності падіння напруги на лінії буде завжди те саме, незалежно від співвідношення між активною та реактивною потужністю, яку генерує СЕС. Але значення напруги в точці підключення СЕС буде залежати і від аргумента вектора падіння напруга на лінії. Найбільше значення напруги в точці підключення СЕС буде у випадку, якщо аргумент вектора падіння напруги рівний аргументу вектора напруги $\dot{U}_1$ (в даному випадку рівний нулю). Тому будемо розглядати два випадки: типове граничне значення напруги в точці підключення СЕС; гранично можливе значення напруги в точці підключення СЕС.

Перший випадок можливий у випадку, коли СЕС виробляє тільки активну потужність. В даному випадку формула (2) спроститься до вигляду:

$$\dot{I}_{CEC} = \left(\frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot \dot{U}_2} \right) \tag{3}$$

Підставивши (3) в (1), спростивши вираз і перенісши всі члени в ліву сторону отримуємо квадратичне рівняння:

$$\dot{U}_2^{\,2} - \dot{U}_2 \cdot U_1 - P_{\max} \cdot \underline{Z_{Л}} = 0 \tag{4}$$

Рівняння (4) має два комплексних розв'язки. Шуканим розв'язком є більше за модулем число. Менше за модулем число – уявний розв'язок для випадку споживання активної потужності, рівній активній потужності, генерованій СЕС.

Перший випадок можливий у випадку, коли СЕС виробляє активну і реактивну потужності у співвідношенні:

$$\frac{P}{|Q|} = \frac{R}{X} \qquad Q < 0 \tag{5}$$

де P, Q – активна та реактивна потужності, що генерує СЕС, відповідно Вт і ВАр;

R, X – активний та реактивний опори ланцюжка «РП-СЕС», Ом.

В цьому випадку аргумент вектора падіння напруги рівний аргументу вектора напруги на РП (тобто 0° у даному випадку).

Враховуючи вирази (2) і (5), визначимо, що

$$\sqrt{3} \cdot \dot{I}_{CEC} \cdot \underline{Z_{Л}} = P \cdot R - Q \cdot X \tag{6}$$

Напруга в точці підключення СЕС визначається з рівняння:

$$U_2^2 - U_2 \cdot U_1 - P \cdot R + Q \cdot X = 0 \tag{7}$$

Рівняння (7) теж має два розв'язки. Шуканим розв'язком є більше за модулем число.

Результати, отримані за формулами (4) і (7) подібні, різниця між ними не перевищує декілька відсотків, бо поперечна складова падіння напруги на лінії є незначною, відповідно компенсація цієї складової падіння напруги не дає великого ефекту. Тому практично можна використовувати більш просту формулу (4).

Даний метод неявно враховує залежність струму, що генерує СЕС від напруги в точці підключення. Це дозволяє отримати точніший результат, ніж обчислення напруги в точці приєднання СЕС за номінальними параметрами мережі.

Висновок. Граничне значення напруги в точці приєднання СЕС можна знайти аналітично, розв'язавши квадратне рівняння. Це значення напруги може легко уточнюватися в залежності від значення координат поточного режиму електричної мережі. Даний метод ефективний в першу чергу для СЕС, встановлених в мережі 0,4 кВ.

1. Потужність електричного струму. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Потужність_електричного_струму (дата звертання 08.04.2021)
2. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка».2007 – 488 с.

УДК 681.511.42 : 681.511.42

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МЕХАНІЗМІВ НАВЕДЕННЯ НА ОСНОВІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПІД ДІЄЮ ВИПАДКОВИХ ШУМІВ

Білоус Д.В., к.т.н., доц. Кузнєцов О.О.
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

При побудові або модернізації електромеханічних систем для систем наведення доцільно використовувати імпульсні перетворювачі енергії. Таке рішення дозволяє використовувати різноманітні алгоритми при побудові систем керування, в тому числі на основі використання нечіткої логіки, нейронних мереж та ін. Навіть при використанні «класичних» ПІД законів регулювання можна одержати допустимі показники динаміки за рахунок низької сталої часу перетворювача.

Однак, імпульсні перетворювачі вносять у електромеханічну систему нелінійність, пов'язану з імпульсним характером роботи перетворювача. Загалом, теорія нелінійних явищ, пов'язаних із роботою імпульсних перетворювачів, на сьогодні є достатньо розвинутою [1], однак, багато із них не є широко відомими і не враховуються у практиці.

Зокрема, існують певні особливості роботи в умовах випадкових шумів, які тою чи іншою мірою притаманні кожній реальній системі, на які ми хочемо звернути увагу у даній доповіді. Дослідження для демонстрації ефекту виконаємо на комп'ютерній моделі електроприводу постійного струму, що живиться від імпульсного понижувального перетворювача, схему якого наведено на рис. 1.

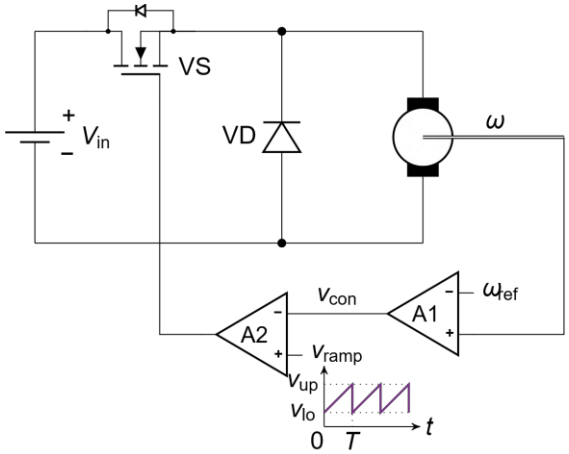


Рисунок 1 – Електропривод постійного струму з живленням від імпульсного перетворювача

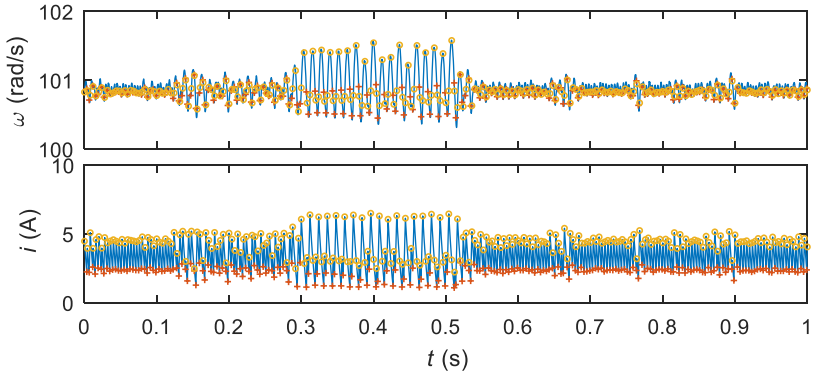
У схемі використовується закон регулювання ШІМ другого роду. Стан силового вентиля VS залежить від співвідношення між опорною пилкоподібною напругою v_{ramp} і напругою керування v_{con}. Так, якщо $v_{con} < v_{ramp}$, вентиль знаходиться у відкритому стані, в той час як при $v_{con} \geq v_{ramp}$ – у закритому. Математичну модель, яка описує систему разом із параметрами, які було прийнято при дослідженні, взято із [2]. Така модель відповідає кусково-лінійній динамічній системі, тобто системі, яку при кожному із можливих станів вентиля можна описати як лінійну відомим рівнянням у просторі станів, а перехід між станами відбувається у момент часу, коли виконується умова $v_{con} = v_{ramp}$, або коли після скачка у опорній напрузі змінюється знак співвідношення між ними.

Таку модель досить просто реалізувати у середовищі Matlab, використовуючи одну із функцій, які реалізують чисельне інтегрування диференційних рівнянь (зокрема, при дослідженні було використано функцію ode45) із вбудованою опцією відслідковування подій (event detection). Внесення шуму в систему було змодельовано додаванням випадкового

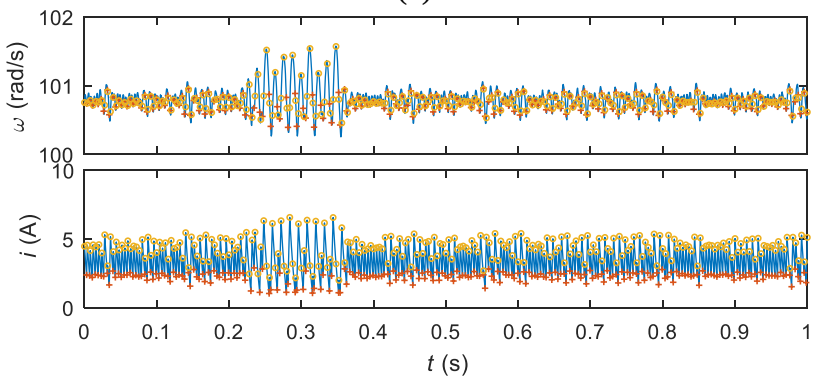
числа з рівномірним законом розподілу з діапазону (0, 1), що реалізовувалось функцією rand, з подальшим приведенням його до діапазону (-*a*, +*a*), де *a* – амплітуда шуму.

Проведенні дослідження показали, що залежність між амплітудою шуму *a*, що вноситься в систему (наприклад, у коло зворотного зв'язку) і величиною пульсацій вихідної величини (струму, обертової швидкості двигуна, кута повороту) є нелінійними. Так, при деякому значенні амплітуди шуму коливання вихідної величини носять нерегулярний, змінний в часі характер (рис. 2). Зокрема, ділянки регулярної роботи перемежовуються з ділянками, які характеризуються підвищеною амплітудою пульсацій.

Очевидно, що пульсації погіршуватимуть динамічні властивості механізму наведення, однак основною проблемою є власне нерегулярність поведінки, а також те, що причина такої поведінки криється у властивостях самої системи, а не у зовнішніх збуреннях. Дійсно, шум, який вноситься у систему, розподілений за рівномірним законом, тому теоретично, лінійна система повинна реагувати на нього відповідно.



(а)



(б)

Рисунок 2 – Нерегулярний характер пульсацій обертової швидкості та струму якоря при амплітуді шуму *a* = 80, коефіцієнту передачі зворотного зв'язку (а) *g* = 2, (б) *g* = 2.2. Решта параметрів відповідають тим, що наведено у [2]

Проведені дослідження показали, що таку поведінку можна пояснити явищем мультистабільності – співіснуванням декількох стійких режимів при тому ж наборі параметрів і вхідних впливів, що є принципово неможливим у лінійних системах. Зокрема, у досліджуваній системі мультистабільність була досліджена у [3, 4], однак ці дослідження не стосувались роботи при наявності шумів.

Ділянки з підвищеною амплітудою пульсацій у випадку мультистабільної системи можна пояснити явищем перекидання (tipping у англомовній літературі) [5]. Нерегулярна поведінка, яку було описано вище, є наслідком цього явища, коли під дією шумів у системі відбувається перехід від одного стійкого режиму до іншого, з більшим періодом, який характеризується вищою амплітудою коливань.

Підсумовуючи, можна сказати, що побудова системи керування із врахуванням особливостей поведінки мультистабільної системи в умовах шумів є важливою науково-

практичною задачею, яка повинна вирішуватись при модернізації та розробці нових електромеханічних систем для механізмів наведення у випадку їх живлення від імпульсних перетворювачів енергії.

1. S. Banerjee and G. C. Verghese, Eds., *Nonlinear Phenomena in Power Electronics: Bifurcations, Chaos, Control, and Applications*. Wiley-IEEE Press, 2001.
2. K. T. Chau, J. H. Chen, C. C. Chan, J. K. H. Pong, and D. T. W. Chan, "Chaotic behavior in a simple DC drive," in *Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, 1997, vol. 1, pp. 473–479. doi: 10.1109/peds.1997.618750
3. N. Okafor, "Analysis and Control of Nonlinear Phenomena in Electrical Drives," Ph.D. dissertation, Newcastle University, Newcastle, UK, 2012.
4. O. O. Kuznyetsov, "Calculation of stable and unstable periodic orbits in a chopper-fed DC drive," *Mathematical Modeling and Computing*, vol. 8, no. 1, pp. 43–57, 2021. doi: 10.23939/mmc2021.01.043
5. U. Feudel, A. N. Pisarchik, and K. Showalter, "Multistability and tipping: From mathematics and physics to climate and brain—Minireview and preface to the focus issue," *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 28, no. 3, p. 033501, mar 2018. doi: 10.1063/1.5027718

УДК 51.7:53.072:519.8:621.382.2/.3

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ ПРОТІКАННЯ

к.т.н., доц. А. Букарос[1], К. Коньков[1], І. Кононович[2], д.т.н., проф. О. Герега[1]
[1]*Військова академія (Одеса), Україна*
[2]*Одеська національна академія харчових технологій, Україна*

Серед задач, котрі вирішують фахівці при експлуатації електронної техніки, окремо стоять питання діагностики і профілактики працездатності електронних схем. Це завжди складні та нетривіальні задачі, вирішення яких на задовільному рівні не завжди можливо. У докладі пропонується ще один алгоритмізований спосіб вирішення такої задачі, а саме метод, який базується на теорії протікання (перколяційній теорії) [1, 2].

Для вирішення задачі маємо припустити, що топологічна організація транзисторних схем нагадує гібрид решіток із квадратними та трикутними комірками. Дійсно, будь-яка електрична схема завжди може бути приведена до вигляду змішаного (послідовного і паралельного) з'єднання, і в такому вигляді вона являє собою решітку, що складається з таких комірок (див., наприклад, рис. 1). Саме на цій решітці утворюється переформатована кластерна система елементів електронної схеми.

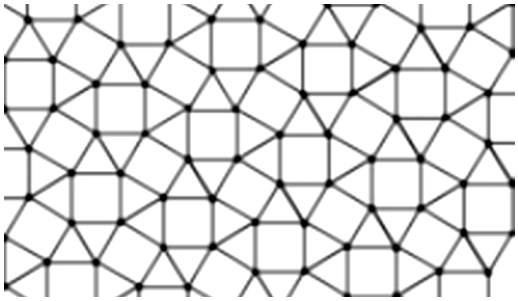


Рис. 1. Гібридна решітка із квадратними та трикутними комірками.

Як відомо, перколяційна теорія [1, 2] досліджує структуру і властивості зв'язкових областей або груп подібних (однотипних) елементів. Такі групи, або кластери, різних розмірів утворюються в гібридної решітці елементами трансформованої функціональної схеми електричного кола. Асортимент і розподіл кластерів за величиною, тобто кластерна система решітки, визначає її властивості.

Для практичних цілей поглиблений перколяційний аналіз не потрібен. Досить розглянути кластери елементів, що цікавлять нас, і міжкластерні зв'язки. Це зручно зробити тому, що кластерна система на гібридній решітці відмінно обкреслена, чітко унаочнена і її елементи легко можуть бути знайдені на функціональній схемі.

Несправність елемента будь-якого кластера, зрозуміло, означає, що всі його елементи якийсь час працювали в некондиційних умовах (в першу чергу, це підвищені температури та великі струми), і, як «найближчі сусіди», постраждали більше, ніж інші частини кола. Тому при проведенні профілактичних робіт їх слід замінити в першу чергу.

Таким чином, запропонований спосіб діагностики складних електронних схем має дві складові. Перша призначена для практичного використання, не потребує застосування математичного апарату теорії, і зводиться до перетворення принципових електронних схем до схем паралельного та послідовного з’єднання однотипових елементів кола на гібридній решітці. Це призводить до спонтанного створення кластерної системи елементів, та дає змогу знайти елементи, які мають знижений ресурс працездатності.

Друга складова призначена для подальшого дослідження схем. Для цього потрібно використовувати ретельний перколяційний аналіз переформатованих схем. Такий аналіз дає змогу крім геометричних параметрів дослідити її електропровідність, отримати критичний індекс потужності, а також розрахувати фрактальну і хімічну розмірність скелету нескінченного кластера та його лакунарність [3, 4].

Метою подальших досліджень переформатованих електронних схем є виявлення нетривіальних залежностей перколяційного типу між структурою та властивостями схем електронних приладів.

1. Соколов И.М. Размерности и другие геометрические критические показатели в теории протекания. // УФН. – 1986. –Т. 150, №10. – С. 221-255.
2. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: Наука, 1979. – 416 с.
3. Герега А.Н. Моделирование кластерных структур в материале: силовые поля и дескрипторы. // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16, №5. – С. 87-93.
4. A. Herega, A. Bukaros et al. Model of Oscillatory Interaction of Four Scaled Levels Defects in Solids: Self-Organization and Conductivity. // AIP Conference Proceedings. – 2020. – V. 2310, № 020123.

УДК 621.565.9

АЛГОРИТМ ДІАГНОСТИКИ ОБМЕРЗАННЯ ВИПАРНИКА СУДНОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

к.т.н., доц. Букарос А.Ю., д.т.н., проф. Онищенко О.А., Букарос В.М., Лебедєва Л.В.
Військова академія (м. Одеса)

Однією з важливих причин порушення нормальної роботи суднової холодильної установки (СХУ) є обмерзання випарника, яке призводить до суттєвої зміни коефіцієнту теплопрохідності $k_в \cdot F_в$, погіршення умов теплопередачі від охолоджуваного об'єкту до випарника та зниження енергетичної ефективності. Для боротьби з цим явищем виробниками СХУ передбачається періодичне відтавання (defrosting) випарника електричними нагрівачами або гарячим рідким холодильним агентом [1]. Періодичність відтавання або встановлюється вручну вахтовим механіком, або відбувається автоматично. При цьому автоматика запускає процес відтавання відповідно до рекомендацій конкретного виробника СХУ в залежності, наприклад, від температури навколишнього середовища, але не враховує реальні процеси обмерзання.

Враховуючи викладене, дуже актуальним становиться пошук нових методів визначення снігового нальоту на випарнику та вчасного запуску процесу відтавання. За допомогою, розробленої в [2], моделі можливо визначати в реальному часі та прогнозувати зміни значення $k_в \cdot F_в$ шляхом порівняння модельних (еталонних) та реальних процесів охолодження. Оскільки, як вже зазначалося, обмерзання випарника призводить до зменшення коефіцієнту теплопрохідності $k_в \cdot F_в$, то отримана модель може бути застосована для прогнозованої діагностики обмерзання випарника та формування сигналу запуску процесу відтавання.

Відповідно до розробленої моделі отриманий узагальнений вираз для обчислення $k_в \cdot F_в$:

$$k_в \cdot F_в = \frac{a \cdot \int t_0(\tau) d\tau + c \cdot \tau + C_в \cdot t_0(\tau)}{\int [t_{об}(\tau) - t_0(\tau)] d\tau}. \qquad (1)$$

де a і c – сталі компресора; $C_в$ – теплоємність випарника; t_0, $t_{об}$ – температури, відповідно, кипіння та охолоджувального об'єкту.

Розроблений алгоритм діагностування обмерзання випарника СХУ, який представлений на рис. 1. Наведений алгоритм обчислює коефіцієнт теплопрохідності випарника в залежності від параметрів стану компресора СХУ (робота, зупинка тощо) за рівнянням (1).

Отримане значення коефіцієнту теплопрохідності випарника порівнюється з «еталонним» $k_в \cdot F_в^e$ та системою діагностування приймається рішення щодо формування сигналу запуску процесу відтавання випарника або видачі діагностичного повідомлення.

Значення 0,9 в блоках порівняння відповідає зниженню значення коефіцієнта теплопрохідності випарника на 10% за рахунок обмерзання. Це значення є приблизним і може встановлюватися виробником, наприклад, в залежності від граничних температурних режимів роботи СХУ.

Реалізація розробленого алгоритму потребує встановлення в СХУ двох датчиків температури: охолоджуваного об'єкту та кипіння холодильного об'єкту, датчику напруги і струму електродвигуна компресора для визначення відносної потужності стискування N_c^*.

Практична реалізація алгоритму обмерзання випарника на мікроконтролері не викликає ніяких труднощів. Для виключення накопичення адитивної похибки вимірювання при інтегруванні сигналів датчиків рекомендується інтегратори охопити одиничними негативними зворотними зв'язками зі збереженням їх властивостей в робочій області частот.

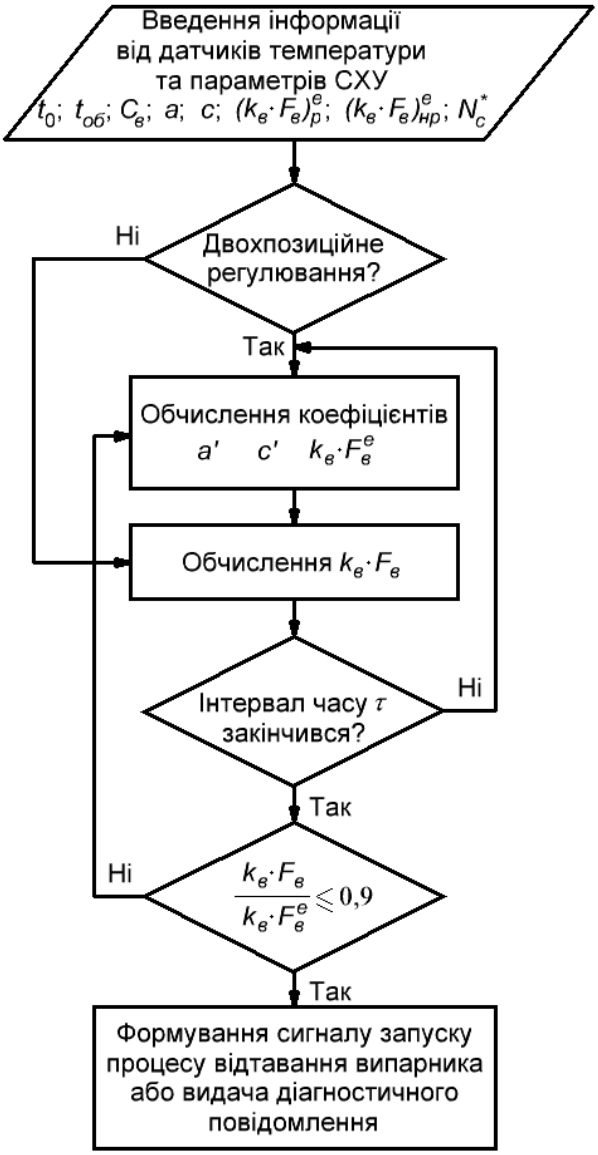


Рисунок 1 – Алгоритм діагностики
обмерзання випарника СХУ

Список використаної літератури.

1. Reindl D. Defrosting Industrial Refrigeration Evaporators / D. Reindl, T. Jekel // ASHRAE Journal. – 2009. – V. 51. – P. 30-40.
2. Онищенко О.А. Моделювання температурних режимів систем кондиціювання повітря військового призначення / О.А. Онищенко, А.Ю. Букарос, О.Ю. Сергєєв, Т.С. Обнявко, Л.В. Лебедєва // Збірник наукових праць, Військова академія (м. Одеса). – 2020. – №1 (13) ч.II. – С. 89-100.

УДК 621.396.96.019.3: 621.391.827(24)

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ВИМОГАМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

д.т.н., проф. Буряковський С.Г., к.т.н., с.н.с. Князєв В.В.
Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія»
Національного технічного університету «ХПІ»

Прагнення України оновити свої збройні сили сучасним озброєнням та військовою технікою (ОВТ) власної розробки потребує впровадження комплексу науково-технічних заходів щодо забезпечення відповідності ОВТ чинним вимогам НАТО, у тому числі з електромагнітної сумісності (ЕМС), які є обов'язковими для більшості видів ОВТ у зв'язку із широким застосуванням електронних систем керування, обробки даних, автоматизованого прийняття рішень та інше. Такі системи вкрай вразливі до впливу зовнішніх електромагнітних завад природного та штучного походження. Для досягнення мети з реалізації вимог національних стандартів України в галузі ЕМС ОВТ гармонізованих з відповідними стандартами НАТО, яким надано чинності з 01.02.2021 року, в НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» розпочато розробку та введення в дію експериментальних зразків необхідного високовольтного випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки. Таким чином українські виробники вже зараз мають можливість підтвердити відповідність створених зразків ОВТ вимогам стандартів НАТО з ЕМС шляхом проведення випробувань. Без реалізації цих заходів зразки українських ОВТ будуть втрачати конкурентну спроможність на світовому ринку.

В усіх розвинутих країнах світу активно проводяться дослідження щодо створення потужних деструктивних електромагнітних завад, спроможних виводити з ладу системи керування ОВТ, наприклад, безпілотними літальними апаратами. Крім того, існує низка ефектів пов'язаних з природою функціонування технічних засобів. Не можливо також виключати ймовірність впливу інтенсивних електромагнітних завад, що супроводжують блискавку. Враховуючи принципову важливість проблеми, результати досліджень, основну частину яких здійснено в наукових структурах Міністерства оборони США, узагальнено у таких стандартах: MIL STD 461G:2011 [1] та MIL STD 464C:2010 [2]. На базі цих стандартів розроблено відповідні стандарти НАТО: АЕСТР 500:2016 [3] та АЕСТР 250:2014 [4]. Вказані стандарти, містять вимоги щодо методик випробувань, у тому числі такі, що є наслідком подій низької ймовірності, наприклад, електромагнітного імпульсу високотного ядерного вибуху.

Доцільно при визначені вимог ЕМС до сучасних зразків ОВТ керуватись вимогами відповідних військових стандартів США [1, 2] та/або стандартів НАТО [3, 4]. Важливе, що різниця між цими комплексами стандартів є, але вона не суттєва, обумовлена часом на видання чергової редакції стандарту НАТО після появи нової редакції стандарту США. Зрозуміло, що вимоги до зразку ОВТ в цілому (у термінах стандартів – платформи) відрізняються від вимог до бортового обладнання, яке встановлюється на платформу. Тому, впроваджено два стандарти НАТО у галузі ЕМС:

1. NATO АЕСТР-500:2016 [3], який містить вимоги з ЕМС до складових частин військової техніки, що забезпечує перш за все можливість сумісного функціонування обладнання в умовах замкнутого об'єму, та забезпечення визначеного рівня несприйнятливості до впливу зовнішніх чинників.

2. NATO АЕСТР-250:2014 [4], який містить вимоги з ЕМС до військові техніки (платформі) в цілому, включаючи забезпечення заданого рівня несприйнятливості до зовнішніх потужних електромагнітних завад (ЕМІ ЯВ, грозові розряди, РЕП тощо).

Рекомендації щодо реалізації вимог цих стандартів, основані на досвіді багаторічних випробувань, вказують на необхідність послідовного підтвердження відповідності спочатку складових частин, а потім платформи в цілому. Стандарт [3] на 70 % складається з вимог

стандарту MIL-STD-461F, а решта 30 % - це випробування за стандартом Def Stan 59 -411 [5]. Розглянемо побудову стандарту NATO AECTP-500:2016 [3]:

– всі види випробувань мають абревіатури скомпоновані з чотирьох букв - CE, CS, RE та RS, де E - це емісія, S – несприйнятливість (стійкість), C - кондуктор / провідник, R - випромінювання, тобто CE та RE - це емісія радіозавад у проводи, що відходять від виробу, та в «ефір», відповідно, а CS і RS - це несприйнятливість до дії електромагнітних завад у проводах, які підключені до виробу, та за «ефіром»;

- попереду до вищеназваних літерних абревіатур додано букву N, тобто всі види випробувань описуються абревіатурами NCE, NCS, NRE та NRS;

– до кожного вказаного вище набору букв додано цифрову нумерацію від 01 і далі;

Вичерпний перелік з 25 видів випробувань, що регламентує стандарт [3], наведено в ньому у таблиці Table 501-1. З цих видів випробувань основні чотирнадцять реалізовано в НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ», про що вказано у роботі [6]. Таким чином, бортове обладнання ОВТ може пройти відповідні випробування вже зараз.

Слід відзначити, що реалізація випробувань зразків ОВТ (платформ) за стандартом [4] вимагає значного об’єму фінансування, що обумовлено габаритними розмирами установок та їх потужністю. В якості першого кроку на цьому шляху, розроблено макети експериментальних зразків імітаторів, які генерують електричні та магнітні поля, що супроводжують блискавку на відстані 10 м від каналу. Дані про установку що утворює електричне поле близького удару блискавки наведено у роботі [7].

В матеріалах цієї доповіді представлено результати розробки та створення експериментального зразку імітатора магнітного поля блискавки для випробувань за видом NL254-H стандарту [4]:

– обґрунтоване що одержані результати математичного моделювання співпадають з результатами фізичного експерименту з розбіжністю 1%, що знаходиться у межах невизначеності (3%) результатів експерименту;

– встановлено, що у систему з двох пластин для забезпечення регламентованої швидкості наростання магнітного поля потрібно інжектувати струм силою примирно 22 кА;

– розміри зони напруженості магнітного поля при відстані між платинами 2 м з відхиленням не більш ніж ±10% (що відповідає вимогам стандартів) становлять 1,27х1,15х2,0 м^3. Цього об’єму достатньо для випробувань бортового обладнання ОВТ, перш за все електричних детонаторів.

1. MIL STD 461G:2011 Department of Defense Interface Standard – Electromagnetic Interference and test methods for Aircraft. – 269 p.
2. MIL STD 464C:2010 Electromagnetic environmental effects. Requirements for systems. - 165 p
3. STANAG 4370 AECTP 500:2016 Electromagnetic environmental effects test and verification. NATO Standardization Agency, 2016.-1125 p.
4. STANAG 4370 NATO AECTP 250:2014 NATO Standard Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions. Edition C Version1, December 2014.-253p.
5. DEF STAN 59-411 Part 3:2019, Electromagnetic Compatibility – Part 3: Test Methods and Limits for Equipment and Sub Systems (UK Defence Standard), 248 p.
6. Князєв В.В. Випробування зразків озброєння та військової техніки за параметрами електромагнітної сумісності / В.В. Князєв // Стандартизація, сертифікація, якість. №2, 2020.- С.21-27.
7. Князєв В.В. Створення експериментального зразка установки для реалізації випробувань імпульсним електричним полем що супроводжує блискавку / В.В. Князєв, П.М. Мельніков, О.Ю. Чернухін // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. № 27 (1352). 2019, №27, С. 33-39.

УДК 621.311.61

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

к.пед.н., доц. Васюченко П.В., студ. Волков І.І.
Українська інженерно-педагогічна академія

У цей час акумуляторні батареї мають велике значення в сучаснім житті. Розвиток електроніки робить усе більша кількість портативної техніки, з'являються нові пристрої, зростає потреба в компактних переносних пристроях. Акумуляторні батареї широко застосовуються як джерела живлення й для грамотної розробки систем з їхнім використанням необхідно здійснювати математичне моделювання. У якім би пристрої акумуляторна батарея не застосовувалася, її передчасна відмова може спричинити наслідки курізного ступеня важкості.

Основними експлуатаційними характеристиками АБ, є її номінальна ємність. Прямий вимір номінальної ємності пов'язане з розрядом АБ, що займає багато часу й вимагає відключення АБ від системи, що харчується нею. На зниження розрядної ємності акумуляторної батареї впливає внутрішній опір АБ. Внутрішній опір по великому рахункові є важливою характеристикою акумуляторної батареї й визначає продуктивність батареї. В існуючих математичних моделях внутрішній опіру важається постійним, але на практиці внутрішній опірросте. На ріст внутрішнього опору впливає ступінь заряженості й температура – це веде до швидкого падіння розрядної напруги й, у наслідок, до зниження розрядної ємності акумулятора.

У зв'язку із цим виникає необхідність в одержанні достовірної й оперативної інформації про поточний стан і про експлуатаційні характеристики АБ. Методи оперативної оцінки стани АБ ґрунтуються на характеристиках, отриманих побічно, у результаті аналізу параметрів.Для цього потрібна математична модель, що описує основні характеристики акумуляторної батареї.

У програмному забезпеченні Matlab/Simulink зроблене моделювання батарейного блоку Battery. Моделювання зроблене згідно зі схемою, показаною на рисунку 1.

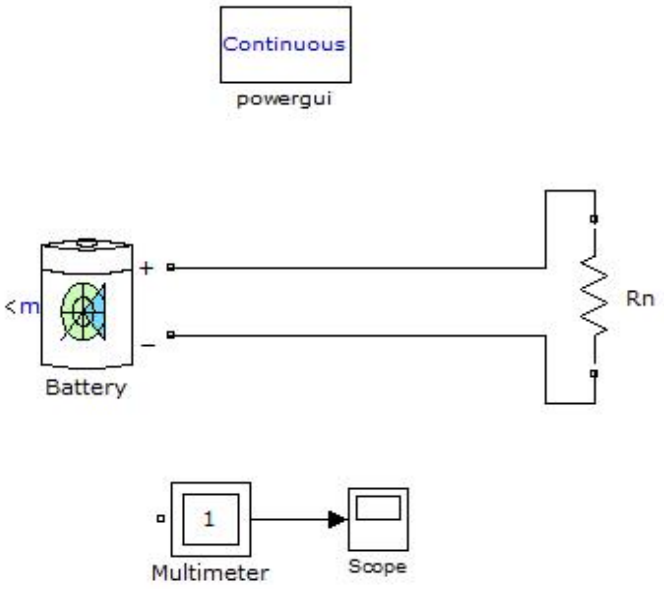


Рисунок 1 – Схема моделювання в блок Battery

Згідно із практичним дослідженням батарейний блок опору в нанавантаженні Rn = 1 Ом. У блок внесені основні дані: U – Номінальна напруга, В; Q - номінальна ємність, Ач;

S_{OC} - початковий стан заряду, %. взято із практичного дослідження трьох акумуляторних батарей. Вихідним параметром є напруга на навантаженні U (В).

Для АБ типу BTY 3000 (1) початкові значення:

U= 1.113 В

Q= 0,155 Ач

S_{OC}= 100%.

Результат виміру: графік залежності напруги на навантаженні U від часу t показано на рисунку 2.

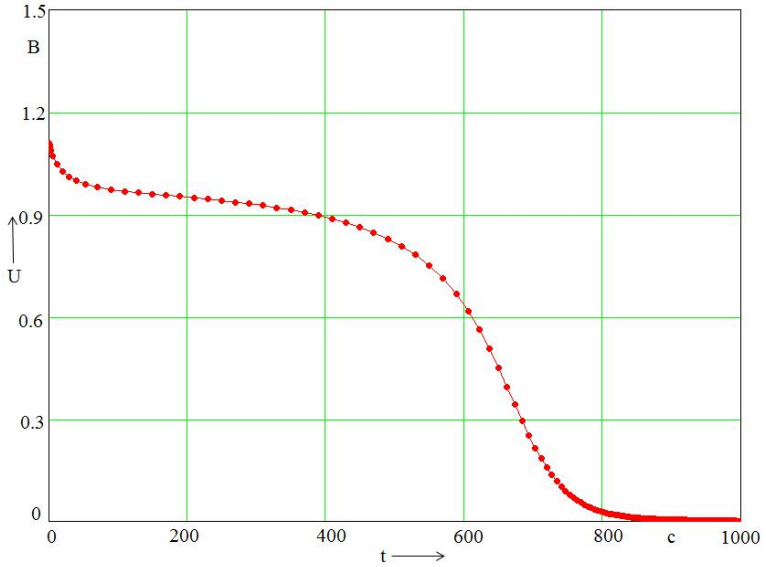


Рисунок 2 – Графіки залежності напруги на навантаженні U від часу t

Для АБ типу BTY 3000 (2) початкові значення:

U=1.147 В

Q= 0,276 Ач

SOC= 100%.

Результат виміру: графік залежності напруги на навантаженні U від часу t показано на рисунку 3.

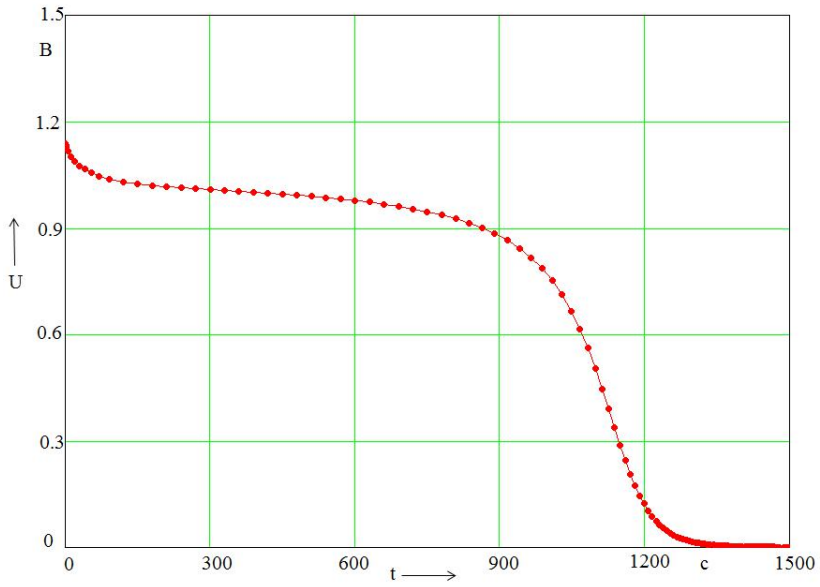


Рисунок 3 - Графіки залежності напруги на навантаженні U від часу t

Для АБ типу Camelion 2100 mah початкові значення:

U= 1.156 В

Q= 1,376 Ач

SOC= 100%.

Результат виміру: графік залежності напруги на навантаженні U від часу t показано на рисунку 4.

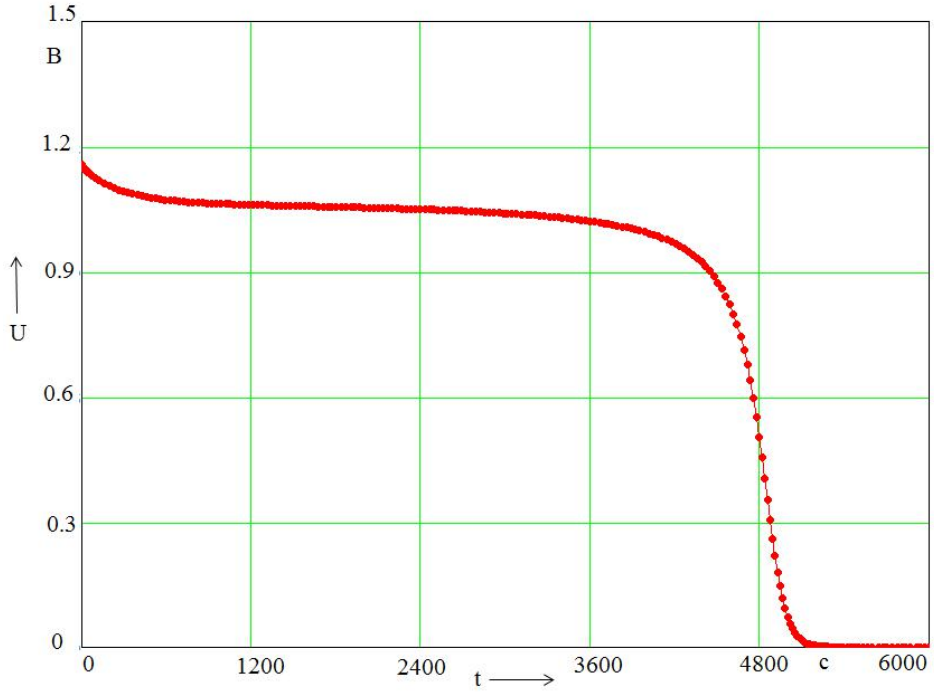


Рисунок 4 - Графіки залежності напруги на навантаженні U від часу t

1. Васильев К. К. Математическое моделирование систем связи : учебное пособ ие / К. К. Васильев, М. Н. Служивый. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 170с.
2. Савенков В.В. Моделирование, разработка и экспериментальное исследование электротехнических систем питания автономных объектов. Дисс. к.т.н., ВГТУ, Воронеж, 2002.
3. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование / К. В. Безручко, Н. В. Белан, Д.Г. Белов и др./ Под ред. акад. НАН Украины С.Н. Конюхова. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000. – 515 с.
4. Сазанов А.Б. Математическое моделирование режимов работы аккумуляторных батарей.// Научно-технический журнал «Техника машиностроения», №2, Москва, 2007, «Вираж-центр», стр.27-30.
5. Dalton, P., Cohen, F., "International Space Station Nickel-Hydrogen Battery On-Orbit Performance," paper no.20091, Proceedings of the 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Washington DC, July 28-August 2, 2002.
6. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование / К. В. Безручко, Н. В. Белан, Д.Г. Белов и др./ Под ред. акад. НАН Украины С. Н. Конюхова. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т»,2000. – 515 с.
7. Tremblay, O.; Dessaint, L.-A.; Dekkiche, A.-I., A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE , pp. 284-289, 9-12 Sept. 2007.

УДК 621.3:681.3

РІШЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ЗАДАЧ З ЗАСТОСУВАННЯМ ПАКЕТУ МОДЕЛЮВАННЯ ELCUT

к.пед.н., доц. Васюченко П.В., студ. Кучеренко І.А.
Українська інженерно-педагогічна академія

ELCUT – це комплекс програм для інженерного моделювання електромагнітних, теплових і механічних завдань методом кінцевих елементів.

Редактор моделі дозволяє досить швидко описати модель досліджуваних об'єктів. Крім того, фрагменти моделі можна імпортувати з системи AutoCAD або інших систем проектування. Результати розрахунку можна переглядати в різних формах подання: лінії поля, кольорові карти, графіки різних величин уздовж довільних контурів і пр.можна обчислювати різні інтегральні величини на заданих користувачем лініях, поверхнях або обсягах. Постпроцесор забезпечує виведення таблиць і малюнків у файли для подальшої обробки або якісного графічного друку.

ELCUT дозволяє вирішувати плоскі і осесиметричні завдання за наступними темами:

– Електростатика; – електричне поле змінних струмів в неідеальному діелектрику;
– розтікання струмів в провідному середовищі;
– лінійна і нелінійна магнітостатика;
– магнітне поле змінних струмів (з урахуванням вихрових струмів);
– нестаціонарне магнітне поле;
– лінійна і нелінійна, стаціонарна і нестаціонарна теплопередача;
– лінійний аналіз напружено-деформованого стану;
– пов'язані завдання.

За допомогою ELCUT користувач, який має певні навички, може протягом досить короткого часу описати завдання – її геометрію, властивості середовищ, джерела поля, граничні та інші умови, вирішити її з високою точністю і проаналізувати рішення за допомогою засобів кольорової графіки. За допомогою ELCUT вирішуються двовимірні крайові задачі математичної фізики, що описуються еліптичними диференціальними рівняннями в приватних похідних щодо скалярної (потенційної) або однокомпонентної векторної функції.

Провідні електромашинобудівні заводи країни застосовують ELCUT для розрахунку електромагнітних параметрів і теплових режимів електричних машин. Необхідність в аналізі поля виникає при розрахунку для оптимізації існуючих машин, або при розрахунку машин нетрадиційних конструкцій.

Аналіз електричного поля в високовольтних вводах, обмотках, ізоляційних системах використовується при проектуванні силових трансформаторів та інших високовольтних апаратів.

Теплові розрахунки за допомогою ELCUT успішно використовують при проектуванні систем обігріву за допомогою нагріваються кабелів, спеціалізованих і комбінованих систем контролю температури, вентильованих фасадів, огороджувальних конструкцій в будівництві та архітектурному проектуванні.

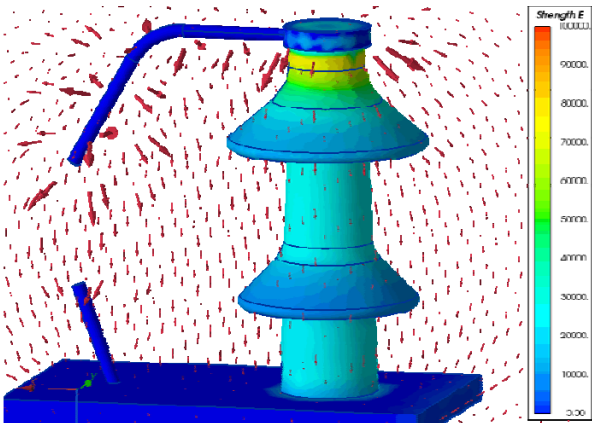


Рисунок 1 – Приклад моделювання електромагнітних процесів в середовище ELCUT

1. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.5. Руководство пользователя http://www.tor.ru/elcut/free_doc_r.htm

УДК 621.313

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БАГАТОДВИГУННОГО АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

к.т.н., доц. Войтенко В. А., д.т.н., проф. Водічев В. А., асп. Гогохія Ю. О.
Одеський національний політехнічний університет

При розробці тягового електроприводу вантажного транспортного засобу доцільно провести порівняння декількох технічних рішень, а саме: використання однодвигунного електропривода і використання багатодвигунного електропривода. У загальному випадку порівняння цих технічних рішень слід проводити з енергетики, за масогабаритними показниками та за вартістю використовуваного обладнання. При порівнянні енергетичних показників однодвигунного і багатодвигунного електроприводу важливо звернути увагу на мінімізацію втрат електричної енергії в тягових електродвигунах .

У разі багатодвигунного електроприводу для приведення в рух транспортного засобу можуть використовуватися один, два, три або чотири двигуни в залежності від навантаження. Навантаження двигунів залежить від маси вантажу і кута нахилу дороги.

Спрощена функціональна схема індивідуального електропривода і багатодвигунного тягового електроприводу показана на рисунку 1. На цих функціональних схемах прийняті наступні позначення: 1 - тягові електродвигуни; 2 - редуктор; 3 - карданний вал; 4 - механічний диференціал; 5 - піввісь ведучих коліс; 6 - ведучі колеса.

Застосування багатодвигунного електроприводу має низку переваг в порівнянні з застосуванням однодвигунного електроприводу, а також в порівнянні з приводом від мотор-коліс і від індивідуальних двигунів двох ведучих коліс транспортного засобу (ТЗ).

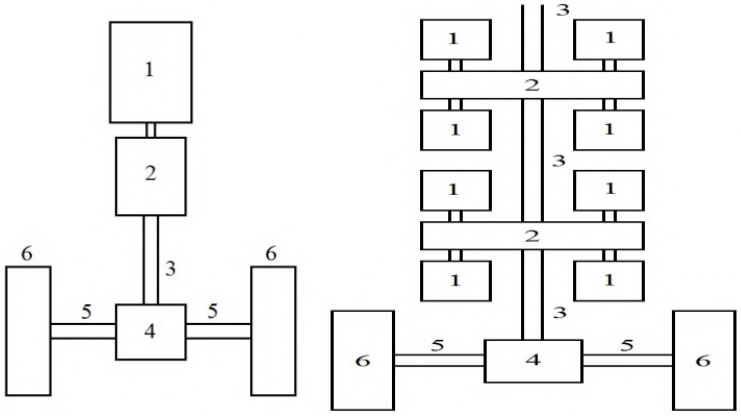


Рисунок 1 – Функціональна схема індивідуального електропривода і багатодвигунного тягового електроприводу

При використанні багатодвигунного електроприводу і розміщенні двигунів в середній частині ТЗ маса двигунів буде розподілена рівномірно. Двигуни мотор-коліс і індивідуальні двигуни, які з'єднані зі звичайними колесами через редуктори, піддаються механічним ударним навантаженням. Це знижує їх надійність і довговічність.

В ТЗ з однодвигунним приводом несправність двигуна не дає можливість продовжувати рух. При використанні багатодвигунного електроприводу відмова одного з двигунів не є аварійним режимом. ТЗ може продовжувати рух за допомогою другого і третього двигунів.

Одним з найважливіших є питання аналізу і оцінки енергетичних показників багатодвигунного електроприводу при русі ТЗ з постійною швидкістю і при розгоні.

Для досліджуваного ТЗ проведені розрахунки втрат енергії в тягових електродвигунах при використанні багатодвигунного приводу для випадків застосування, двох двигунів потужності 45 кВт і трьох двигунів малої потужності 30 кВт у порівнянні з одним двигуном 90 кВт.

При розрахунках враховано навантаження транспортного засобу від сил тертя кочення коліс, яке практично не залежить від швидкості руху, і вітрове навантаження, яке пропорційно швидкості в другому ступені.

Була розроблена математична модель системи електропривода ТЗ «перетворювач частоти-асинхронний двигун», в якій можна задати необхідний закон частотного керування і визначити потужність втрат енергії в двигуні. Проведені дослідження показали, що при русі вантажівки по горизонтальній дорозі з постійною швидкістю при повністю завантаженої і порожньої вантажівки двигун потужністю 90 кВт виявляється істотно недовантаженим.

При цьому сумарні втрати енергії в однодвигунному електроприводі виявляються досить великими за рахунок наявності великих постійних втрат. Використання замість одного двигуна великої потужності одного або декількох двигунів малої потужності з меншими постійними втратами енергії дозволяє зменшити сумарні втрати енергії. В результаті, чим менше завантажений ТЗ, тим більше енергетичний ефект від використання одного або декількох двигунів малої потужності.

При розгоні по горизонтальній дорозі від нуля до максимальної швидкості енергетичні переваги багатодвигунного електроприводу проявляються тільки при розгоні повністю завантаженого ТЗ з великим перевантаженням двигуна по моменту. При цьому істотно збільшуються змінні втрати в індивідуальному електроприводі. У багатодвигунному електроприводі, завдяки розподілу моменту навантаження між двигунами, змінні втрати і сумарні втрати енергії виявляються значно меншими. Це дозволяє значно зменшити витрату енергії при розгоні.

Результати проведеного дослідження показують, що застосування багатодвигунного електроприводу дозволяє істотно зменшити втрати електричної енергії, споживаної від автономного бортового джерела енергії.

1. Войтенко В. А. Сравнительный анализ энергетических показателей однодвигательного и многодвигательного асинхронных тяговых электроприводов / В. А. Войтенко, В. А. Водичев, А. Г. Калинин // Електротехнічні та комп’ютерні системи. - 2019. - № 31. - С. 35-50. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2019_31_8.

2. Войтенко, В. А. Анализ технических и энергетических показателей многодвигательного электропривода для городского общественного транспорта / В. А. Войтенко, В. А. Водичев, А. Г. Калинин // Проблемы региональной энергетики. – 2019. – № S1-2(41). – С. 95-106. – DOI 10.5281/zenodo.3239179.

УДК 004.942: 629.4.001.4

ОЦІНКА ЧАСУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В БЕЗПЕРЕВНИХ І ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА АВТОМАТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

д.т.н., проф. Гвоздева І.М., Гордішевський Л.Г.
Військова академія (м. Одеса)

Проблемним питанням удосконалення систем автоматичного керування (САК) електромеханічних комплексів зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), зокрема зенітно-ракетних комплексів (ЗРК) та протитанкових ракетних комплексів (ПТРК) є перехід на сучасні програмно-апаратні засоби прямого цифрового керування та перетворення інформації. Відомі переваги цифрових систем керування (ЦСК) [1] при їх широкому впровадженні для створення нових та модернізації існуючих ЗРК та ПТРК зумовлюють важливу науково-прикладну задачу розробки та застосування відповідних методів та інженерних прикладних методик попередньої оцінки параметрів таких систем для оптимального вибору проектних рішень та налаштування.

Найбільш важливим параметром, що характеризує якість САК систем наведення ЗРК та ПТРК на рухомих носіях, є час перехідних процесів в системах наведення пускової установки (ПУ). Такий параметр безпосередньо визначає час реагування, що є складовою тактико – технічних характеристик відповідних зразків ОВТ. Зазвичай час перехідних процесів визначається тільки на фінішному етапі синтезу САК, і його невідповідність вимогам потребує повторного виконання всіх етапів синтезу з розрахунком перехідних характеристик. Такий розрахунок виконується за необхідністю обчислювальним рішенням систем диференційних рівнянь високого порядку, що описують рух САК в просторі її фазових координат. Тому визначення часу перехідних процесів в системах наведення, зокрема для ЗРК та ПТРК, є важливою науково-прикладною задачею.

Метою дослідження є розробка науково – прикладної методики попереднього визначення часу перехідних процесів в САК безперервної дії та цифрових системах без розрахунку перехідних процесів.

Для лінійних динамічних електромеханічних систем перехідна складова має відомий математичний опис у вигляді

$$x(t)=\sum_{i=1}^{n} C_i e^{\lambda_i t}, \qquad (1)$$

де C_i - постійні інтегрування, що визначаються початковими умовами, λ_i - корені характеристичного рівняння замкненої САК, n - порядок системи.

Будемо вважати надалі, що у вказаному виразі змінна є сигналом похибки регулювання, а система є сталою. Сталість лінійної САК означає, як відомо, що корені характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини, тобто знаходяться в «лівій» частині комплексної площини розташування коренів. За цієї умови всі складові перехідного процесу в САК є функціями, що асимптотично збігаються до нуля, тобто затухаючими. Тому часом перехідного процесу вважається така координата на вісі часу, для якої абсолютне значення похибки регулювання є меншим, ніж деяке наперед визначене значення порогового відхилення x_p на рівні 5% (або 2%, або 1%) відхилення від усталеного значення. Конкретне значення відхилення x_p визначається вимогами до похибок розрахунку, або нормованих похибок вимірювальних каналів визначення похибки.

Оскільки зміна похибки регулювання описується сумою експоненційних функцій, то час перехідного процесу за похибкою визначаєтья такою складовою в (1), яка сама має найбільший час перехідного процесу. Така складова відповідає кореню характеристичного

рівняння, абсолютне значення (модуль) якого є найменьшим. Оскільки корені характеристичного рівняння можуть бути в загальному випадку комплексно спорядженими, то потрібно брати до уваги абсолютне значення (модуль) дійсної частини таких коренів. Звідси отримуємо загальний вираз співвідношення для оцінки часу перехідних процесів в лінійних САК:

$$t_{pp} \cong \frac{N_p}{\min\left|\mathrm{Re}\{\lambda_k\}\right|},$$

де N_p - деяке числове значення, що залежить від порогового відхилення x_p на рівні 5% (або 2%, або 1%) відхилення від усталеного значення. Зазвичай слід рекомендувати $N_p = 3$ -для попередніх розрахунків на рівні 5%, та $N_p = 5$ - для наявності інформаціїї щодо метрологічних властивостей вимірювальних каналів САК на рівні не гірше, ніж 1% відхилення від вимірюваного значення.

Тому пропонується наступне співвідношення для оцінки часу перехідних процесів в лінійних САК:

$$t_{pp} \cong \frac{3...5}{\min\left|\mathrm{Re}\{\lambda_k\}\right|}, \qquad (2)$$

де нижня межа відповідає попередній оцінки, а верхня – уточненню за наявності апріорної інформації щодо похибок вимірювальних каналів.

Цифрові САК мають сутєві відмінності щодо їх математичного опису та властивостей. Дискретизація за часом приводить до змінних у вигляді решітчастих функцій:

$$x(t_k) = x(kT) = x[k],$$

де T є інтервалом дискретизації.

Математичним описом руху цифрових САК є різницеві рівняння. Відповідно для лінійних цифрових динамічних електромеханічних систем перехідна складова, як рішення різницевих рівнянь, має відомий математичний опис у вигляді

$$x[k] = \sum_{i=1}^{n} C_i^d z_i^k, \qquad (3)$$

де C_i^d - постійні інтегрування для системи різницевих рівнянь, що визначаються початковими умовами, z_i - корені характеристичного рівняння замкненої цифрової САК, n - порядок системи.

Будемо вважати також надалі, що у вказаному виразі змінна є сигналом похибки регулювання, а цифрова система є сталою. Сталість цифрової лінійної САК означає, як відомо, що корені характеристичного рівняння мають значення, що по модулю не перевищують одиниці, тобто знаходяться в одиничному колі комплексної площини розташування коренів. За цієї умови всі складові перехідного процесу в цифровій САК є решітчастими функціями, що асимптотично збігаються до нуля, тобто затухаючими. Тому часом перехідного процесу також вважається така координата на вісі часу, для якої абсолютне значення похибки регулювання є меншим, ніж деяке наперед визначене значення порогового відхилення x_p на рівні 5% (або 2%, або 1%) від усталеного значення, з урахуванням дискретизації за рівнем. Оскільки зміна похибки регулювання описується сумою затухаючих функцій, то час перехідного процесу за похибкою в цифровій САК визначаєтья такою складовою в (3), яка сама має найбільший час перехідного процесу. Така складова відповідає кореню характеристичного рівняння, абсолютне значення (модуль) якого є найбільшим, але меньшим за одиницю за умови сталості. Зауважимо, що від'ємні значення

коренів характерстичного рівняння замкнених цифрових САК є небажаними, оскільки відповідають коливальним складовим з періодом коливань, шо дорівнює періоду дискретизації. .Оскільки корені характеристичного рівняння можуть бути в загальному випадку комплексно спорядженими, то потрібно брати до уваги абсолютне значення (модуль) дійсної частини таких коренів. Слід також маи на увазі, що час перідного процесу в цифрових САК визначається в кількості тактів дискретного часу, тому може бути тільки цілим числом. Звідси отримуємо загальний вираз співвідношення для оцінки часу перехідних процесів в цифрових лінійних САК:

$$N_{pp} \cong ciel\left(\frac{3...5}{\ln\left(\max\left|\mathrm{Re}\{z_k\}\right|\right)}\right), \qquad (4)$$

де функція $ciel(x)$ означає найбільше ціле значення аргументу, нижня межа чисельника відповідає попередній оцінки, а верхня – уточненню за наявності апріорної інформації щодо похибок вимірювальних каналів, з урахуванням розрядності аналогового – цифрового перетворення.

Для апробації пропонованої науково – прикладної методики розглянуто електромеханічну систему горизонтального наведення ПУ ЗРК [2,3,4], функціональна схема якої наведено на Рис. 1.

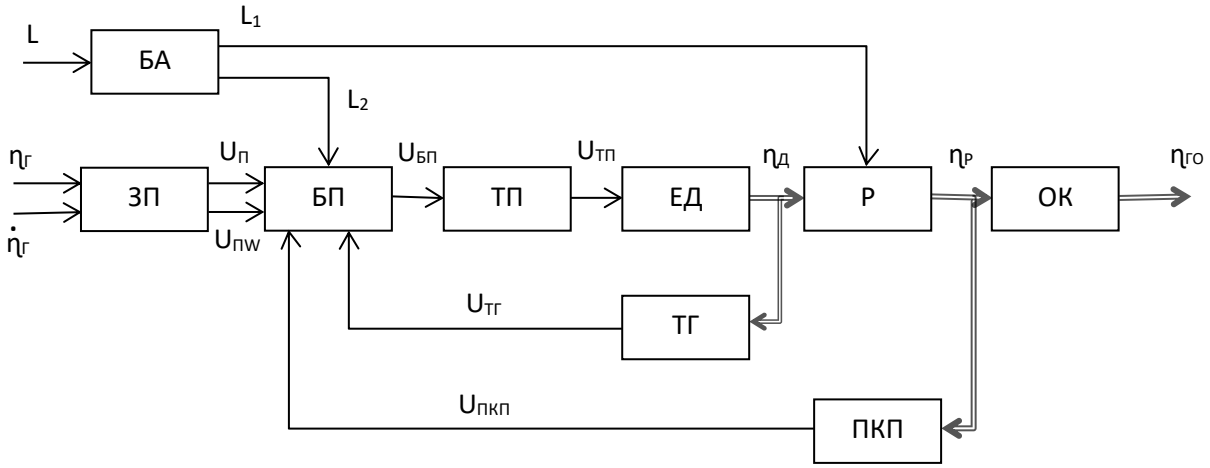


Рисунок 1 – Функціональна схема САК горизонтального наведення ЗРК

На Рис. 1 позначені наступні блоки: БА – блок автоматики, ЗП – задаючий пристрій, БП – блок підсилювачів, ТП – тиристорний перетворювач, ЕД – електричний двигун, Р – редуктор, ТГ – тахогенератор, ПКП – потенціометр кутового положення, ОК – об'єкт керування (ПУ), На Рис. 3 позначені наступні сигнали: L – команди, $\eta_Г$ – кут цілі в горизонтальній площині, $\dot{\eta}_Г$ – швидкість зміни пеленгу цілі в горизонтальній площині, $U_{П,}$ $U_{ПW}$ – відповідні масштабовані напруги, L_1 – сигнал «Запуск», L_2 – сигнал зміни режимів, $U_{БП}$ – сигнал виходу БП, $U_{ТП}$ – сигнал виходу ТП, $\eta_Д$ – кут повороту ЕД, $\eta_{ГО}$ – кут повороту ПУ в горизонтальній площині, $U_{ТГ}$ – сигнал ТГ, $U_{ПКП}$ – сигнал ПКП, $\eta_Р$ – кут повороту вихідного валу, $\eta_в$ –пеленг цілі в вертикальній площині, $\eta_{ВО}$ – кут повороту ПУ в вертикальній площині.

Модель системи горизонтального наведення ПУ ЗРК представлено на Рис. 2.

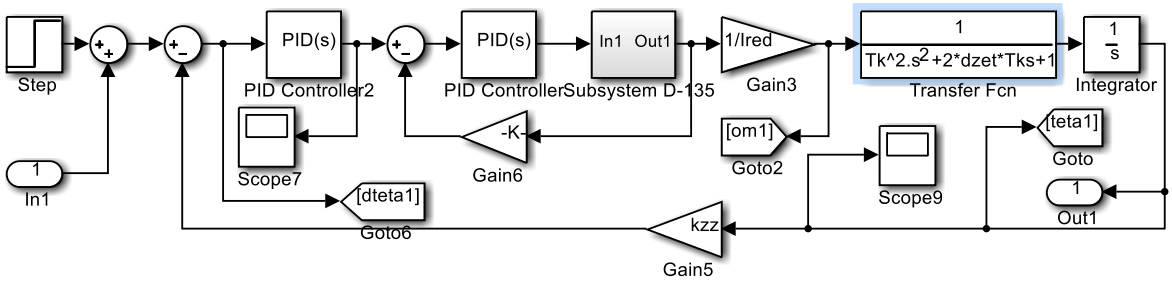


Рисунок 2 – Модель САК горизонтального наведення ЗРК

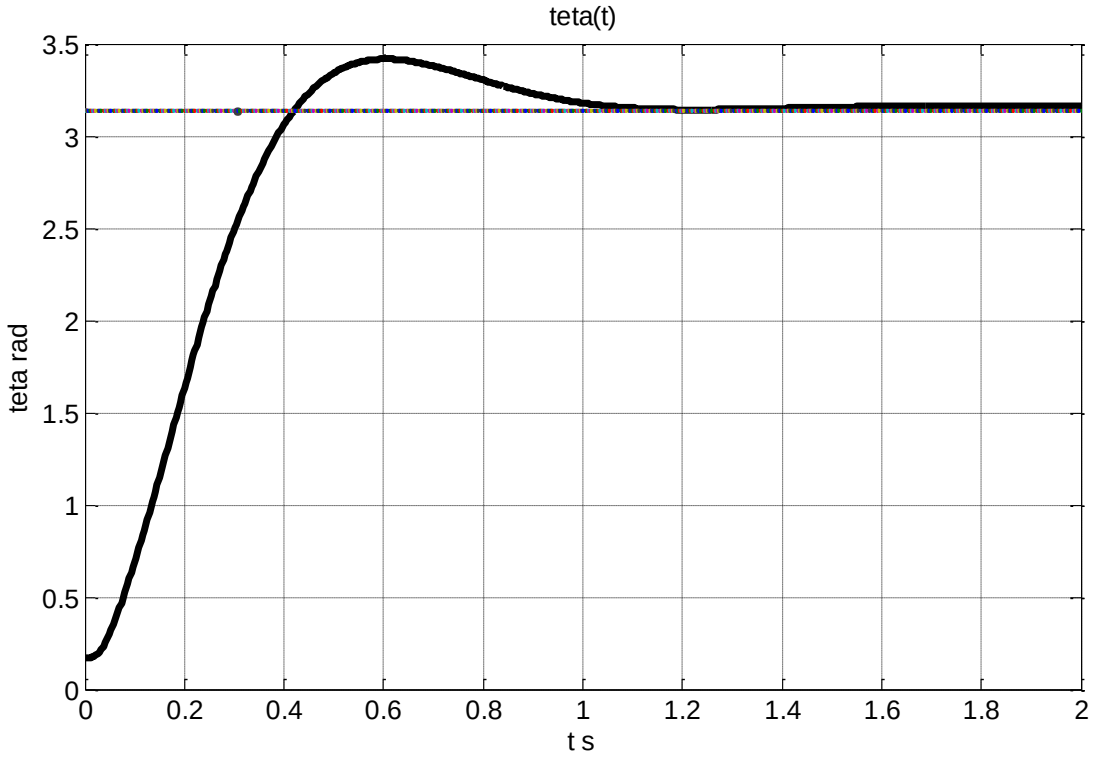


Рисунок 3 – Перехідний процес в САК горизонтального наведення ЗРК

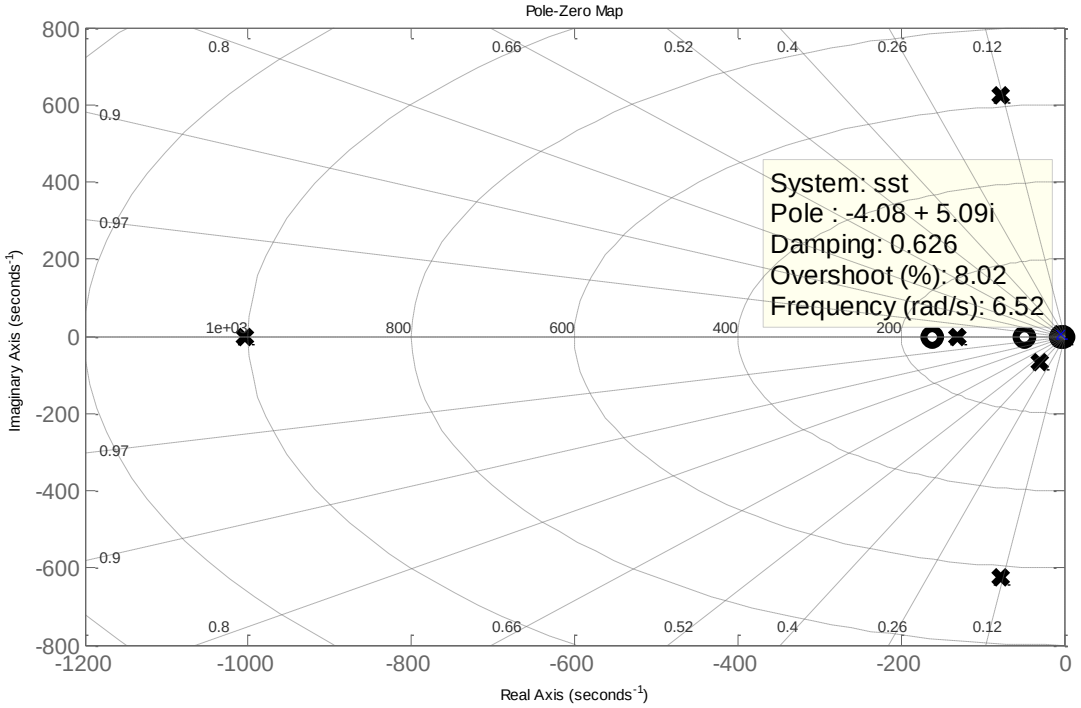


Рисунок 4 – Розташування нулів та полюсів передатної функції замкненої САК горизонтального наведення ЗРК

Встановлено, що результати оцінки часу перехідних процесів в САК горизонтального наведення ЗРК за пропонованою науково – прикладною методикою та за безпосереднім розрахунком таких процесів, повністю збігаються.

Таким чином пропонована науково – прикладна методика попередньої оцінки часу перехідних процесів в САК наведення ЗРК та ПТРК без виконання складного обчислювального рішення систем диференційних рівнянь високого порядку, що описують рух САК в просторі її фазових координат, дозволяє на попередньому етапі встановити переваги пропонованих рішень покращення ТТХ при розробці та модернізації зразків ОВТ.

1. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. – 832 с.
2. Миргород В.Ф. Розробка методики проектування та моделювання систем наведення з урахування динаміки об’єкта стеження / В.Ф. Миргород, П.О. Акінін, Є.О. Щербенко // Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок. Збірник праць наукового семінару. – Одеса: Наука і техніка, 2015. – С. 11-16.
3. Потерейко Ю.Б. Динаміка систем керування електроприводів пускових установок зенітно-ракетних комплексів військової ППО / Потерейко Ю.Б., Миргород В.Ф. // Національна безпека України. Актуальні проблеми та шляхи вирішення, Матеріали Четвертої Всеукраїнської курсантсько-студентської науково-практичної конференції , 23 листопада 2018 року , – Одеса: Видавництво Військової академії (м. Одеса) МОУ – С. 114.
4. Свіргун В.О. Дослідження динамічних характеристик системи наведення зенітного ракетного комплексу / Свіргун В.О., Миргород В.Ф. // Національна безпека України. Актуальні проблеми та шляхи вирішення, Матеріали Четвертої Всеукраїнської курсантсько-студентської науково-практичної конференції , 23 листопада 2018 року – Одеса: Видавництво Військової академії (м. Одеса) МОУ – С. 129.

УДК 621.362-546

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД НЕБЕЗПЕЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ СТРУМУ ВИТОКУ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ МІКРОНІЗАТОРА ИММ20

Герасименко В.П., к.ф.-м.н Майбородіна Н.В.
ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут»

Вимогам безпечної експлуатації струмопровідних частин та електротехнічного обладнання для установок теплової обробки і сушіння зернової сировини приділяється велика увага [1 - 3]. Крім загально вживаних документів використовується і спеціальний, як от наказ «Про затвердження Правил охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна» [4]. Інфрачервоний мікронізатор ІММ-20 призначений для обробки інфрачервоними променями зернових, бобових і олійних культур. Він дозволяє здійснювати підготовку комбікормів. Мікронізатора включає в себе завантажувальний бункер, робочі камери, транспортний пристрій у вигляді конвеєрної стрічки з приводом. Переміщення стрічки здійснюється за допомогою обертання барабанів. Для температурної компенсації довжини стрічки є автоматичне компенсаційне пристрій. У робочих камерах розміщені інфрачервоні випромінювачі. ІК-випромінювачі виконані у вигляді окремих секцій з механічною налаштуванням по розташуванню щодо оброблюваного продукту. Для регулювання товщини потоку зерна бункер забезпечений дозатором з частотним перетворювачем. Вивантаження обробленого продукту відбувається через лоток. Привід виконаний у вигляді мотор-редуктора з частотним перетворювачем. Температура в рабочих камерах мікронізатора досягає значень 180 - 250°С, номінальна напруга 380 В, встановлена потужність мікронізатора 40 кВт.

Мета досліджень - проаналізувавши існуючі захисні засоби, які функціонують і здійснюють захист за рахунок контролю фіксованої величини струму витоку і запропонувати технічне рішення, що забезпечить окрім захисту на основі контролю за фіксованою величиною струму витоку також завчасне попередження про можливість досягнення ізоляцією порогових значень.

Оскільки в спеціалізованій літературі приводиться значення гранично допустимого добутку струму, що протікає по тілу людини, та часу його протікання, рівного 70мА·с, то ця величина взята за небезпечний струм витоку, а за гранично близький до безпечного взяте значення 50мА·с, як такий струм, що не викликає небезпеки фібриляції серця [5].

Пристрій-аналізатор змонтовано в стандартному корпусі ПЗВ, шляхом додаткового підключення додаткових плат, а саме блоку аналізатора, що побудований на мікроконтролері фірми ATMEL ATmega8. Принципова схема та загальний вигляд пристрою наведено на рисунках 1 та 2.

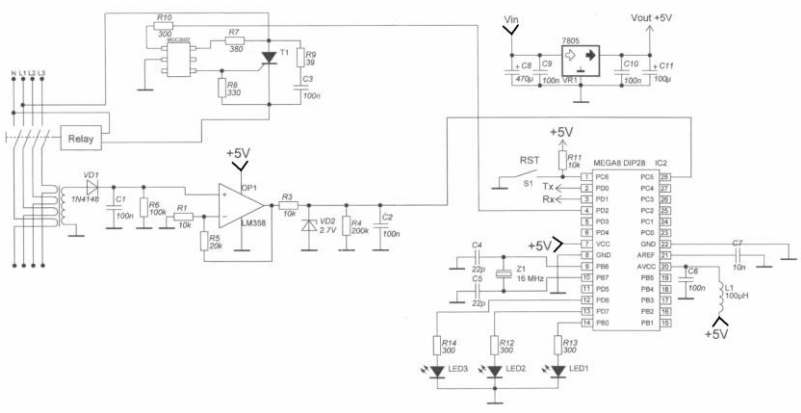
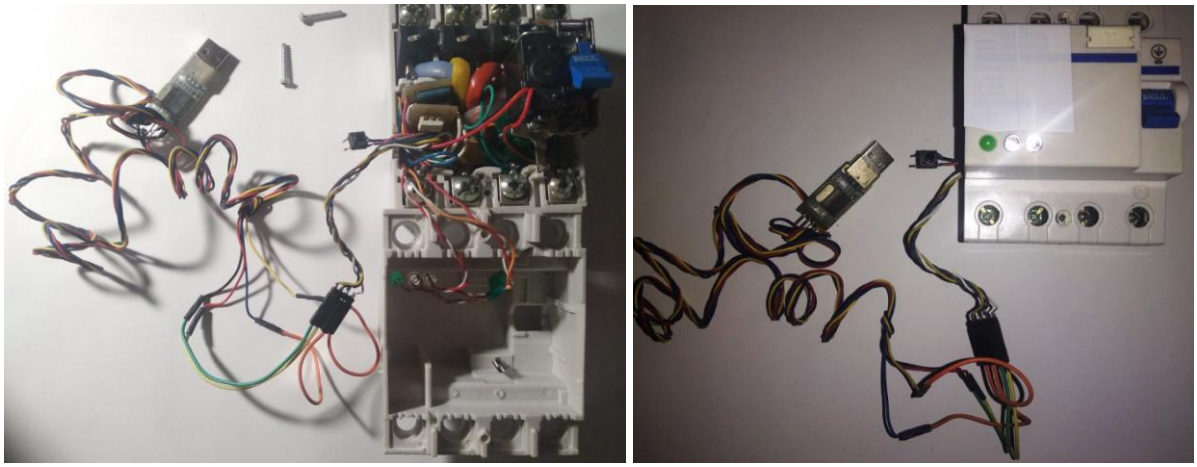


Рисунок 1 Принципова схема блоку-аналізатора



а) б)

Рисунок 2 Пристрій-аналізатор струмів витоку:
а – будова пристрою; б – зовнішній вигляд;

Пристрій містить трансформатор струму нульової послідовності (ТСНП) до виводів вторинної обмотки якого підключений захисний блок з аналізатором струму витоку. На передній панелі аналізатора струмів витоку розташовані сигнальні лампочки HL1 - HL3, що сигналізують обслуговуючому персоналу про появу та темп зростання струму витоку у мережі 0,38 кВ [5]. Алгоритм роботи пристрою відрізняється від патенту чіткими граничними величинами струму витоку.

Принцип роботи запропонованого пристрою полягає в тому, що блок-аналізатор струмів витоку працює за умовою $q = \frac{i_n + i_{n=1} + i_{n=2}}{3}$ і має три програмовані ступені режиму темпу зростання струму витоку: перший режим – коли $q \le 50$ - «Безпечний струму витоку в мережі»; другий режим – коли $50 < q < 70$ - «Близький до безпечного струму витоку в мережі»; третій режим – коли $q \ge 70$ - «Небезпечний струму витоку в мережі». За відсутності, чи появі незначного струму витоку, величина якого знаходиться в межах допустимих за першим режимом роботи, горить сигнальна лампочка HL1, що сигналізує обслуговуючому персоналу про «Безпечний рівень струму витоку в мережі». Якщо ж струм витоку в мережі починає зростати, але залишається в певних межах, тобто не досягає граничної межі і знаходиться в межах $50 < q < 70$, то загорається сигнальна лампочка HL2. При перевищенні граничної межі величини струму витоку загорається сигнальна лампочка HL3, при цьому розмикається контакти аналізатора, що ввімкнений у коло котушки електромагнітного пускача КМ1, силові контакти якого КМ1.1 розмикають коло живлення Пристрій має функцію внутрішнього контролю за граничним струмом витоку, яка запускається натисканням кнопки «Тест».

Використання пристрою захисного вимикання додатково обладнаного блоком-аналізатором струму витоку, дозволить контролювати величину струму витоку попереджаючи та інформуючи обслуговуючий персонал про появу небезпечного значення струму витоку в системах електроживлення напругою 0,38 кВ електрообладнання установок для теплової обробки і сушіння зернової сировини.

Інформаційні джерела

1. Правила улаштування електроустановок [Текст] // МІНЕНЕРГОВУГІЛЛЯ УКРАЇНИ.- Київ, 2017. 619 с.

2. Viacheslav Gerasymenko. Mathematical Model Changing the Value of the Process of Leakage Current in 0.38 kV Networks / V. Kozyrskyi, N. Maiborodina, O. Kovalov // Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. – Cham: Springer

International Publishing, 2019. – P. 339 – 348. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_35

3. Герасименко В.П. Апаратно-програмна реалізація інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та прогнозування величини струму витоку електрообладнання тваринницького приміщення / В.П. Герасименко // «Енергетика і автоматика», №2 – 2020 – С. 77 – 85. DOI http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.02.077

4. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна [Текст]. // Затверджено наказ Міністерства соціальної політики України 20.09.2017 № 1504, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 жовтня 2017 р. за № 1288/31156.

5. Штепан Ф. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током / Ф. Штепан. – Прага, 2004. – 90с.

6. Пристрій аналізатор струму із захисним відключенням мережі Патент на корисну модель №73936. Козирський В.В., Герасименко В.П., Петренко А.В. публікація відомостей 10.10.2012, Бюл. №19.

УДК 629.029

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

д.т.н., проф. Герасимов С.В.[1], Гаценко Л.В.[2]
[1]*Харківський національний університет Повітряних Сил*
[2]*Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ*

В доповіді показано, що з ускладненням засобів водного транспорту для визначення їх технічного стану з метою недопущення аварій і поломок необхідно застосовувати автоматичні системи контролю та діагностування (АСКД). Тенденції розвитку техніки дозволяють відокремити три основних галузі застосування АСКД у системах технічного обслуговування складових блоків і частин засобів водного транспорту [1, 2]:

– для контролю недемонтованого обладнання у процесі функціонування засобів водного транспорту за допомогою бортових вбудованих АСКД;

– для контролю як недемонтованого, так й демонтованого дефектного обладнання у процесі виконання технічного обслуговування та ремонту із залученням спеціалізованих бригад з обслуговування та ремонту, який здійснюється за допомогою наземних комплексних (універсальних) АСКД;

– для контролю технічного стану окремих блоків або модулів на ремонтних підприємствах чи на заводах-розробниках.

Наведено, що відповідно до галузей застосування АСКД можливо розділити на наземні та бортові [3]. Розглянуті особливості наземних і бортових АСКД.

Показано, що бортові та наземні АСКД призначені для вирішення основних задач:

– контрою працездатності демонтованого обладнання засобів водного транспорту;

– пошуку місць відмов (несправностей) з точністю до змінної збіркової одиниці;

– вимірювального та допускового контролю параметрів у процесі проведення регулювання;

– виконання самоконтролю.

Наземні АСКД призначені, як правило, для вирішення різних задач контролю технічного стану засобів водного транспорту при проведенні заходів технічного обслуговування. Їх пропонується розробляти на основі застосування обчислювальної техніки та набору програм для здійснення різних видів контролю параметрів засобів водного транспорту. Комп’ютер (мікропроцесор) керує процесом вимірювання параметрів, оцінює їх результати, порівнює їх з встановленими допусками, а потім у потрібному вигляді друкує ці результати на папері з вказівкою, який обсяг регулювання або ремонту потрібно виконувати. Такий тип АСКД дає можливість значно скоротити час, який потрібно витратити на перевірку засобів водного транспорту.

Бортові АСКД пропонується створювати за декількома напрямками [4].

Перший з цих напрямків пов’язаний з розробкою бортових комплексних АСКД для великих (значна тоннажність) засобів водного транспорту. Особливістю такої системи є наявність комплексів контролю силового, радіоелектронного, енергетичного, механічного та іншого обладнання, яка може працювати в двох режимах: автоматичному (з безперервним контролем і необхідним інформуванням) та вибірковому ручному контролі (або діагностичному).

Другий напрямок пов'язаний зі створенням комплексних АСКД для невеликих засобів водного транспорту (невеликі катери, пороми тощо). У подібних АСКД вимірювання параметрів, порівняння їх значень з допустимими границями та винесення висновку про працездатність здійснюється за допомогою спеціальних схем порівняння, які вбудовуються безпосередньо в апаратуру підсистем, що контролюються. Граничні значення параметрів, що вимірюються, "закладаються" у вимірювальні схеми під час їх проектування та виготовлення. Роль обчислювальної техніки у подібних системах контролю зводиться до опитування у відповідній послідовності вбудованих схем контролю, що надають її результати оцінки працездатності, які отримані. За умов наявності відмови (несправності) видається на спеціальне табло світловий сигнал попередження.

Крім контролю під час функціонування (на маршруті руху) бортові АСКД можуть працювати також у складі наземних систем технічного обслуговування засобів водного транспорту. Такі АСКД в основному застосовуються на етапі підготовки до маршруту, при виникненні сумнівів у правильності роботи обладнання, а також у процесі проведення інших видів підготовки та виконання профілактичних робіт (проведення технічного обслуговування).

Інформаційні джерела

1. Богоім'я В. І., Тимощук О. М., Дакі О. А. Теоретичні основи синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2019, вип. 9, том 1. С.50-63
2. Богом'я В.І. Математична модель функціональних систем суднового обладнання / О.І. Стадник, О.О. Коваль, В.І. Богом'я. *Системи обробки інформації*. Х.: Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2015. вип. 1(126). С. 102-105.
3. Герасимов С. В., Шапран Ю. Є., Кірвас В. В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту. *Системи озброєння і військова техніка*, 2017. вип. 4 (52). С. 5 – 10
4. Герасимов С. В.. Постановка проблеми розробки оптимальної методики контролю параметрів технічних систем при експлуатації за станом. *Системи обробки інформації*, 2013. вип. 9 (116), С. 7 – 11

УДК 621.311

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СТАНУ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Георгаліна О.Р., канд. техн. н., доц.,
Аркатов Ю.М., канд. фіз.-мат. н., доц.,
Журавльова І.Б.
Військова академія (м. Одеса)

У керуванні режимами роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) широко застосовуються методи оптимізації, що базуються на *теорії нелінійного програмування*. Такі методи є основою рішення ключових задач електроенергетики , а саме – введення режиму роботи ЕЕС у допустиму область і оцінювання стану енергосистеми. Розвиток енергосистем призводить до ускладнення задач, що розглядаються, і їх розв'язування може не завжди задовольняти вимогам експлуатації. Розвиток і алгоритмізація методів оптимізації при створенні програмного забезпечення, призначеного для рішення електроенергетичних задач диспетчерського керування енергосистемою, спрямовані на підвищення якості і швидкості їх розв'язання.

Теорія і практика керування електроенергетичної системи тісно пов'язані із потребами неминучого змінення моделей ЕЕС та розвитку методів обробки її моделей. Зміни торкаються складності та масштабів електроенергетичної системи, її структури та елементів, моделей та методів техніко-економічного керування розвитком та режимами ЕЕС. Але і теорія нелінійного програмування теж розвивається. Інтенсивно змінюються принципи і прийоми алгоритмізації і програмування математичних методів. Практика керування ЕЕС потребує або регулярної модернізації існуючих інструментів, які реалізовано у вигляді програмно-обчислювальних комплексів, або впровадження нових таких комплексів, що відповідатимуть сучасним вимогам експлуатації. Через різні чинники далеко не всі програмно-обчислювальні комплекси, що наразі використовуються, оновлюються регулярно. Розробка нових інструментів повинна розпочинатися із вибору найбільш сучасних математичних теорій і методів.

Однією з головних задач оперативного диспетчерського керування енергосистемою є *оцінювання стану системи*. В результаті її розв'язання формується модель усталеного режиму, яка створює основу для виконання інших розрахунків, у тому числі і *вводу режиму роботи електроенергетичної системи у допустиму область.* Найчастіше модель усталеного режиму використовується для проведення імітаційних розрахунків, пов'язаних із перевіркою різних прогнозованих ситуацій; для оптимізації режимів; для контролю надійності та стійкості системи.

Математична модель електроенергетичної системи передбачає наявність багатьох обмежень на використовувані змінні, які обумовлені як фізичними обмеженнями застосовуваного устаткування і елементів мережі, так і технологічними особливостями експлуатації електричних мереж, що не допускають порушення надійності і стійкості у усталених режимах. В задачах оптимізації для отримання розв'язку у вигляді усталеного режиму в якості обмежень виступають балансові обмеження по вузлах і технологічні режимні обмеження, продиктовані вимогами експлуатації електричних режимів.

Постановка обох задач виконується у вигляді класичної нелінійної задачі мінімізації цільової функції при наявності ряду обмежень. Методи розв'язання розрізняються за типом реакції цільової функції. Методи, у яких ріст цільової функції починається вже за фактом порушення обмеження, відносяться до категорії *методів зовнішньої точки*. Методи, у яких цільова функція починає асимптотично зростати при наближенні до будь-якої з границь, називаються *методами внутрішньої точки*. Наявність режимних обмежень у вигляді нерівностей обумовлює вибір методу внутрішньої точки в якості основного методу розв'язання, тому що саме він дозволяє легко врахувати такі обмеження. Основною

перевагою методу є швидка збіжність навіть при наявності великого числа обмежень у вигляді нерівностей.

Урахування обмежень може призвести до необхідності змінювати доступні для регулювання параметри режиму, змінюючи вихідні значення, які зазвичай є оптимальними з точки зору безумовної оптимізації. Такі відхилення називають *керуючими впливами*. В загальному випадку для змінення вихідного режиму з метою урахування обмежень можна застосувати безліч можливих керуючих впливів. Для вибору найбільш прийнятного з них необхідно визначити *критерій оптимальності*. В якості критерію оптимальності може використовуватись сума модулів або квадратів модулів відхилень регульованих параметрів від своїх вихідних значень. Кожний керуючий вплив змінює цільову функцію з урахуванням своєї умовної вартості. Розв'язок задачі введення режиму роботи електроенергетичної системи у допустиму область забезпечує відпрацювання оптимальних керуючих впливів для отримання допустимого режиму, що відповідає мінімізації умовної вартості керуючих впливів, де критерій мінімуму визначається сумою функцій відхилень регульованих параметрів. Використання мінімуму суми зважених найменших квадратів відхилень значень керованих параметрів цільової функції є досить розповсюдженою постановкою задачі оптимізації, для розв'язування якої використовується метод зважених найменших квадратів. В задачах електроенергетики цей метод найбільш розповсюджений при розв'язанні задачі оцінювання стану енергосистеми.

Тим не менше, такі класичні способи формування цільової функції та її мінімізації не можуть у повній мірі врахувати специфіку енергосистем. Наприклад, для задачі вводу режиму роботи електроенергетичної системи у допустиму область, це вимога урахування дискретності доступних керуючих впливів, які зазвичай реалізуються у вигляді заданого обмеження навантаження або обмеження генерації. Для задачі оцінювання стану системи – це, головним чином, необхідність виявлення та зменшення впливу помилкових вимірювань на цільовій функції. Взагалі, багато проблем аналізу стану енергосистеми може бути прив'язано до розв'язання задач умовної та безумовної оптимізації, що розрізнятимуться за наявністю або відсутністю обмежень. Для реальних задач характерною є наявність обмежень, але ж методи безумовної оптимізації також є сенс розглядати, бо задачі умовної оптимізації або можуть бути зведені до задач без обмежень за допомогою спеціальних методів, або можна контролювати обмеження в процесі оптимізації.

Задача розрахунку оптимального режиму роботи енергосистеми полягає у знаходженні оптимальних значень всіх параметрів, що характеризують його допустимість і економічність, зокрема, активних та реактивних потужностей, напруги, теплових навантажень агрегатів, складу працюючих агрегатів, і т. н. Отже, необхідна комплексна оптимізація режиму за всіма змінними. Спроби розв'язати цю задачу одночасно шляхом застосування єдиного алгоритму призводить до значних труднощів, пов'язаних із великим розміром задачі, величезним обсягом вихідної інформації, що є необхідним для її розв'язання, та необхідністю використання різноманітних технік розрахунку в рамках однієї задачі.

Для урахування специфіки функціонування електроенергетичної системи використовуються різні засоби: математичні моделі енергосистем, зокрема такі, що розроблені в теорії розрахунку усталених режимів в електричний мережі; методи оптимізації і оцінювання стану системи; методи системного аналізу; теорії оптимального управління; методи комплексної багатопараметричної оптимізації математичного апарату нелінійного програмування. При реалізації процедур оптимізації використовуються відповідні програмні комплекси. Адекватність використовуваної математичної моделі має підтверджуватися відповідністю реальним принципам функціонування електроенергетичної системи та систем вимірювань, а також узгодженістю з результатами, отриманими при використанні різних програмних комплексів.

1. Carpentier J., Merlin A. Optimization methods in planning and operation. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems.* 1982. Vol.4., no.1, Pp. 11-18.

2. Melvin Jeter. Mathematical Programming. An Introduction to Optimization. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2020. 360 p.

УДК 629.341

ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ВІДЦЕНТРОВОЇ ОЧИСТКИ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ОЛИВИ

д.т.н., проф. Гнатов А.В., д.т.н., проф. Аргун Щ.В., асп.Тарасов К.С., к.т.н., доц. Нечаус А.О. к.т.н., доц. Тарасова В.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації

Використання відпрацьованої трансформаторної оливи (ТО) дозволить вирішити одразу ж декілька питань:

– можливо буде знизити об’єм первинного виробництва ТО;

– відпадає питання утилізації відпрацьованої оливи, що дозволить вирішити декілька екологічних проблем [1 - 3];

– зрештою, все це призведе до зниження вартості оливи, що заливається в трансформатори, тобто до зниження експлуатаційної вартості трансформаторних підстанцій.

В теперішній час для очищення відпрацьованої ТО використовують декілька методів [4 - 6]:

– очистка за допомогою нафтових сепараторів з робочою частотою 50 Гц;

– відстоювання оливи з наступним зливом верхнього (очищеного) шару;

– очищення оливи з наступним зливом верхнього (очищеного) шару і проведення хімічних реакцій по відновлюванню його властивостей.

Кожен з методів використовується на практиці і має свої переваги та недоліки. Якщо для поліпшення електричних властивостей трансформаторної оливи і кращої її очистки використовують спеціальні хімічні реагенти, то це ще більше збільшує час очистки і різко підвищує вартість одного літру ТО.

В основному ТО очищують за допомогою відстоювання і фільтрації. Але цей метод має свої недоліки: великі об’єми та розміри пристроїв, що використовуються; незручність експлуатації; довгий час очищення; мала продуктивність; невисока якість очищення.

Одним з перспективних способів очистки в теперішній час є нафтові сепаратори [7 - 13].

При використанні відцентрових сепараторів збільшується продуктивність, якість очищення, зручність експлуатації. Відцентрова очистка за допомогою сепаратора дозволяє безперервно робити викид відходів, що дуже зручно, так як немає необхідності в розбиранні чи зупинці сепаратора. Найбільший вплив на працездатність і простій сепараторів робить їх привід, що живиться від мережі змінного струму з напругою 220/380 В, частотою 50 Гц. Структурна схема такого привода складається з: редуктора, пускової фрикційної муфти, асинхронного двигуна.

Основним спрямуванням роботи є дослідження та розробка ефективної установки для відцентрового очищення трансформаторної оливи з системою керування приводом, що забезпечує автоматизацію режиму запуску і гальмування приводом.

Структурна схема силової частини системи очистки ТО приведена на рис. 1.

Основними елементами схеми системи очистки (рис. 1) є:

а) мостовий випрямляч, що регулюється трифазного змінного струму напругою 380 В частотою f = 50Гц;

б) трифазний інвертор напруги (струму), що забезпечує перетворення постійної напруги на виході трансформаторно-випрямного блоку, що керується в трифазний змінний струм частотою f = 400 Гц.

Вихід інвертора з'єднано з обмоткою статора пускового і робочого двигуна сепаратора відцентрової очистки ТО. Детально основні частини цієї схеми розглянуті далі.

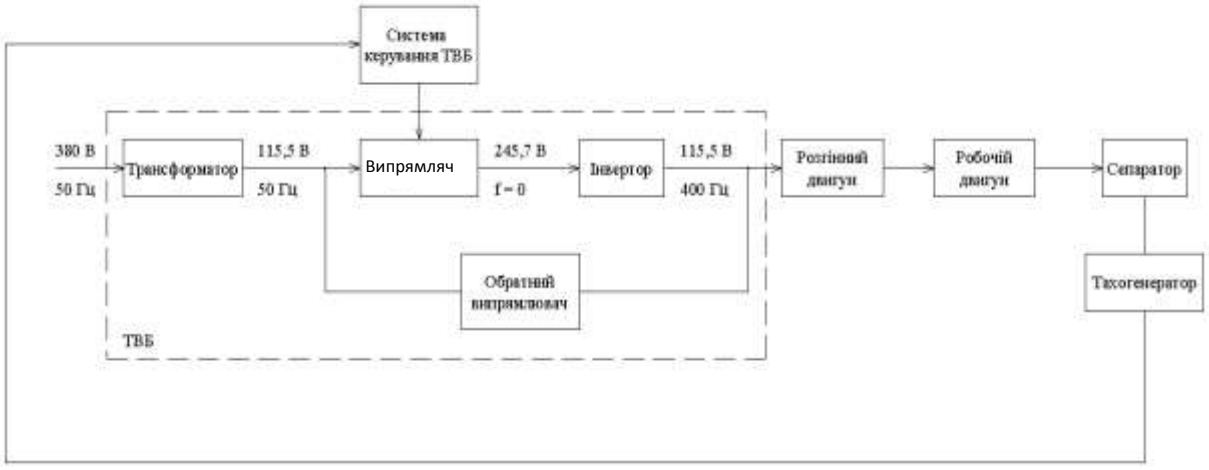


Рисунок 1 – Структурна схема силової частини системи очистки ТО

Повна схема випрямляча, що регулюється зображена на рис. 2. В цій схемі система керування забезпечує генерування імпульсів струму керування тиристорів, а також плавну зміну кута затримки відкриття вентилів на кут α, що забезпечує зміну середнього значення випрямленої напруги U_d.

При куті затримки α=0, затримки у відкриванні тиристорів нема, тобто тиристори відкриваються з початком росту синусоїди напруги живлення U = 380 В. В цьому випадку вихідна напруга $U_{НЕ}$ на виході регулятора максимальна і дорівнює вхідній напрузі $U_{вх}$=380 В. Цей режим показує графік вихідної напруги $U_{НЕ}$ при куті затримки α=0. При значеннях кута затримки відкривання тиристорів, які лежать в межах $0 < \alpha < 180^o$, вони відкриті на протязі кута $\beta<180^o$. Виходячи з цього середнє значення вихідної напруги регулятора зменшиться. Форма вихідної напруги не є синусоїдальною, а являє собою відрізки синусоїди, як зображено на графіку вихідної напруги регулятора при куті затримки $\alpha\neq0$.

При куті затримки відкривання тиристорів рівному $\alpha=180^o$, тиристори не відкриваються, виходячи з цього вихідна напруга регулятора $U_{НЕ}$=0.

Залежність середнього значення вихідної напруги $U_{НЕ}$ від кута α знаходиться за формулою:

$$U_{НЕ} = U_{сро} \cdot \frac{1+\cos\alpha}{2}, \qquad (1)$$

де $U_{сро} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{вх}}{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380}{3{,}14} = 342\text{В}$ – максимальне значення напруги при куті α=0 та $U_{вх}$=380В.

В табл. 1 наведено залежність напруги нелінійного елементу $U_{НЕ}$ від кута α.

Таблиця 1 - Залежність напруги нелінійного елементу $U_{НЕ}$ від кута α

α °	0	30	60	90	120	150	180
$U_{НЕ}$, В	342	319	257	171	86	23	0

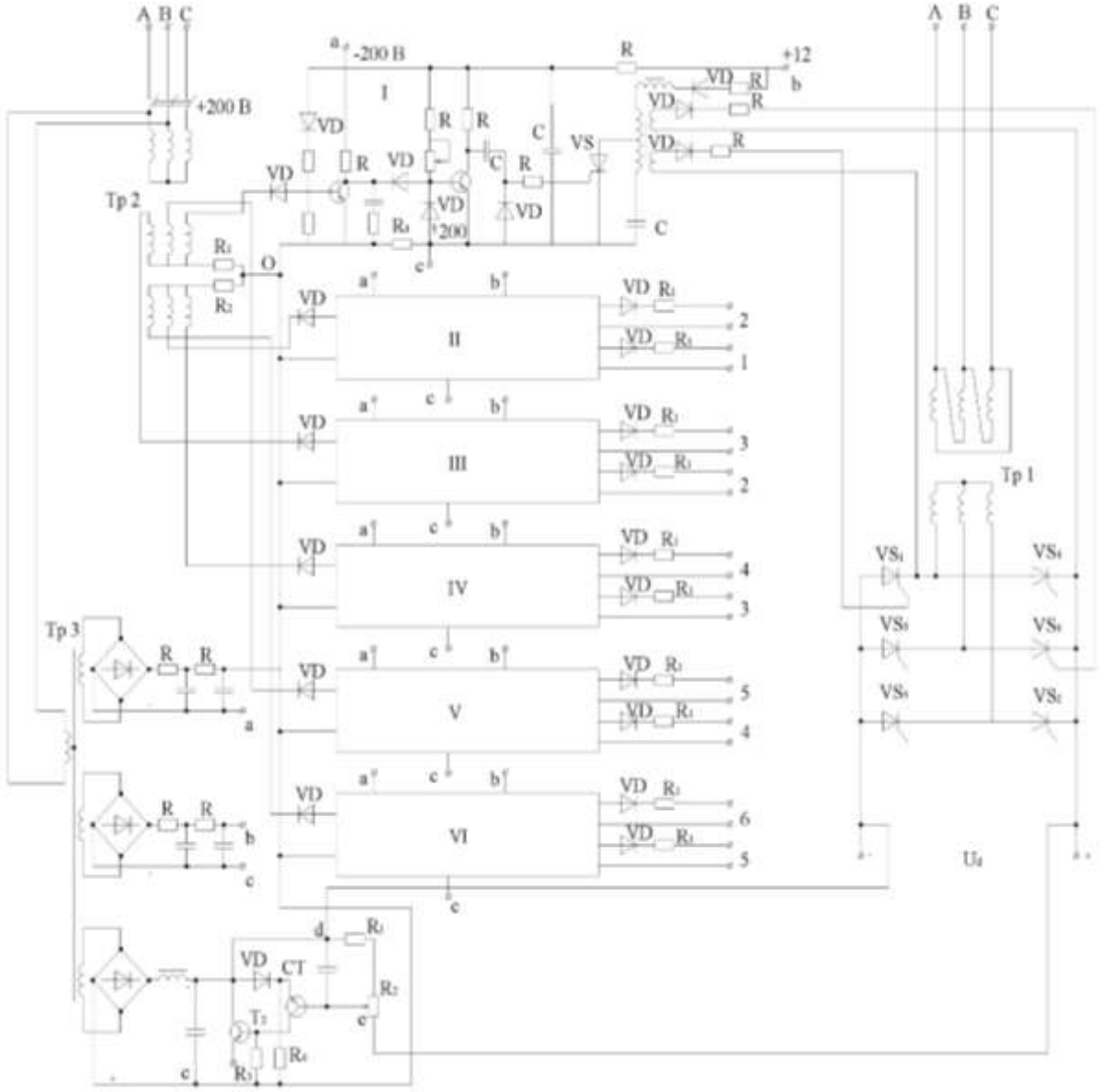


Рисунок 2 – Електрична схема випрямляча, що регулюється

В теперішній час є різні схеми, що дозволяють зробити необхідні перетворення, наприклад. схема, яка приведена в [12].

Проведені дослідження дозволяють сформувати наступні висновки:

1. Розроблена структурна схема силової частини установки очистки трансформаторної оливи.

2. Розглянуто схеми та принцип роботи двох її складових частин: випрямляча, що регулюється і інвертора.

3. За результатами розрахунків та аналізу літератури [4 -10] можна зробити висновок про доцільність застосування даної установки для відцентрової очистки трансформаторного оливи.

1. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Дзюбенко О. А., Тарасова В. В., Левенець А. О., Пілявець О. О. Енергозбереження в системах електропостачання. Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. Х.: ХНАДУ, 2018. № 13. С. 80-89.

2. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 2017. №14(4). P. 4649-4664. doi: https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366.
3. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Ульянец О. А. Енергозберігаючі технології на транспорті. Наукові нотатки, 2016. №. 55. С. 80-86.
4. Гладков В. С., Гученко О. А., Шестеріков О. В. Енергозберігаюче електрофізичне очищення трансформаторного масла. Х.: Вісник ХПІ, 2009. С. 26 – 30.
5. Dmitriev A., Zinurov V., Vinh D., & Dmitrieva O. Removal of moisture from contaminated transformer oil in rectangular separators. In E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. Vol. 110. P. 01026.
6. Камаева Г. Ф. Очистка трансформаторного масла. Образование, наука и технологии: проблемы и перспективы, 2019. С. 183-184.
7. Тарасова В.В., Суховій С.А., Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Використання асинхронного двигуна, як об'єкта автоматичного керування. Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. Х.: ХНАДУ, 2017. № 12. С. 166-174.
8. Hnatov A., Arhun S., Dziubenko O., Ponikarovska S. Choice of Electric Engines Connection Circuits in Electric Machine Unit of Electric Power Generation Device. Majlesi Journal of Electrical Engineering, 2018. 12(4), P. 87-95. http://mjee.iaumajlesi.ac.ir/index/index.php/ee/article/view/2760
9. Гнатов А.В., Аргун Щ. В., Дзюбенко О.А. Понікоровська С.В. Вибір схеми підключення електродвигунів у електромашинному вузлі пристрою генерації електричної енергії. Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. Х.: ХНАДУ, 2018. № 13. С. 13-21.
10. Бакуменко В.Б., Тарасова В.В., Ручка О.О., Гнатов А.В., Аргун Щ. В., Тарасов К.С. Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна при наявності в ній мінімального моменту. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. Х.: ХНАДУ, 2019. Вип. 15. С. 17-27.
11. Arhun S., Migal V., Hnatov A., Hnatova H., & Ulyanets O.. System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 2020. Vol. 7(26). DOI:10.4108/eai.13-7-2018.162733.
12. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Трунова І. С. Тео-рія електроприводу транспортних засобів: пі-дручник. Х.: ХНАДУ, 2016. 292 с.
13. Hnatov A., Arhun S., Tarasov K., Hnatova H., Mygal V., Patļins A. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). (Riga, 7-9 Oct. 2019). Riga, Latvia. – P. 1-6. DOI: 10.1109 / RTUCON48111.2019.8982352

УДК 623.437

ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

к.п.н., доцент, Горліченко М.Г, к.г.н., доцент, Верлан В.А.
Військова академія (м. Одеса), Україна

Традиційні види автомобільного палива мають два великих принципових недоліки. По-перше, вони виділяють парникові та отруйні гази і сприяють дуже шкідливі зміні клімату. По-друге, чималі ціни на них постійно зростають. Середня ціна на газ та рідкі нафтопродукти за останні роки різко зросла майже в тричі [1].

Вирішення енергетичної проблеми полягає у переведенні існуючих технологій на альтернативні відновлювальні види палива, а також створенні та впровадженні нових екологічно безпечних та енергоефективних технологій, тому розглядаються, наприклад, різні варіанти виготовлення біопалив з урахуванням природних, економічних та екологічних задач.

В Україні особливо актуальним стає питання використання альтернативних джерел енергії в транспортній сфері, зокрема для автомобільної техніки військового призначення в умовах проведення бойових дій на сході країни, коли постійно зростають ціни на пальне і виникає енергетична залежність від інших країн-виробників органічних палив. В той же час, нажаль, не спостерігається помітного збільшення обсягу енергоносіїв, отриманих з відновлювальних джерел енергії.

Реальні системи постачання та використання енергії завжди є дисипативними. Чим менше втрат енергії, тим досконаліша машина. Ступінь досконалості машини характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД). Потреба у створенні нових двигунів з максимально можливим ККД для автомобільної техніки військових зростає з кожним днем

Між тим, існує велика, що до кінця не уточнена кількість альтернативних (принципово відрізних від традиційних автомобільних палив, наприклад, електрохімічної, фотоелектричної, вітрової) джерел енергії, яку в провідних країнах світу намагаються практично задіяти на основі наукових досліджень та розробки новітніх енергетичних технологій. Деякі успіхи в цьому дуже складному та напруженому пошуку вже досягнуті [2].

Поруч з технологіями рекуперації енергії (тобто такими,що можна використати на існуючий техніці шляхом її удосконалення) стоять технології підвищення ефективності дії існуючих приладів та двигунів автомобільної техніки. На першому місці тут стоїть гарантування правильної організації її експлуатації та ремонту. Наприклад, погано налагоджені чи пошкоджені прилади та устрої автомобілю можуть збільшити його споживання пального більше ніж удвічі. Навпаки, застосування в стандартних технологіях обслуговування автомобільної техніки різноманітних технологічних інновацій, за передовим досвідом, дозволяє, «не відходячи від каси», більше ніж вдвічі зменшити норматив споживання пального.

Окремо слід виділити альтернативні енергетичні технології, які пов’язані з принциповими змінами в конструкції та принципах дії автомобільної техніки. Наприклад, такими є фотоелектричні джерела енергії, які сьогодні, в перехідний період, можуть використовуватися на додаток до традиційних технологій а в майбутньому стануть самодостатніми енергетичними технологіями автомобільної техніки. Ще одним з різновидів «безкоштовної» енергії є енергія вітру. Цікаво було б, щоб енергія аеродинамічного опору рухові автомобілю також високоефективно витрачалася не на його гальмування, а на накопичення електромагнітної енергії з наступним перетворенням на кінетичну енергію руху автомобілю. Все це може дати старт новій ері автомобілів тому що вони зможуть самостійно заряджатися електричною енергією від сонячного опромінювання та дії вітру. Нещодавно в інформаційному просторі з’явилися новини про те, що французька компанія Venturi, яка

займається розробкою екологічно чистого автотранспорту, представила на фестивалі WIRED NextFest два нових автомобілі, що працюють на енергії сонця і вітру.

Тут слід зазначити, що електрична енергія, у порівнянні з іншими видами енергії, найкращим чином може бути накопичена, передана та перетворена в механічну енергію. У наш час електромобіль не такий популярний, але реально існуючий перспективний проект багатьох відомих автомобільних концернів. Електродвигун з'явився набагато раніше, ніж двигун внутрішнього згоряння. Багато новітніх наукових та технологічних досягнень дають підстави вважати що найближче майбутнє автомобільної техніки пов'язано з саме з електромобілями. Сьогодні «електричні» автомобілі випускаються серійно. Причому можуть бути повністю «електричними» такі як Tesla, або бути гібридами, які здатні працювати як на органічному паливі так і з використанням електрики. Такі гібриди взагалі присутні в модельному ряду більшості крупних автомобільних виробників. Гібридизація автомобільного приводу пов'язана з тим, що сонячні батареї в даний час не можуть бути використані для повного електроприводу машини через недостатність потужності. Але вони можуть бути використані для суттєвої економії органічного пального і навіть для повного електроприводу машини на окремих ділянках руху.

Ще одним з важливих напрямків електрифікації автомобільних приводів є використання електричних батарей на основі паливних елементів. Наприкінці минулого року Toyota оголосила про запуск в серійне виробництво моделі «Mirai», яка працює виключно на водні. Звичайно ж, такому автомобілю потрібні спеціальні заправні станції, причому сам процес заправки займає всього кілька хвилин. А на повному баку автомобіль з паливними елементами здатний проїхати 650 км. Енергія для живлення двигуна такого автомобілю виробляється за рахунок реакції окислення водню усередині електрохімічного генератора, а замість шкідливих викидів він виробляє чисту воду. Ціна новинки в Японії складе близько $ 60 тис. Для інтенсифікації розвитку даної технології уряд країни оголосив, що всі покупці екологічних седанів отримають від держави субсидії в розмірі $ 17 тис.

Цікавим і перспективним виглядає напрямок бортової генерації електричної енергії з використанням рідкого азоту. Як і водень, азот знаходиться в достатку в нашій атмосфері. Крім того, живлення електроприводу з використанням рідкого азоту дає набагато менше шкідливих викидів, ніж бензин чи дизельне паливо. Але, в той час як рідкий водень використовується для вироблення електричної енергії в паливних елементах електромобілів, технології що базуються на використанні рідкого азоту вимагають зовсім іншого за конструкцією та принципом дії двигуна. Типовий бензиновий або дизельний двигун використовує горіння, щоб змусити рухатися поршні. Двигун на рідкому азоті використовує розширення азоту для приведення в дію газових турбін.

Деякі вчені пропонують використовувати для автомобілів стисле або рідке повітря [3]. У пневмомобілі енергія запасається шляхом нагнітання стисненого повітря в балони, або отриманням такого повітря через його випаровування з рідкого стану . Через систему розподілу повітря високого тиску потрапляє в поршневий або турбінний пневмодвигун, що приводить автомобіль в рух. Існуючі на сьогоднішній день пневмомобілі — це або експериментальні зразки, або спеціальні транспортні засоби для експлуатації в умовах, в яких використання інших видів двигунів утруднено: наприклад в цехах з великою пожежною та вибухонебезпечністю. На даний момент кілька компаній, наприклад Tata motors, Multicar та інші, займаються дослідженням і виробництвом перспективних прототипів пневмомобілів.

Створенням палива для автомобілів з біомаси активно займаються практично у всьому світі (у Фінляндії потреби в пальному на 20% задовольняються за рахунок біопалива, а лідирує в ЄС щодо використання біомаси в якості джерела енергії Німеччина) [4]. На наш погляд дуже цікавою є ідея використання для автомобілів спирту - біоетанолу. Це пов'язано з тим, що така технологія найбільш споріднена з традиційними технологіями двигунів внутрішнього згорання. По суті біоетанол це звичайний етиловий спирт. Приставку «біо» він отримав тому, що виробляється з рослинної сировини: кукурудзи, цукрового очерету,

цукрових буряків, картоплі, батату або ячменю. На «справжньому» етанолі можуть працювати тільки так званні машини «Flex-Fuel» (автомобіль з багатопаливним двигуном). Ці автомобілі також можуть працювати на звичайному бензині (невелика добавка етанолу все ж таки є потрібною) або на довільній суміші того й іншого. У зв'язку з безперервним зростанням цін на нафту все активніше використовують біодизельне пальне, яке одержують з кукурудзи, сої, бавовни, макухи, відходів оливкової олії. В японському Токійському технологічному інституті запатентований метод перетворення рослинної олії в біодизельне пальне з використанням дешевих каталізаторів (тверда кислота зі звичайного цукру).

Основні тенденції розвитку енергетичних технологій в найближчий перспективі можна спостерігати за співвідношеннями собівартості їх генерацій [5] на прикладі Сполучених Штатів Америки на 2019 рік (рис.1).

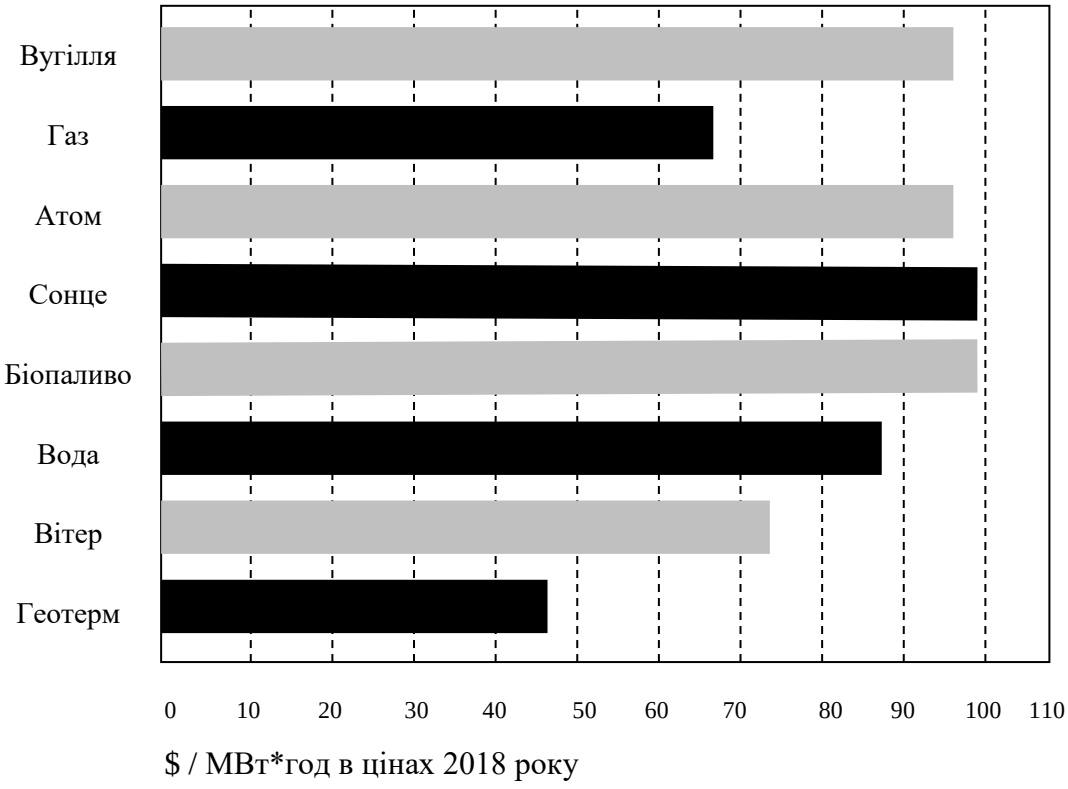


Рисунок 1. Собівартість генерації енергії в США на 2019 рік.

Нині в Україні виробництво біодизеля в промислових масштабах практично відсутнє, за винятком двох заводів потужністю до 10 тисяч тон. Тому виникає потреба у збільшенні виробництва біопалива, як одного з альтернативних джерел енергії для важкої військової техніки. В Україні біодизель є одним з видів палива, який виробляється з рослинної рапсової олії. Будь яка військова техніка з дизельним двигуном може працювати на ньому. Але якщо виготовлення палива відбувається з порушенням хімічної технології, такий продукт може бути шкідливим для двигуна автомобіля.

Для військових спеціалістів автомобільного транспорту треба знати основні вимоги якості дизельного пального та прийоми виготовлення біодизелю в похідних умовах за дешевою та чистою схемою, але одержаний продукт повинен відповідати стандартам якості і бути рентабельним. Окрім того є негативні фактори використання дизельних двигунів, які пов'язані з енергетичною безпекою, забрудненням навколишнього середовища і економічним спадом. Двигун внутрішнього згорання є активним, постійно діючим механізмом хімічного, механічного, теплового та інших видів шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Розвиток індустрії альтернативних джерел енергії в транспортній сфері України дасть змогу: підвищити рівень енергетичної незалежності держави; оптимізувати структуру паливно-енергетичного балансу України; підвищити рівень конкурентної спроможності національної економіки; зменшити викиди забруднюючий речовин в атмосферу; створити робочі місця в енергетиці та інших галузях промисловості.

З огляду на викладене, можна зробити висновок, що рушійними факторами до збільшення виробництва біопалива, як одного з альтернативних джерел енергії в транспортній сфері, є загрози, які пов'язані з енергетичною безпекою, забрудненням навколишнього середовища і економічним спадом.

Таким чином, поширення виробництва біопалива в Україні може сприяти досягненню кількох цілей: збільшенню споживання екологічно чистого палива, особливо на військовому транспорті; зниженню залежності від імпортованої нафти; покращенню екологічної ситуації в державі шляхом зменшення обсягів викидів шкідливих речовин, що утворюються під час згорання вуглеводневого органічного палива в атмосферу; розвиток національної економіки.

Сьогодні великі надії в Україні покладаються на альтернативні джерела енергії, перевага яких полягає в їх відновлювальних властивостях і в тому, що вони є екологічно чистими джерелами енергії. Використання альтернативних джерел енергії є однією з найбільш важливих складових заходів енергозбереження, які повинні проводитися на державному рівні. Тому дуже важливо використати всі можливості та особливості альтернативних джерел енергії на стаціонарних та пересувних об'єктах Збройних Сил України.

Методи добування електроенергії з енергії хвиль, сонця та вітру є досить добре розробленими, хоча теорія використовуваних явищ не завжди дає точні кількісні результати. Проблема полягає в низькій ефективності перетворення енергії, а також високій початковій вартості електростанцій.

Ми розуміємо, що неможливо швидко і повністю замінити енергетичні технології що базуються на використанні органічних палив, наприклад біопаливом. На це є потрібним певний час який можна суттєво скоротити за рахунок проведення подальших досліджень. Але вже зараз можна бачити основні переваги використання біодизельного пального: у вихлопі менше токсичних відходів, сажі та викидів CO і CO_2. Крім цього воно дешевше нафтопродуктів. З вичерпанням традиційних джерел енергії та розвитком альтернативних технологій, використання альтернативних джерел енергії має стати ще більш економічно вигідним.

1. Как менялась цена бензина за годы независимости? [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.autocentre.ua/news/sobytie/20-let-spustya-skolko-stoil-benzin-togda-i-sejchas-349395.html.
2. Касьяненко, В.О. Актуальність використання альтернативних джерел енергії в транспортній сфері , // Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції імені проф. Балацького О. Ф., м. Суми, 27.05.2015 р. / За заг. ред. О.В. Прокопенко,М.М. Петрушенка. – Суми: СумДУ, 2015. – С. 105-106.
3. Пневматичний міський автомобіль Tata AIRPOD [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://vikna.if.ua/cikavo/41841/view
4. Поїдемо на біопаливі// Екологія і життя, 2006, -№5(54), С. 63
5. Нетрадиційні джерела енергії: основні види [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://eenergy.com.ua/baza-znan/netradytsijni-dzherela-energiyi.

УДК 62-791.2

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

к.т.н., доц. Граняк В, Ф.
Вінницький національний аграрний університет

На сьогоднішній день потужні електродвигуни застосовують у різних технологічних процесах як промислового виробництва, так і сільського господарства. Своє поширення вони набули і у якості генеруючого обладнання, що є складовою частиною електричних станцій, як тих, що використовують традиційні джерела енергії (ТЕС, АЕС тощо), так і альтернативних (ГЕС, ВЕС тощо), де одинична потужність окремої електричної машини, зазвичай, є вищою ніж у інших галузях застосування.

До переліку технічних параметрів, що контролюються при проведенні планових технічних оглядів обертових електричних машин великої потужності відносяться [1]:

- механічні параметри (характеризують стан чи положення технологічної арматури та допоміжного устаткування, рівень механічного зношення вузлів та опорних конструкцій);
- електричні параметри (електротехнічний стан обмотки та ізоляції).

Для вирішення поставленої задачі діагностування під час планових ремонтів пропонується використати комбінований метод, що ґрунтується на почерговій подачі на обмотки сигналів постійної та змінної напруги, а також імпульсної напруги, що виникає в наслідок розряду ємності. Постійний струм, що виникає при прикладанні до обмотки постійної напруги, є обернено пропорційним до загального активного опору ізоляції у вказаному колі. Струм розряду попередньо зарядженого конденсатора є обернено пропорційним до перехідного опору в місці виникнення однофазних замикань на землю (корпус) [7]. Прикладання змінної напруги низької частоти з наступним вимірюванням модуля струму дає змогу отримати значення комплексного опору ізоляції в досліджуваному колі. Отримані дані, як аргументи системи рівнянь, дадуть змогу не тільки оцінити поточний стан ізоляції, а й локалізувати можливі місця дефектів [8].

Комбіноване використання зазначених підходів забезпечить охоплення ізоляції обмотки електричної машини. Ще однією важливою перевагою запропонованого методу діагностування є те, що для підключення діагностичної системи не потрібно вносити зміни в конструкцію електричної машини чи іншого обладнання. Підключення можливо здійснити безпосередньо до штатних затискачів обмоток.

За відсутності пошкоджень ізоляції в колі опір між фазами має достатньо велике значення. У випадку зниження опору ізоляції однієї з фаз, або виникнення однофазного замикання на землю (корпус) для струму виникає додатковий шлях протікання через еквівалентний опір $R_{e\,\text{пос}}$, що включає в себе еквівалентний опір ізоляції відносно землі (корпусу) $R_{із}$ та перехідний опір в місці замикання на землю (корпус) R_n. Це призводить до збільшення постійного струму, оскільки у цьому випадку ємнісна складова опору, не впливатиме на величину струму. Тобто:

$$R_{e пос} = R_{із} + R_n. \quad (1)$$

Відповідно струм при прикладанні постійної напруги може бути розрахований:

$$I_{пос} = \frac{U_{пос}}{R_{e пос}}, \quad (2)$$

де $U_{пос}$ – величина постійної напруги, що прикладається до кола.

При прикладанні до цього ж кола змінного струму низької частоти для даного виду дефекту при відносно незначному зменшенні опору ізоляції значення струму суттєво не зросте, оскільки визначальним у колі буде саме реактивна складова опору. Тобто:

$$\underline{Z}_{енч} = R_{епос} + j(\omega_{нч} L_e - \frac{1}{\omega_{нч} C_e}), \quad (3)$$

де $\omega_{нч}$ – циклічна частота змінної напруги низької частоти; L_e – еквівалентна індуктивність досліджуваного кола; C_e – еквівалентна ємність досліджуваного кола. Звідси:

$$I_{нч} = \frac{U_{нч}}{\left|\underline{Z}_{енч}\right|}, \quad (4)$$

де $U_{нч}$ – діюче значення змінної напруги низької частоти, що прикладається до кола.

Аналізуючи (3) та (4) не важко помітити, що залежно від типу кола (обмотка-обмотка, обмотка-земля тощо) та місця виникнення дефекту ізоляції співвідношення між еквівалентною індуктивністю та ємністю можуть бути різними, а модуль діючого значення опору при окремих дефектах може не виходити за межі діапазону допустимих значень. Тож, для отримання повної інформації про співвідношення індуктивної та ємнісної складової опору проводиться вимірювання діючого значення струму при прикладанні імпульсної напруги. У цьому випадку:

$$\omega_i >> \omega_{нч}, \quad (5)$$

де $\omega_{вч}$ – еквівалентна циклічна частота імпульсної напруги, що визначається параметрами R-C ланки кола.

Для даного типу напруги еквівалентний опір та еквівалентне діюче значення струму може бути визначене за формулами:

$$\underline{Z}_{e\,i} = R_{епос} + j(\omega_i L_e - \frac{1}{\omega_i C_e}), \quad (6)$$

$$I_i = \frac{U_i}{\left|\underline{Z}_{e\,i}\right|}, \quad (7)$$

де $U_{нч}$ – еквівалентне діюче значення імпульсної змінної напруги, що прикладається до кола.

Як випливає з аналізу (6) та (7), при нормальному стані ізоляції значення імпульсного струму буде мінімальним, оскільки при значному зростанні циклічної частоти індуктивний опір електричного кола матиме достатньо велике значення. Тоді як при наявності суттєвої ємнісної складової опору можливе різке зростання еквівалентного діючого значення струму.

Комплексна рівнянь (1-4) та (6-7) при достатній чутливості засобів вимірювання дозволяє з високою точністю визначити технічні параметри ізоляції вузлів електричної машини, а, отже, забезпечує можливість виявлення повного спектру дефектів ізоляції, у тому числі і на ранніх етапах їх розвитку.

На основі сказаного вище можна сформулювати запропонований метод прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини. Блок схема запропонованого методу наведена представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Блок схема методу прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини

Для реалізації запропонованого методу було розроблено структурну схему засобу вимірювального контролю, що наведена на рис. 2.

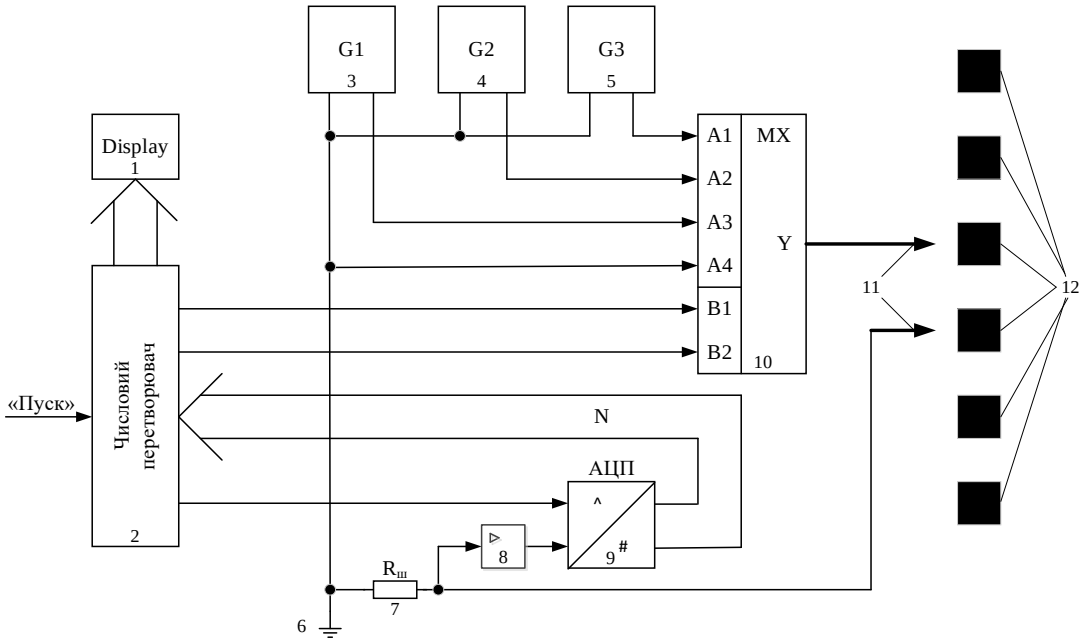


Рисунок 2 – Структурну схему засобу вимірювального контролю, що реалізує методу прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини: 1 – дисплей; 2 – числовий перетворювач (мікроконтролер); 3-5 – генератори, відповідно, постійної змінної низькочастотної на імпульсної напруги; 6 – спільна точка (заземлення); 7 – шунт; 8 – нормуючий підсилювач; 9 – аналого-числовий перетворювач; 10 – мультиплексор; 11 – затискача засобу вимірювання; 12 – штатні затискачі електричної машини.

1. Яцун М. А., Яцун А. М. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів. Навчальний посібник: Львів: Львівська політехніка. 2010. 228 с.
2. Кутін В. М., Шпачук О. О. Удосконалення засобів захисту від однофазних замикань на землю в обмотці статора синхронного генератора *Проблеми аварійності та діагностика в електромеханічних системах та електричних машинах. Частина 2*. №2/2013(22). 2013. С.393-396.
3. Граняк В. Ф.. Кухарчук В. В. Термічний метод та засіб контролю стану міжвиткової ізоляції обмоток збудження гідроагрегатів. *Вісник інженерної академії України*. №2. 2016. С.110-115.

УДК 621.311

ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ 35кВ ПРИ ВПРОВАДЖЕНІ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ 10кВ

к.т.н., доц. Данильченко Д.О., Кузнецов Д.С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, м. Харків

В останні роки в Україні набирає актуальність питання засобів енергозбереження та зменшення технологічних втрат в системах електропостачання. Якщо провести аналіз інвестиційних програм Обленерго України, то в порівнянні з минулими роками, зараз майже у всіх них можна знайти пункт, щодо встановлення компенсуючих пристроях (КП) на своїх підстанціях (ПС). Це свідчить, що КП до сих пір являються одним із найголовніших засобів зменшення витрат на втрати електроенергії в енергосистемах. Розглянемо один із енерговузлів який планують в майбутньому оснастити КП.

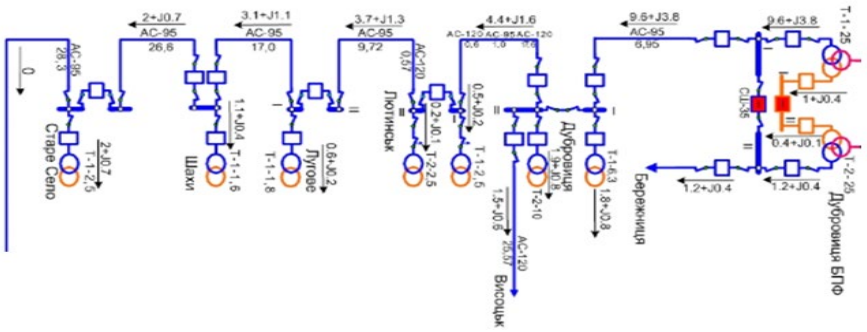


Рисунок 1 – Діючий енерговузол 35кВ одного з Обленерго України

Для оснащення КП-10кВ обираємо тупикову ПС «Старе Село», так як в даному випадку основне навантаження по живлячої лінії йде саме на ПС «Старе Село». Попередньо потужність КП обирається згідно з потокорозподілом. Приймається КП потужністю 700кВАр для оснащення ПС «Старе Село», на даному етапі розрахунків не будемо вдаватися в систему керування даної КП.

Розрахуємо параметри нормального режиму роботи енерговузла, а саме струм та напругу на ділянках від ПС «Дубровиця БПФ» до ПС «Старе Село» до впровадження КП на ПС «Старе Село».

Таблиця 1 – Параметри енерговузла 35кВ

Назва ділянки	Параметри					
	До впровадження КУ			Після впровадження КУ		
	I, А	U, кВ	ΔU, кВ	I, А	U, кВ	ΔU, кВ
«Дубровиця БПФ – Дубровиця»	170,3	34,43	0,564	166,4	34,48	0,511
«Дубровиця – Лютинськ»	78,5	33,94	0,489	75,1	34,15	0,33
«Лютинськ – Лугове»	66,7	33,69	0,252	63,3	33,98	0,173
«Лугове – Шахи»	56,3	33,39	0,294	53,1	33,82	0,163
«Шахи – Старе Село»	36,6	33,13	0,262	34,1	33,76	0,057
Сума			1,861			1,234

Отже, як видно з розрахунків зниження падіння напруги при впровадженні КП 700кВАр становить 0,627кВ, а сумарне зниження протікання струму по всіх ділянках лінії становить 16,3А.

УДК 621.311

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ЗАПИЛЕННОСТІ ПОВЕРХНІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

к.т.н., доц. Данильченко Д.О., Потривай А.Е.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м.Харків

До впливаючих факторів, що рідко враховано при моделюванні роботи фотоелектричної системи (ФЕС) відносяться: охолодження фотоелектричних модулів (ФЕМ) в залежності від швидкості вітру, урахування моделі добової зміни температури повітря, урахування впливу запиленості ФЕМ на продуктивність системи.

Метою нашої роботи, було створення математичної моделі, що дасть змогу описувати зміну продуктивності ФЕС в залежності від кількості накопичуваного на поверхні ФЕМ пилу, а також урахувати вплив опадів на забрудненість поверхонь, тощо.

В літературних джерелах описані спостереження за впливом за продуктивністю ФЕС при різній запиленості поверхонь. Вплив виявився доволі значним: для першого року експлуатації – 6-9%, для другого – 12-18%, для третього – 18-27%.

Визначення кількості осідаючого пилу базується на спостереженні в процесі експлуатації сонячної електростанції, в результаті якого, було припущено, що зростання запиленості відбувається за повільно зростаючою експонентою:

$$N_{dust}(t) = N_0 e^{rt} \tag{1}$$

де $r = \frac{((\rho-100)*-1)dN}{NDt}$ – швидкість зростання кількості осідаючого пилу; ρ – вологість повітря в вибраний час; N_0 – початкова кількість пилу на поверхні.

Оскільки сонячне світло є електромагнітним випромінюванням, справедливим є використання моделі на основі закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$G_{lost} = G_0 e^{\left(-\left(N_0 e^{\frac{((\rho-100)*(-1))dN}{Ndt}t}\right)x\right)} \tag{2}$$

За проведеними дослідженням , характер зміни впливу запиленості від опадів значно змінюється після 2,9 мм.

Для опадів від 0 до 2,9 мм, зміну запиленості описуємо за (3), а для опадів від 2,9 до ∞ – за (4):

$$\eta_{lost.clarufy} = \eta_{\text{втрач}} - \frac{\sqrt{Q}}{2} \tag{3}$$

$$\eta_{lost.clarify} = \eta_{lost} e^{\left(-\left(\frac{dQ}{Qdt}\right)x\right)} \tag{4}$$

де η_{lost} - відсоток енергії від тієї, що повідомляється поверхні, що поглинається шаром пилу; Q - рівень опадів в момент t;

Отримана математична модель допоможе підвищити точність розрахунку генерації електричної енергії від сонячних електростанцій. У подальшому ця модель може бути включена до імітаційних програм окремим розрахунковим блоком.

УДК 44.41.33

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОНУКЛІДНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

к. ф.-м. н Завальнюк В.В., к. ф.-м. н Панченко Д.Ю.
Військова академія (м. Одеса)

Серед перспективних портативних джерел теплової та електроенергії варто виділити радіонуклідні батареї – джерела, що виробляють енергію внаслідок спонтанного розпаду радіоактивних ізотопів. Основними перевагами таких радіонуклідних батареї над хімічними джерелами енергії є дужа висока питома енергетична місткість, довгий термін експлуатації та вибухобезпечність. Серед основних недоліків варто виділити їх одноразовість, деяку (зазвичай дуже малу) радіаційну небезпечність, порівняно високу повну вартість експлуатації та фіксовану питому потужність, яка ще й постійно зменшується в процесі експлуатації батареї (навіть, якщо батарея не використовується).

Основними сферами застосування радіонуклідних джерел є медицина, аерокосмічна галузь, а також живлення різноманітних важкодоступних систем. Їх більш широке застосування головним чином обмежується більш високою вартістю експлуатації та складністю утилізації відпрацьованих батарей, які все ще продовжують виділяти енергію, проте вже з недостатньою потужністю для функціонування відповідного обладнання.

Метою даної роботи є розгляд шляхів оптимізації застосування таких радіонуклідних джерел електричної енергії та пошук можливостей підвищення ступеня утилізації їх енергетичного потенціалу.

Розглянемо ідеалізовану автономну систему зі сталим споживанням енергії p_{cn}, часте обслуговування якої є проблематичним з тих чи інших причин, а застосування джерел енергії на кшталт сонячних панелей чи вітряків не є можливим. Відповідно, застосування радіонуклідного джерела для живлення даної системи є одним з потенційно доцільних варіантів.

Нехай можлива періодичність обслуговування даної системи дорівнює τ та є значно меншою за термін її повної експлуатації. Тоді початкова потужність радіонуклідної батареї, необхідної для живлення системи, становить (з урахуванням закону радіоактивного розпаду $p(t) = p_0 2^{-t/T}$, де T – період напіврозпаду радіонукліда, застосованого у даній батареї)

$$p_0 = 2^{\tau/T} p_{cn}.$$

Визначимо коефіцієнт утилізації η енергетичного потенціалу батареї (відношення виробленої енергії, що пішла на живлення устаткування до її повного початкового енергетичного вмісту). Для цього необхідно враховувати, що:

- потужність, яку батарея генерує протягом всього терміну своєї експлуатації, перевищує споживану потужність: $p(t) > p_{cn},\ t < \tau$;
- після завершення терміну експлуатації батареї її енергетичний вміст ще залишається не рівним нулю, тобто генерація енергії продовжується, нехай і зі значно меншою потужністю: $p(t) < p_{cn},\ t > \tau$.

З урахуванням сказаного, коефіцієнт утилізації енергетичного потенціалу батареї дорівнює:

$$\eta = \frac{\int_0^{\tau} p_{cn}\, dt}{\int_0^{\infty} p(t)\, dt} = \frac{\tau\, p_{cn}}{p_0 \int_0^{\infty} 2^{-\frac{t}{T}}\, dt} = \frac{\tau}{T}\,\frac{p_{cn}}{p_0}\,\ln 2 = \frac{\tau}{T}\,\frac{\ln 2}{2^{\frac{\tau}{T}}} \le 2^{-\frac{1}{\ln 2}} \approx 0.368 = 36.8\%,$$

при цьому найвище значення η досягається при співвідношенні між терміном експлуатації батареї τ і періодом напіврозпаду T, рівному:

$$\tau = \frac{T}{\ln 2} \approx 1.44\, T.$$

Відповідне співвідношення між початковою потужністю батареї та потужністю обладнання, що вона живить,

$$p_0 = e\, p_{cn} \approx 2.72\, p_{cn}.$$

Тобто при сталому споживанні енергії споживачем приблизно 42% електроенергії, виробленої батареєю протягом терміну її експлуатації, втрачається. Крім того, біля 21% від початкового вмісту радіоактивної речовини (енергетичного вмісту батареї) залишається невикористаною і повинно бути якимось чином утилізовано.

Для підвищення ефективності утилізації енергії радіонуклідного джерела споживачем сталої потужності p_{cn} необхідно

- наблизити початкову потужність батареї p_0 до потужності споживача; при цьому зменшиться термін експлуатації батареї τ, а відсоток невідпрацьованої радіоактивної речовини та необхідна частота заміни батареї зростуть;
- максимально продовжити термін експлуатації батареї τ з метою більш повного використання енергії радіоактивної речовини, для чого доведеться збільшити початкову потужність батареї p_0.

Легко побачити, що ці дві умови знаходяться у протиріччі, єдиним шляхом вирішення якого є застосування батареї у сторонніх задачах після завершення основного терміну її експлуатації (коли її потужність стає недостатньої для живлення цільової системи).

Однак, можна запропонувати ще один, менш очевидний, варіант продовження цільового терміну експлуатації батарей без збільшення їх початкової потужності. Нехай термін експлуатації батареї дорівнює τ, початкова потужність – p_0, а період напіврозпаду радіонукліду – T. Тоді, потужність батареї одразу після завершення терміну її експлуатації становитиме $p(\tau) = 2^{-\tau/T} p_0 = p_{cn}$, тобто є значно меншою за початкову, проте все ще є значною (майже достатньою для живлення цільової системи). Відповідно, дана батарея ще може бути використана для живлення системи за умови надання додаткового живлення, що компенсуватиме поступово зростаючу нестачу потужності.

Оптимальним варіантом такого «додаткового» живлення є установка ще однієї аналогічної батареї, сумарної потужності яких буде достатньо для забезпечення живлення протягом, наприклад, ще одного періоду τ. Однак, установка додаткової батареї у нерозраховану на це систему може виявитися складною задачею; до того ж виникає й проблема оптимального підбору потужності (стану зношення) додаткової батареї. Ці проблеми можна одночасно вирішити наступним чином:

- на початку експлуатації системи в неї встановлюється дві батареї, власні потужності p_1 і p_2 яких задовольняють наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} p_1 + p_2 = p_0 \\ p_2 = 2^{-\tau/T}\, p_1 \end{cases};$$

- через час τ потужність першої батареї знижується зі значення p_1 до значення p_2, а друга, слабша, батарея утилізується і замінюється новою батареєю з потужністю p_1; при цьому сумарна потужність обох батарей знову дорівнює початковій потужності p_0, необхідній для живлення системи протягом часу τ – до наступної заміни батареї;
- даний процес повторюється з періодичністю τ до припинення експлуатації всієї системи.

В результаті впровадження описаної схеми кожна батарея відпрацьовує вже не один, а два терміни τ, тобто встигає використати істотно більший відсоток від початкової кількості радіоактивної речовини. Це призводить до збільшення коефіцієнту утилізації енергетичного потенціалу батареї η і, відповідно, зменшенню загальних експлуатаційних розходів на живлення системи та спрощенню процесу утилізації відпрацьованих батарей.

Збільшення числа одночасно застосовуваних батарей (що знаходяться на різних етапах своєї експлуатації таким чином, що при кожному обслуговуванні системи заміни потребує лише найслабша батарея) дозволяє досягти подальшого зростання коефіцієнта η.

У загальному випадку системи живлення з N батарей і потужністю p_0 на початку кожного циклу τ, рівною $p_0 = a\, p_{cn}$, коефіцієнт утилізації енергії визначається формулою

$$\eta_{\mathrm{N}} = \frac{\ln \mathrm{a}}{\mathrm{a}} \sum_{\mathrm{i}=0}^{\mathrm{N}-1} \mathrm{a}^{-\mathrm{i}},$$

з якої можна знайти коефіцієнт a, за якого η_{N} досягає максимального значення (результати проведення відповідних обчислень наведені на рисунку 1).

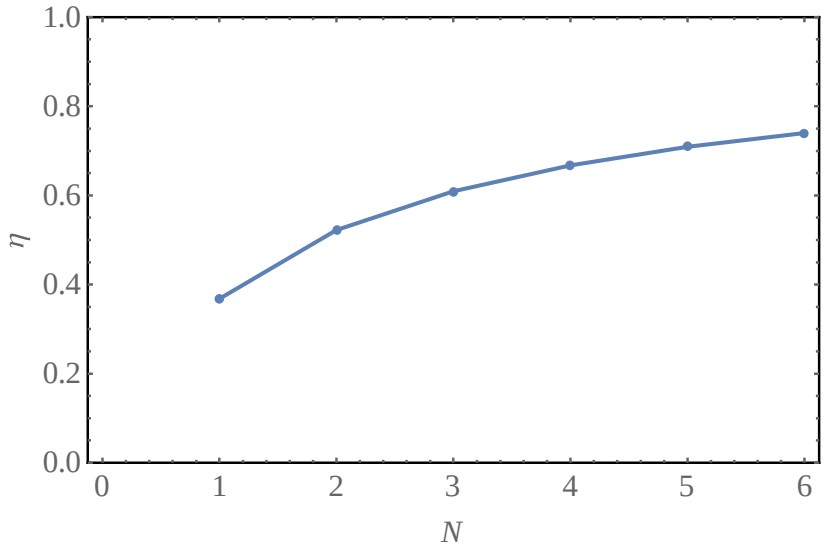


Рис. 1. Залежність максимально досяжного значення коефіцієнту утилізації енергії від числа окремих незалежних елементів у радіонуклідному джерелі живлення

З графічного зображення залежності $\eta(N)$ добре видно, що найбільш відчутне зростання ефективності η системи живлення відбувається при переході від однієї до двох одночасно використовуваних батарей, після чого темпи зростання η зі збільшенням N монотонно зменшуються. Також є цілком зрозумілим, що надмірне збільшення числа батарей, необхідних для живлення системи, рано чи пізно призведе до зростання сумарних розходів внаслідок ускладнення і дублювання, а також – необхідності занадто частого обслуговування та заміни відпрацьованих батарей. Тобто їх оптимальна кількість повинна визначатися балансом між збільшенням ефективності та зростанням сумарних експлуатаційних розходів і, зазвичай, залишатиметься у межах 2 – 4 батарей.

Підсумовуючи, бачимо, що запропонований варіант оптимізації енергоживлення за допомогою радіонуклідних джерел енергії дозволяє істотно підвищити ефективність утилізації їх енергетичного потенціалу та, відповідно, зменшити сумарні експлуатаційні розходи, а також – спростити утилізацію залишкового вмісту радіоактивної речовини.

1. Prelas, M.A., Weaver, C.L., Watermann, M.L., Lukosi, E.D., Schott, R.J., & Wisniewski, D.A. (2014). A review of nuclear batteries. *Progress in Nuclear Energy*, 75, 117-148. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.04.007

2. Spencer, M.G., & Alam, T. (2019). High power direct energy conversion by nuclear batteries. *Applied Physics Reviews*, 6(3), 031305(20). https://doi.org/10.1063/1.5123163

3. Prelas, M., Boraas, M., De La Torre Aguilar, F., Seelig, J.-D., Tchouaso, M.T., & Wisniewski D. (2016). *Nuclear Batteries and Radioisotopes*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41724-0

УДК.621.313

УМОВИ ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБЄКТІВ

д.т.н., проф., професор кафедри «Електропривод та автоматизація промислових установок» Зіновкін В. В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Дослідженням оптимального функціонування багатопараметричних технологічних об'єктів та реконструкції діючих присвячено доволі велика кількість джерел. Особлива увага приділяється розробці автоматизованих систем, що забезпечують взаємодію між собою виконавчих та мікропроцесорних і програмних засобів з метою забезпечення оптимального функціонування певного технологічного процесу. При цьому, важливе значення набувають питання отримання та обробки поточної інформації про стан виконавчих механізмів і множини параметрів різної фізичної природи та взаємодія між ними. Дослідженням стійкості динамічних систем присвячено фундаментальні роботи І.А.Вишеградського, А.М. Ляпунова, А.П.Давидова, М.Е.Жуковского, Л.І.Мендельштама, Н.Д.Папалексі, А.І.Івахненко, В.А.Трапезнікова, А.М.Летова та ін. Аналіз причино-наслідкових факторів порушення техпроцесу відносно директивного завдання показав, що система не забезпечувала умови відпрацювання відповідних виконавчих механізмів внаслідок впливу зовнішніх та внутрішніх завад, які знаходяться поза зором обслуговуючого персоналу та оператора. До них можливо віднести часткове порушення технічного стану окремих вузлів, невідповідності фізичного стану, якість електричної енергії, перевищення початкових та граничних умов програм та ін.[1-6]. Непередбачені фактори призводять до неузгодженості між інформаційними та виконавчими параметрами багатопараметричної систем автоматизованого керування [1-3].

Для виконання практичних задач, особливо для об'єктів спеціального призначення, система регулювання перш за все повинна бути стійкою до різного типу завад. На практиці вирішення цивільних проблем та завдань найбільш поширено використовуються алгебраїчні критерії стійкості Рауса-Гурвіца та частотні критерії Михайлова і Найквіста. Доцільно відзначити, що на об'єктах спеціального призначення іноді суттєво порушується якість електричної енергії та впливають різні фактори і завади, що впливають на стійкість систем керування внаслідок порушення реального відображення математичного представлення взаємних зв'язків між множиною параметрів [1-3]. При цьому, фізичні властивості об'єкта однозначно пов'язані між собою математичними залежностями, що призводить до необхідності вирішення лінійних та нелінійних інтегродиференціальних рівнянь відповідно до поточного технічного стану об'єкта та техпроцесу [4-6].

Мета роботи полягає в розробці оптимізаційного функціоналу багатопараметричного спеціалізованого технічного об'єкта з множиною параметрів різної фізичної природи з корегуванням впливу змін в поточній інформації та зовнішніх завад. **Методологічний підхід** вирішення поставленої мети досягається шляхом представлення інформаційних сигналів різної фізичної природи у вигляді сукупності відповідних співмножників узагальнених показників, які мають спільні риси та призначення в технічному об'єкті.

З фізико-математичної точки зору оптимізаційний функціонал багатопараметричного технологічного процесу, що забезпечує своєчасне відпрацювання виконавчих механізмів в сукупності з системою автоматичного керування повинен задовольняти певним початковим і граничним умовам. З метою пошуку умов збіжності цього функціоналу використовується нормування відповідних параметрів в межах періоду ($>> 2a$) на часовій осі (t), що відповідає наближенню функціонала до нуля. При цьому, що різність між директивним і реальним технологічним режимом наближається до мінімуму.

Розглянуто можливі випадки, коли члени функціонала наближаються до нуля при зростанні кількості членів у спектрі частот ($\nu \to \infty$) , що наближаються до нескінченості. Показано, що при дотриманні номінальних режимів виконавчих механізмів технологічної лінії узагальнений функціонал не повинен перевищувати певної (заданої) похибки, що на практиці представляє собою досить складне інженерне завдання. Його вирішення полягає в досягненні узгодженості відпрацювання мікропроцесорних і програмних засобів автоматизації та електромеханічних систем. Найбільші відхилення мають місце на початковій і кінцевій фазах технологічного процесу. Це пояснюється інерційними властивостями виконавчих механізмів та поточними змінами.

Доцільно відзначити, що точність вирішення питання суттєво залежить від лінійних і не лінійних взаємних зв'язків між контролюючими і керуючими параметрами та поточним станом обладнання. Особливу актуальність набувають питання подальшого дослідження оптимізаційного функціонала при не лінійних і комбінованих взаємних зв'язках між множиною параметрів різної фізичної природи.

Аналіз отриманих результатів дозволяє сформувати наступні висновки:

1.При розробці систем автоматизованого керування багатопараметричним технологічним процесом оптимізаційний функціонал доцільно формувати по сукупності відповідних інформативним каналам однакової фізичної природи або наближеної структури, що дозволить до скорочення енергетичних витрат та покращення ефективності.

2. При наукових дослідженнях з метою визначення збіжності оптимізаційного функціонала доцільно ретельно визначити початкові і граничні умови відповідних математичних моделей, що узгоджуються із параметрами і навантаженнями виконавчих механізмів, технологічних процесів та мікропроцесорних і програмних пристроїв.

3. Математичні моделі складних електромеханічних об'єктів доцільно представляти у вигляді відповідних систем інтегродиференціальних рівнянь не перевищуючи п'ятого порядку, оскільки суттєво зростають невизначеність та похибки отриманих результатів, які при впровадженні можуть зростати внаслідок технічних властивостей виконавчих механізмів та впливу внутрішніх неузгодженостей.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Муровцев Д. Ю. Информационные технологи проектирования систем энергосберегающего управления динамическими объектами / Д. Ю. Муровцев // Системы управления и иформационные технологи. – 2011. – № 4 (46). – С. 82–87.

2. Волошин О. Ф. Процедури послідовного аналізу і відсіювання варіантів комбінаторних оптимізаційних задач з нечіткими функціоналами / О. Ф. Волошин, М. П. Маляр, О. О. Швалагін // Вісник Київського національного університету. Серія : Кібернетика. – 2010. – № 10. – С. 4–7.

3. Kalman R. E. Contribution to the theory of optimal control / R. E. Kalman // Boletin de la Sociedad Matematica Mexicana. – 1960. – Vol 5, №1. – P. 102–119.

4. Zinovkin V. Research of electromagnetic parameters of complex electromechanical system under hardly varying loads Variable Load / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan // *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 267-272, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160022.

5. Zinovkin V. Research of non-stationary electromagnetic processes in synchronous electric drive / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan // " *2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, 2017, pp. 148-151, doi: 10.1109/MEES.2017.8248874.

6. Zinovkin V/ Simulation of Static Stability of Synchronous Electric Drive at Hardly Variable Load / V. Zinovkin, M.Antonov, I. Krysan //2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), September 23-25, 2019 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, pp. 86 - 89. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896368

УДК 623.55.02

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТА СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИДУШЕННЯ І ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ РАДІОКЕРОВАНИХ ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЇВ

д.т.н., доц. Іохов О.Ю., к.т.н., доц. Малюк В.Г., Каплун Є. О.
Національна академія Національної гвардії України

Одним з нових технічних шляхів радіоелектронної протидії радіоелектронним засобам (РЕЗ), включаючи і радіокеровані вибухові пристрої, є вплив на них потужного електромагнітного імпульсу (ЕМІ) [1 - 3].

Найбільш уразливими при впливі потужного ЕМІ є радіоелектронні елементи вхідних трактів приймальних пристроїв, керуючих комп'ютерів РЕЗ (обмежувачі, малошумні підсилювачі, змішувачі, формувачі тактових імпульсів, комутатори і т. п.), побудованих на основі твердотільних напівпровідникових структур (діодів, транзисторів і мікросхем). Внаслідок малих розмірів напівпровідникових переходів для розсіювання енергії на них при тепловому характері ураження (режим безперервного або одноімпульсного впливу з крутими передніми фронтами) потрібен час впливу, що перевищує час теплової релаксації, яке для напівпровідникових елементів надвисокочастотного (НВЧ) діапазону має значення від 0,1 – 1 мкс і більше. З урахуванням польового ефекту природно очікувати ефективний вплив ЕМІ на такі елементи при тривалості імпульсів, менших цих значень. Таким чином, формування коротких імпульсів тривалістю від одиниць до десятків наносекунд є раціональним, оскільки при цьому істотно спрощується вирішення наступних завдань створення засобів функціонального ураження :

1. Збільшення пікової потужності при обмеженнях на енергію випромінювання.
2. Полегшення умов виведення випромінювання з генератора і його поширення в просторі без пробою повітря.
3. Можливість подолання систем захисту вхідних трактів приймачів перспективних РЕЗ, що мають порівняно малу інерційність спрацьовування.

Ефект такого функціонального придушення і поразки слабо залежить від призначення, а при позасмуговому впливі і від робочої частоти РЕЗ, приводячи до таких наслідків:

a) невідновлюваних (катастрофічних, необоротних) відмов;
b) відновлюваних (тимчасових) відмов;
c) функціональних порушень працездатності, характерних для традиційних видів перешкод (помилкових спрацьовувань виконавчих схем, спотворень вихідних сигналів і т. д.).

Під функціональним *придушенням* розуміється такий вплив на РЕЗ спеціальним чином сформованим ЕМІ, при якому РЕЗ втрачають можливість виконувати свої функції тільки під час цього впливу без виведення з ладу їх окремих елементів або функціональних пристроїв в цілому.

Під функціональним *ураженням* розуміється такий вплив спеціальним чином сформованим ЕМІ, при якому відбувається незворотнє виведення з ладу окремих елементів або функціональних пристроїв, що виключає самовідновлення функціонування РЕЗ і вимагає ремонтно-відновлювальних заходів.

При функціональному ураженні радіокерованих вибухових пристроїв засоби функціонального ураження повинні забезпечувати прицільний по частоті індивідуальний вплив на групи об'єктів і мати певний коефіцієнт захисту.

Крім того, спільне виконання умовної скритності і прицільності має забезпечити електромагнітну сумісність (ЕМС) засобів функціонального ураження з іншими РЕЗ,

розташованими поза локальною зоною придушення, тобто зберегти можливість нормального функціонування останніх.

З точки зору структури полів зазначені відмінності, в першу чергу, обумовлені їхніми спектральними характеристиками: відеоімпульси не мають високочастотного заповнення, і їх спектр принципово може займати область частот 0 ... 5000 МГц і більше (на практиці обмежуються смугою випромінюючих систем, які "вирізають" тільки ті чи інші ділянки із загального спектру не більше як 25% від середньої частоти такої ділянки спектру); СВЧ імпульси генеруються на певній частоті, і їх спектр може займати будь-яке місце в межах всього радіочастотного діапазону. СВЧ випромінювання поряд з просторовою спрямованістю має також і частотно-вибірковий вплив, що при певному виборі діапазону частот (позасмугове придушення) істотно підвищує його ефективність при проходженні через вхідні прийомні тракти РЕЗ.

Другий і третій напрямки досить добре вивчені, і є велика кількість відомостей про них у відкритих і закритих джерелах. При безперечних перевагах цих двох напрямків їх основним недоліком для функціонального ураження радіокерованих вибухових пристроїв є їх мала відносна широкосмуговість, що при невідомій робочої частоті радіодетонатору обмежує їх застосування, тобто може бути сформована тільки прицільна по частоті перешкода або використовується придушення, що характеризується великою випромінюваною потужністю.

Відзначимо, що у відкритій літературі практично не розглядаються питання, пов'язані із захистом колон військової техніки від терористичних актів. У відомих авторам роботах, наприклад [4], передбачається використання індивідуального або групового прикриття при використанні малогабаритних передавачів перешкод, навантажених на ненаправлених антенах. На жаль, такі якісні моделі прикриття колон автомобільної техніки не дозволяють в повній мірі оцінити ефективність їх використання для протидії радіокерованим вибуховим пристроям і оцінити ЕМС пропонованих засобів з іншими РЕЗ.

Тому в подальшому для розробки засобів функціонального ураження радіокерованих вибухових пристроїв за допомогою надширокосмугових засобів функціонального ураження радіокерованих вибухових пристроїв необхідно в першу чергу, провести аналіз характеристик каналів передачі інформації для радіокерованих детонаторів.

Інформаційні джерела

1. Iohov O., Maliuk V., Horielyshev S., Tkachenko K., Herasimov S. Development of a Method for Boundary Determination of the Noise-resistant Area of the UHF/VHF Band. *Advances in Military Technology*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 231-246. DOI 10.3849/aimt.01376
2. Єгоров А.Б., Сотников А.М., Рибалко І.Ф., Вплив потужного електромагнітного випромінювання на радіоелектронні засоби. *Збірник наукових праць ДонІТ.* 2012 №2. С. 43-54
3. Сотніков О.М., Таршин В.А., Ясечко М.М. Протидія потужному електромагнітному випромінюванню для захисту радіоелектронних засобів. *Системи обробки інформації.* 2017, №5 (151). С.32-38
4. Пат. 124565 Україна, МПК (2018.01) H04B 7/00 // Спосіб захисту колон на марші / Козлов В.Є., Щербина О.О., Іохов О.Ю., Флорін О.П., Оленченко В.Т., Лабунець В.О.; заявл. 30.11.2017; опубл. 10.04.2018, Бюл. №7

УДК 621.311

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ НАДІЙНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Т. Л. Кацадзе, канд. техн. наук, доц., Д. В. Настенко, О. М. Панєнко, О. М. Янковська
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розрахунки параметрів усталених режимів електричних систем становлять більшу частину завдань під час експлуатації, управління та проектування розвитку електричних систем. Також такі задачі виступають найважливішими складовими комплексних завдань оптимізації режимів під час вибору робочих схем, перерозподілу потоків потужності в неоднорідних електричних мережах, регулювання режиму напруги, аналізу статичної та динамічної стійкості, визначення струмів короткого замикання, аналізу перебігу електромеханічних та тривалих перехідних процесів та багатьох інших практичних задач електроенергетики.

Сучасні програмні засоби розрахунку параметрів усталених (квазіусталених) режимів електричних систем базуються, зазвичай, на математичному апараті розв’язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь вузлової моделі усталеного режиму електричної системи методом Ньютона-Рафсона та його модифікацій [1, 2]. Разом з тим відомо, що числові методи розв’язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь є чутливими до вибору початкових наближень невідомих параметрів в ітераційному розрахунковому процесі [2, 3]. У більшості практичних випадків для отримання стійкого збіжного ітераційного процесу достатньо обрати номінальні значення напруги. Проте, у разі розв'язання задач аналізу переобтяжених режимів, зображуючі точки яких знаходяться поблизу межі існування, задача вибору початкових наближень набуває особливої актуальності. Для отримання стійких ітераційних процесів необхідно обрати початкові наближення невідомих параметрів якомога ближче до їх фактичних значень або застосовувати спеціальні розрахункові методи, наприклад, метод Ньютона другого порядку [1].

Істотного прискорення одиничних розрахунків можна досягти із використанням технології архівування та подальшого читання архівів раніш розрахованих режимів енергосистем [4]. За необхідності розрахунку конкретного режиму електричної системи, програмний модуль здійснює пошук у банку архівованих зрізів режим, найбільш близький до досліджуваного та приймає початкові наближення невідомих, які відповідають параметрам архівованого режиму. І на підставі таких початкових наближень програмний модуль здійснює моделювання конкретного режиму електричної системи.

Задачу пошуку режимного зрізу, максимально наближеного до поточної розрахункової схеми можна розглядати як задачу класифікації із використанням моделей асоціативної пам'яті [5, 6].

Розв’язання зазначеної задачі реалізовано авторами із використанням математичного апарату штучних нейронних мереж Хопфілда. Розглянемо розв'язання задачі розпізнавання образів архівованих зрізів режимів електроенергетичних систем із використанням мереж Хопфілда для тестової схеми електричної системи IEEE-30, представлену на рис. 1.

Переобтяження режиму здійснюється шляхом збільшення навантаження у вузлах розрахункової схеми. Це означає, що мережа Хопфілда, яка буде зберігати інформацію про архівовані режими має містити 30 нейроноподібних елементів. Така мережа, відповідно до [7], зможе зберегти інформацію про чотири образи зрізів переобтяжених режимів.

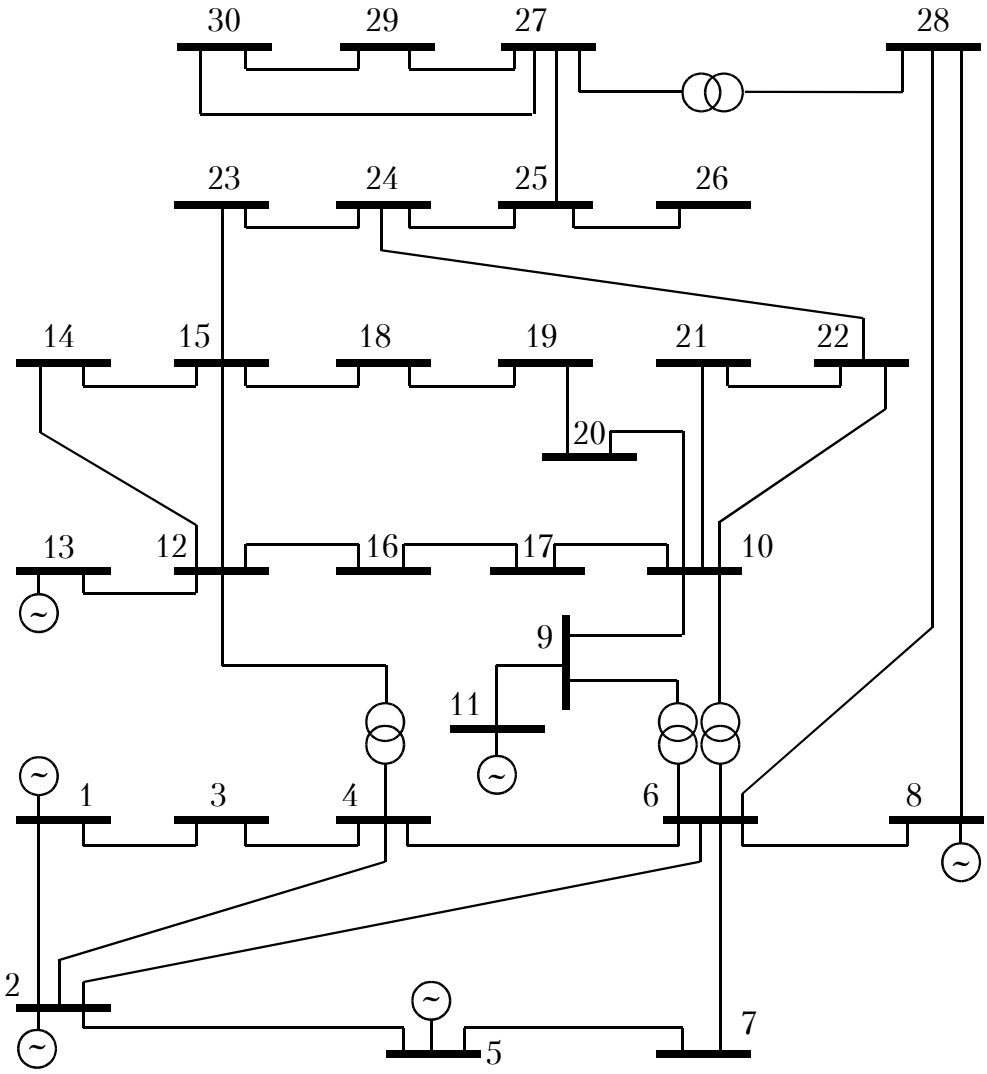


Рис. 1. Тестова схема IEEE-30

Нехай банк архівованих зрізів містить інформацію про чотири переобтяжені режими, отримані шляхом збільшення навантаження у таких вузлах схеми:

1) 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16;

2) 4, 6, 7, 9, 10, 20, 21, 22, 28;

3) 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22;

4) 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30.

Такі режими умовно можна представити у вигляді діаграм образів наведених на рис. 2. Тут затемнені комірки відповідають вузлам із збільшеними навантаженнями. Рахунок комірок здійснюють зліва направо, починаючи із верхнього лівого кута.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30

Рис. 2. Діаграми образів архівованих зрізів переобтяжених режимів

Нехай тепер необхідно реалізувати розрахунок характеристик переобтяженого режиму електричної системи, який характеризується збільшеними навантаженнями у вузлах 6, 10, 12, 18, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 29 та 30. Для цього у банку архівованих режимів необхідно знайти переобтяжений режим, найбільш близький до шуканого.

Відповідний досліджуваному режиму сигнальний вектор подають на вихід мережі. Проходження цих сигналів через нейронну мережу призводить до перетворення сигналів на виході. Послідовність циклічних перетворень сигналів на виході мережі Хопфілда умовно наведена на рис. 3.

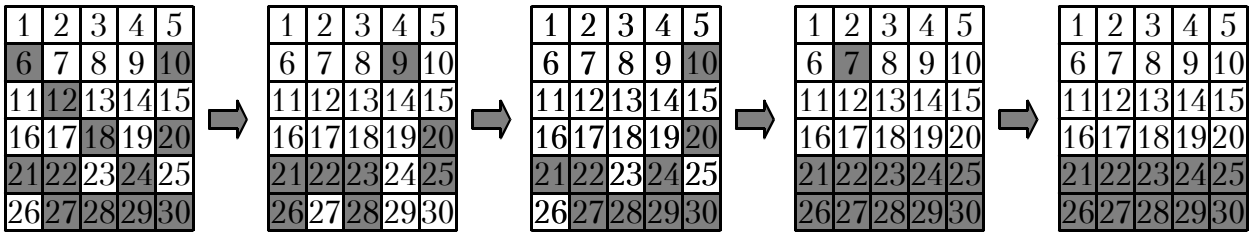


Рис. 3. Послідовність перетворень вихідних сигналів мережі Хопфілда

Таким чином, для надійної реалізації ітераційного розрахунку переобтяженого робочого режиму електричної системи тестової схеми IEEE-30 необхідно використовувати дані четвертого архівованого режиму як початкові наближення невідомих параметрів.

Висновки.

Розрахункові моделі аналізу усталених (квазіусталених) режимів електроенергетичних систем, які базуються на математичному апараті методу Ньютона, є чутливими до вибору початкових наближень невідомих, що ускладнює їх використання для аналізу переобтяжених режимів, зображуючи точка яких знаходиться поблизу границі існування режиму.

З метою підвищення розрахункової надійності моделей аналізу режимних параметрів електроенергетичних систем запропоновано підхід, який базується на архівуванні зрізів та подальшому читанню даних режимів, найбільш близьких до поточних досліджуваних.

Розроблена модель асоціативної пам’яті зрізів архівованих режимів, яка базується на апараті штучних нейронних мереж Хопфілда. Така модель дозволяє організувати ефективний пошук в банку архівованих зрізів режими, найближчі до поточних досліджуваних.

Застосування розробленої моделі асоціативної пам’яті проілюстровано на прикладі пошуку в банку архівованих зрізів режимів тестової схеми IEEE-30, що підтвердило ефективність запропонованого методу організації асоціативної пам’яті.

Література

1. Бартоломей П. И. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах / Б. И. Аюев, В. В. Давыдов и др. Под ред. П. И. Бартоломея. – М.: Наука, 2008. – 256 с.

2. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

3. Грицай М. А. Существование режима электроэнергетической системы / Под ред. В. М. Посталия. – Кишинев: Штиинца, 1987. – 122 с.

4. Сулейманов В. Н., Кацадзе Т. Л. Модуль оценки режимных характеристик сетей энергосистем в среде экспертной системы EXYLEN в условиях чрезвычайных ситуаций // Электроника и связь – 2000, №8, Т. 2, с.178-180.

5. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. - 4-е изд. – М.; Спб.; К.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 864 с

6. Кацадзе Т. Л. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці // Т. Л. Кацадзе. – Київ : Логос, 2013. – 173 с.

7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. / Саймон Хайкин. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2006. – 1104 с.

УДК 621.313

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СКАЛЯРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСУ

к.т.н., доц. Квашнін В.О., асистент Бабаш А.В.,
магістрант Щербинін О.О, пошукач Квашнін В.В.
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Під час розв'язку задач аналізу і синтезу регульованих асинхронних електроприводів зазвичай застосовуються моделі електродвигуна, що були складені на базі узагальненої електричної машини та виконані у нерухомій системі координат [1]. З аналізу структурної схеми силового каналу неперервної лінеаризованої системи перетворювач – асинхронний електродвигун у нерухомій системі координат можна визначити основні його складові:

– перетворювач частоти, що виконує функцію електричного перетворювача;

– електродвигун, який виконує функцію електромеханічного перетворювача;

– механічна система, яка виконує функцію механічного перетворювача.

Вхідними координатами є рівняння перетворювача, що складають напругу $U_{уп.\alpha}$ і $U_{уп.\beta}$, а вихідною величиною – кутова швидкість двигуна ω. Структурна схема характеризується наступними проміжними координатами [2]:

$U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$, $I_{1\alpha}$, $I_{1\beta}$, $\psi_{2\alpha}$, $\psi_{2\beta}$ – складові напруги, струму статора і потокозчеплення ротора в ортогональній системі координат α и β;

$M_{дв.ем}$ – електромагнітний момент двигуна.

Математичний опис у вигляді системи рівнянь силового каналу перетворювач частоти – асинхронний електродвигун (ПЧ–АД), у нерухомій системі координат α і β , який орієнтований за вектором потокозчеплення ротора [3], має наступний вигляд (1).

На основі отриманої системи рівнянь була складена структурна схема асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором у нерухомій системі координат α и β.

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_э \cdot (T_э \cdot p+1) \cdot I_{1\alpha} - \dfrac{R'_2 \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \dfrac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_э \cdot (T_э \cdot p+1) \cdot I_{1\beta} - \dfrac{R'_2 \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \dfrac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 \cdot p+1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_\mu \cdot I_{1\alpha} + \dfrac{L_2}{R'_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 \cdot p+1) \cdot \psi_{2\beta} - L_\mu \cdot I_{1\beta} + \dfrac{L_2}{R'_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{дв.ем} = \dfrac{3}{2} \cdot \dfrac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \dfrac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{дв.ем} - M_c). \end{cases} \quad (1)$$

Для дослідження процесів при частотному регулюванні у самому електродвигуні і далі у системі регульованого електроприводу рециркуляційного насоса було використано метод імітаційного моделювання [4].

Перехідні характеристики вихідних параметрів схеми двигуна показані на рисунку 3.

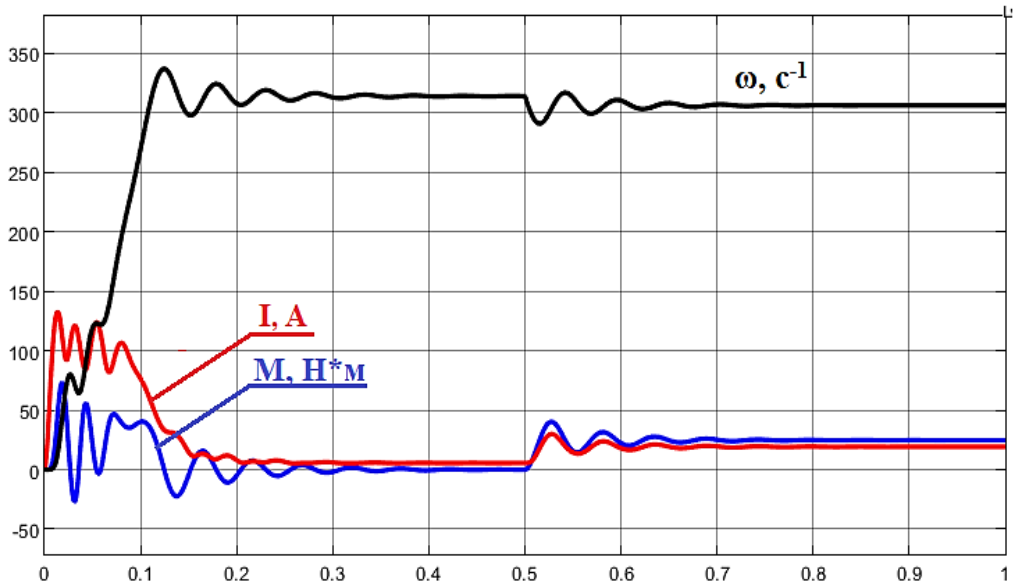


Рисунок 1 – Графіки перехідних процесів кутової швидкості, струму та крутного моменту двофазної моделі двигуна при активному навантаженні

Так як об’єктом, для якого пропонується система частотного регулювання є рециркуляційний насос, функціональна схема електроприводу повинна реалізовувати регулювання за трьома параметрами: натиском, швидкістю та струмом, тобто для повної відповідності заданим вимогам система має бути трьохконтурною. Тому, структурна схема системи скалярного керування циркуляційним насосом буде мати вигляд як на рисунку 2.

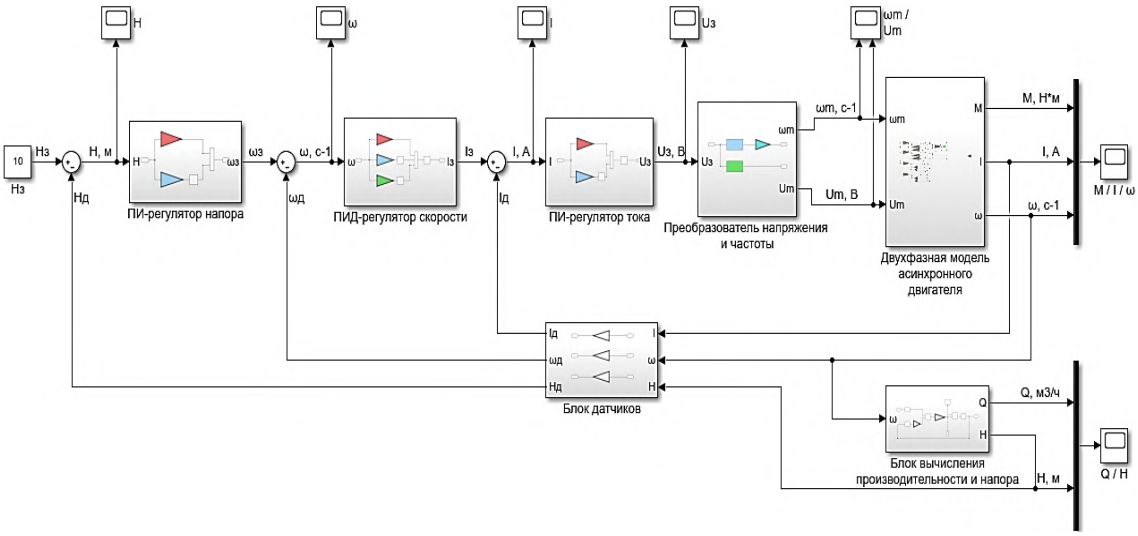


Рисунок 2 – Структурна схема частотно-регульованої трьохконтурної скалярної системи керування

Передаточна функція перетворювача напруги:

$$W_{пн}(p)=\frac{k_{пн}}{T_{пн}\cdot p+1}, \qquad (2)$$

де $k_{пн}$ – коефіцієнт пропорційності перетворювача напруги; $T_{пн}$ – постійна часу перетворювача напруги.

Передаточна функція перетворювача частоти

$$W_{пч}(p)=\frac{K_{пч}}{T_{пч}\cdot p+1}, \tag{3}$$

де $K_{пч}$ – коефіцієнт пропорційності перетворювача частоти; $T_{пч}$ – постійна часу перетворювача частоти.

Передаточна функція ПІ-регулятора струму

$$W_{рс}(p)=\frac{(T_1\cdot p+1)\cdot R_1}{2\cdot\tau\cdot K_{пч}\cdot K_{дс}\cdot p}, \tag{4}$$

де T_1 – постійна часу статора, с; $K_{дс}$ – коефіцієнт передачі датчика струму.

Передаточна функція ПІД-регулятора швидкості

$$W_{рш}(p)=\frac{K_{рш}\cdot(\tau\cdot p+1)\cdot(T_e\cdot p+1)}{4\cdot\tau\cdot p+1}, \tag{5}$$

де $K_{рш}$ – коефіцієнт передачі регулятора швидкості; T_e – електромагнітна постійна часу двигуна, с.

Коефіцієнт передачі регулятора швидкості

$$K_{рш}=\frac{J_p}{\tau\cdot\beta\cdot K_{пч}\cdot K_{дш}\cdot K_p}, \tag{6}$$

де β – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики; $K_{дш}$ – коефіцієнт передачі датчика швидкості.

Для отримання значень продуктивності та натиску необхідно скласти відповідний для даної задачі блок перетворення, який на основі відомих математичних рівнянь буде розраховувати відповідна значення продуктивності і натиску. Величина натиску, що створюється насосом описується виразом, що виражає залежність натиску H від об'єму подачі Q [5]

$$H=\left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^2\text{-}C\cdot Q, \tag{7}$$

де C – конструктивний коефіцієнт насоса, приймається C=1.

Магістраль, на яку працює насос, описується, як залежність між об'ємом подачі при роботі насоса Q і тиску H, який є необхідним для оптимальної роботи системи теплопостачання

$$H=\frac{Q^2}{R}, \tag{8}$$

де R – коефіцієнт, що відображає зміну опору мережі.

Для реалізації моделі магістралі, було виконано перетворення характеристики магістралі таким чином, щоб вихідним параметром являлась величина об'єму зворотного потоку теплоносія

$$Q=\sqrt{H\cdot R}, \tag{9}$$

Опираючись на співвідношення (7) було розроблено блок обчислення значень продуктивності та натиску (рисунок 3).

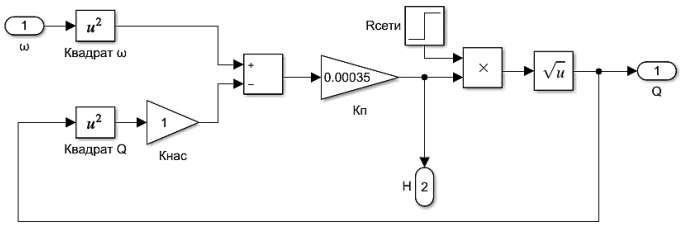


Рисунок 3 – Структурна схема підсистеми «Блок обчислення продуктивності та натиску»

Результати моделювання наведені на рисунку 4 (а). Також було промодельовано систему електроприводу для випадку різкого збільшення опору магістралі теплоносія шляхом зміни параметру $R_{мережі}$ у підсистемі «Блок обчислення продуктивності та натиску» (рисунок 4 б).

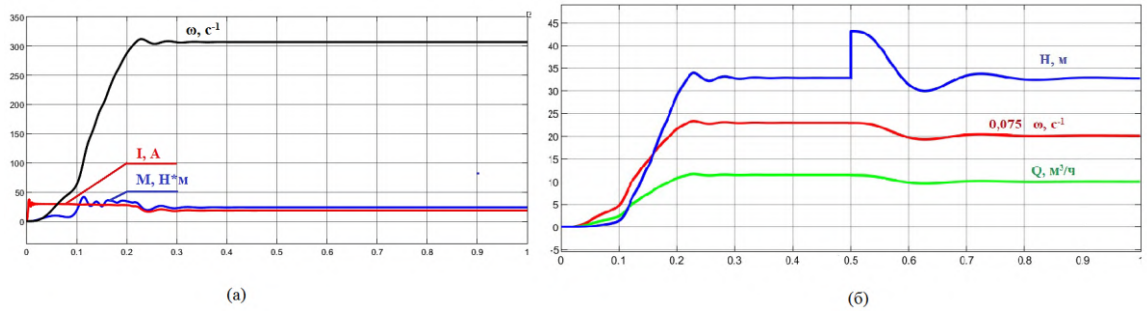


Рисунок 4 – Перехідні характеристики електроприводу зі скалярною системою керування
а) кутова швидкість, момент, струм;
б) натиск, кутова швидкість, продуктивність

Як видно з графіків на рисунку 4 (а, б), при зменшенні об'єму використання теплоносія відбуваються наступні процесі: під час збільшення подачі, величина тиску різко змінюється (так як насос працює на тій же самій частоті обертання), для підтримання тиску система зменшує частоту обертання насосу і, відповідно, його продуктивність, що призводить до відновлення рівня тиску у магістралі.

Загалом, отримані результати моделювання як механічної частини електроприводу, так і еквівалетного імітаційного блоку натиску та продуктивності свідчать про коректне функціонування розрахованої системи скалярного керування.

1. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посіб. для студ. електромех. спец. вищ. навч. закл. України / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик; Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л., 2002. — 277 с. — Бібліогр.: с. 227.
2. Мальцева О. П. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.
3. Гинзбург Я. Н., Лезнов Б. С., Чебанов В. Б. Внедрение автоматизированных систем регулируемого электропривода в насосные установки / Автоматизация и управление системами водоснабжения и водоотведения: Тр. ВНИИ ВОДГЕО. – Москва, 1986 – 361 с.
4. Копилов І. П. Математичне моделювання електричних машин / І. П. Копилов, – М.: Вища школа, 2001. – 327 с. ISBN 5-06-003861-0
5. Квашнін В.О., Бабаш А.В., Деркаченко Б.Л. Розробка математичної моделі скалярної системи керування електроприводом дуттєвого вентилятора з ШІМ модуляцією / Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. – Краматорськ : ДДМА, 2020, С. 132-135.

УДК 623.419

ВИКОРИСТАННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У СЕРДЕЧНИКАХ МАГНІТОПРОВОДІВ ПРИ ДОВІЛЬНІЙ ФОРМІ СТРУМУ НАМАГНІЧУВАННЯ

К. Коньков, к.т.н. Г. Трушков, д.т.н., проф. О. Герега
Військова академія (Одеса), Україна

Досягнення в проектуванні широкосмугових силових напівпровідникових пристроїв на основі карбіду кремнію і нітриду галію, дозволили значно збільшити щільність потужності силових електронних перетворювачів [1, 2]. Як відомо, при збільшенні частоти перемикання, можна зменшити обсяг магнітних пристроїв, однак, зменшена площа поверхні цих магнітних пристроїв призводить до збільшення термічного опору і температурних напружень. В роботі [1], зокрема, показано, що втрати енергії в магнітних пристроях перетворювачів силової електроніки вище, ніж в напівпровідникових пристроях, тому точність оцінки втрат в осерді особливо важлива при розробці перетворювачів з високою щільністю потужності.

Таблиці даних про втрати в магнітних сердечниках, що надаються виробниками, відображають відомості про втрати при синусоїдальних напруженнях. Однак при збудженні перетворювачів силової електроніки, втрати в осерді генеруються через імпульси і напруги постійного струму. Тому значення втрат в осерді між наведеними в технічному описі і тими, що виникають в результаті порушення силових електронних перетворювачів, розрізняються. Одна з можливостей обліку цієї різниці полягає в використанні прямокутної напруги, яка апроксимується синусоїдальною хвилею напруги. Важливо, що на точність цього методу впливає ситуація, коли форма хвилі збудження має компоненти зсуву постійного струму.

Метод розрахунку основних втрат базується на рівнянні Штейнмеца $P = k f^{a} B^{ß}$, яке дозволяє розрахувати втрати в осерді синусоїдального збудження, де P – це питомі об'ємні втрати в осерді, які виражаються у ватах; α, β и k – параметри рівняння, B – щільність потоку [1].

У дослідженні [2] автори порівняють розрахунки втрат в осерді індукторів фільтрів змінного струму, які викликані порушенням інвертора широтно-імпульсної модуляції, з методом розрахунку втрат в осерді для збудження силового електронного перетворювача, використовуючи дані при синусоїдальних порушених втрат в осерді, який є заснованим на теорії Брокмейера [3], і адаптований для розрахунку втрат в умовах порушення зсуву постійного струму.

Суть методу полягає в управлінні насиченістю магнітопроводу сердечника трансформатора постійним магнітним потоком, що дозволяє змінювати коефіцієнт корисної дії. Це, як відомо, вимагає збільшення розмірів магнітопроводу та додаткової обмотки, але простота схеми і, як слід, піднесена надійність цього варті. Метод дозволяє зменшити кількість умов тестування втрат в осерді, оскільки вимагає тільки додавання характеристик зміщення постійного струму до даних про втрати в синусоїдально збудженому осерді, які надані виробниками.

В докладі описана експериментальна реалізація управління насиченістю магнітопроводу сердечника трансформатора за методом Брокмейера.

1. S. A. Mulder. Fit Formulae for Power Loss in Ferrites and their Use in Transformer Design. / PCIM '93 Europe Power Conversion Conference Proceedings. – 1993. – P. 345-359.

2. A. Brockmeyer, J. Paulus-Neues. Frequency dependence of the ferrite-loss increase caused by premagnetization. // Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC'97 Conference Proceedings. Twelfth Annual. – 1997. – V. 1. – P. 375-380.

3. A. Brockmeyer and L. Schülting. Modelling of Dynamic Losses in Magnetic Materia. // EPE. – 1993. – P. 112-117.

УДК 621.311.6

МОДЕЛЮВАННЯ ГРУПИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ З ПОСТІЙНИМ СОНЯЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

к.т.н., доц. Кривда В.І., к.т.н., доц. Рудницький В.Г., Суворов В. О., Зубак В.В.
Одеський національний політехнічний університет

Нетрадиційні джерела відновлюваної енергії, такі як сонячні електростанції та вітрогенераторні установки вже беззаперечно займають вагоме місце в генерації електричної енергії. Розвиток таких напрямків впливає як на економіку так і на екологію країни в цілому. Невичерпність сонячної енергії є, напевно, найбільшою її перевагою, а підвищення ефективності від впровадження проектів із застосуванням сонячних електростанцій є актуальним і перспективним напрямком. Відстеження точки максимальної потужності дозволяє найбільш ефективно використовувати групи сонячних панелей.

В середовищі Simulink Matlab розроблено математичну модель, яка складається з групи сонячних панелей, що підключаються через фільтр індуктивності та ємності до трифазного інвертора, та з'єднуються з трифазною мережею через силовий трансформатор з номінальною потужністю 250кВА і номінальною напругою 20/0,4 кВ.

Для моделювання було застосовано комбінований алгоритм управління, який складається з MPPT - структури для управління потоком потужності сонячних панелей. Такий алгоритм зазвичай застосовують для підвищення динамічної реакції і чутливості методу управління [1,2].

На рисунку 1 представлено загальний вигляд вдосконаленої моделі [3] мережі, що складається з 500 сонячних панелей, в середовищі Simulink Matlab.

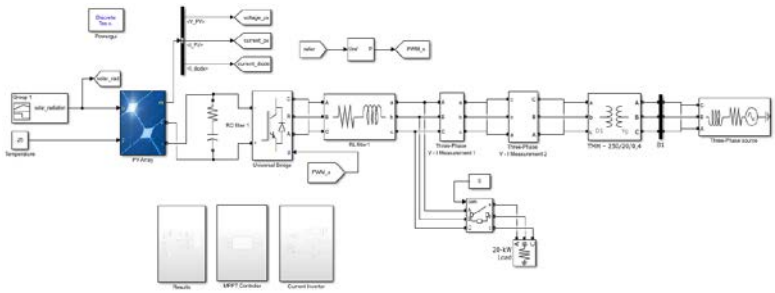


Рисунок 1 – Модель мережі в середовищі Simulink Matlab

В результаті моделювання визначено, що при безперервній зміні сонячного випромінювання, прийнято 1000 Вт/м^2, значення постійного струму досягає IPV = 185 А, а значення постійної напруги VPV = 850 В. При цьому спостерігається максимальне амплітудне значення трифазного струму на затискачах інвертора Iabc = 450 А, а максимальне амплітудне значення трифазного струму мережі Iabc_s = 5,7 А.

Встановлено, що ефективність управління MPPT - контролера, при безперервній зміні сонячного випромінювання складає 97%.

1. Erdal Irmak and Naki Güler. (2019). A model predictive control-based hybrid MPPT method for boost converters. *International Journal of Electronics,* 1-16.
2. Imad Elzein, Yury N. Petrenko. (2015). Model predictive control for photovoltaic station maximum power point tracking system. *Системный анализ и прикладная информатика*, 17 – 25.
3. Кривда В.І., Курінько Д.Д., Майданов Д.А., Зубак В.В. (2018) Перевірка адекватності моделювання параметрів сонячної батареї. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 28(104), 141-146.

УДК: 621.315.592

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК ОКСИДУ МІДІ (CuO)

Курищук С.І.[1], д.фіз-мат.н., доц. Солован М.М.[1], к.фіз-мат.н. Ковалюк Т.Т.[1,2]
[1] Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
[2] Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics, Ke Karlovu 5, 121 16 Prague 2, Czech Republic

Останнім часом проводиться пошук і дослідження дешевих та нетоксичних матеріалів для використання у тонкоплівкових сонячних елементах. Оксид міді є актуальним матеріалом для виготовлення сонячних елементів. Основною його перевагою є те, що він може утворювати сполуки CuO та Cu_2O з шириною забороненої зони для CuO 1.3 еВ – 2.1 еВ, а для Cu_2O 2.1 еВ – 2.6 еВ [1]. Такі плівки можуть володіти n- або p- типом провідності. Завдяки цьому вченим вдалося створити тонкоплівкові сонячні елементи на основі гетеропереходів Cu_2O/ CuO [2].

Тонкі плівки CuO створюють з використанням різних методів осадження тонких плівок [2,3], таких як хімічне осадження з парової фази, термічне випаровування, реактивне магнетронне розпилення. Однак електричні та оптичні властивості даних плівок суттєво залежать від технологічних режимів їх виготовлення. Тому дослідження технологічних режимів виготовлення тонких плівок оксиду міді залишається актуальною задачею.

Виготовлення тонких плівок CuO проводилося в універсальній вакуумній установці Leybold-Heraeus L560. Напилювались тонкі плівки CuO методом реактивного магнетронного розпилення на скляні підкладки, температура яких складала: для зразка №1 – 300 К та для зразка №2 – 523 К. Вакуумна камера має товщину 10 мм і виготовлена з нержавіючої сталі. В ній проводиться відкачка газу до високого вакууму за допомогою турбомолекулярного насосу до $5 \cdot 10^{-5}$ мбар ($5 \cdot 10^{-3}$ Па) за 20 хвилин. Контролюється тиск залишкових газів за допомогою іонізаційної та термопарної ламп.

В табл.1. наведені технологічні параметри процесу виготовлення тонких плівок CuO. Протягом процесу напилення формування газової суміші в потрібних пропорціях аргону і кисню відбувалося з 2-х незалежних джерел. Щоб запобігти неконтрольованому забрудненню поверхонь підкладки і мішені, ми використовували короткочасне протравлювання їх бомбардуючими іонами аргону.

Таблиця 1. Параметри тонких плівок CuO

№	*Плівка*	$P_{магн.}$, Вт	$T_{підк.}$, К	*t*, хв.	P_{Ar}, мбар	P_{O_2}, мбар	*d*, нм
1	CuO	70	300	10	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	280
2	CuO	70	523	10	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	280

Примітка: *1 – оптична ширина забороненої зони визначена за допомогою конвертного методу; *2 – оптична ширина забороненої зони визначена з незалежних вимірювань коефіцієнтів відбивання і пропускання.

На рис. 1, зображені ВАХ нікелевого контакту до тонких плівок CuO створеного за допомогою магнетронного напилення.

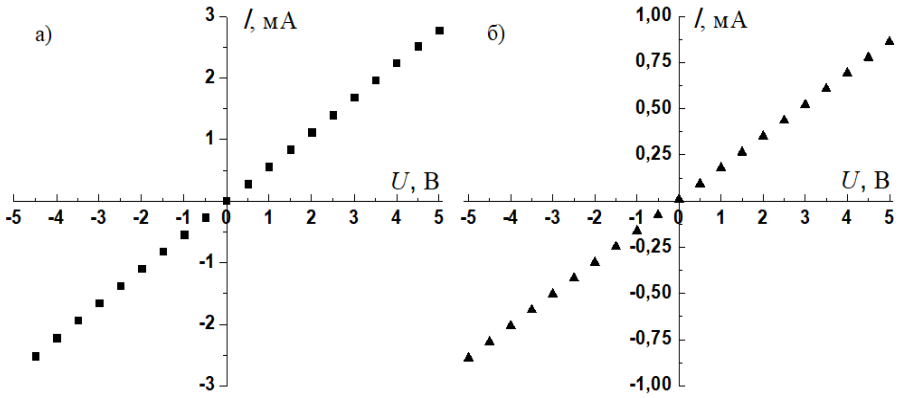


Рисунок 1 – ВАХ контакту до тонких плівок CuO: а) зразок №1; б) зразок №2.

З рис. 1 можна зробити припущення, що отримані нікелеві контакти відповідають критеріям омічності контакту, а саме - це симетричність і прямолінійність гілок ВАХ.

Щоб виміряти температурні залежності електричного опору тонких плівок оксиду міді $R = f(T)$, створювали контакти на 2-х протилежних сторонах досліджуваної плівки. Вимірювання температурних залежностей проводилися в інтервалі температур 305 ÷ 375 К. В процесі вимірювання температурних залежностей електричного опору можлива зміна параметрів тонкої плівки внаслідок незворотних процесів, які можуть виникнути при нагріванні, тому дослідження проводилися, як при зростання температури, так і при її пониженні, видно, що після процесу нагрівання в плівках зміни практично не відбуваються. Температурні залежності опору тонких плівок CuO приведені на рис. 2, мають активаційний характер провідності, з цього можна зробити висновок, що тонкі плівки оксиду міді мають напівпровідниковий тип провідності. З прямолінійних ділянок отриманих експериментальних залежностей $R = f(T)$ визначили енергію активації для наших зразків CuO (рис. 2), що складає 0,24 еВ і може відповідати глибині залягання робочого рівня.

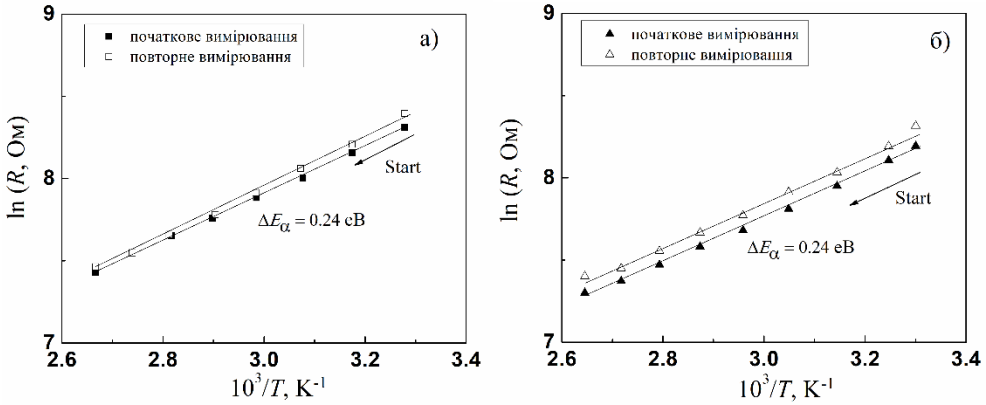


Рисунок 2 – Температурна залежність опору тонких плівок CuO:
а) зразок №1; б) зразок №2.

Виміряні чотирьохзондовим методом значення поверхневого опору тонких плівок CuO при кімнатній температурі: зразок №1 складає ρ_s = 18,69 кОм/□, зразок № 2 - ρ_s = 5,96 кОм/□.

1. Murali D. S., Kumar S., Choudhary R. J., Wadikar A.D., Jain M.K., Subrahmanyam A. Synthesis of Cu_2O from CuO thin films: Optical and electrical properties –: AIP Advances, 2015. – 047143
2. Zhu Y., Xu Z., Yan K., Zhao H., Zhang J. One-Step Synthesis of CuO–Cu_2O Heterojunction by Flame Spray Pyrolysis for Cathodic Photoelectrochemical Sensing of L-Cysteine -: ACS Appl. Mater. Interfaces, 2017. - 40452–40460
3. Kidowaki H., Oku T., Akiyama T., Suzuki A., Jeyadevan B., Cuya J. Fabrication and Characterization of CuO-based Solar Cells -: Journal of Materials Science Research, 2012. - 1927-0585 1927-0593

УДК 621.311.1.05

ЗМЕНШЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ

магістрант Левицька І.О.
Національний університет водного господарства та природокористування

Об'єднана енергетична системи (ОЕС) України включає дві підсистеми, що забезпечують передачу та розподіл електроенергії. Ці функції виконують магістральні та локальні (місцеві) електричні мережі. В умовах функціонування нового ринку електроенергії, електроенергетична система України побудована на взаємовідносинах Оператора системи передачі (ОСП) [1], який забезпечує передачу електроенергії магістральними мережами, Операторів системи розподілу (ОСР) [2], якими забезпечується розподіл електроенергії локальними (місцевими) електромережами на закріплених територіях, та інших користувачів, які приєднані до мереж ОСП.

Система передачі і системи розподілу, як різні суб'єкти господарювання, вирішують свої технічні та економічні проблеми самостійно, не зважаючи на режими функціонування мереж ОСП та ОСР, які встановлюються відповідно до об'єктивних законів електротехніки.

Паралельна робота ліній електропередачі (ЛЕП) різної напруги через високу міру неоднорідності викликає ускладнення під час транспортування та розподілу електроенергії. Між електричними мережами ЕЕС через неоднорідність виникають взаємні перетоки потужності, які завантажують мережі суміжних енергопостачальних компаній. Встановлено, що мережі ОСП (мережі високої напруги (ВН), 220 кВ і вище) розвантажуються на мережі ОСР (мережі низької напруги (НН), 110 кВ і нижче) (рис. 1). Наслідком цього є додаткові втрати електроенергії, а також перевантаження ЛЕП НН та комутаційних апаратів.

На рис. 1 наведено приклад взаємного впливу систем ОСП і ОСР, які змінюють потокорозподіл і зумовлюють приріст втрат потужності при передачі та розподілі електроенергії.

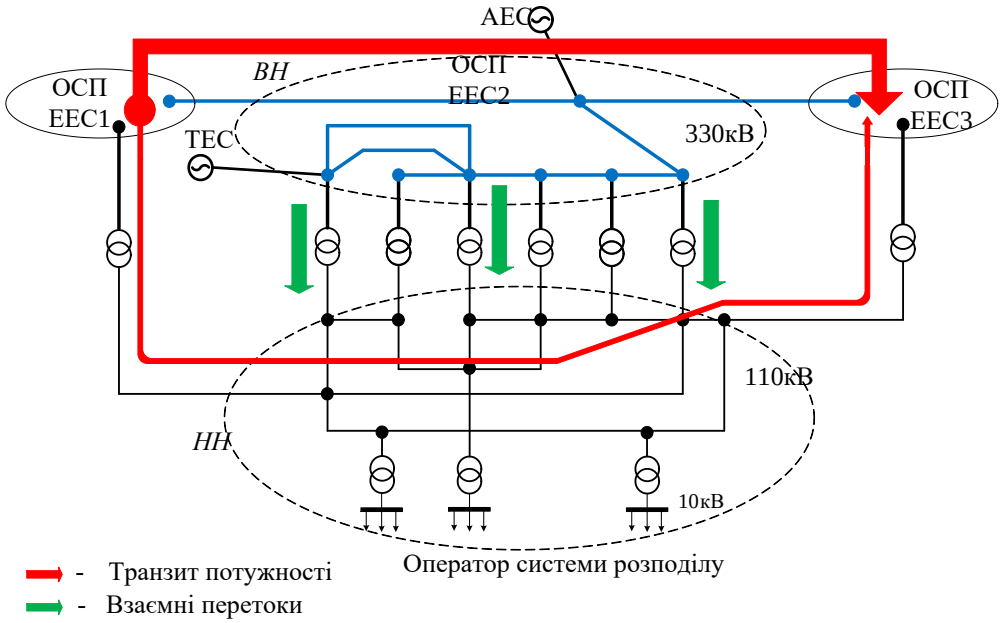


Рисунок 1– Приклад електричної мережі, в якій здійснюється транзит потужності.

Мінімізувати вплив неоднорідності електромереж ОСП на електромережі ОСР і, таким чином, оптимізувати потокорозподіл потужності мережі, зменшивши додаткові втрати електроенергії при транспортуванні/розподілі, можливо шляхом введення в контури

електрорушійної сили фазозсувними трансформаторами (ФЗТ) та РПН [3]. Зменшення втрат електроенергії під час її транспортування шляхом перерозподілу природних потоків потужності і примусового наближення їх до потокорозподілу в однорідній електромережі відбувається завдяки впливу ФЗТ та трансформаторних зв'язків, які об'єднують електричні мережі різних класів напруг.

На рис. 2 представлений фрагмент схеми ЕЕС з електричними мережами високої і низької напруг, які зв'язані автотрансформаторами АТ1 та АТ2. В схему введений ФЗТ для створення зрівнювальної електрорушійної сили ($\dot{E}_{зр}$) в контурі.

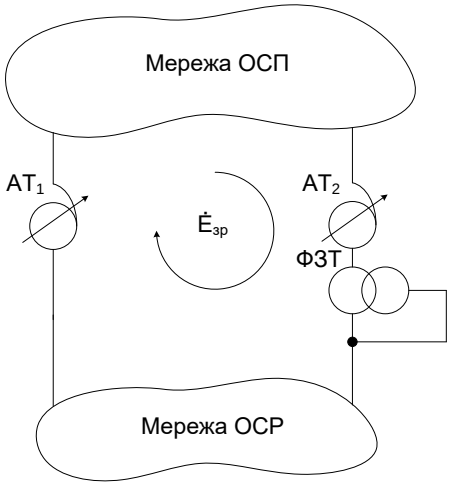


Рисунок 1 – Структурна схема електричних мереж, що працюють паралельно

Для компенсації взаємовпливу неоднорідних електричних мереж ФЗТ включається в таких місцях електричної мережі, які відповідають максимальному значенню чутливості узагальненого показника неоднорідності до місця розташування цього регулятора. Параметри ФЗТ змінюються відповідно до зміни потоків потужності по ЛЕП ЕЕС і наближають їх до розподілу потоків потужності в однорідній мережі, що зменшує додаткові втрати електроенергії, викликані неоднорідністю мереж ОСП та ОСР. Це призводить до підвищення ефективності роботи ЕЕС також завдяки оптимальному перерозподілу потужності і збільшенню пропускної здатності мережі ОСР, що збільшує її транзитні можливості. Постійне значення встановленого кута зсуву фаз визначається таким чином, щоб зменшувати узагальнений показник неоднорідності усієї ЕЕС [4]:

$$\gamma = \mathbf{M_t x r}^{-1} - \mathbf{x_в r_в}^{-1}\mathbf{M_t}, \qquad (1)$$

де $\mathbf{r_в}$, $\mathbf{x_в}$ – діагональні матриці активних і реактивних опорів віток ЕЕС;

$\mathbf{r}$, $\mathbf{x}$ – активна та реактивна складові матриці опорів вузлів;

$\mathbf{M_t}$ – транспонована матриця з'єднань віток у вузлах.

Значення зрівнювальної електрорушійної сили в контурах схеми ЕЕС розраховується за формулою:

$$\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{зр}} = j\mathbf{v r_в M_α^{-1} \dot{J}}, \qquad (2)$$

де $\mathbf{v} = \mathbf{N_α x_{вα} r_{вα}^{-1}} - \mathbf{x_к r_к^{-1} N_α}$ – матриця показників неоднорідності ЕЕС відносно контурів;

$\mathbf{r_к}$, $\mathbf{x_к}$ – діагональні матриці опорів контурів;

$\mathbf{M_α}$, $\mathbf{N_α}$ – матриці з'єднань віток у вузлах і контурах дерева схеми ЕЕС;

$\dot{\mathbf{J}}$ – вектор струмів у вузлах схеми ЕЕС у базовому режимі.

Оптимальні значення коефіцієнтів трансформації, які формують оптимальний потокорозподіл і відповідні йому мінімальні втрати потужності в ЕЕС, визначаються відповідо до критерія:

$$\{\Delta P = f(k)\} \to \min \qquad (3)$$

за умови

$$1-\prod_{j\in S_i}\dot{k}_{ij}=\dot{E}_{*зр\,i},\quad i=\overline{1,q},\tag{4}$$

де $\dot{E}_{*зр\,i}$ – відносне значення електрорушійної сили з (2), яку необхідно ввести в *i*-й контур для компенсації струмів небалансу, викликаних неоднорідністю ЕЕС;

$\dot{k}_{ij}$ – коефіцієнт трансформації *j*-го трансформатора, що входить в *i*-й контур;

S_i – множина трансформаторів *i*-го контура;

q – кількість незалежних контурів ЕЕС.

Задача (3) розв'язується для характерних режимів ЕЕС і з результатів розрахунків визначаються оптимальні параметри ФЗТ, за допомогою якого зменшується неоднорідність ЕЕС в цілому і мінімізуються втрати потужності.

Таким чином, під час паралельної роботи мереж ОСП та ОСР через їх неоднорідність в мережах НН виникають додаткові втрати потужності. Для зменшення цих втрат можна використовувати ФЗТ. Його можливо і доцільно встановлювати зі сторони мережі НН (електрична мережа ОСР).

Місце встановлення ФЗТ в мережі ОСР необхідно визначати за результатами оптимальної компенсації негативного впливу неоднорідності електричної мережі. Для цього можуть бути використані математичні моделі і програмне забезпечення для визначення втрат від транзитних перетоків потужності та визначення віток мережі, які найбільше впливають на неоднорідність електричних мереж, що паралельно працюють.

1. Кодекс системи передачі : Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14.03.2018 р. № 309. *Урядовий кур'єр.* 18.04.2018. № 75.
2. Кодекс системи розподілу : Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14.03.2018 р. № 310. *Урядовий кур'єр.* 18.04.2018. № 75.
3. Kylymchuk A. V., Rubanenko O. E., Teptia V. V., Sikorska O. E., Kozhamberdiyeva M., Gromaszek K., Askarova N. Control of power flow and voltage in parallel working electrical GRIDS. *Przegląd Elektrotechniczny*: Wydawnictwo SIGMA-NOT, 2017. №3. P. 88-92.
4. Kylymchuk A., Lezhnyuk P., Rubanenko O. Impact of linear regulator, installed in the electric grid of energy supply company, on power losses. *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON).* Kiev: IEEE, 2017. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8100521/citations?tabFilter=papers.
5. Сегеда М.С., Бахор З.М., Гапанович В.Г. Оптимізація режимів підстанцій електричних мереж. *Праці ІЕД НАНУ*. 2016. Вип. 45. С.30-34.

УДК 539.3

ДИСКРЕТНО ПІДКРІПЛЕНІ ЕЛІПСОЇДАЛЬНІ ОРТОТРОПНІ ОБОЛОНОКИ В ЕНЕРГЕТИЦІ

к.ф.-м.н Майбородіна Н.В., Герасименко В.П.
ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут»

Конструкції оболонкового типу використовуються в сучасній автоматиці, радіо електротехніці, радіолокації, гіроскопії та інших галузях сучасної техніки. Форма деталей радіоапаратів і автоматичних пристроїв, дзеркала, випромінювачі антен і лазерів можуть мати форму еліпсоїдальні оболонки. Найбільш дослідженими є задачі про гармонічні коливання підкріплених оболонок простої геометрії (циліндричні, конічні, сферичні) [1, 2]. Потреби теорії та практичні запити сучасної техніки, вимагають розширення класу досліджуваних задач, зокрема, дослідження динамічної поведінки підкріплених оболонок більш складної геометрії [3–5].

Мета досліджень – проаналізувати задачу про вимушені коливання дискретно підкріпленої поперечними ребрами еліпсоїдальної ортотропної оболонки при дії нестаціонарного розподіленого навантаження.

Оболонка постійної товщини h віднесена до гауссової криволінійної системи координат α_1, α_2. Геометрія серединної поверхні $z=0$ гладкої еліпсоїдальної оболонки задається співвідношеннями

$$x = R\sin\alpha_1 \sin\alpha_2,\ y = R\sin\alpha_1\cos\alpha_2,\quad z = kR\cos\alpha_1, \tag{1}$$

де a, b – півосі еліпса; $k = b/a$ – параметр еліптичності.

Процеси вимушених коливань еліпсоїдальної ортотропної оболонки розглядаються в рамках гіперболічної системи нелінійних диференціальних рівнянь теорії оболонок типу Тимошенка. При розгляді розподілу деформацій і напружень структури використовується геометрично нелінійний варіант теорії оболонок типу Тимошенка в квадратичному наближені [5]. При побудові математичної моделі деформування j-го підкріплюючого ребра будемо виходити з гіпотези недеформованості поперечного перерізу підкріплюючого елементу в рамках геометрично нелінійної теорії стержнів типу Тимошенка [5].

Для виводу рівнянь коливань дискретно підкріпленої оболонки використовується варіаційний принцип Гамільтона – Остроградського. Приймаються умови жорсткого контакту між компонентами вектора переміщень центру ваги поперечного перерізу j-го ребра та компонентами узагальненого вектора переміщення серединної поверхні [5].

Чисельний алгоритм розв'язання вихідної задачі будується наступним чином: шукається розв'язок в гладкій області еліпсоїдальної оболонки і на лініях просторових розривів. Різницевий алгоритм заснований на застосуванні інтегро–інтерполяційного методу побудови різницевих схем по просторовим координатам і явній скінчено–різницевій апроксимації по часовій координаті [6]. При цьому компоненти узагальненого вектора переміщень апроксимуються в цілих точках різницевої сітки, а компоненти величин деформації і зусиль в півцілих точках сітки. Перехід від неперервної системи до скінчено – різницевої виконується в два етапи. Перший етап полягає в скінчено – різницевій апроксимації рівнянь коливань в зусиллях – моментах [5].

Розглядалась задача вимушених коливань поперечно підкріпленої частини еліпсоїдальної ортотропної оболонки в області $D = \{\alpha_{10} \le \alpha_1 \le \alpha_{1N},\ \alpha_{20} \le \alpha_2 \le \alpha_{2N}\}$. В напрямку координати α_2 розглядалися умови вільно опертого краю, а в напрямку координати α_1 – умови для жорстко защемленого краю. На підкріплену оболонку діє розподілене нормальне навантаження $P_3(\alpha_1,\alpha_2,t) = A\cdot\sin\frac{\pi t}{T}[\eta(t)-\eta(t-T)]$, де A – амплітуда навантаження, T –

тривалість навантаження. В розрахунках покладалось $A = 10^6 Па$; $T = 50 \cdot 10^{-6} c$. Початкові умови при $t = 0$ для всіх компонент узагальненого вектора переміщень нульові.

Задача розглядалась при наступних фізико-механічних параметрах вихідної конструкції (випадок ортотропної оболонки). Покладемо, що модуль пружності $E_1 = 210 ГПа$, а змінюються: $E_2 = \mu E_1$, $G_{12} = \lambda E_1$, $G_{13} = G_{23} = E_1 / d$, $\rho = 2{,}7 \cdot 10^3 кг / м^3$.

При цьому, λ, μ, ν_{12} приймають значення:

1. $\mu = 2;\ \lambda = 0{,}3;\ \nu_{12} = 0{,}075$;
2. $\mu = 1{,}35;\ \lambda = 0{,}215;\ \nu_{12} = 0{,}122$;
3. $\mu = 1;\ \lambda = 0{,}385;\ \nu_{12} = 0{,}3$;
4. $\mu = 0{,}741;\ \lambda = 0{,}159;\ \nu_{12} = 0{,}165$;
5. $\mu = 0{,}5;\ \lambda = 0{,}125;\ \nu_{12} = 0{,}15$.

Геометричні параметри конструкції:

$$\alpha_{10} = \pi / 12,\ \alpha_{1N} = \pi - \pi / 12,\ \alpha_{20} = -\pi / 2,\ \alpha_{2N} = \pi / 2,\ a / h = 60,\ h_j = 4 \cdot h,\ F_j = 4 \cdot h^2.$$

Фізико-механічні параметри підкріплюючих елементів:

$$E_j = E_2;\ G_j = G_{12},\ \rho_j = \rho.$$

Поперечні підкріплюючі елементи розміщувались вздовж по координаті α_2 в перерізах $\alpha_{1j} = \frac{7}{24}\pi + \frac{5}{24}\pi j$, $j = 0,\ 1,\ 2.$

Розрахунки проводилися на часовому інтервалі $t = 40T$. На рисунках приведено найбільш характерні криві для величин u_3 (в силу симетрії приводяться залежності по координаті α_1 в діапазоні $\pi / 12 \le \alpha_1 \le \pi / 2$). Розглядався час досягнення вказаними величинами максимальних значень по модулю. Величина максимального прогину (варіант 5) при $\alpha_2 = 0$ приймає значення $-2{,}5 \cdot 10^{-4} m$.

Список використаних джерел

1. Григоренко Я.М., Беспалова Е.И., Китайгородский А.Б., Шинкарь А.И. Свободные колебания элементов оболочечных конструкций. – К.: Наук. думка, 1986. – 172 с.
2. Колебания ребристых оболочек вращения / И.Я. Амиро, В.А. Заруцкий, В.Н. Ревуцкий и др. – К.: Наук. думка, 1988. – 171 с.
3. Луговой П.З., Мейш В.Ф., Штанцель Э.А. Нестационарная динамика неоднородных оболочечных конструкций. – К.: Изд-во полиграф. центр “Киев. ун-т”, 2005. – 563 с.
4. Мейш В.Ф., Майбородіна Н.В. Исследование напряженно–деформированного состояния дискретно подкрепленных продольными ребрами эллипсоидальных оболочек при нестационарных распределенных нагрузках // Теоретическая и прикладная механика – 2007 – 43. с. 150–155.
5. Мейш В.Ф., Майбородіна Н.В. К расчету неосесимметричных колебаний дискретно подкрепленных поперечными ребрами гибких эллипсоидальных оболочек при нестационарных нагрузках // Прикл.механика. – 2008. – 44, № 10. – С. 63 – 73.
6. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656 с.

УДК 681.586

УПРАВЛІННЯ НАПРУГОЮ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

ст.викладач Машін В.М.
Одеський національний морський університет

Сучасні морські судна характеризуются високим ступенем автоматизації процесів виробництва та передачі електроенергії. Такі параметри суднової електростанції, як напруга, потужність і частота схильні до змін з боку як зовнішніх, так і внутрішніх впливів, що характеризуються властивостями і характеристиками системи і її компонентів, а також умовами навколишнього середовища. На сьогоднішній день нечітка логіка має великі переваги та можливості в автоматичному управлінні будь яких процесів в нашому житті і є сучасним рішенням для моделювання та проектування систем управління, такі системи використовуються в медицині, технічній діагностиці, управлінні технологічними процесами, комп'ютерними мережами, а також для наближених обчислень.

В області управління технічними системами нечітке моделювання дозволяє отримувати більш адекватні результати в порівнянні з результатами. які ґрунтуються на використанні традиційних аналітичних моделей і алгоритмів управління. Діапазон застосування нечітких методів з кожним роком розширюється, охоплюючи такі області, як проектування промислових роботів і побутових електроприладів, управління доменними печами і рухом поїздів метро, автоматичне розпізнавання мови і зображень.

Основним видом електричної енергії в сучасній енергетиці є трифазний струм, який створюється синхронними генераторами. Синхронні генератори, будучи в даний час основними джерелами змінного струму, встановлюються на всіх електричних станціях. На сучасних судах морського флоту переважне поширення набуло електрообладнання змінного струму. Завдяки цьому синхронні генератори різних модифікацій використовуються в електроенергетичних системах судів.

Сучасні регулятори або інтелектуальні регулятори почали впроваджуватися відносно недавно. Управління на базі нечіткої логіки дозволяє сформувати алгоритм, який відтворює дії інженера на основі накопиченого досвіду.

На основі алгоритму Мамдані проведена реалізація процесу нечіткого моделювання бази правил за допомогою пакета Fuzzy Logic Toolbox.

Функції приналежності для терм-множин вхідних і вихідних лінгвістичних змінних:

- X1 Напруга на виході генератора;
- X2 Швидкість зміни напруги;
- Y1 Струм збудження.

Для вхідної змінної X1 терм-множина складається з 7 термів: {напруга негативна велика (NL), напруга негативна середня (NM), напруга негативна мала (NS), близька к нулю (ZE), напруга позитивна мала (PS), позитивна середня (PM), позитивна велика (PL)}, які характеризують вихідну напругу на виході генератора.

Для вхідної змінної X2 терм-множина складається з 7 термів: {швидкість негативна велика (NL), швидкість негативна середня (NM), швидкість негативна мала (NS), швидкість близька к нулю (ZE), швидкість позитивна мала (PS), швидкість позитивна середня (PM), швидкість позитивна велика (PL)}, які характеризують швидкість зміни напруги на виході генератора.

Для вихідної змінної Y1 терм-множина складається з 7 термів: {сигнал негативний великий (NL), сигнал негативний середній (NM), сигнал негативний малий (NS), сигнал близький к нулю (ZE), сигнал позитивний малий (PS), сигнал позитивний середній (PM), сигнал позитивний великий (PL)}, які характеризують струм в обмотці збудження

синхронного генератора. Нечітка модель побудована в пакеті Fuzzy Logic Toolbox Matlab (рисунок 1).

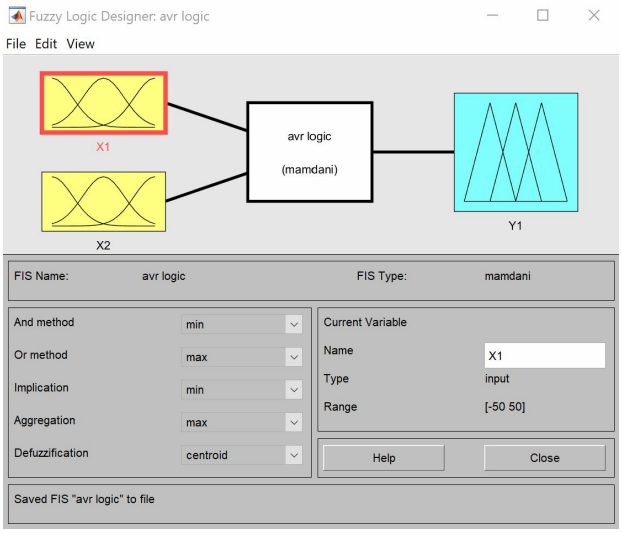


Рисунок 1 – Структура нечіткої моделі

Правила моделі формуються на основі загальних закономірностей поведінки досліджуваної системи і дозволяють «вкласти» у механізм виведення логічну модель прикладного рівня (рисунок 2).

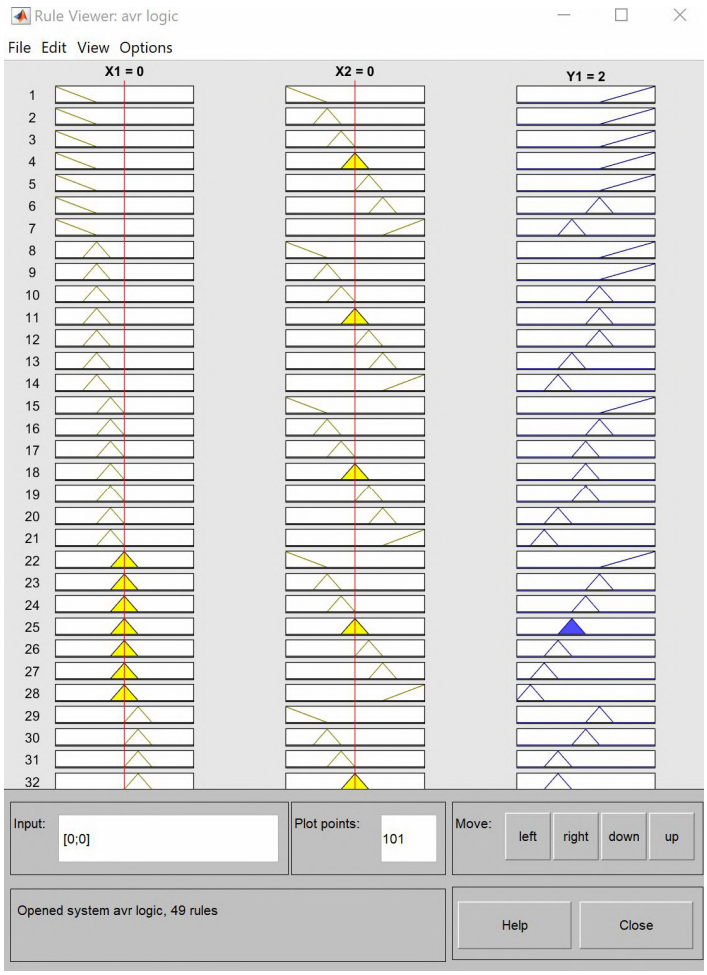


Рисунок 2 – Реалізація правил в структурі нечіткої моделі

Модель регулятора напруги синхронного генератора з нечіткою логікою в Simulink (рисунок 3).

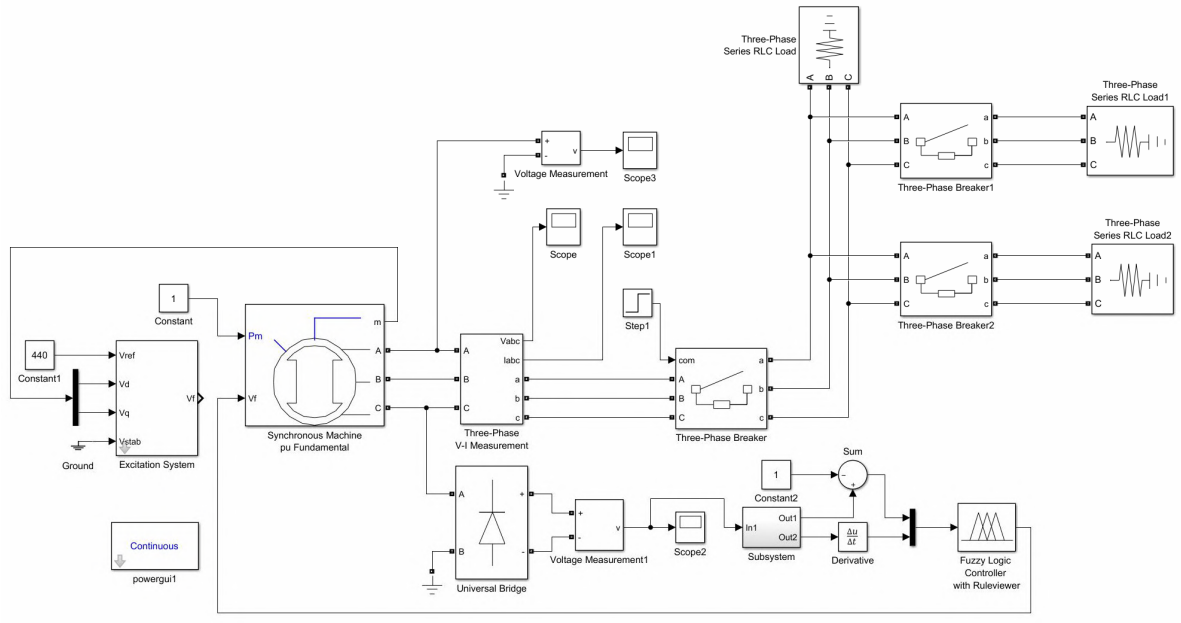


Рисунок 3 — Модель регулювання напруги на базі нечіткої логіки

Модель на базі нечіткої логіки в основі своєї роботи має випрямляч, який випрямляє напругу з фази синхронного генератора та подає її до осцилографа, та до Fuzzy Logic контролера, де нечітка логіка оцінює поточне значення напруги на виході генератора, та формує певний сигнал струму збудження для плавного регулювання напругою, завдяки бази правил та алгоритму нечіткої логіки. Також модель має блок derivative, що визначає вихідну зміни напруги в часі, тобто швидкість зміни напруги.

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.
2. Машин В.Н. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В SIMULINK [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.rusnauka.com/16_ADEN_2010/Tecnic/68440.doc.htm (Дата звернення 04.03.2021)
3. Darabi A., Soleamani S.A., Hassannia A. Fuzzy based digital automatic voltage regulator of a synchronous generator with unbalanced loads. American J. of Engineering and Applied Sciences, 2008, vol. 1, no 4, 280-286 p.
4. Niketa N. & Shantharama Rai. Design and modeling of fuzzy logic based voltage controller for an alternator // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 2013, Vol. 2, № 2, pp. 155-158.
5. Коберси И.С., Кияшко А.В., Македонов Е.А., Крамаренко Е.Р., Финаев В.И. Система управления напряжением генератора на базе нечёткой логики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cyberleninka.ru/articl e/n/ sist ema-upravleniya-napryazheniem-generatora-na-baze-nechyotkoy-logiki (Дата звернення 01.02.2021).

УДК 621.316

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ СЕС

д.т.н., проф. Мороз О.М., д.т.н., проф. Мірошник О.О., аспірант Павлов А.О.
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

У зв'язку з кліматичними змінами та постійним зростанням споживання енергетичних ресурсів однією з основних цілей діяльності ООН на період до 2030 р. є «забезпечення загального доступу країн до сучасних енергетичних послуг, подвоєння частки відновлюваних джерел енергії у світовому енергетичному балансі та подвоєння глобальних темпів підвищення енергоефективності». Одним із рішень щодо проблеми глобального потепління та дедалі більшого попиту на електроенергію є встановлення «чистіших» джерел видобутку енергії, таких як сонячні електростанції (СЕС).

Найбільш динамічними країнами у сфері будівництва СЕС є Німеччина та Китай. Встановлена потужність СЕС Німеччини від загальної генеруючої потужності у 2020 році склала 24%, а виробництво електричної енергії становило 11%. В Китаї встановлена потужність СЕС у 2020 році становила 12% від загальної генеруючої потужності, а виробництво електричної енергії склало 3%. Планами уряду Китаю на 2021-2025 р.р. передбачено досягнення 25% генерації електричної енергії від відновлювальних джерел енергії [1].

Сьогодні розвиток сонячної енергетики в Україні знаходиться на стадії, яку Європа пройшла 7-10 років тому, а у порівнянні з Німеччиною сонячна енергетика України відстає на 13 років. Темпи генерації електричної енергії СЕС в Україні постійно зростають. З 2015 до 28 лютого 2021 року встановлена потужність СЕС України збільшилася з 359,1 до 5423,3 МВт, тобто зросла більше ніж у 15 разів [2].

В аналізі Міністерства енергетики та захисту довкілля України у 2019 році [3] було відмічено, що однією із технічних проблем використання ВДЕ є низька точність прогнозу виробництва на СЕС і ВЕС, в Україні середня похибка прогнозування виробництва електроенергії на добу наперед складає біля 35%. В законі України «Про ринок електроенергії» [4] встановлено, що частка відшкодування гарантованому покупцю суб'єктами господарювання, які входять до складу балансуючої групи гарантованого покупця та здійснюють продаж електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії на об'єктах електроенергетики, встановлена потужність яких перевищує 1 МВт, за "зеленим" тарифом або аукціонною ціною, вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця становить: з 1 січня 2021 року – 50%; з 1 січня 2022 року – 100%.

Тому необхідність розроблення ефективної системи для короткотермінового погодинного прогнозування обсягів електроенергії, генерованих СЕС та режимів їх роботи, є дуже актуальною.

Для створення прогнозної моделі генерації СЕС були проведені експериментальні дослідження впливу природних факторів на параметри роботи СЕС потужністю 2,4 МВт, яка розміщена на території м. Мерефа Харківської області. Для реєстрації параметрів погоди на території станції була встановлена метеостанція Meteoscan 937PRO, яка забезпечувала вимірювання зовнішньої температури, атмосферного тиску, вологості зовнішнього повітря, напряму та швидкості вітру, рівня УФ випромінювання, освітленості, кількості опадів, визначення точки роси. Передача даних в мережу та РС здійснювалась через WI-FI. Обробка даних метеостанції проводилась безпосередньо на РС за допомогою програмного забезпечення Easy Weather IP, для цього ПК був підключений до тієї ж локальної (WI-FI) мережі, що і метеостанція.

Моніторинг режимів роботи СЕС в режимі реального часу здійснювався за допомогою пристрою SmartLogger [5], який забезпечує отримання інформації у виді таблиць та графіків.

Генерація СЕС залежить від прямої та розсіяної сонячної радіації, а також від відбитої радіації від поверхні землі (альбедо) . При безхмарній погоді основний вплив на генерацію СЕС має пряма радіація, а при 100% хмарності генерація СЕС залежить від розсіяної радіації та альбедо [6]. Аналіз даних генерації СЕС показав, що вплив розсіяної радіації та альбедо на генерація СЕС складає від 10 до 30% в залежності від типу та товщини ярусів хмар. На рис. 1 і 2, у якості прикладів, наведені графіки активної потужності та згенерованої електричної потужності на 21 вересня та 18 листопада 2020 року. Графіки від 21 вересня були отримані при ясній погоді, а графіки від 18 листопада – при 100% хмарності. Так активна потужність СЕС 18.11 об 11 годині, що відповідає куту сонця над горизонтом $20^0 41'$, становила 250 кВт, а потужність станції 21.09 о 8.45, що відповідає такому ж куту сонця, становила 900 кВт. Тобто активна потужність при 100% хмарності становить 28% від потужності у ясний день.



Рисунок 1 – Графіки активної потужності та виробленої електричної енергії 21.09.20 (ясний день)



Рисунок 2 – Графіки активної потужності та виробленої електричної енергії 18.11.20 (100% хмарність)

За результатами регресійного аналізу статистичних даних режимів роботи СЕС та природних факторів, здійснених у MS Excel, були встановлено, що найбільший вплив на генерацію електричної енергії мають два фактори – кут сонця над горизонтом та хмарність, інші фактори (температура, швидкість та напрям вітру, вологість, азимут, тиск) мають значно менший вплив. Тому була створена прогнозна модель яка враховувала кут сонця та хмарність. Хмарність для розрахунків визначалася за даними метеосервісу Weather Underground [7] та УкрГМІ, який здійснює розрахунки за версією моделі WRF (Weather Research and Forecasting Model) [8].

Розрахунки проводились за середньогодинним кутом сонця та середньогодинною хмарністю. Дослідження не виявили особливих переваг прогнозних даних Weather Underground та УкрГМІ, хоча кращі прогнози генерації при значній хмарності були отримані за даними Weather Underground (рис. 3), а при незначній хмарності кращі прогнози генерації були отримані за даними УкрГМІ (рис. 4).

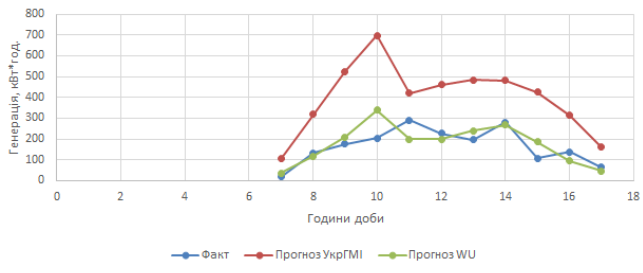


Рисунок 3 – Прогнозні та фактичні графіки генерації СЕС від 8.03.21

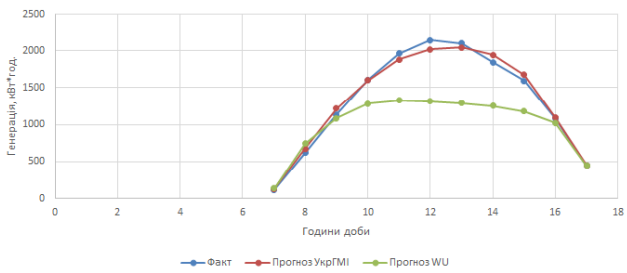


Рисунок 4 – Прогнозні та фактичні графіки генерації СЕС від 10.03.21

На основі статистичних даних СЕС потужністю 2,4 МВт, яка працювала в режимі генерації з січня 2021 року, були проведені прогнозні розрахунки генерації СЕС на 26 і 27 листопада 2020 року з використанням нейронних мереж [9] (рис. 5). Вхідними параметрами для розрахунку були кут сонця над горизонтом та азимут, температура та вологість повітря, ймовірність опадів, хмарність, напрям та швидкість вітру, тиск. Результати розрахунків показали, що прогнозні дані відображають загальну тенденцію генерації СЕС, але співпадіння було не задовільне. Після поповнення бази статистичних даних, коректування прогнозної моделі та навчання системи впродовж 100000 епох були отримані прогнозні розрахунки генерації СЕС на 15 і 16 лютого 2021 року (рис. 6). Результати розрахунків показали гарне співпадіння з реальними даними.

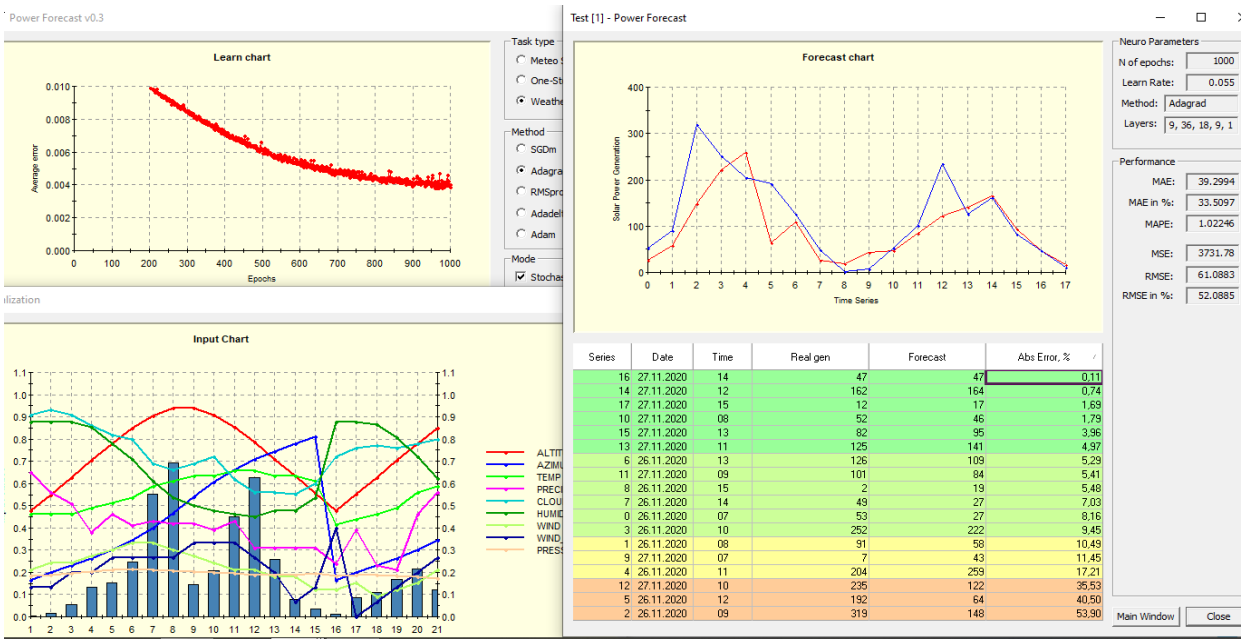


Рисунок 5 – Результати розрахунку генерації СЕС на 26 та 27 листопада 2020 року

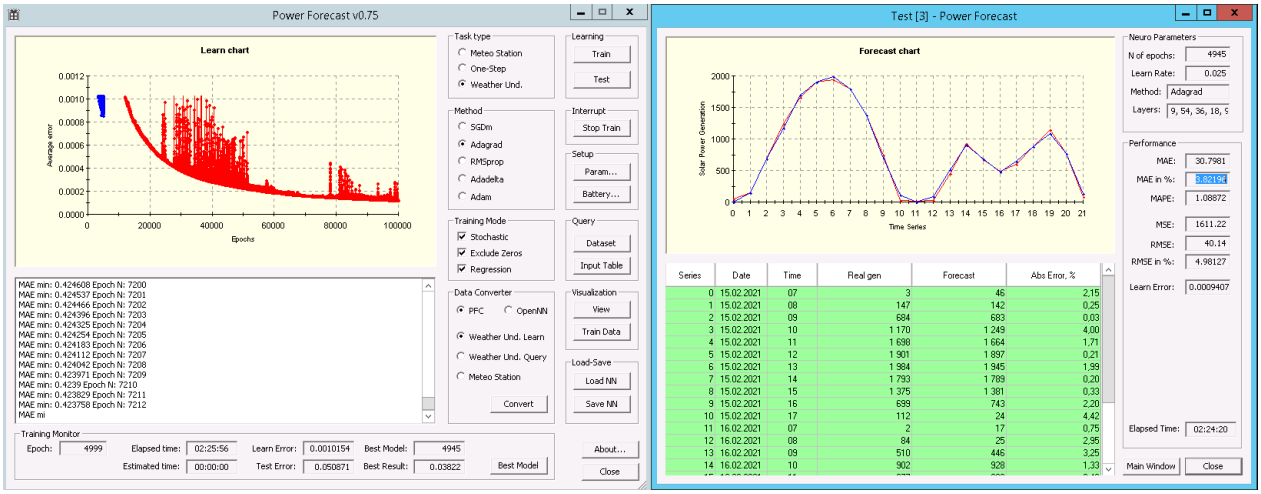


Рисунок 6 – Результати розрахунку генерації СЕС на 15 та 16 лютого 2021 року

Хоча результати розрахунків з використанням нейронних мереж показують гарні результати але при значних змінах хмарності результати розрахунків не є задовільними, тому необхідно продовжити набір статистичних даних та дослідження ваги змінних параметрів природних факторів на вплив прогнозних моделей. Особливо важливою на генерацію СЕС, з нашої точки зору, є вплив температури панелі, яка залежить від температури та вологості повітря, швидкості та напрямку вітру.

ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Зарубежная электроэнергетика. – Режим доступу до ресурсу: https://www.np-sr.ru/ru/market/cominfo/foreign/index.htm.

2. Встановлена потужність енергосистеми України на 02/2021. – Режим доступу до ресурсу: https://cutt.ly/MjWGW4N.

3. Розвиток відновлюваної енергетики: стан, виклики, пропозиції до вирішення. – Режим доступу: https://cutt.ly/7jbxr5e.

4. Закон України «Про ринок електричної енергії», документ 832-IX, чинний, поточна редакція – Прийняття від 01.09.2020. – Режим доступу: https://cutt.ly/5jWKpL9.

5. SmartLogger1000. Инструкция по эксплуатации. Издание 08. – Режим доступу: https://cutt.ly/ejWKIxo

6. Юмаев Н. Р., Юсуфбеков Н. Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации. Технические науки: традиции и инновации: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Самара, март 2018 г.). – Казань: Молодой ученый, 2018. – iv, 128 с. С. 49-52. – Режим доступу до ресурсу: https://www.twirpx.com/file/2490324/

7. Ukraine Hourly Weather Forecast. – Режим доступу: https://cutt.ly/YjWH0Ov.

8. Український гідрометеорологічний інститут http://accuweather.org.ua/nwp/index.php.

9. Лежнюк П. Д., Кравчук С. В., Кульматицька А. С. Прогнозування генерування фотоелектричних станцій на добу наперед. Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. http://ir.lib.vntu.edu.ua//handle/123456789/26822

УДК 538.56:621.374

АМПЛІТУДНІ ТА СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛУ ІМПУЛЬСНИХ АКУСТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НА ОСНОВІ ІНДУКЦІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

к. ф.-м. н., доц. Мостовий С.П.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Одним з основних складових елементів сучасної апаратури для геофізичних досліджень шельфової зони морів та дна океанів є джерело сейсмічних сигналів, яке виступає в якості генератора акустичних сигналів в геологічному середовищі. Широко використовувані для цих цілей пневматичні джерела, які працюють в діапазоні частот 5 Гц – 150 Гц, забезпечують значну глибину дослідження морського дна, але не дозволяють отримати детальну інформацію про його будову. Високочастотні п’єзокерамічні і магнітострикційні джерела сейсмічних сигналів призводять до кращого розділення геологічних структур, але їх випромінювання не проникає досить глибоко в ґрунт. Середньо частотний діапазон частот 400 Гц – 10 кГц перекривається електроіскровими та електродинамічними сейсмічними джерелами, які відомі під назвами відповідно «Спаркер» та «Бумер».

Конструктивно імпульсний індукційний динамічний перетворювач для сейсмоакустичних та геофізичних досліджень типу «Бумер» з плоскою електромагнітною системою складається з укріпленої на діелектричній основі плоскої дискової котушки і електрично ізольованого від неї рухливого, механічно затисненого, електропровідного диска. При підключенні до котушки заздалегідь зарядженого ємнісного накопичувача енергії в діелектричному проміжку між котушкою і диском виникає імпульс радіального магнітного поля. В результаті диск під дією тиску цього магнітного поля відштовхується від котушки і передає механічний імпульс пружному середовищу, таким чином випромінюючі сейсмічний (при взаємодії диску з ґрунтом) або акустичний (при взаємодії с рідиною або газом) сигнал. Переріз диску при такому силовому імпульсному впливі здійснює коливання в радіальному та окружному напрямках, які, в загальному вигляді, супроводжуються деформаціями «розтягнення-стискування» середньої поверхні диску. Основна область концентрації таких коливань механічно защемленого круглого диску при дії імпульсного магнітного поля визначена нами за результатами прямих вимірювань амплітудних значень вібраційних прискорень поверхні диску від його центру та вздовж всього радіусу диску. Встановлено, що основні гармоніки імпульсного сигналу зосереджені в області диску з радіусом, що дорівнює величині 0,4 радіусу диску, і яка приблизно співпадає з радіусом другої вузлової окружності осе симетричних коливань круглої пластини [1].

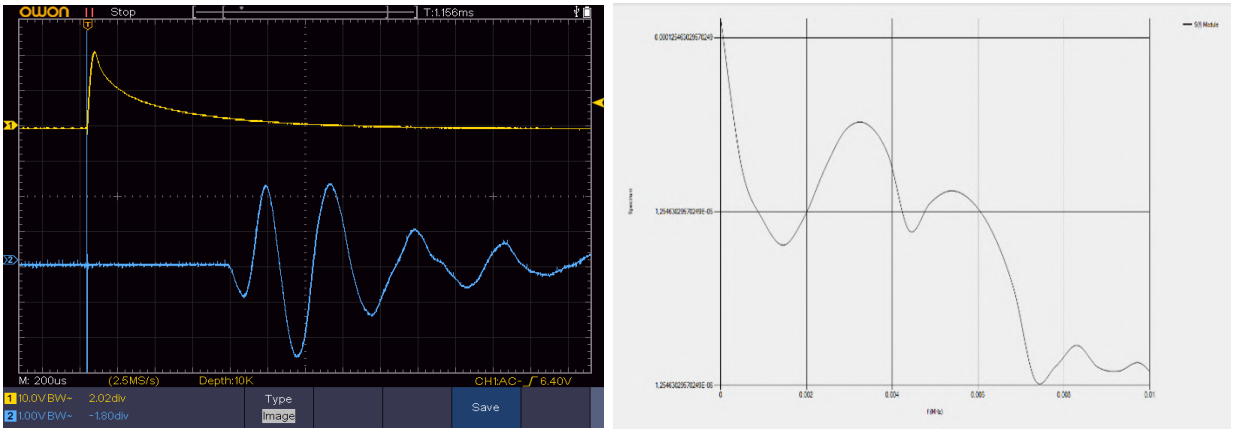
Акустичний сигнал індукційного динамічного перетворювача представляю собою цуг з декількох коливань та має суцільний спектр, на якому присутні декілька частотних областей з характерними переважаючими за рівнем частотами. Ширина спектру випроміненого сигналу на рівні 0,5 складає в середньому 2 кГц – 5 кГц в залежності від конструктивного виконання механічної підсистеми «диск-кільце защемлення» и параметрів електричної підсистеми випромінювача. Він характеризується наявністю основних частот, пов’язаних з резонансами механічної підсистеми акустичного перетворювача (як правило, це перші три гармоніки коливань механічного защемленого диска перетворювача) та параметрами електричної підсистеми індукційного динамічного перетворювача – частотою розрядного контуру генератора імпульсних струмів, яка, в свою чергу, залежить (значним чином) від величини ємності накопичувача енергії та індуктивності котушки перетворювача та розраховується на основі відомих формул для перехідного процесу в розрядному *RLC*-контурі [2]. На рисунку 1 наведені осцилограма розрядного струму в розрядному контурі ємнісного накопичувача енергії ємністю 40 мкФ при величині індуктивності плоскої

спіральної котушки перетворювача 22 мкГн (жовта крива) та зареєстрований за допомогою гідрофону у ближній хвильовій зоні на відстані 1 м акустичний сигнал (синя крива). Комутація в розрядному контурі здійснювалась за допомогою високовольтного тиристорного ключа на основі стандартних силових уніфікованих тиристорів та високовольтного діоду, підключеного паралельно котушці та зустрічно з тиристорним ключем (схема рекуперації енергії в розрядному контурі). Таке схемне рішення дозволило змінити форму імпульсу струму з стандартної і характерної для першого напівперіоду перехідного процесу при тиристорній комутації в *RLC*-контурі на затягнутий в часі імпульс з експоненціальним спадом. Це дозволило, з однієї сторони, здійснювати електромагнітне демпфірування паразитних коливань защемленого диску, а, з другої сторони, здійснювати керування параметрами спектральної щільності акустичного випромінення. Характерні частоти на наведеній на рисунку 1 логарифмічній шкалі модулю амплітудного спектру акустичного сигналу 3,3 кГц та 5,5 кГц приблизно співпадають з частотами третьої гармоніки механічних коливань диску перетворювача (3,4 кГц) та частотою розрядного контуру (5,4 кГц). Збільшення величини електричної ємності накопичувача в розрядному контурі дозволило здійснювати плавне регулювання ширини смуги спектру акустичного сигналу до значень характерних частот першого та другого механічного резонансу диску.

Узагальнення експериментально отриманих значень амплітуди імпульсу тиску, виміряних гідрофоном на відстані 1 м від випромінювача, в діапазоні початкових енергій ємнісного накопичувача 100 Дж – 1000 Дж при величині електричної ємності накопичувача 40 мкФ – 500 мкФ, площі спіральної котушки 7×10^{-2} м^2 – $1{,}3\times10^{-1}$ м^2, товщині диску випромінювача 10 мм (виконаного з алюмінієвого сплаву) та діаметрі останнього в діапазоні 0,4 м – 0,7 м призводить до достатньо простої формули для оцінки рівня сигналу:

$$P_{max} \cong 0{,}027\,\frac{W_0}{aS_K} \qquad (1)$$

де S_K – площа спіральної котушки, яка створює імпульсне магнітне поле; W_0 - початкова енергія ємнісного накопичувача; a - товщина витків спіралі котушки.



А) Б)

Рисунок 1 – Осцилограма розрядного струму та акустичного сигналу (А) і логарифмічна шкала модулю амплітудного спектру акустичного сигналу (Б).

1. Аронов Б.С. Электромеханические преобразователи из пьезоэлектрической керамики - Л.: Энергоатомиздат, 1990. -272с.
2. Белый И.В., Фертик. С.М., Хименко Л.Т. Справочник по магнитно - импульсной обработке металлов - Харьков, «Вища школа», 1977. -168с.

УДК:621.316.12

ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАМІНИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ В ЗАВОДСЬКІ МАГІСТРАЛІ СТИСЛОГО ПОВІТРЯ

к.т.н., доц. Немикіна О.В., студ. Мухомедьярова В.В.
Національний університет «Запорізька політехніка»

Наявне обладнання для виробництва стислого повітря на ПрАТ «Запорізький електровозоремонтний завод» складається з семи нових компресорів виробництва фірми «DALGAKIRAN COMPRESSOR», а також трьох компресорів виробництва СРСР які до поточного часу, застаріли як фізично, так і морально, знос даного обладнання становить понад 70%. Для повного забезпечення підприємства стисненим повітрям даного обладнання недостатньо, багато ділянок підприємства знаходяться в крайніх точках заводський пнемо мережі відчувають проблеми з нестачею стислого повітря.

До розгляду запропоновано компресори компанії «DALGAKIRAN COMPRESSOR» як ті, що успішно зарекомендували себе на ринку України і не один рік відпрацювали на ПрАТ «ЗЕРЗ».

- Гвинтовий компресор DVK 220 / 220D. Потужність електродвигуна 160 (кВт). Продуктивність 27,4 ($м^3$ / хв).
- Гвинтовий компресор з частотно регульованим приводом Inversys 160 Plus. Потужність електродвигуна 160 (кВт). Продуктивність від 6,8 до 28,2 ($м^3$ / хв).

За результатами дослідження представленого компресорного устаткування рекомендується, для установки на компресорній дільниці енергосилового цеху гвинтовий компресор з частотного регульованим приводом (ЧРП) Inversys 160 Plus. Тому як при роботі групи компресорів (два наявних DVK 220 + Inversys 160 Plus) для регулювання продуктивності досить одного компресора з ЧРП. Компресор з ЧРП згладжує нерівномірність в споживанні стислого повітря (підтримуючи стабільний тиск в пнемо-мережі) і в разі потреби вводить в роботу (або виводить з роботи) компресори з постійною продуктивністю. Віддалені ділянки заводської пнемо-мережі (цех металоконструкцій, транспортний цех) рекомендується обладнати одним гвинтовим компресором DVK 220, для забезпечення повноцінної роботи даних цехів і підтримки стабільного тиску заводський пнемо-мережі. Так як мінімальне споживання стислого повітря на момент вимірів склало 8,1 м³ / хв, максимальне 15,1 м³ / хв. При цьому не було задіяне обладнання: прес 630 т. Установка даного компресора дасть можливість локальної роботи, у вихідні дні, всіх виробничих цехів, без задіяння компресорної ділянки енергосилового цеху.

Загальні капітальні вкладення на установку обладнання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	Дільниця	Тип обладнання	Обрана модель	Вартість
1	ЦЕС	Гвинтовий компресор	Inversys 160 Plus	49 400,00 EUR
2	ЦМК	Гвинтовий компресор	DVK 220	39 000,00 EUR

Час окупності і економічний ефект компресорного устаткування.

При використанні поточного обладнання для вироблення і підтримки задовільного тиску стислого повітря в пнемо-мережі заводу, а саме поршневого компресора 4ВМ10-120 /9. Витрати на його роботу складуть:

- Потужність основного електродвигуна компресора 800кВт

- Потужність допоміжного обладнання компресора ~ 200 кВт

Сумарна потужність складе 800 + 200 = 1000 кВт • год.

При середньому часі роботи компресора близько 7 годин на добу, кількість споживаємої електроенергії за рік складуть:

$$W = \kappa_в \, PNT \qquad (1)$$

де $\kappa_в$ – коефіцієнт використання компресора $\kappa_в$ =0,8-1, приймаемо $\kappa_в$ =1

P - сумарна потужність компресора, кВт;

N – кількість компресорів, шт.;

T – час роботи компресора за рік, годин (Т= 2520 год= 7 год × 30 днів × 12 міс);

Отже, за рік компресор споживає:

$W = 1000\ 2520$=2 520 000 кВт • год

Потужність компресорів рекомендованих для придбання становить:

- Потужність компресора Inversys 160 Plus - 160 кВт (даний компресор при роботі дозволяє економити близько 25% електроенергії) при забезпеченні продуктивності.

- Потужність компресора DVK 220 - 160кВт

Оскільки придбання даних компресорів заплановано протягом двох років, у 2021 році планується лише придбання компресора Inversys 160 Plus.

Отже, за рік компресор споживає:

$W = 160\ 2520$= 403 200 кВт • год

Оскільки встановлення лише одного з двох запланованих компресорів замало для підтримки задовільного тиску стислого повітря у пневморежі заводу, буде частково використовуватись й компресор 4ВМ10-120/9 (орієнтовно час його використання скоротиться вдвічі) тому при установці нового компресора річна економія електроенергії складе:

2 520 000 кВт • год /2 - 403 200 кВт • год = 856 800 кВт • год

При вартості електроенергії в 2021 року - 2,93 грн. за 1 кВт річна економія електроенергії в грошовому виразі складе:

856 800 кВт • год • 2,93 грн. = 2 510 424,00 грн.

Вартість нового компресора при нинішньому курсі євро 32грн. складе:

49 400 • 32 = 1 580 800,00грн.

Отже, термін окупності нового компресора складе:

(1 580 800/2 510 424) • 12 міс. = 7,5 місяців.

Висновок. Придбання компресорів Inversys 160 Plus та DVK 220 забезпечить усунення проблем пов'язаних з нерівномірним і хаотичним споживанням стислого повітря.

Згідно техніко-економічного обґрунтування видно, що термін окупності складе 7,5 місяців.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Использование частотного регулирования электроприводов механизмов https://ci.kiev.ua/uk/news/detail/ispolzovanie-chastotnogo-regulirovaniya-ehlektroprivodov-mekhanizmov/
2. Структура тарифу на послуги з передачі електричної енергії ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «НАЦІОНАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА КОМПАНІЯ «УКРЕНЕРГО»

УДК 621.311

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФРОНТА РАЗЛОЖЕНИЯ ПРИ ПРОТЕКАНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

Нимич А.В., Шевчук В.Г.канд. фіз.-мат. н., проф.

Военная академия (г. Одесса)

Для ряда смесевых конденсированных горючих и взрывчатых веществ кинетика разложения отдельных компонент известны, однако влияние стадийности химических реакций на скорость разложения изучено в меньшей степени.

Рассмотрим распространение волны разложения по модельной конденсированной системе при протекании высокоэнергетичных параллельных реакций. Будем полагать, что превращение исходного вещества идет по двум направлениям с образованием различных продуктов, которые в дальнейшем переходят в состояние термодинамического равновесия.

Уравнения, описывающие стационарное распространение фронта разложения в конденсированной фазе, имеют вид:

$$\lambda \frac{d^2T}{dx^2} - cu\rho \frac{dT}{dx} + \left[q_1 k_1(T) + q_2 k_2(T)\right]a = 0 \tag{1}$$

$$-u\frac{da}{dx} + a\left[k_1(T) + k_2(T)\right] = 0, \qquad k_i(T) = k_{0i}\exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right),\ i = 1,2; \tag{2}$$

$$x \to -\infty:\ T = T_0,\ a = 1;$$

$$x \to +\infty:\ \frac{dT}{dx} = 0,\ a = 0,\ T = T_s.$$

Здесь x – пространственная координата, T – температура, a – относительная концентрация вещества, c – теплоемкость, λ – коэффициент теплопроводности, $k_i(T)$, E_i, k_{0i}, q_i - константа скорости, энергия активации, предэкспоненциальный множитель, тепловой эффект реакции разложения.

Ограничимся рассмотрением реакций первого порядка. Тогда для решения системы (1-2) можно воспользоваться методом Я.Б. Зельдовича, Д.А. Франк – Каменецкого. Интегрирование уравнений (1-2) позволяет определить температуру в зоне разложения

$$T_s - T_0 = \left[\frac{q_1 k_1(T) + q_2 k_2(T)}{k_1(T) + k_2(T)}\right]\frac{1}{c\rho} \tag{3}$$

и скорость распространения фронта разложения.

$$u^2 = \frac{\lambda R T_s^2}{\rho c (T_s - T_0)}\left[\frac{k_1(T_s)}{E_1} + \frac{k_2(T_s)}{E_2}\right]. \tag{4}$$

Как видим, скорость фронта разложения определяется отношением констант скоростей к энергиям активации соответствующих параллельных реакций. Если одна из реакций отсутствует, то приходим к известному выражению А. Г. Мержанова и Ф. И. Дубовицкого для скорости горения конденсированных горючих.

Отметим, что температура в зоне разложения T_S зависит от скоростей превращения исходного вещества A в каждом из двух направлений. В этом случае, при пересечении

зависимостей $k_1(T)$ и $k_2(T)$ могут реализовываться различные температуры в зоне разложения. Такая ситуация была исследована Б. И. Хайкиным [1] и может быть проиллюстрирована на рис. 1:

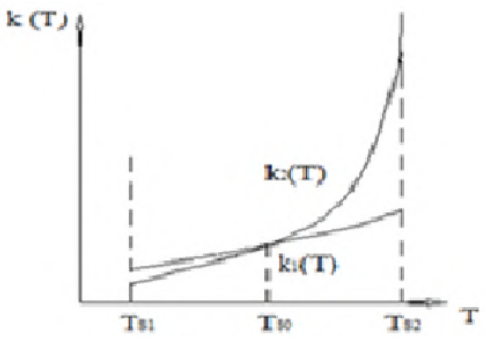


Рис. 1. Зависимость k1(T) и k2(T)

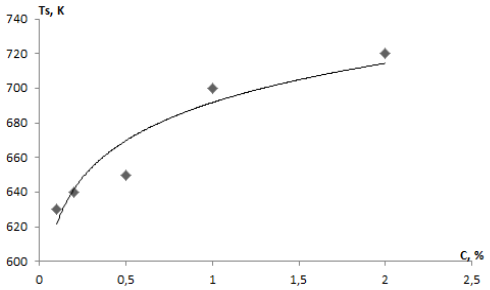


Рис. 2. Зависимость температуры T_S от концентрации ПММА в растворе ◆ - эксперимент; — - расчет.

Однако, при горении смесевых топлив и взрывчатых веществ зависимости $k_1(T)$ и $k_2(T)$ могут не пересекаться, что исключает неединственность при определении температуры. Примером может служить горение растворов полиметилметакрилата (ПММА) в азидоэтаноле (АЭ) [2]. На рис. 2 приведены экспериментальные и расчетные зависимости температуры T_S в зоне разложения от концентрации ПММА в растворе АЭ при распространении пламени по плёнкам горючего на инертной подложке [3]. Как видим, имеет место хорошее согласование эксперимента и расчёта.

Таким образом, предложенная модель распространения фронта разложения при протекании параллельных реакций достаточно хорошо описывает процесс горения смесевого состава раствора ПММА в АЭ. Данные взрывчатые вещества могут применяться для разработки новых электрохимических систем и комплексов.

Литература

1. Хайкин Б.И., Худяев С.И. О неединственности температуры и скорости горения при протекании конкурирующих реакций //Докл. АН СССР, 1979. Т. 245. №1. С. 155-158.

2. Головко В.В., Копейка А.К. горение азидоэтанола, загущенного полимерами. // современные проблемы химической и радиационной физики. ИХФ РАН, Москва, 2011. С.214-220.

3. Головко В.В., Нимич А.В., Баронецкий В.К. Распространение пламени по пленкам растворов высокомолекулярных соединений.//Физики аэродисперсных систем.-2013.№50.-С.86-91.

УДК 338.2

ЕНЕРГЕТИЧНА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ УКРАЇНИ ЯК ОДИН З КЛЮЧОВИХ ЧИННИКІВ ПРОТИДІЇ ЗОВНІШНІЙ ЗБРОЙНІЙ АГРЕСІЇ

Обнявко Т. С.
Військова академія (м. Одеса)

Україна вже понад 7 років перебуває в стані гібридної війни з боку Російської Федерації, витрачає величезний моральний й матеріальний ресурс, якій за більш сприятливих обставин міг бути спрямований на розвиток економіки та подолання накопичених економічних і гуманітарних проблем.

19 лютого 2021 року відбулося засідання РНБО України, на якому в числі питань під грифом «таємно» було розглянуто питання різкого загострення становища в зоні розмежування сил ООС та незаконних збройних формувань з боку ОРДЛО.

У період останніх тижнів усе частіше лунають припущення як вітчизняних, так і іноземних політичних оглядачів та воєнних експертів про великий ризик подальшого загострення воєнної ситуації на Донбасі та можливого наступу російських військових на південно-східні та центральні території України. Прогнозувати напевно подібний сценарій можливо лише за наявності достовірних даних зовнішньої розвідки, проте на тлі кризи Нормандського формату, втрати такого умовного союзника, як Білорусь, погіршення дипломатичних відносин із КНР та відсутності єдиної та зрозумілої заяви з боку країн-підписантів Будапештського меморандуму щодо дієвої військової допомоги України в разі відкритої збройної агресії з боку Росії, така загроза виглядає доволі ймовірною.

У зв’язку з цим вкрай важливо бути готовим до будь-якого розвитку подій, зокрема й до найгіршого, тобто повномасштабного наступу ворога. Зрозуміло, що за такого сценарію мова не може йти лише про гібридні дії, оскільки на перший план вийдуть інструменти так званої «традиційної війни», тобто застосування всього наявного оборонного ресурсу з боку України – від інформаційного до людського. Також повстане необхідність у запобіганні виснаження національних ресурсів, які будуть конче потрібні при обороні та недопущенні блокад пересування військовослужбовців, озброєння та військової техніки; потоків продовольства, пального, інших енергоресурсів; недопущенні так званих «котлів» тощо.

У зв’язку із вищезазначеним повстає серйозна проблема адаптації вітчизняної воєнної науки до нових викликів та загроз. Адже розуміння того, як приймаються рішення під час підготовки і ведення військової кампанії або спецоперацій, на ранньому етапі конфлікту може дати ключ до перемоги, зокрема дипломатичним шляхом.

Світова воєнна наука не стоїть на місці, вона зазнає трансформацій і розвитку, як будь-яка наука і суспільство загалом. Однією з концепцій «традиційних війн», що з'явилися і отримали свій розвиток у 90-і роки XX століття, стала концепція «стратегічного паралічу». Автором її вважається полковник ВПС США Джон Уорден, який був одним з «ідеологів» повітряної кампанії США проти Іраку в 1990-1991 рр.

Дж. Уорден був не першим, хто дійшов висновку про стратегічну важливість повітряної моці в сучасній війні. Однак Дж. Уорден став одним із перших, хто акцентував політичну, а не економічну складову повітряної війни. В якості основних стратегічних цілей поразки авіацією, на думку Уордена, виступають не об'єкти економіки противника, а його політичні структури й об'єкти.

Основна думка Дж. Уордена полягала в тому, що «повітряна міць має унікальну здатність досягати стратегічних цілей війни з максимальною ефективністю і мінімальними витратами». Хоча концепція і розроблялася як інструмент панування в повітрі, вона може бути застосована до всіх типів збройних сил і заснована на принципах прийняття рішень.

Уорден охарактеризував «центри тяжіння» як «пункти, в яких противник найбільш вразливий, тому атака проти нього буде найбільш ефективною». «Центри тяжіння» супротивника, на думку Дж. Уордена, формують п'ять концентричних кілець (рис. 1).

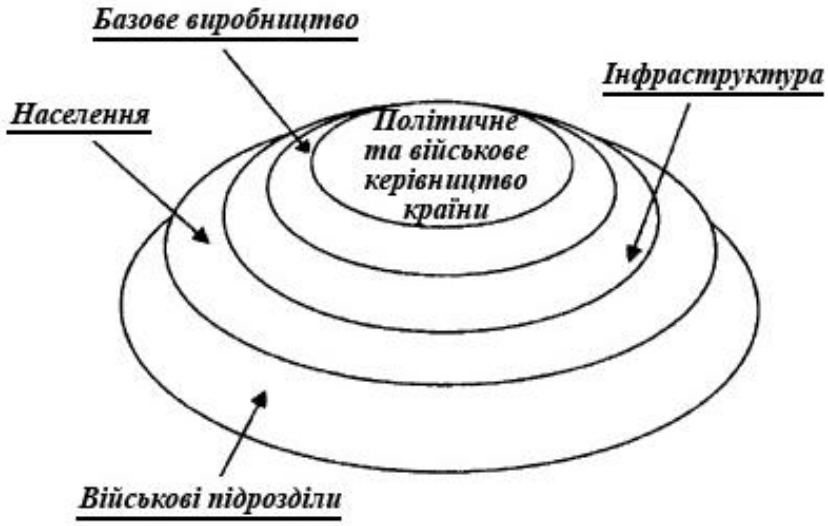


Рис. 1. Модель п'яти стратегічних кілець впливу Дж. Уордена
Джерело: розроблено автором

Найбільш вразливе місце супротивника – «центральне кільце» – політичне і військове керівництво країни. Наступним за важливістю «кільцем» є промислово-енергетична база країни, третім «кільцем» – інфраструктура держави. Населення країни є четвертим за важливістю елементом – «кільцем», при цьому вплив на нього зовсім не передбачає його фізичного знищення, а скоріше – деморалізацію, розкладання населення, позбавлення його волі до ведення війни. Зовнішнім, периферійним «кільцем» виступають збройні сили держави.

У разі нейтралізації будь-якого «кільця», ефективне функціонування всієї системи, іменованої противником, порушується. При цьому, в залежності від того, яке саме «кільце» виведено з ладу, порушення функціонування всієї системи може бути серйозним або критичним.

Суть «моделі п'яти кілець» полягає в тому, що стратегічний план кампанії або війни повинен бути націлений насамперед на знищення головних «центрів тяжіння» – керівних структур держави. Якщо ж, наприклад, внутрішнє кільце (керівництво країни) не виступає з тих чи інших причин в якості об'єкта-цілі поразки, першочерговим «центром» вибираються відповідні керівні структури в інших «кільцях» (економіка, інфраструктура, збройні сили тощо). Після нейтралізації або знищення центрального «кільця» настає «повний параліч» всієї системи, знищення або нейтралізація «центрів тяжіння» інших «кілець» призведе до «часткового паралічу» системи [1].

Ця модель реалізовувалася американським командуванням на практиці під час операції «Буря в пустелі» проти Іраку в 1990-1991 рр. Також вона відпрацьовувалася практично під час останньої операції НАТО проти Югославії. Модель була покладена і в основу стратегічного планування військової кампанії США в Іраку навесні 2003 року.

Однак зараз військові стратеги в США почали переглядати концепцію п'яти стратегічних кілець, вважаючи її неефективною в боротьбі з новими загрозами і змішаними типами збройних сил противника. Було відмічено, що два десятиліття потому взаємопов'язана мережа міжнародної торгівлі змінила ефекти від певних стратегій ведення бойових дій, зробивши комплексну економіку вразливою для атак по інфраструктурі (третє кільце).

Ця ціль стала особливо привабливою, тому що в умовах глобалізації економіки транспортування матеріалів і товарів є тим ланцюгом, що частково виступає за межі оборони, яка є п'ятим кільцем.

Сама по собі модель п'яти кілець проста і змінюється від країни до країни. Для промислово розвиненої країни енергоресурси можуть бути шостим елементом в цій моделі. Наприклад, оригінальна модель п'яти кілець розглядає енергетику і паливо як друге життєво необхідне кільце. Але шосте кільце – це реальне виробництво енергії в сучасній країні, включаючи електрику, паливо і інфраструктуру, необхідну для його видобування, транспортування, переробки та спалювання [2].

З огляду на те, що модель є дієвою, можна з великою часткою впевненості говорити, що вона буде бодай частково застосована Росією в разі прямої збройної агресії проти України. Але пріоритетними цілями, на наш погляд, будуть не політичні, а економічні об'єкти. Тому вважаємо за потрібне зупинитися більш детально на «кільці», що являє собою так зване базове, або промислово-енергетичне виробництво.

Якщо розглядати енергетику України в цілому, можна зазначити, що наразі країна є вкрай залежною від імпорту енергетичної сировини (нафти, вугілля, природного газу) й готової продукції (дизельного пального, бензину, скрапленого газу, ядерного палива). Ба більше, Україна імпортує, зокрема з країни-агресора, і електрику, незважаючи на наявність достатньої для забезпечення власних потреб кількості працездатних ТЕС, ГЕС, АЕС. Це є наслідком системної кризи всього енергетичного сектору, яку спричинили численні фактори, зокрема недалекоглядна, а часто навіть шкідницька політика окремих представників відповідних міністерств та відомств. Країна досі є частиною єдиної енергетичної (зокрема електричної) системи з РФ та Білоруссю, яка тяжіє економічно і політично до Росії, є цілком залежною від неї і нездатною проводити власну геополітику.

Енергетичну складову країни можна дорівняти до крові у судинах людини, тому є очевидним, що в разі відкритої збройної агресії Росія буде докладати максимум зусиль, щоб остаточно обезкровити свою намічену жертву. На жаль, наразі в Росії більш ніж достатньо важелів для цього. Багато років поспіль РФ робила низку послідовних дій, щоб паливно-енергетичний комплекс України став майже неконкурентоспроможним та опинився на межі банкрутства. Українська влада не лише не протидіяла цим викликам, а часто і сприяла їм, частково через нерозуміння справжнього стану речей та прихованих глибинних процесів, частково через відверту колаборацію із загарбником.

В Україні діють 4 атомних електростанцій з 15 енергоблоками, одна з яких, Запорізька АЕС з 6 енергоблоками загальною потужністю в 6000 МВт, є найпотужнішою в Європі. Южно-Українська атомна станція знаходиться в зоні передбачуваних воєнних дій. Щорічне вироблення електроенергії на АЕС перевищує 17 млрд кіловат-годин, що становить понад 10 % загальнодержавного виробництва електроенергії і близько 25 % її виробництва атомними електростанціями України. Южно-Українська АЕС обсягом виробленої енергії забезпечує умови для життя і роботи регіону з населенням понад 5 мільйонів людей. Потужності АЕС достатньо, щоб задовольнити потреби в електроенергії населення, промисловості та сільського господарства Миколаївської, Одеської, Херсонської областей та Автономної Республіки Крим на 96 % [3]. З огляду на це, можна стверджувати, що станція може виявитися об'єктом цілеспрямованої атаки з боку країни-агресора, що призведе до її зупинки в кращому разі, а в гіршому – до непоправної екологічної катастрофи, яка зробить непридатними для життя величезні території України, що цілком ймовірно, якщо РФ в разі потужного спротиву обере тактику «випаленої землі».

Що з цим робити вже сьогодні, щоб завтра ми могли дати гідну відсіч будь-яким намаганням послабити або знищити нашу обороноздатність та запобігти деморалізації як цивільного населення, так і військовослужбовців?

Насамперед керівництво Украйни повинно чітко усвідомлювати всі виклики, що повстали перед країною та розробити стратегічні й тактичні плани дієвого спротиву агресору. Необхідно чітко розуміти, що є в активі країни, в якому стані воно знаходиться,

чого вкрай бракує й де є можливість додати в найкоротші терміни. І розраховувати бажано насамперед на власні сили. Весь професійний дієздатний інтелектуальний і, що дуже важливо, патріотичний цивільний і військовий людський потенціал повинен бути зібраний у єдину команду на чолі з таким же професійним керівництвом з метою термінового визначення й впровадження необхідних дій щодо захисту енергетичної і, як наслідок, промислової складових народного господарства країни у разі воєнних дій.

Всі підприємства, незалежно від форми власності, які в разі відкритої війни з боку Росії будуть відігравати ключову роль у забезпеченні країни продукцією стратегічного характеру, повинні бути максимально захищеними не лише від зовнішнього нападу з моря, повітря і суші, а і від внутрішніх руйнівних атак.

Особлива увага повинна приділятися безперебійному постачанню енергетичних ресурсів та сировини відповідної якості, для чого необхідно чітко дотримуватися норм їхніх стратегічних запасів. Ці вимоги можуть бути забезпечені своєчасною диверсифікацією джерел постачання тих ресурсів, яких в країні не існує (або бракує) і які досі надходять з Росії і Білорусі, та терміновим налагодженням власного виробництва окремих видів продукції, якщо це технологічно можливо.

Так, економічно виснажена і слабка країна поки що не може дозволити собі збільшити суттєво оборонні витрати, але кожна копійка з того, що вже виділено, повинна витратитися з максимальною ефективністю й не поглинути в корупційній прірві. Зменшення енергоємності вітчизняної продукції за рахунок невідкладного впровадження енергоощадних технологій, збільшення частки альтернативних джерел енергії, підвищення свідомості громадян у сфері енергозаощадження повинні стати не далекою перспективою, а реальністю сьогодення, що обов'язково з часом приведе до омріяної обороноспроможної країни із потужною екологоорієнтованою економікою.

Отже, опинившись перед найскладнішим викликом за весь час існування незалежної України, необхідно докласти всіх можливих зусиль, щоб не дати змогу РФ перейти до ще більш агресивних відкритих воєнних дій. Досягти цього можна завдяки виваженій політиці, яка призведе до розуміння агресором, що в разі нападу він втратить у економічному і репутаційному аспектах набагато більше, ніж отримає. Якщо ж події розвиватимуться за найгіршим сценарієм, країна повинна зустріти ворога у всеозброєнні, бути якомога повніше забезпеченою всіма необхідними ресурсами, зокрема енергетичними.

Литература:

1. Pietrucha, Michael W. Airpower and Globalization Effects: Rethinking the Five Rings. *Joint Force Quarterly*, № 73, 2014.

2. Л. Савин. Пять стратегических колец Уордена и петля Бойда НОРД. URL: http://www.usni.org/magazines/proceedings/2015-02/now-hear-innovate-adapt-and-prepare (дата звернення: 14.03.2021).

3. Nuclear Power in Ukraine. *World Nuclear Association.* URL: https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/ukraine.aspx (date of access: 16.03.2021).

УДК 621.314.5

АВТОМАТИЧНИЙ ПЕРЕМИКАЧ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

к.т.н., доц. Прибега Д.В., к.т.н., доц. Смутко С.В.
Хмельницький національний університет

Ефективне енергозбереження неможливо уявити без застосування альтернативних джерел енергії. Енергетична незалежність, економічна вигода і постійно поновлювані ресурсні джерела - короткий перелік факторів комфорту, який отримує власник незалежних енергогенеруючих потужностей. Ще одна перевага - автономність, відсутність необхідності передавати енергію на великі відстані, що супроводжується її великими втратами та забрудненням довкілля.

Використання відновлюваних джерел енергії має істотні особливості, які пов’язані з нерівномірним географічним розподілом, непостійністю в часі, малою питомою концентрацією енергетичних ресурсів, тому виникає необхідність використання кількох різнорідних джерел електричної енергії, систем акумулювання та резервного електроживлення [1-3]. Враховуючи широку різноманітність обладнання установок відновлюваної енергетики (вітрогенератори, фотоелектричні батареї, акумулятори тощо), можна розробити безліч енергетичних систем різноманітних за комбінацією джерел енергії [4].

Забезпечення надійності і безперебійності електропостачання від різноманітних джерел живлення має першорядне значення. Одним з основних засобів вирішення цієї задачі є автоматизація включення резервного електроживлення. Тому розробка конструкції автоматичного перемикача джерел живлення для альтернативної системи енергопостачання та супутнього програмного забезпечення є актуальним завданням.

Аналіз відомих конструкцій показав ряд недоліків пристроїв автоматичного перемикання між джерелами живлення показав: системи розраховані на потужні станції, в них відсутні вбудовані системи захисту по перевантаженню, висока вартість.

В техніці пристрої автоматичного перемикання між джерелами живлення відомі як пристрої автоматичного включення резерву (АВР). АВР призначені для швидкого автоматичного включення резервного джерела живлення до споживача в тих випадках, коли має місце відмова основного джерела електроживлення. Вони дозволяють об'єднати альтернативні енергосистеми та електромережу загального користування, в єдину автоматизовану систему.

На основі аналізу функціонального призначення відомих конструкцій АВР сформульовано технічні вимоги до конструкції автоматичного перемикача джерела живлення [5]:

1) Забезпечити програмний вибір пріоритету роботи системи від загальної мережі або від акумуляторних батарей (АКБ) альтернативної мережі.

2) Забезпечити автоматичне миттєве перемикання на АКБ у разі знеструмлення споживачів з боку загальної електромережі. При усуненні несправності з боку електромережі система перемикається в початковий стан через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 с, що встановлюється програмно користувачем.

3) Забезпечити (можна передбачити) автоматичне перемикання на АКБ у випадку зниження напруги загальної електромережі менше 170 В (межа задається програмно). При відновлені напруги до рівня 185 В система перемикається назад на загальну мережу через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 сек, що встановлюється програмно користувачем.

4) З метою збільшення терміну експлуатації АКБ забезпечити миттєве перемикання на загальну електромережу у випадку різкого зниження рівня заряду акумуляторів. Якщо напруга АКБ зменшилась до рівня менше 20-23 В (задається для 24 В

АКБ) або від 10 до 11 В (для 12 В АКБ) система перемикається на загальну мережу миттєво. При зарядженні акумулятора до 24-30 В (12-14 В для 12 В АКБ) система перемикається на АКБ через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 с, що встановлюється програмно користувачем.

5) Передбачити програмні налаштування автоматичного переключення між мережами в залежності від потужності системи альтернативного живлення. Якщо потужність споживачів при роботі від АКБ перевищує межу від 0,5 до 5 кВт (задається програмно) – система автоматично перемикається на мережу. Зворотне переключення відбувається при зменшенні споживання у вказаній межі через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 с, що встановлюється програмно користувачем.

Враховуючи вище сформульовані вимоги, розроблено структурну схему автоматичного перемикача джерела живлення [6], що наведена на рис.1.

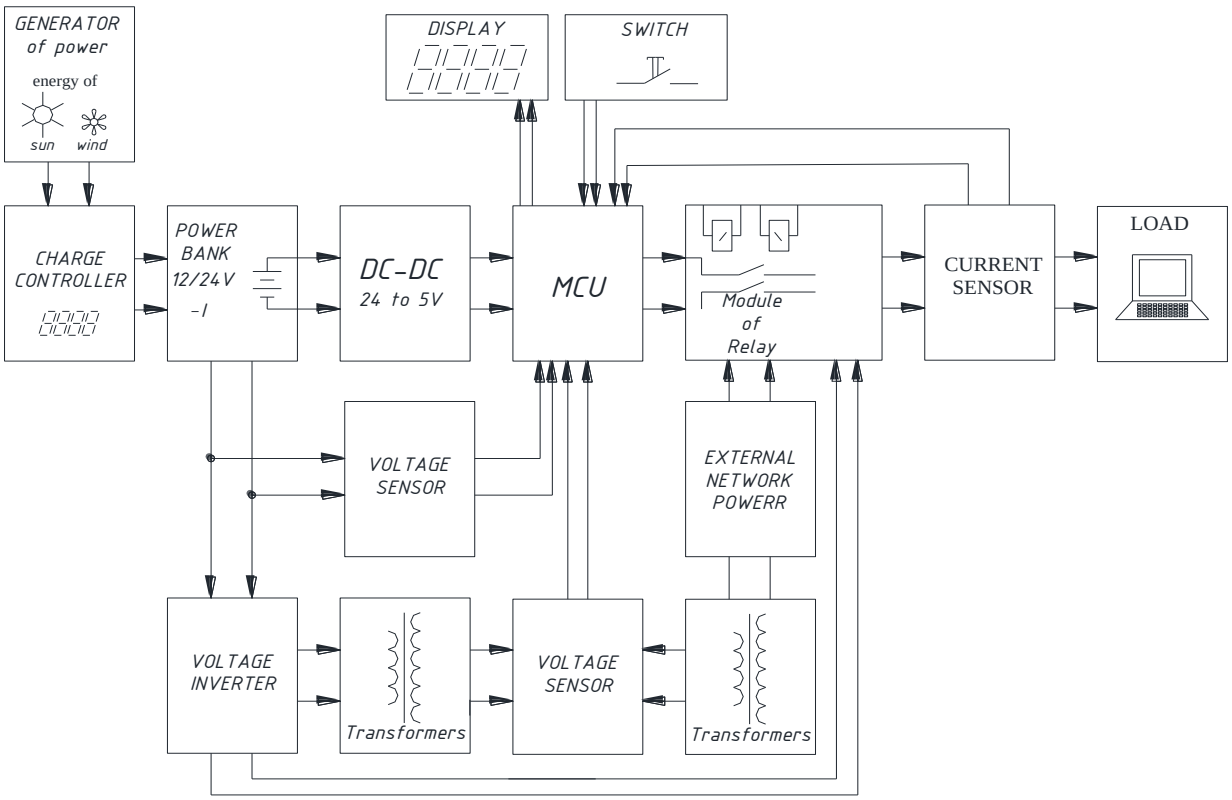


Рисунок 1 – Структурна схема включення автоматичного перемикача

Розглянемо принцип дії системи автоматичного перемикача джерела живлення, що включає в себе програмовану систему керування на базі мікропроцесора та модуль реле, котрий забезпечує переключення споживача із загальної мережі живлення на альтернативну та навпаки.

Джерело альтернативної енергії включає в себе власне генератор (GENERATOR) (рис.1), контролер заряду АКБ (SHARGE CONTROLLER), АКБ (POWER BANK) та інвертор напруги (VOLTAGE INVERTER), що перетворює постійний струм напругою 12 (24) В генератора або акумуляторів в змінний струм напругою 220В. Потужність альтернативного живлення залежить від потужності генератора, ємності АКБ та відповідної їм потужності інвертора. Трансформований струм подається на модуль реле, до якого також підключена громадська мережа.

Роботу модуля реле контролює та задає мікропроцесор MCU. Налаштування параметрів спрацювання системи автоматичного перемикача джерела живлення відбувається за допомогою тактових кнопок SWITCH, а контролювання параметрів, що задаються користувачем, здійснюється на панелі індикаторів DISPLAY.

Згідно з технічними вимогами необхідно забезпечити контроль параметрів напруги альтернативної та загальної мереж, а також загальної потужності споживання. З метою запобігання виходу з ладу системи керування, а також забезпечення гальванічної розв'язки між аналоговою силовою та цифровою частиною в коло вимірювання напруги встановлено трансформатор напруги, після якого відбувається вимірювання зниженого рівня напруги за допомогою датчика VOLTAGE SENSOR. З метою контролю потужності навантаження в коло споживачів введено датчик струму, сигнал якого поступає на аналого-цифровий перетворювач мікропроцесорного пристрою MCU. Отримавши добуток значень напруги та струму, система контролює потужність споживача. Живлення мікропроцесора відбувається від АКБ альтернативної системи живлення через перетворювач напруги DC-DC.

Наступними етапами проектування автоматичного перемикача джерела живлення були: розробка електричної схеми контролю та керування та схеми підключення до блоку реле та мереж живлення, розробка топології плати, розробка програмного забезпечення мікроконтролера (рис. 2).

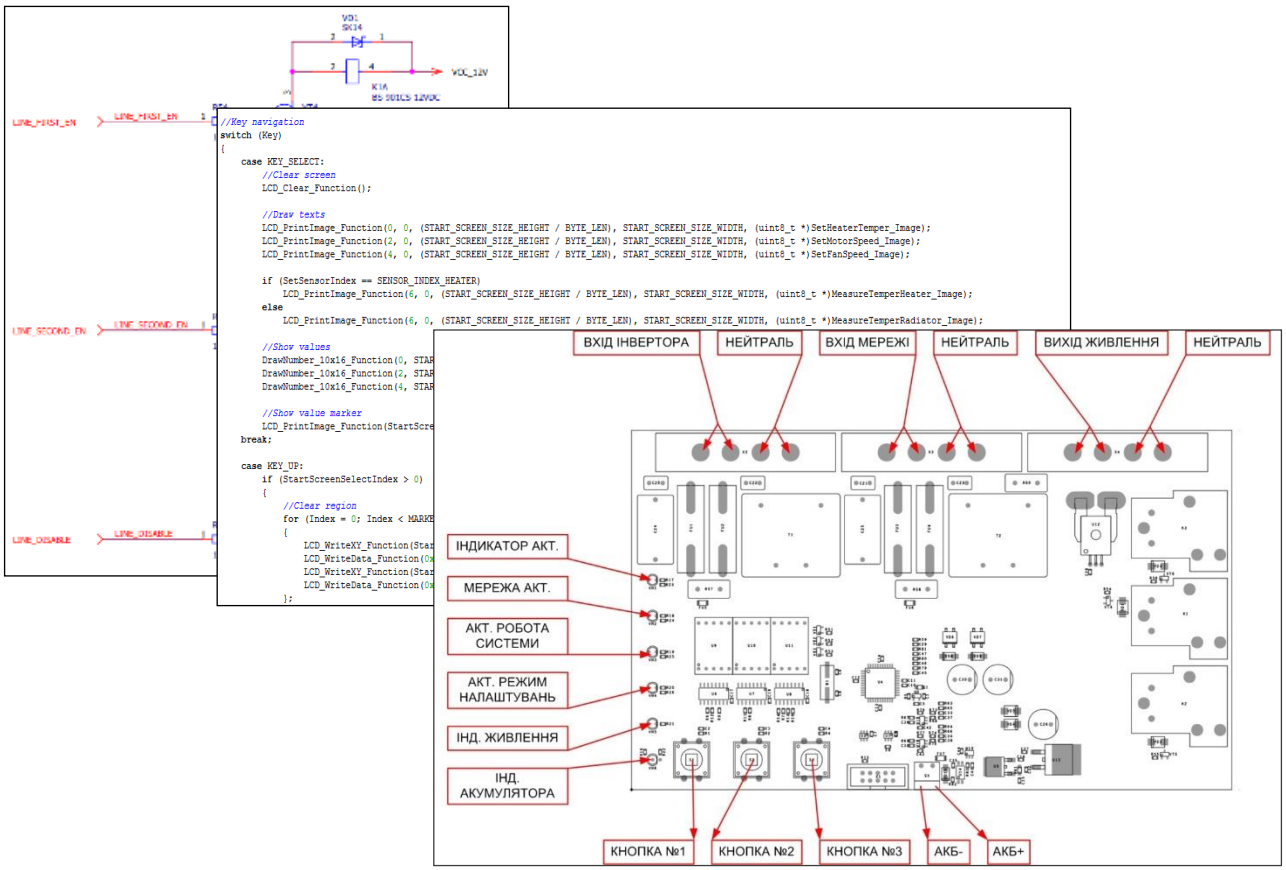


Рисунок 2 – Етапи проектування автоматичного перемикача джерела живлення

Програмне забезпечення узгоджує роботу всіх елементів системи автоматичного перемикача джерела живлення.

Для керування та здійснення налаштувань пристроєм на платі передбачено три контактні кнопки та три-розрядний семи-сегментний індикатор (рис.2). П'ять режимних світло-діодів здійснюють індикацію робочого режиму, аварій, та активної вхідної мережі, один зелений світло-діод здійснює індикацію наявності напруги живлення на платі.

В результаті виконання комплексу робіт було виготовлено пристрій автоматичного перемикача джерела живлення [6]. Робота пристрою перевірена у складі стенду альтернативної системи енергопостачання, що функціонує на кафедрі машин і апаратів електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету (рис.3).

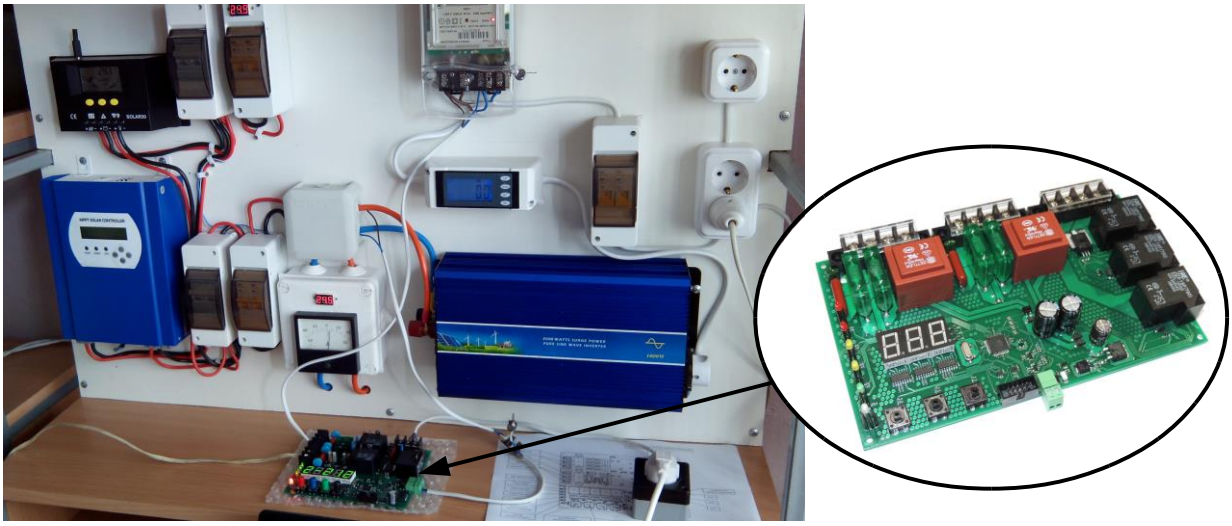


Рисунок 3 - Стенд альтернативної системи енергопостачання з автоматичним перемикачем джерела живлення

Даний стенд включає: вітровий генератор потужністю 300 Вт, сонячні панелі потужністю 700 Вт, універсальний контролер, інвертор загальною потужністю 1500 Вт та АКБ. За допомогою автоматичного перемикача джерела живлення альтернативна система енергопостачання була підключена до електромережі загального користування.

Тестування запропонованої системи виконувались при різних режимах навантаження.

В результаті експериментального тестування встановлено відповідність режимів роботи запропонованого автоматичного перемикача джерела живлення технічним вимогам та підтверджено його працездатність.

Інформаційні джерела

1. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветрогенераторы - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. — 400 с.

2. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. — 519 с.

3. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Учебник - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2007. — 643 с.

4. Кубкін М. В., Солдатенко В. П. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». Випуск 25, част. ІІ. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2012. - С. 192— 202.

5. Прибега Д.В. Інтелектуальний контролер розподілення мережі. Технічна творчість: Збірник наукових праць. Хмельницький: ХНУ, 2016 р. - №1, С. 205-208

6. Прибега Д.В., Корсун С.Ю., Смутко С.В., Прибега Т.Д. Розробка автоматичного перемикача джерела живлення. Вісник хмельницького національного університету серія: Технічні науки, Хмельницький. ХНУ, 2017. №2. с. 254-258

УДК 621.3.022

ВИПРОБУВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШ ЙМОВІРНИХ МІСЦЬ УРАЖЕННЯ БЛИСКАВКОЮ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

д.т.н., проф. Резинкін О.Л., к.ф.-м.н., доц. Мостовий С.П., аспірант О.М. Гученко
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Захист літальних апаратів (ЛА) від факторів ураження, що діють при влученні у них блискавок є важливим напрямом забезпечення їх безпечної експлуатації. Ці фактори за наслідками ураження можна розділити на дві групи. По-перше вплив плазмового каналу у місці ураження може викликати наскрізний пробій обшивки, розгерметизацію, враження паливних баків та інші небезпечні руйнування елементів планера. По-друге вплив струму блискавки може викликати ураження авіоніки, радіоелектронного обладнання та систем озброєння.

Особливо актуальною проблема захисту від блискавок є для ЛА з композитних матеріалів, оскільки вони є більш уразливими до обох названих груп факторів. Відсутність суцільної металевої оболонки створює можливість ураження блискавкою внутрішніх елементів літального апарату та призводить до відсутності електричного екранування вразливого до електромагнітного поля обладнання. Для створення провідного шляху через композитні елементи конструкції зазвичай використовується тонка металева сітка, вмонтована в композитний матеріал. Проте для надійного захисного ефекту у кожному конкретному випадку мають бути ретельно розглянуті питання щодо перетину проволоки, з якої виготовлена сітка, розмірів її комірки, глибини розташування сітки під поверхнею композиту і, що дуже важливо, способів забезпечення електричного контакту між сіткою та масивними металевими елементами планеру, здатними забезпечити протікання струму блискавки.

Для вирішення питань, пов’язаних із передбаченням безпечних провідних шляхів протікання струму блискавки необхідно прогнозування місць входу та виходу через які плазмовий канал може контактувати з ЛА. Таке прогнозування можливе у разі розрахункової оцінки та імітаційного комп’ютерного моделювання із урахуванням розподілу електричного поля у околі літального апарату [1,2] та із обов’язковою перевіркою отриманих результатів шляхом фізичного моделювання влучання блискавок у ЛА на масштабних моделях під дією високовольтних розрядів мегавольтного діапазону.

Оскільки фізичні процеси розвитку електричного розряду значно відрізняються одне від одного при дії високих напруг різного амплітудного діапазону, проведення фізичного моделювання ураження блискавкою може бути достовірним лише при досягненні певного рівня напруги. Розвиток каналу природних блискавок відбувається із послідовним перетворенням електронних лавин у провідні канали (стримери), а потім у термоіонізовані плазмові ступеневі лідери [3]. На сучасному рівні розвитку високовольтної техніки є можливим генерування штучних блискавок в умовах випробувальних лабораторій із рівнем імпульсної напруги до декількох одиниць мегавольт, що відповідає довжині розрядного каналу у одиниці метрів. Така довжина розряду є наближеною до довжини стримерів.

Довжина ступенів лідерів у більшості випадків складає десятки метрів, а їх просування відбувається швидкими поштовхами із затримками по декілька одиниць або десятків мікросекунд. Випробувальні грозові імпульси згідно [4,5] мають тривалість зростання 1.2 мкс та тривалість імпульсу на рівні 0.5 амплітуди 50 мкс, що у цілому відповідає затримці у просуванні ступенів лідеру.

Таким чином в умовах випробувальних лабораторій можливе проведення фізичного масштабного моделювання останнього етапу розвитку атмосферного плазмового каналу на його шляху до ЛА. Динаміка розвитку процесів, що можуть бути змодельовані наступна. Стримери у блискавці розвиваються у вигляді розгалужених гілок, що виникають головним

чином на кінцях лідерів. Коли одна чи декілька таких гілок торкаються ЛА, по них проходить швидкий імпульс струму, викликаний розрядкою електричної ємності літального апарату відносно вже сформованої частини каналу блискавки. Іонізаційні процеси у стримерах викликані носіями цього струму збільшують їх провідність і приєднують ЛА до каналу блискавки. Подальший розвиток блискавки полягає у виникненні стримерів на поверхні ЛА і продовження просування блискавки у вигляді ступеневих лідерів до землі або до хмари. Саме ймовірні місця торкання стримерів, що розвиваються від ступеневого лідера, який наблизився до ЛА та місця виникнення стримерів на поверхні самого літального апарату можуть бути визначенні у результаті фізичного моделювання за допомогою створеного випробувального комплексу.

Розроблений випробувальний комплекс призначений для випробування та визначення місць ураження літального апарату (ЛА) штучною блискавкою на основі генератора імпульсів високої напруги з амплітудою до 2,4 МВ. Комплекс складається з генератора імпульсів напруги (ГІН) за схемою Маркса етажерного компанування (12 поверхів по 2 послідовно з'єднаних конденсатори) з високовольтним резистором навантаження, формуючої RC-ланки, системи електродів, випробувального об'єкту та системи вимірювання параметрів імпульсів та фотографічної реєстрації каналів пробою.

Розрядна схема випробувального комплексу представлена на рис. 1. За допомогою ГІН на резисторі навантаження $R_н$ = 21 кОм формувався аперіодичний імпульс напруги. Ємність ГІН в ударі становила $C_{уд}$ = 7,1 нФ. На схемі позначені: $L_с$, - власна індуктивність розрядного контуру, $R_д$ - власний (демфуючий) опір генератора, F – іскровий розрядник. Для формування фронту випробувального імпульсу у відповідності до технічного завдання використовувалась RC- ланка, що складалася з фронтового резистора опором $R_ф$ = 1200 Ом, а також фронтового конденсатора $C_ф$ змінної ємності.

Фронтовий конденсатор повинен витримувати без пробою імпульси високої напруги з повною випробувальною амплітудою. Зміна ємності цього конденсатора дозволяє регулювати тривалість зростання на фронті випробувальних імпульсів відповідно до технічного завдання. Бажана тривалість фронту $t_ф$ залежить від розмірів ЛА та масштабного коефіцієнту його моделі, оскільки час збільшення напруженості електричного поля повинен коректно співвідноситися зі швидкістю просунення та довжиною стримерів при наближенні останнього ступеня лідера до ЛА. Цей вибір може бути зроблено із міркувань витримування співвідношення довжини стримерів блискавки та габаритів ЛА шляхом розрахункової оцінки та імітаційного комп'ютерного моделювання.

Для забезпечення належного рівня електричної ізоляції і уможливлення плавного регулювання ємності конденсатор $C_ф$ був виконаний у вигляді двох коаксіальних труб із діаметрами 360 мм та 2200 мм, вертикально підвішених на ізоляційних тросах та гірляндах ізоляторів на відстані 5 – 6 метрів від полу, стін та стелі високовольтної зали. Зовнішня труба має довжину 4000 мм, виготовлена із листів гнучкого стеклоепоксидного матеріалу РЭМ обклеєного зсередини алюмінієвою фольгою та відіграє роль заземленої обкладинки конденсатора. Внутрішня труба, що відіграє роль високовольтної обкладинки, була виготовлена із тонкої листової сталі та підвішена через гірлянду ізоляторів до троса електричної лебідки, що дозволило шляхом її вертикального переміщення плавно змінювати ємність створеного конденсатора у діапазоні 80 – 120 пФ. Для забезпечення необхідної електричної міцності конденсатора зовні внутрішньої труби (високовольтної обкладинки $C_ф$) було розміщено трубчатий поліетиленовий ізоляційний бар'єр довжиною 6000 мм з товщиною стінок 24 мм. Краї ізоляційного бар'єру виступають на 1000 мм з обох боків за межі високовольтної обкладинки $C_ф$, що запобігає розвитку розряду по його поверхні.

Масштабна модель ЛА розміщується у випробувальному повітряному проміжку між вертикальним потенційним електродом та горизонтальною заземленою площиною шляхом підвісу на ізоляційних розтяжках з тонкого капронового тросу.

При проведенні випробувань одночасно виконується контрольне осцилографування імпульсів напруги на електродах випробувального повітряного проміжку та фотографічна

реєстрація (двома фотокамерами розміщеними під кутом 90° відносно одне-одної) каналів електричного пробою між потенційним електродом випробувального проміжку і масштабною моделлю ЛА та між моделлю ЛА і заземленим електродом. Фотореєстрація двома камерами дозволяє точно визначити положення місця ураження при дії кожного випробувального імпульсу. Для одержання достатнього обсягу статистичної вибірки зареєстрованих влучань у модель ЛА проводиться поточна оцінка розподілу місць влучання для кожного заданого у технічному завданні положення моделі відносно електродів випробувального проміжку.

За допомогою розробленого випробувального комплексу було проведено визначення розподілу ймовірності локації ураження авіаційного мобільного стартового комплексу.

Згідно до технічного завдання випробування проводилися імпульсами негативної полярності з амплітудою 1200 кВ з тривалістю фронту $t_ф$ = 2±1 мкс.

Потенційний електрод випробувального проміжку був виконаний у вигляді металевого стрижня квадратного перерізу з розмірами 12 мм×12 мм та довжиною 1 м. Заземлений електрод представляв собою металеву пластину розміром 4000 мм×4000 мм. Випробувальний об'єкт ЛА - фізична модель авіаційного мобільного стартового комплексу, виконана з латуні в масштабі 1:38, яка розміщувалась поміж двома електродами на діелектричних підвісах так, що відстань від стрижневого електроду до найближчої точки моделі ЛА становила 1000 мм, а від моделі ЛА до заземленого плаского електроду – 500 мм.

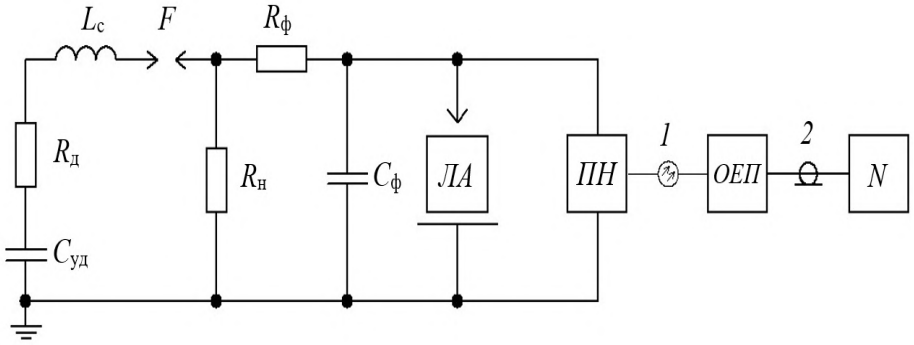


Рисунок 1 – Розрядна схема комплексу для випробувань ЛА.

$C_{уд}$ – ємність ГІН в ударі; $R_д$ – демфуючий опір ГІН; $L_с$ – власна індуктивність розрядного контуру; F –іскровий розрядник ГІН; $R_н$ – резистор навантаження ГІН; $R_ф$ – фронтовий резистор; $C_ф$ – фронтова ємність; ЛА – об'єкт випробувань (модель літального апарату); ПН – вимірювальний ємнісно-омічний подільник напруги з аналоговим електронно-оптичним перетворенням вихідного сигналу; ОЕП – оптично-електронний перетворювач; N – осцилограф; 1 – оптично-волоконний кабель; 2 – коаксіальний кабель.

Головним елементом вимірювальної системи (ВС) є ємнісно-омічний подільник напруги (ПН рис. 1) з вмонтованим аналоговим електронно-оптичним перетворювачем вихідного сигналу (ЕОП). Електричний сигнал, пропорційний вимірювальному імпульсу напруги, на виході ПН, за допомогою ЕОП перетворювався в оптичний сигнал, і далі, передавався по волоконно-оптичному кабелю 1 на вхід оптично-електронного перетворювача (ОЕП рис. 1), що розміщувався за межами випробувального поля у вимірювальній кабіні. Вихідний сигнал ОЕП передавався до осцилографа N за допомогою коаксіального кабелю 2. За допомогою волоконно-оптичного зв'язку, реалізованому у ПН, була забезпечена гальванічна розв'язка між високовольтним обладнанням випробувального комплексу та чутливою до електромагнітних завад електронною вимірювальною технікою. Це дозволило знизити вплив електромагнітних завад на вимірювальний тракт до рівня, нижчого за похибку вимірювань осцилографа, а також забезпечило безпеку персоналу при вимірюванні імпульсів напруги мегавольтного діапазону. Перехідна характеристика ВС дорівнювала 0,01 мкс.

Використання електронно-оптичної розв’язки у ВС має деякі особливості щодо визначення її коефіцієнту перетворення вимірювальних імпульсів. Роз’єми волоконно-оптичного кабелю під час кожного підключення мають іншу оптичну прозорість, що впливає на вихідний рівень оптичного сигналу. Тому після кожного підключення оптичних роз’ємів до подільника напруги та ОЕП проводиться калібрування коефіцієнту перетворення ВС за допомогою калібрувального генератору, вмонтованого у ПН.

Характерний вигляд розповсюдження каналу розряду при ініціації макетом ЛА розрядного процесу у повітряному проміжку за допомогою випробувального комплексу та типова осцилограма імпульсу напруги на випробувальному повітряному проміжку наведена на рис. 2. Коефіцієнт перетворення ВС становить 2365 В/мВ.



А) Б)

Рисунок 2 – Типовий вигляд розповсюдження розряду у околі макету ЛА (А) та осцилограма імпульсу напруги на випробувальному проміжку при проведенні випробувань (Б).

1. Rezinkin O., Rezinkina M., Lytvynenko S.A., Tomashevskyi R. Electromagnetic Compatibility at UAVs Usage for Power Transmission Lines Monitoring // Proc. of APUAVD-2019, Kiev, 2019.
2. Щерба А.А., Резинкина М.М. Электромагнитные поля и их воздействие на объекты. – К.:«Наукова думка», 2009. - 191 с.
3. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. - М.: Физматлит, 2001. - 319 с.
4. IEC 62305-1:2010 (Ed.2) Protection against Lightning – Part 1: General principles. -72 p.
5. IEC 62305-2:2010 (Ed.2) Protection against Lightning – Part2: Risk management -88 p.

УДК 621.317

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ НА РОЗПІЗНАВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ЗАШУМЛЕНИХ СИГНАЛІВ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

д.т.н., проф. Рудик А.В., Грицюк В.О.
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Електрична система високої напруги є потужною енергетичною системою, тому її сигнали є детермінованими і описуються без залучення термінів математичної статистики [1]. При обробленні сигналів енергосистеми необхідно враховувати, що аналізовані сигнали змінюють свої параметри в залежності від особливостей режиму електричної системи. В системі можуть бути присутніми гармонічні складові через нелінійність системи, відмінні від основної складової, тому необхідно враховувати, що аналізовані сигнали можуть мати порівняно складну спектральну структуру. Відомо також, що до складу сигналу можуть входити шуми та завади випадкового характеру.

Природа шуму в цифрових сигналах автоматики та релейного захисту різна і переважно визначається похибками тракту аналого-цифрового перетворення та вимірювання сигналів. Ці шуми мають випадковий характер, тому що неможлива їх повторна ідентична реалізація, і визначаються шумами округлення АЦП (ефект квантування), шумами тремтіння (девіації частоти дискретизації) та трендом (нестабільність нуля АЦП).

Електромагнітними завадами є небажані фізичні явища чи вплив електромагнітних, магнітних або електричних полів, електричних напруг або струмів, створені деяким джерелом, яке порушує нормальну роботу технічних засобів чи призводить до погіршення їх технічних параметрів та характеристик, тобто негативно впливають на корисний сигнал при його прийманні чи перетворенні.

На промислових підприємствах одні й ті самі електроприймачі (ЕП) можуть виконувати роль як джерел, так і приймачів електромагнітних завад, тому можна стверджувати, що всі електричні підстанції (ЕПС), ЕП промислових підприємств та різні електротехнічні об’єкти і пристрої автоматизації, генерування та передавання електроенергії знаходяться під впливом електромагнітних завад (ЕМЗ).

Для енергетичних систем (ЕС) природними джерелами завад є розряди блискавок, аномалії магнітного поля Землі та ін. Джерелами штучних завад є комутаційна апаратура, високовольтні лінії, напівпровідникові мости та різні типи коротких замикань, тобто аварійні режими мережі [2].

На стороні постійного струму потужні випрямлячі зазвичай мають великі індуктивності, якими є обмотки електричних машин постійного струму і згладжувальні реактори. Ці індуктивності часто в десятки разів перевищують еквівалентну індуктивність з боку змінного струму, тому такі випрямні пристрої відносно мережі змінного струму є генераторами вищих гармонік. При цьому потрібно враховувати, що струм на частоті гармоніки, спрямований в мережу, має амплітуду, яка не залежить від параметрів мережі.

Джерела завад можуть бути зовнішніми (знаходяться поза ЕП), внутрішніми (розташовані в самому ЕП), міжсистемними (розташовані не в тій системі, що розглядається) та внутрішньосистемними (розташовані в системі, що розглядається). Розділення ЕМЗ на міжсистемні та внутрішньосистемні є умовним і залежить від визначення самих систем.

За ознакою середовища поширення виділяють завади випромінювання (поширюються у навколишньому середовищі і є результатом впливу електричного, електростатичного, магнітного полів або їх комбінації) та завади провідності або кондуктивні (характерні для промислових підприємств і поширюються у провідних середовищах – лініях, кабелях, оболонках, електролітах, шинопроводах, конструкціях та ін.).

Часове проявлення завад характеризується тривалістю дії ЕМЗ та їх шпаруватістю. За тривалістю дії завади діляться на неперервні (їх рівні не зменшуються нижче деякого

порогового значення), тривалі (тривалість їх дії більше потроєної сталої часу контрольованого параметру), короткочасні (тривалість їх дії менше потроєної сталої часу контрольованого параметру, однак більше періоду частоти мережі 20 мс) та імпульсні (тривалість їх дії менше 20 мс). За періодичністю появи або зникнення ЕМЗ діляться на регулярні або періодичні та неперіодичні, які в свою чергу діляться на стаціонарні випадкові та нестаціонарні.

За частотними ознаками завади діляться на низькочастотні (НЧ) та високочастотні (ВЧ), що є, однак, доволі умовним. Для прикладу, аналіз спектру напруги живлення дозволяє визначити амплітуди гармонічних складових, які відносно основної гармоніки відносяться до ВЧ. В іншому випадку, якщо у високочастотній апаратурі виникає паразитна модуляція з меншою частотою, то таку модуляцію (заваду) вважають низькочастотною, хоча абсолютне значення її частоти може бути порівняно високим. Таким чином, розподіл завад за частотою має проводитися в кожному окремому випадку. Оскільки в основній кількості промислових ЕП стала часу їх параметрів режиму суттєво більше періоду основної гармоніки, то на практиці як частоту поділу на НЧ та ВЧ завади умовно приймають рівною 50 Гц.

За формою енергетичного спектру відрізняють ЕМЗ з неперервним (флуктуаційні завади чи шуми з приблизно сталою інтенсивністю спектру в межах смуги пропускання АЧХ), дискретним і змішаним спектром. Іноді застосовують і більш деталізовану градацію ЕМЗ за видом спектру, однак на практиці трирівнева градація є абсолютно достатньою.

За характером дії ЕМЗ на корисний сигнал відрізняють адитивні (додаються до корисного сигналу), мультиплікативні (їх дія на приймач змінює комплексну структуру) та симетричні і несиметричні відносно вибраної осі завади.

Основними видами штучних ЕМЗ є завади випромінювання (характеризуються залежністю розподілу напруженості поля у просторі навколо джерела, а їх дія оцінюється за амплітудою наведеної ЕРС завади) та провідності.

Рівень зв’язку джерел завад з приймачем залежить не тільки від просторового розміщення джерела і приймача та властивостей середовища розповсюдження, а також і від наявності інших можливих шляхів розповсюдження завад (металеві оболонки, корпуси, труби, залізобетонна арматура, крівля та інші металеві конструкції, проводи, шинопроводи, кабелі та ін.). Тому практично неможливо не тільки проаналізувати, але й просто врахувати всі умови, які кількісно визначають зв’язок деякого джерела з приймачем (багатомірність введення завади) [2].

Спектр частот випромінених завад широкий і може досягати сотень МГц. Наприклад, при комутації низьковольтних мереж (пускачі, реле, контактори) діапазон частот завад становить (0.005-30) МГц, кількість імпульсів 1…10, а тривалість імпульсів до 30 мкс.

Відносно ЕП корисним сигналом є напруга живлення, а її небажаними змінами – будь-які зміни параметрів режиму роботи ЕП (форми, амплітуди, частоти та ін.). Залежно від розв’язуваної задачі корисним сигналом може бути будь-який сигнал, який виникає (поширюється) у блоках, вузлах чи системі управління ЕП.

Причиною виникнення небажаних явищ (змін) є різні за амплітудою та характером струми, протікаючі по елементах електромережі та самих ЕП. В зв’язку з цим завади провідності визначаються як струми, що є результатом дії багатьох факторів – роботи ЕП, мереж, електрообладнання, перехідних процесів, аварійних та ненормальних режимів та індукованих завад випромінювання [2].

Зазвичай повний сигнал $y(t)$ містить корисний сигнал $u(t)$ та шум, який характеризується співвідношенням сигнал/шум SNR (Signal to Noise Ratio).

Більше значення SNR забезпечує коректний збір даних з незначними спотвореннями, викликаними небажаним шумом. В енергосистемі SNR лежить в діапазоні (80-120) дБ [3].

Небажаний шум є невід’ємною, хоча і небажаною, складовою частиною усіх сигналів електронних схем та переданих повідомлень. В загальному випадку до складу зашумленого сигналу входять вищі гармоніки, кратні основній частоті, затухаючі аперіодичні складові, а також затухаючі та незатухаючі періодичні складові з частотами, що відрізняються від

основної. Тому в практичних випадках точне врахування всіх шумових компонент зашумленого сигналу є принципово неможливим [4].

Проведемо порівняння різних методів цифрової фільтрації для випадку, коли на вхід цифрового фільтра (ЦФ) подається зашумлений сигнал (1) з компонентою білого шуму:

$$y(t) = 200\sin(2\pi \cdot 50t) + 10\sin(2\pi \cdot 15t) + 1.2\sin(2\pi \cdot 0.6t) + WN(SNR_{80}). \quad (1)$$

Для реалізації попередньої фільтрації потрібно задати початкові параметри ЦФ, які визначаються вимогами до затухання в області НЧ, обмеженої основною гармонікою енергосистеми та фільтрацією шумових компонент.

Початкові параметри ЦФ НЧ є такими: частота дискретизації $F_S = 500\ Гц$; граничні частоти смуг пропускання (СП) $F_{pass} = 50\ Гц$ і затримування (СЗ) $F_{stop} = 70\ Гц$; максимально допустиме затухання в СП $A_{pass} = 1\ дБ$ і мінімально допустиме затухання в СЗ $A_{stop} = 80\ дБ$.

В програмному пакеті MatLab було синтезовано декілька фільтрів мінімального порядку типів Баттерворта, Чебишева I та II роду і Золотарьова-Кауера (еліптичний) за методами найкращої рівномірної (чебишевської) апроксимації (Equiripple) та з використанням вікна Кайзера (Kaiser window). Результати оброблення сигналів за методом Проні з попередньою цифровою фільтрацією представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розпізнавання компонент сигналу з фільтрацією і без

Метод реалізації фільтра	Порядок фільтра	Параметри виявлених компонент сигналу з фільтрацією		Параметри виявлених компонент сигналу без фільтрації	
		амплітуда, в.о.	частота, Гц	амплітуда, в.о.	частота, Гц
Butterworth	29	200; 10; 1.2	50; 15; 0.6	200; 10	50; 15
Chebyshev I	12	200; 10; 2	50; 15; 0.4		
Elliptic	8	189; 9.8; 1.2	50; 15; 0.55		
Least-square	90	200; 10	50; 15		
Equiripple	65	208.6; 10.6	50; 15		
Kaiser window	124	200; 10	50; 15		

За результатами табл. 1 можна зробити висновок, що ЦФ типу КІХ (кінцева імпульсна характеристика) зовсім не виявили компоненти з частотою 0.6 Гц при тривалості вікна спостереження 2 с. При збільшенні вікна спостереження до 6.2 с та зміни порядку методу Проні до 12 фільтром, синтезованим за методом вікна Кайзера, виявлено всі компоненти, на відміну від фільтра, синтезованого за методом найкращої рівномірної апроксимації. Результати досліджень, отримані для КІХ-фільтрів при зміні порядку методу Проні та тривалості вікна спостереження представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розпізнавання компонент сигналу КІХ-фільтрами

Метод реалізації фільтра	Порядок фільтра	Порядок методу Проні	Тривалість вікна спостереження, с	Параметри виявлених компонент сигналу з фільтрацією	
				амплітуда, в.о.	частота, Гц
Equiripple	65	20	0.2 – 6	208.6; 10.6; 1.2	50; 15; 0.6
			0.2 – 8	208.6; 10.6; 1.2	50; 15; 0.6
Kaiser window	124	12	0.2 – 6	200; 10; 1.2	50; 15; 0.59
			0.2 – 8	200; 10; 1.2	50; 15; 0.6

Далі проведено оптимізацію методів фільтрації досліджуваного сигналу збільшенням порядку фільтра для зменшення порядку методу Проні, а результати представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Оптимізація методів фільтрації досліджуваного сигналу

Метод реалізації фільтра	Порядок фільтра	Порядок методу Проні	Параметри виявлених компонент сигналу з фільтрацією		Тривалість оброблення сигналу фільтром, с	Тривалість вікна спостереження, с
			амплітуда, в.о.	частота, Гц		
Chebyshev II	15	15	200; 10; 1.2	50; 15; 0.6	0.01	1 – 2
	20	15			0.01	
	30	15			0.011	
Kaiser window	124	15			0.014	
Least-square	90	13			0.011	
Equiripple	70	17			0.01	
	80	16			0.011	
	100	15			0.012	

На рис. 1 представлена форма сигналу до і після оброблення еліптичним фільтром.

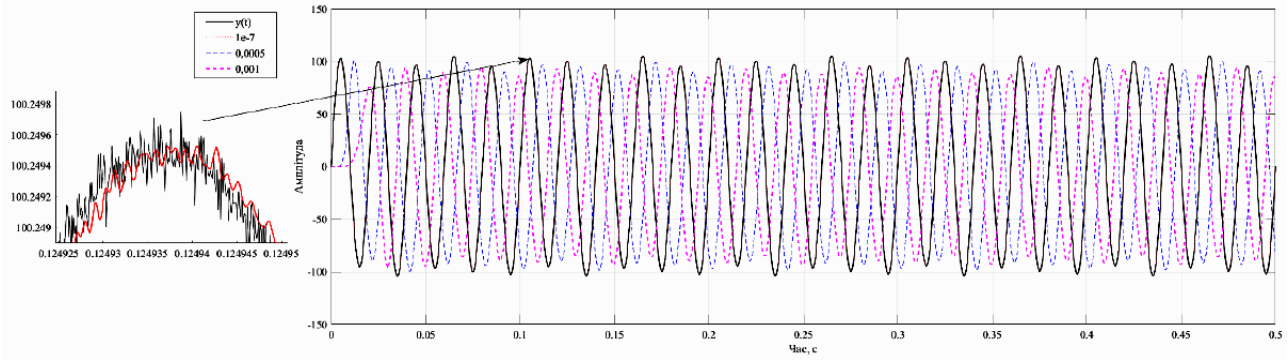


Рисунок 1 – Форма сигналу до та після його оброблення еліптичним фільтром

Нажаль, еліптичний фільтр не дає бажаних результатів розпізнавання компонент сигналу практично незалежно від його порядку та тривалості вікна спостереження, тому що амплітуда вихідного сигналу фільтра зменшується та вноситься деякий фазовий зсув. Причиною таких лінійних частотних спотворень є наявність пульсацій в смузі пропускання. Крім того, амплітуда вихідного сигналу еліптичного фільтра істотно залежить від частоти дискретизації сигналу (рис. 1), а при її зменшенні амплітуда вихідного сигналу фільтра значно менше, ніж амплітуда вхідного сигналу.

1. Антонов В.И. Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике: дис. д. т. н.: 05.14.02. – Чебоксары, 2018. – 330 с.
2. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. Нижегородский гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 2004. – 214 с.
3. Буткевич О.Ф., Чижевський В.В. Вплив цифрової фільтрації сигналів на результати аналізу низькочастотних електромеханічних коливань в об’єднаних електроенергетичних системах / Технічна електродинаміка. – 2016. – №6. – С. 54-59.
4. Румянцев Ю.В., Романюк Ф.А., Румянцев В.Ю., Новаш И.В. Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2016. – Т.59. – №5. – С. 397-417.

УДК 621.317

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПІЗНАВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕТОДІВ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

д.т.н., проф. Рудик А.В., Ковальчук П.В.
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Оброблення результатів вимірювань потребує точності при визначенні частоти та амплітуди складових сигналу. Під час розвитку аварії в енергосистемі виникає нагальна потреба відстежування динаміки зміни параметрів режиму. В зв'язку з цим дуже важливо точно визначати компоненти сигналу при малій тривалості його спостереження.

Тому що такі дії з сигналами потребують порівняно високої швидкодії, то моделі, які реалізують функцію аналізу сигналу, мають проводити його розпізнавання незалежно від структури та характеристичних параметрів окремих складових, що відповідає тільки адаптивним структурам. Такі адаптивні структури враховують багатозначність сигналу перехідного режиму електричної системи та дозволяють розпізнавати структуру системи.

Такі властивості притаманні методу Проні, а особливості його використання та математична реалізація для структурного аналізу сигналу електричної системи описані в [1, 2]. Крім того, в теорії систем, комп'ютерній алгебрі та при обробленні сигналів частот використовується метод найменших квадратів, зокрема апроксимація Ганкеля, математичне описання якої представлено в роботі [3].

До складу сигналів реальних процесів завжди входить шум, тому результати оброблення за різними моделями будуть давати різні результати, центровані навколо дійсних та залежні від співвідношення сигнал/шум (SNR, Signal to Noise Ratio). Тому що на практиці неможливо точно врахувати характер шуму, до сигналів додається компонента білого шуму, рівномірно розподіленого у всій смузі частот або по всій довжині сигналу. При реалізації в програмному середовищі MatLab до сигналу додається адитивний білий нормальний шум.

Для досліджень вибрано такі моделі сигналів:

$$y(t) = 20\sin(2\pi \cdot 50t) + 2\sin(2\pi \cdot 1.8t) + 4\sin(2\pi \cdot 0.72t); \quad (1)$$

$$y(t) = 20\sin(2\pi \cdot 50t) + 2\sin(2\pi \cdot 1.8t) + 4\sin(2\pi \cdot 0.72t) + WN(SNR_{80}). \quad (2)$$

Порівняння результатів оброблення функцій (1) та (2) методами Проні (МП) та найменших квадратів Ганкеля (НКГ) представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати виявлення складових сигналів (1) та (2)

Метод аналізу сигналу	Параметри виявлення складових незашумленого сигналу (1)		Параметри виявлення складових зашумленого сигналу (2)	
	амплітуда, в.о.	частота, Гц	амплітуда, в.о.	частота, Гц
МП	20; 2; 4	50; 1.8; 0.72	20; 5.8	50; 1.05
НКГ	20; 2; 4	50; 1.8; 0.72	20; 2; 4	50; 1.8; 0.72

За даними табл. 1 робимо висновок, що наявність шуму погіршує роздільну здатність методу Проні. Тому що саме амплітуда затухаючої чи наростаючої складових сигналу є визначною для типу процесів в енергосистемі, то досліджувані методи аналізу мають бути спрямовані на максимально точну її оцінку. Необхідно враховувати, що закон або тип зміни амплітуди з часом і є непрямим показником стійкості енергосистеми.

Проаналізуємо роздільну здатність методів оброблення сигналів (3) та (4) зі змінною в часі складовою, а результати занесемо до табл. 2.

$$y(t) = 20\sin(2\pi \cdot 50t) + (1.2 + 0.02t)\sin(2\pi \cdot 1.8t) + 4\sin(2\pi \cdot 0.72t); \quad (3)$$

$$y(t) = 20\sin(2\pi \cdot 50t) + (1.2 + 0.02t)\sin(2\pi \cdot 1.8t) + 4\sin(2\pi \cdot 0.72t) + WN(SNR_{80}). \quad (4)$$

Таблиця 2 – Результати виявлення складових сигналів (3) та (4) при наявності змінних з часом складових

Метод аналізу сигналу	Порядок методу аналізу	Ширина вікна спостереження, с	Параметри виявлення складових незашумленого сигналу (3)		Параметри виявлення складових зашумленого сигналу (4)	
			амплітуда	частота, Гц	амплітуда	частота, Гц
МП	10	1 – 6	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72	20; 10.4	50; 0.76
НКГ	10	1 – 6	20; $9.3\cdot10^3$; $9.3\cdot10^3$; 4	50; 1.8; 1.8; 0.72	20; 1.2; 1.4; 8	50; 1.8; 1.8; 0.72
МП	10	0.001 – 2	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72	20; 10.2	50; 0.77
НКГ	10	0.001 – 2	20; $2.04\cdot10^3$; $2.04\cdot10^3$; 4	50; 1.8; 1.8; 0.72	20; 1.4; 8	50; 1.8; 0.72
МП	10	1 – 10	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72	20; 9	50; 0.76
НКГ	10	1 – 10	20; $16.3\cdot10^3$; $16.3\cdot10^3$; 4	50; 1.8; 1.8; 0.72	20; 1; 1.2; 8	50; 1.8; 1.8; 0.72

За даними табл. 2 робимо висновок, що за методом Проні з достатньою точністю виявлено складові незашумленого сигналу (3) при порядку методу аналізу 10 і незалежно від ширини вікна спостереження, однак із зашумленим сигналом (4) результати виявлення значно гірші. В табл. 3 представлено результати пошуку мінімального порядку аналізу методом Проні та мінімальної ширини вікна спостереження для виявлення всіх гармонік незашумленого сигналу (3).

Таблиця 3 – Результати пошуку мінімального порядку аналізу методом Проні та мінімальної ширини вікна спостереження

Метод аналізу сигналу	Порядок методу аналізу	Ширина вікна спостереження, с	Параметри виявлення складових незашумленого сигналу (3)	
			амплітуда, в.о.	частота, Гц
МП	10	1 – 6	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72
МП	6	1 – 6	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72
МП	5	1 – 6	20; 3.6; 1.4	50; 1.26; 0
МП	6	1 – 2	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72

За даними табл. 3 для повного виявлення трикомпонентного сигналу достатньо застосування методу Проні шостого порядку з шириною вікна спостереження 1 с.

За даними табл. 2 видно, що методом НКГ було виявлено відсутні у сигналах (3) та (4) компоненти з неприродно великими амплітудами. Причиною даного ефекту є те, що порядок використовуваного методу НКГ не може бути більшим подвоєної кількості компонент сигналу, що представлено в табл. 4. Тому при обробленні трикомпонентного сигналу використання методу НКГ з порядком більше шостого приводить до отримання недостовірних за амплітудою результатів. Тому що при аналізі сигналів енергосистем кількість компонент заздалегідь невідома, то використання методу НКГ є недоцільним.

В зв'язку з цим для подальшого визначення амплітуд компонент сигналу будемо використовувати метод Проні. Однак тому що даний метод характеризується чутливістю до шумів, то проведемо дослідження впливу цифрової фільтрації на розпізнувальну здатність.

Таблиця 4 – Залежність розпізнавальної здатності методу НКГ від його порядку

Метод аналізу сигналу	Порядок методу аналізу	Ширина вікна спостере-ження, с	Параметри виявлення складових незашумленого сигналу (3)	
			амплітуда, в.о.	частота, Гц
НКГ	6	1 – 3	20; 1.2; 4	50; 1.8; 0.72
НКГ	8	1 – 3	20; $2.0506 \cdot 10^3$; $2.0512 \cdot 10^3$; 4	50; 1.8; 1.8; 0.72
НКГ	10	1 – 3	20; $2.0422 \cdot 10^3$; $2.0428 \cdot 10^3$; 4	50; 1.8; 1.8; 0.72

Також потрібно оцінити максимальну кількість компонент сигналу, яка може бути розпізнана за методом Проні протягом вікна спостереження, тому що тільки після оцінки роздільної здатності методу доцільним буде пошук методу оптимальної фільтрації.

Для оцінки мінімальної роздільної здатності методу Проні проведено аналіз сигналу (5) тривалістю 2 с.

$$y(t) = 100\sin(2\pi \cdot 50t) + 0.8\sin(2\pi \cdot 0.3t) + 0.6\sin(2\pi \cdot 0.5t) + 1\sin(2\pi \cdot 2t). \quad (5)$$

Для визначення загальних особливостей методу Проні розглянуто ідеалізовану задачу розпізнавання структури незашумленого сигналу, в результаті розвязання якої має бути отримана повна відповідність сигналу та моделі.

За методом Проні проведено оброблення сигналу з кількістю компонент від 1 до 3. При неможливості розрізнення компонент збільшувався порядок методу, а результати досліджень представлені в табл. 5 і табл. 6.

Таблиця 5 – Результати оброблення сигналу за методом Проні 5-го порядку

Кількість компонент у складі сигналу	Параметри виявлених складових	
	амплітуда, в.о.	частота, Гц
1	100	50
2	100; 0.8	50; 0.3
3	100; 1.3; 0.4	50; 0.44; 0

Таблиця 6 – Результати оброблення сигналу за методом Проні 10-го порядку

Кількість компонент у складі сигналу	Параметри виявлених складових	
	амплітуда, в.о.	частота, Гц
3	100; 0.6; 0.8	50; 0.5; 0.3
4	100; 1; 1.4	50; 2; 0.39

За результатами, представленими в таблиці 6, методом Проні точно виявлено дві компоненти сигналу з чотирьох з амплітудами 100 в.о. та 1 в.о., а компоненти з близькими за частотою та амплітудами значеннями не розпізнані. Для точного оброблення такого сигналу потрібно застосувати метод Проні з порядком більше 80. За допомогою програмного пакету MatLab час оброблення сигналу методом Проні склав 1.13 с для 10-го та 3.69 с для 80-го порядків відповідно.

Тому що близькі за частотою компоненти сигналу ускладнюють розпізнавання, проведено дослідження розпізнавання компонент сигналу (6), складові якого істотно рознесені за частотою. Результати оброблення такого сигналу представлені в табл. 7.

$$y(t) = 100\sin(2\pi \cdot 50t) + 5\sin(2\pi \cdot 20t) + 0.6\sin(2\pi \cdot 0.5t) + 1\sin(2\pi \cdot 2t) + 10\sin(2\pi \cdot 15t). \quad (6)$$

Таблиця 7 – Результати оброблення сигналу за методом Проні 10-го порядку

Кількість компонент у складі сигналу	Параметри виявлених складових	
	амплітуда, в.о.	частота, Гц
4	100; 5; 1; 0.6	50; 20; 2; 0.49
5	100; 5; 10; 1.2	50; 20; 15; 1.98

Використання методу Проні 10-го порядку є виправданим у випадку, коли складові сигналу істотно рознесені за частотою, однак їх кількість 4 або менше. За отриманими даними можна зробити висновок, що розпізнавальна здатність методу Проні істотно залежить від частотного діапазону компонент та відстані між ними.

Оцінимо вплив шумових компонент на якість оброблення сигналів при додаванні складової білого шуму, а результати досліджень занесемо до табл. 8 і табл. 9.

Таблиця 8 – Результати оброблення зашумленого сигналу з SNR 80 дБ за методом Проні 10-го порядку

Кількість компонент у складі сигналу	Параметри виявлених складових	
	амплітуда, в.о.	частота, Гц
4	100; 5.1	50; 20

Таблиця 9 – Результати оброблення зашумленого сигналу з SNR 80 дБ за методом Проні 100-го порядку та вибіркою 2 с

Кількість компонент у складі сигналу	Параметри виявлених складових	
	амплітуда, в.о.	частота, Гц
4	100; 5; 0.5; 0.5; 0.3; 0.3	50; 20; 2; 2; 0.5; 0.5

Таким чином, при використанні методу Проні 10-го порядку для зашумленого сигналу компоненти з мінімальними частотами не розпізнані. Однак якщо збільшити порядок методу до 100, то розпізнавальна здатність зменшується з 4 компонент до 2, а всі інші компоненти отримані як дві складові з половинними амплітудами відносно реального сигналу.

1. Антонов В.И. Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике: дис. докт. техн. наук: 05.14.02. – Чебоксары, 2018. – 330 с.
2. Чижевський В.В. Оцінювання в режимі реального часу загрози коливного порушення стійкості енергооб’єднання: дис. канд. техн. наук: 05.14.02. – Київ, 2016. – 297 с.
3. Bart L.R. De Moor. Structured total least squares for Hankel matrices. URL: ftp://ftp.esat.kuleuven.be/sista/ida/reports/95-54.pdf (Last accessed: 18.01.2021).

УДК 621.317

МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ КЕРУВАННЯ ТА ОБЧИСЛЕННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

д.т.н., проф. Рудик А.В., Салійчук І.Ф.
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

При створенні і практичній реалізації сучасних навігаційних та вимірювальних систем мобільних роботів (МР) необхідно враховувати, що основними типами застосовуваних бортових сенсорів є локаційні, оптичні [1, 2], інерціальні мікромеханічні [3, 4], одометричні [5] та радіонавігаційні [6, 7]. Також при створенні таких систем зазвичай застосовують декілька різних засобів вимірювання з їх комплексуванням і паралельною обробкою інформації при врахуванні особливостей динаміки і кінематики об'єкту [8].

Основою обчислювального ядра більшості сучасних навігаційних та вимірювальних систем МР є нескладні та порівняно дешеві 8-розрядні мікроконтролери сімейства AVR, які мають високу продуктивність, реалізовують алгоритми на основі фільтрів Калмана та Маджвіка [9] і працюють з відносно високими частотами дискретизації. Тому для забезпечення максимальної частоти дискретизації сигналів та, як наслідок, максимальної швидкодії, необхідно проводити оптимізацію програмного коду [10].

При попередньому розробленні програмного забезпечення зчитування даних з сенсорів модуля проводилося при використанні сторонніх бібліотек, при цьому результат попереднього оцінювання отриманий з відносно великою затримкою, що приводить до незадовільної реакції системи при зміні її орієнтації. Для визначення дійсного значення частоти дискретизації до програмного коду було вводиться лічильник, який фіксує час старту кожної ітерації обчислення та видачі інформації. За результатами проведених досліджень з'ясовано, що частота дискретизації менше 20 Гц не задовольняє процес отримання даних про параметри руху і орієнтації МР [11].

Метою роботи є розроблення структури моделі організації функцій керування та обчислення мобільного робота з незалежними модулями без центрального процесора.

В роботі запропонована модель організації функцій обчислення та керування мобільного робота з незалежними модулями без центрального процесора (рис. 1), яка за структурою є поєднанням топологій мережі "подвійне кільце" та "активна зірка", в якій два кільця утворюють основний і резервний контури для передачі даних (перше – без центрального мікроконтролера (МК), друге – через центральний МК). При виході з ладу елементів одного з кілець (контурів) воно об'єднується з іншим, а система продовжує штатне функціонування за попереднім алгоритмом.

Ефективність використання такої моделі організації можна пояснити тим, що ефективність виконання *i* операцій такою самою кількістю МК буде вищою, ніж ефективність виконання *i* операцій одним більш потужним мікропроцесором (тому що тільки логічно вірно прописаний програмний продукт максимально розкриває потенціал процесора, на якому він запускається).

В даній моделі всі МК зв'язані та обмінюються даними тільки з найближчими сусідами за структурою, тобто в даний момент часу кожний МК буде виконувати тільки власну мініпрограму за власним алгоритмом роботи. Якщо ж всі ці мініпрограми буде виконувати один більш потужний процесор, то в даний момент часу буде виконуватися тільки одна мініпрограма, а інші будуть очікувати своєї черги на виконання, що створює затримки виконання актуальних в даний момент часу мініпрограм.

В даній структурі значно зменшується збиткове опрацьовування неактуальної на даний момент часу інформації. В зв'язку з цим можна прогнозувати, що на відкритих ділянках траси переміщення МР буде відбуватися з максимальною швидкістю. Однак при появі перешкод (зміні дорожньої ситуації) буде відбуватися швидкий обмін інформацією між

окремими мікроконтролерами для оптимізації параметрів руху та орієнтації з одночасною оптимізацією енерговитрат силової установки.

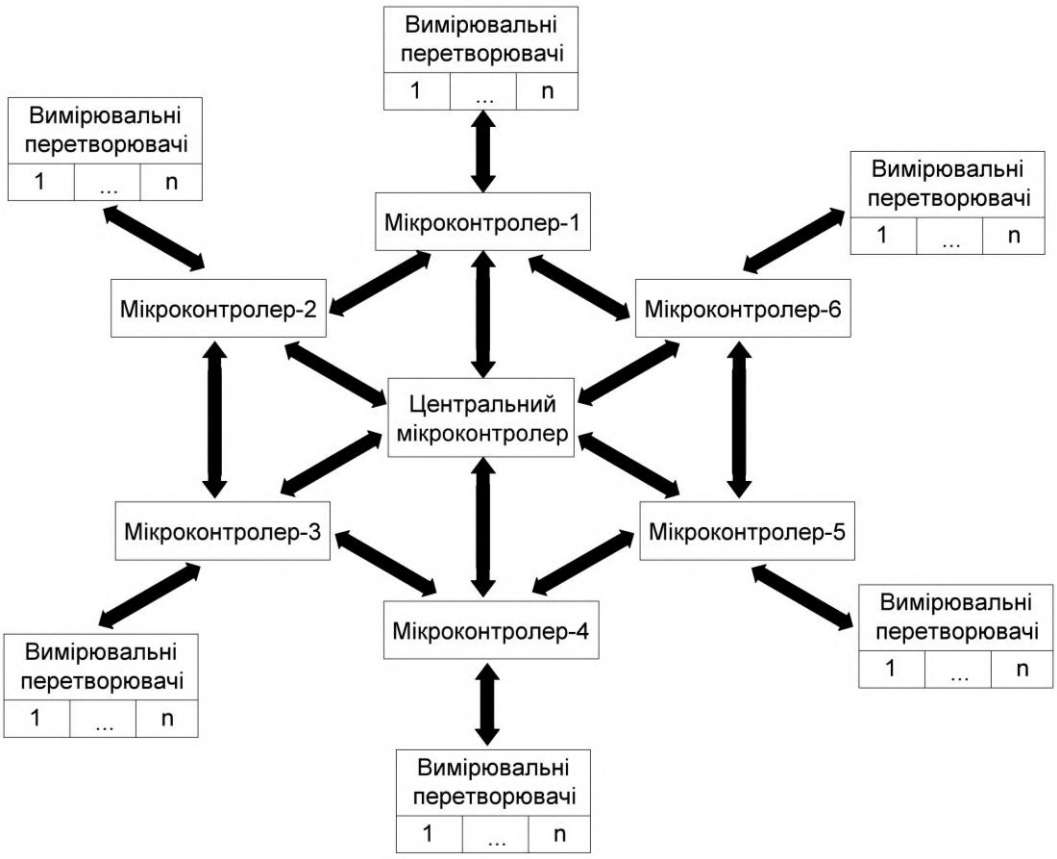


Рисунок 1 – Структура моделі організації функцій керування та обчислення мобільного робота з незалежними модулями без центрального процесора

Мобільний робот, який функціонує за даною моделлю, може адаптивно змінювати режим роботи в залежності від поточних умов. При цьому чим більш активно відбувається “спілкування” між МК, тим більш інтенсивно працюють виконавчі механізми мобільного робота (в першу чергу електродвигуни силової установки). Фактично всі модулі керування (мікроконтролери) розв’язують одну задачу (однак кожний на власному рівні) – якому з електродвигунів дозволити (і з якими параметрами), а якому заборонити роботу в даний момент часу.

Ще однією перевагою незалежних та децентралізованих модулів є те, що при виході з ладу одного з них його функціонал бере на себе один з трьох сусідніх за структурою модулів (до модуля пам’яті кожного МК записана не тільки власна програма функціонування, але й програми трьох сусідніх за структурою МК). За таймерними перериваннями сусідні МК передають один одному біти стану про те, що вони працюють в штатному режимі. Якщо через визначений часовий інтервал між сусідніми МК не відбувся обмін бітами стану, робиться висновок про те, що один з МК не працює, при цьому для підтримання працездатності всієї системи один з мінімально завантажених сусідів непрацюючого МК починає виконувати не тільки свою мініпрограму, але й мініпрограму сусіднього МК. Для цього внутрішня шина обміну даними сусіднього непрацюючого МК переходить у користування працюючого МК.

Запропонована модель організації функцій керування та обчислення може бути застосована в локальній навігаційній системі (ЛНС) МР. Для експериментального настроювання параметрів ЛНС та перевірки запропонованої моделі на точність обчислення навігаційних параметрів МР реалізовано фізичну модель системи, яка є комбінацією

інерціального вимірювального модуля (IBM, по три MEMC акселерометри і гіроскопи) та приймача GPS з вбудованою антеною і призначена для визначення координат та кутів орієнтації об'єкту. Використання такої системи без приймача GPS аналогічно автономному режиму роботи.

Експериментальні дослідження фізичної моделі проведені в цегляному приміщенні з мінімальною кількістю металевих поверхонь та на відкритому просторі (рівномірне асфальтове покриття). Довжина траєкторії руху МР складала величину до 80 м при прямолінійному переміщенні та до 35 м при маневруванні.

При прямолінійному переміщенні МР (при сталому куті курсу) точнісні характеристики кращі, ніж при маневруванні. Однак з часом похибка визначення повздовжної складової швидкості та координат поступово збільшуються і досягають характерних похибок GNSS [6].

Таким чином, запропонована структура моделі організації функцій керування і обчислення МР з незалежними модулями без центрального процесора дозволяє створювати надійні та дешеві пристрої, здатні конкурувати з більш дорогими аналогами завдяки простій інтеграції нових модулів до вже діючих систем, практично не змінюючи архітектуру вбудованих модулів. Тому що модулі незалежні, їх розробкою можуть займатися різні спеціалісти, що спрощує вдосконалення вузлів МР.

1. Рудик А.В., Квасніков В.П., Рудик В.А., Матей М.І. Аналіз локаційних методів визначення параметрів руху мобільних роботів / Вісник Інженерної академії України. – 2018. – № 2. – С. 173-181.
2. Рудик А.В., Квасніков В.П. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія. – Харків : Мачулін, 2018. – 272 с.
3. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. – Кировоград: ПОЛИМЕД – Сервис, 2011. – 171 с.
4. Рудик А.В., Квасніков В.П., Рудик В.А., Матей М.І. Аналіз методів інерціальної навігації при визначенні параметрів руху мобільних роботів / Вісник Інженерної академії України. – 2018. – № 3. – С. 150-157.
5. Рудик А.В., Рудик В.А., Матей М.І. Аналіз одометричних методів визначення параметрів руху мобільних роботів / Вісник Інженерної академії України. – 2019. – № 2. – С. 107-115.
6. Конин В.В., Харченко В.П. Системы спутниковой радионавигации. – Киев, Национальный авиационный университет: Холтех, 2010. – 520 с.
7. Рудик А.В. Методи вимірювання координат та параметрів руху об'єктів з використанням супутникових радіонавігаційних систем / Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С. 51-56.
8. Рудик А.В. Пристрої для вимірювання електричної ємності мікромеханічних давачів навігаційних систем мобільних роботів та її відхилення від номінального значення / Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 3 (78). – С. 93-103.
9. Рудик А.В. Використання медіанної та діагностичної фільтрацій в мобільних робототехнічних комплексах для попередньої обробки сигналів / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – № 1 (8). – С. 73-78.
10. Рудик А.В. Методика вибору частоти дискретизації сигналів давачів навігаційної системи та виконавчих пристроїв мобільних робототехнічних комплексів / Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 1 (245). – С. 166-173.
11. Rudyk, A.; Rudyk, V.; Radul, N.; Matei, M. The influence of the program code structure on the discretization frequency of the onboard computer of a mobile robot. In Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference on Modeling, Control and Information Technologies, Rivne, Ukraine, 14–16 November 2019; pp. 212–214.

УДК 004.773

ОРГАНІЗАЦІЯ РЕЗЕРВНОЇ ЗАХИЩЕНОЇ СИСТЕМИ ОБМІНУ ПОВІДОМЛЕННЯМИ ТА ДАНИМИ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ УРГРУПУВАННЯ НГУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАГАЛЬНОДОСТУПНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

к.т.н., доц. Сальніков О. М.
Національна академія Національної гвардії України

Доповідь присвячена дослідженню можливості створення резервної захищеної системи обміну даними у системі управління угрупуванням НГУ у разі тимчасового порушення дієздатності основної системи обміну даними, а також розробці практичних рекомендацій щодо використання для цього відкритого програмного забезпечення.

В умовах недостатнього фінансування, а також із міркувань оперативності та простоти використання задача організації системи обміну даними за допомогою звичайної комп'ютерної техніки, смартфонів та планшетів, а також залучення легкодоступного безкоштовного відкритого програмного забезпечення є **актуальною**.

Метою даної роботи є дослідження доцільності і можливостей використання загальнодоступних технічних засобів, наприклад, мобільних телефонів та загальнодоступного безкоштовного програмного забезпечення програмного забезпечення для організації обміну даними у системі управління підрозділами НГУ в умовах порушення дієздатності основних засобів обміну даними та на час усунення цієї непрацездатності.

Завданням роботи є розробка практичних рекомендацій щодо використання загальнодоступних технічних засобів і програмного забезпечення для організації роботи системи зв'язку у системі управління підрозділами НГУ в умовах порушення дієздатності основних засобів зв'язку.

Методика досліджень полягає у поєднанні аналізу існуючих інформаційних технологій резервування систем обміну інформацією та експериментального дослідження цих технологій у реальних умовах. В результаті такого поєднання за допомогою існуючих та добре відомих програмних методів та засобів була вирішена нова наукова задача — підвищення стійкості системи обміну даними в умовах порушення дієспроможності системи зв'язку. В цьому полягає **наукова новизна** даної роботи.

У роботі пропонується здійснювати організацію захищеної резервної системи обміну даними за допомогою VPN-технології, яка реалізується на наявних комп'ютерах, планшетах та смартфонах з використанням програми створення віртуальної мережі OpenVPN, програми обміну голосовими повідомленнями TeamSpeak та програми шифрування файлів та даних PGP. Розроблені рекомендації з встановлення та налаштування цих програм на комп'ютерах з ОС сімейства Windows та на планшетах та смартфонах з ОС сімейства Android., Розроблені рекомендації апробовані у Національній академії НГУ.

Висновки та напрямки подальших досліджень:

1. У сучасних умовах приведенні бойових дій з використанням методів і засобів радіоелектронної боротьби дуже важливу роль набуває питання підтримання стійкості і дієздатності каналів обміну даних системи управління підрозділами. Таким чином, створення та організація резервних захищених каналів обміну голосовими та письмовими повідомленнями та файлами в умовах радіоелектронної боротьби є актуальною науково-технічною задачею.

2. Для організації захищених каналів обміну даними у системі зв'язку угрупування НГУ в умовах обмеженого фінансування бажано використовувати відкрите програмне забезпечення, яке розповсюджується безкоштовно. Таке програмне забезпечення дозволяє використовувати ефективний криптографічний захист файлів та повідомлень, які передаються у системі зв'язку.

3. У якості програмного забезпечення для організації захищеної системи обміну даними пропонується використати технологію організації віртуальної приватної мережі VPN. Для її реалізації пропонується скористатись безкоштовними відкритими програмами: програма створення каналів сервер-клієнт OpenVPN; програма голосового спілкування TeamSpeak; програма шифрування повідомлень, файлів та іншої інформації для обміну в електронному вигляді між абонентами VPN.

4. Напрямком подальших досліджень слід вважати оцінку надійності функціонування організованої системи VPN, а також оцінку її економічної ефективності.

1. Організація військового зв'язку: навч. посіб. / В. Г. Шолудько та ін. Київ: ВІТІ, 2017. 282 с.
2. Вимоги до управління військами. URL: https://studopedia.org/10-129031.html (дата звернення: 30.10.2019).
3. Іохов О. Ю. Визначення шляхів побудови перспективної системи мобільного радіозв'язку внутрішніх військ МВС України. *Системи обробки інформації*. 2011. № 4 (94). С. 196–198.
4. Особливості організації зв'язку у військових частинах та підрозділах Національної гвардії України / Г. А. Дробаха та ін. *Честь і закон*. 2016. № 2. С. 19–25.
5. Системы спутниковой связи. Статья в Википедии. URL: www.wikipedia.com (дата звернення: 30.10.2019).
6. Жовноватюк Р. М., Канкін І. О., Умінський В. В. Перспективи побудови безпровідних мереж передачі даних в інтересах Збройних Сил України. *Вісник ЖДТУ*. № 4 (55). С. 39–47.
7. VPN. Стаття у Вікіпедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/VPN (дата звернення: 30.10.2019).
8. Что такое VPN или как защитить сеть. URL: http://pro-spo.ru/network-tech/4304-chto-takoe-vpn-ili-kak-zashhitit-set (дата звернення: 30.10.2019).
9. OpenVPN. Стаття у Вікіпедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/OpenVPN (дата звернення: 30.10.2019).
10. Руководство по установке и настройке OpenVPN. URL: https://habr.com/post/233971/ (дата звернення: 30.10.2019).
11. TeamSpeak. Стаття у Вікіпедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Teamspeak (дата звернення: 30.10.2019).
12. Инструкция по Teamspeak 3. URL: https://4pda.ru/forum/index.php?showtopic=532362&st=0#entry27989412 (дата звернення: 30.10.2019).
13. Інструкція з встановлення та налаштування програмного комплексу для організації захищеного обміну голосовими, текстовими повідомленнями та файлами з використанням програмного забезпечення OpenVPN, Teamspeak 3 та PGP / Іохов О. Ю. та ін. Харків: НАНГУ, 2015. 40 с.

УДК 621.3.01

АКТИВІЗАЦІЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КУРСАНТІВ В ХОДІ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ РАО НА КАФЕДРІ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА СИСТЕМ РАО

к.т.н., доцент Сергеєв В.В., к.т.н., доцент Сергєєв О.Ю.
Військова академія (м. Одеса)

Однім з напрямків підвищення якості підготовки майбутніх військових фахівців РАО є адаптування змісту освіти щодо до сучасного стану науки і техніки. Враховуючи складний характер сучасного озброєння та військової техніки, якісне вивчення таких дисциплін , як «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини і апарати», «Електричні системи та мережі» є запорукою підготовки сучасного військового фахівця.

Постійне збільшення об'єму інформації і обмеженість учбового часу при вивченні дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» обумовлюють необхідність інтенсифікації навчання, розробки і впровадження сучасної методики навчання.

Традиційні завдання електротехніки: моделювання процесів, що вивчаються, і явищ, управління, діагностика, стають найбільш зрозумілі і доступні студентам завдяки використанню інформаційних технологій в процесі навчання.

Одним з можливих шляхів активізації пізнавальної курсантів на заняттях, підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу на наш погляд є впровадження в навчальний процес комп'ютерних технологій.

Головний принцип використання інформаційних технологій в процесі навчання - це орієнтація на випадки, коли виконання поставлених завдань за допомогою класичних прийомів стає важкоздійснюваним.

Виявлено, що застосування інформаційних технологій може бути обґрунтованим в наступних ситуаціях:

- для виконання складних математичних розрахунків при вирішенні завдань по аналізу електричних ланцюгів;
- при вивченні положень теорії і понять високого рівня абстракції;
- для обчислення і графічного представлення функцій, ручна обробка яких вимагає великого об'єму обчислень;
- для вивчення неперіодичних швидко протікаючих процесів, що вимагають спеціальних засобів вимірювання;
- проведення електронного моделювання фізичних процесів, яки відбуваються елементах озброєння.

Сучасна комп'ютерна техніка та спеціалізоване програмне забезпечення може ефективно використовуватися як з метою розрахунку параметрів процесів, так і для візуалізації закономірностей, що досліджуються.

Існує багато засобів електронного моделювання фізичних процесів, яки відбуваються в електричних ланцюгах. До їх числа слід віднести таки програмні комплекси, як MatLab, Electronics Work Bench, Multisim, MathCad, SkyLab тощо. Кожен зі згаданих програмних комплексів поряд з позитивними якостями має певні обмеження у практичному застосування в навчальному процесі. На наш погляд, найбільш суттєвими з них є відсутність оперативної взаємодії «система моделювання – користувач» та низька наочність щодо демонстрації процесів та явищ, що вивчаються.

Більш широкі можливості щодо візуалізації фізичних процесів в електричних ланцюгах має пакет програм LabVIEW фірми National Instruments, який орієнтований в першу чергу на проведення лабораторних досліджень на основі технології віртуальних приладів. До складу програмного продукту LabVIEW входять різноманітні набори елементів, що забезпечує можливість дослідження широкого спектру фізичних процесів в

електричних ланцюгах. Розвинена система графічного меню у вигляді наочних графічних образів, забезпечує зручний інтерактивний режим взаємодії дослідника з комп'ютером.

У доповіді пропонуються шляхи активізації пізнавальної діяльності курсантів на заняттях з зазначених вище навчальних дисциплін. Рішення означеної проблеми пропонується здійснювати на основі використання можливостей середовища графічного програмування LabVIEW та MatLab щодо електронного моделювання та візуалізації фізичних процесів, що вивчаються. В межах запропонованого підходу на кафедрі розроблений та впроваджений в навчальний процес комплекс віртуальних лабораторних робіт з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки».

При виконанні лабораторніх робіт експеримент, що проводиться, забезпечує зв'язок абстрактних понять теорії з реальними об'єктами, дозволяє освоїти основний метод інженерної електротехнічної практики - моделювання процесів і об'єктів за допомогою схем заміщення і еквівалентних схем. Разом з проведенням фізичного експерименту на лабораторних стендах розроблена методика використання засобів "віртуальної лабораторії" - пакету імітаційного моделювання LABVIEW.

З метою демонстрації можливостей цього комплексу представлена електронна модель імітації роботи дільника постійного струму з елементами інтерактивного інтерфейсу. Дана модель дозволяє оперативно дослідити вплив окремих елементів електричної схеми на таки вихідні параметри дільника, як напруга та струм під навантаженням, значення вхідної та вихідної потужності. Зміна параметрів моделі та контроль параметрів вихідних сигналів здійснюється за допомогою віртуальних органів регулювання та вимірювальних приладів, які графічно відображуються на екрані монітора. За допомогою клавіатури або комп’ютерної миші курсанти керують процесом дослідження електричних ланцюгів, що забезпечує наочність та наближення його до реального.



Рис.1

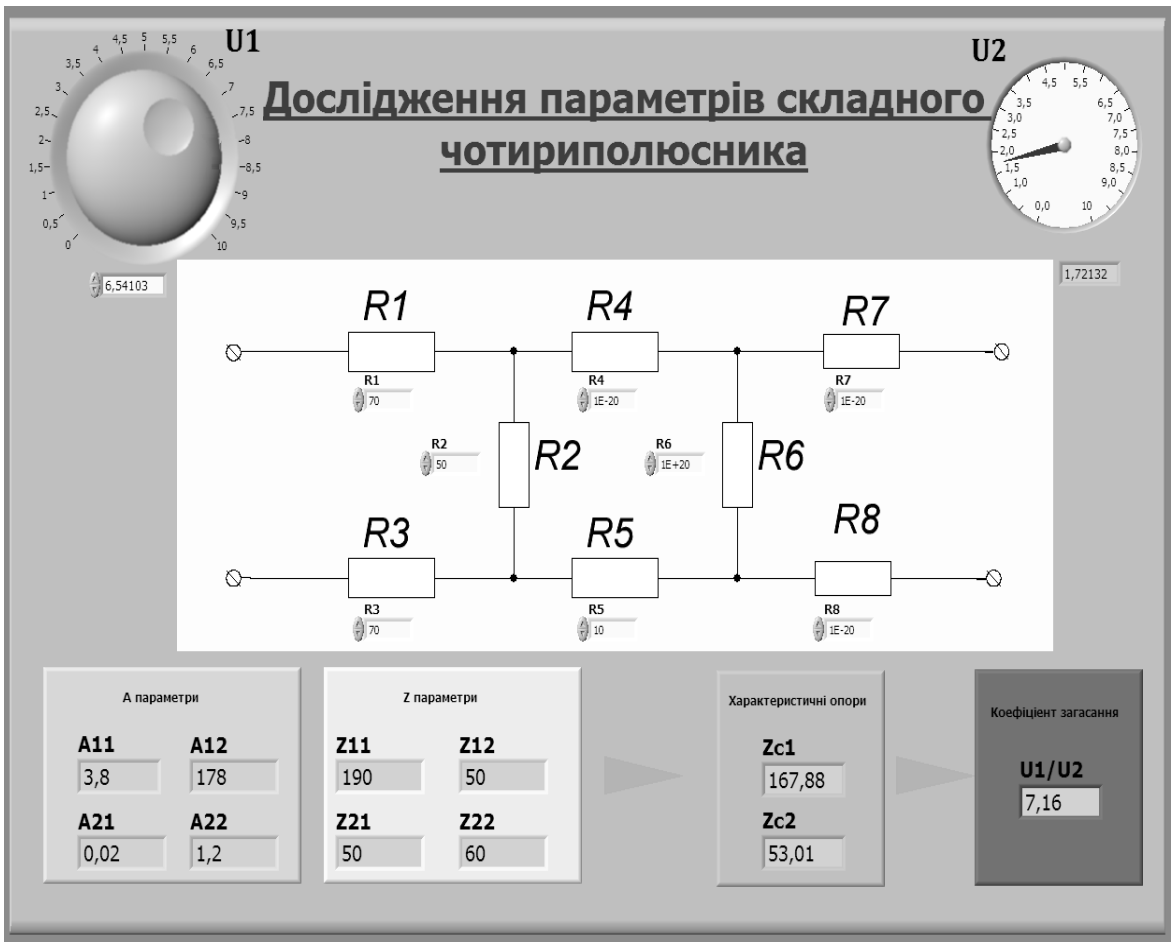


Рис. 2

Раціональне поєднання "віртуального" і "фізичного" експериментів дозволяє значно розширити тематику лабораторних досліджень по всіх основних розділах дисципліни, що вивчається.

Таким чином, застосування в освітньому процесі програмного комплексу LabVIEW дозволяє забезпечити інноваційний підхід у підготовці військових фахівців на сучасному рівні та підвищити мотивацію й інтерес курсантів до вивчення базових технічних дисциплін.

Альтернативним підходом до активізації навчання є використання засобів комп'ютерного моделювання, зокрема програмних продуктів MATLAB.

У програмі MATLAB засобом моделювання електронних і електричних ланцюгів є засоби візуального моделювання SIMULINK і SimPowerSystems, які призначені для імітаційного моделювання електротехнічних пристроїв.

Використовуючи можливості Simulink і SimPowerSystems, можна не лише імітувати роботу пристрою в часовій області, але і здійснювати його частотний аналіз.

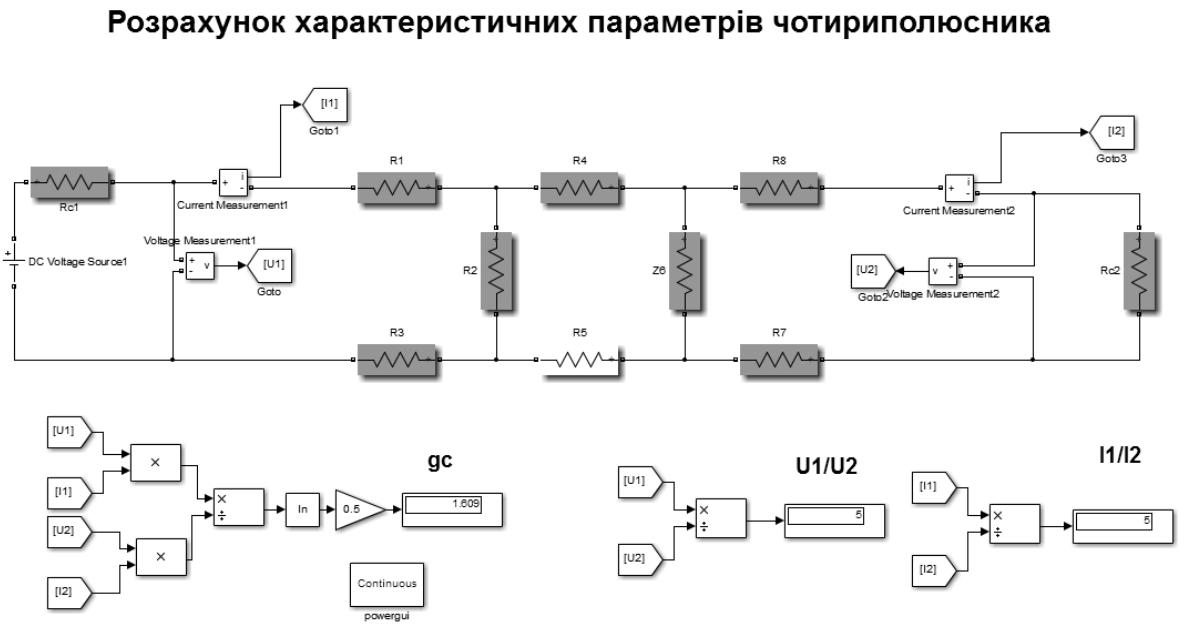


Рис. 3 Моделювання пасивного чотириполюсника в узгодженому режимі роботи засобами MataLab.

На кафедрі електротехніки та систем РАО з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» створений та розроблений комплект індивідуальних контрольних завдань за усіма розділами. Кожне індивідуальне завдання включає три етапи: розрахунковий, графічний, експериментальний.

Розрахункова частина індивідуального завдання виконується за допомогою будь-якої відомої програми (EXCEL, SciLab, Matcad, MatLab та ін.). По завершенню розрахунків їх результати оформляються у вигляді текстового документу, графіків або векторних діаграм. Останній, третій етап завдання полягає у моделюванні фізичних процесів, що відбуваються в досліджуваному ланцюзі. Результати моделювання порівнюються з розрахованими даними, після чого виконавці роблять відповідні висновки.

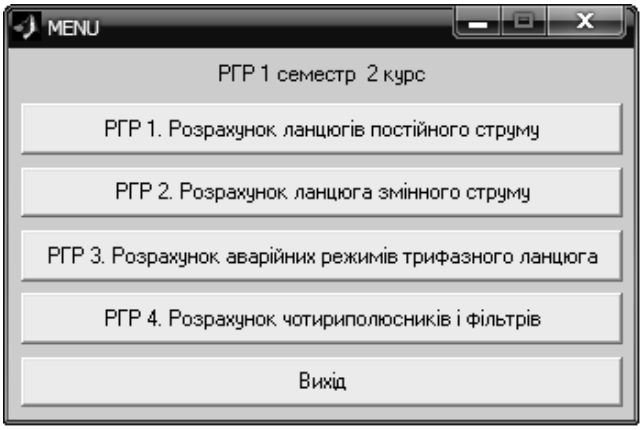


Рис.4 Інтерфейс комплекту РГР за перший семестр

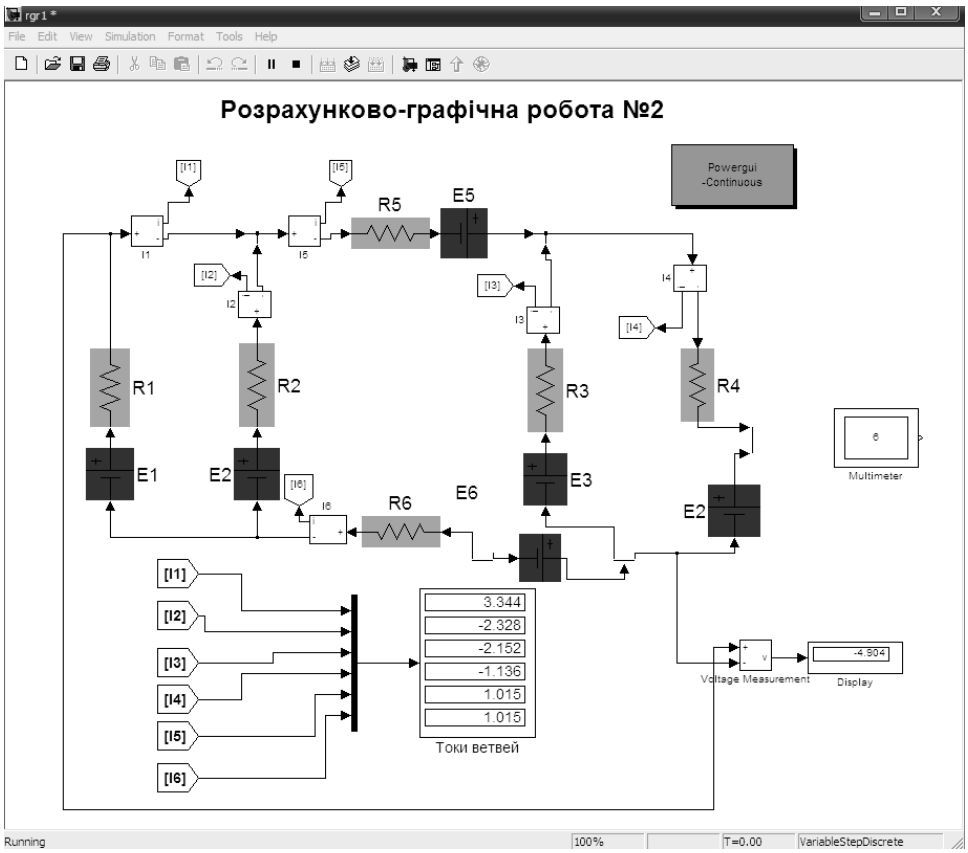


Рис.5 Результат моделювання складного електричного ланцюга постійного струму.

Наявність вимірювальних пристроїв і засобів відображення результатів виміру дозволяє перевірити правильність проведених розрахунків, отримати частотні та часові характеристики, проаналізувати стійкість систем, а також провести спектральний аналіз негармонічних електричних струмів та напруг.

Висновки

Дослідження фізичних процесів яки відбуваються в електричних вузлах РАО найбільш ефективно безпосередньо на фізичних об'єктах, однак даний підхід вимагає наявності дорогого обладнання (елементи електричних кіл, вимірювальні прилади, регульовані джерела живлення,

З метою активізації пізнавальної діяльності курсантів запропонована методика навчання пропонує фронтальне використання інформаційних технологій у організації всіх форм навчання.

Ефективність вивчення теоретичного матеріалу підвищується за рахунок всебічного використання спеціалізованого програмного забезпечення в трьох напрямках:

розрахунково - дослідницькому напрямку (MATHCAD);

напрямку імітаційного моделювання фізичних процесів і явищ (MATLAB , SIMULINK) ;

демонстраційному напрямку (LABVIEW).

Література

1. Гурський Д. Вычисления в MathCaD –Мн. Новое знание, 2003.- 814с.

2. Сайлер Использование Visual Basic- К. Издательский дом Вильямс, 2003.-832с.

3. Карлащук В. Электронная лаборатория на IBM PC-М.: Солон-Пресс.,2003.-736с.

УДК 681.5

ЗАСТОСУВАННЯ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ ПРИ СИНТЕЗІ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

к.ф.-м.н. Сінявській О.В.
Військова академія (м. Одеса)

Дія автоматичного пристрою можна описати функціональними залежностями між величинами на його входах і виходах. Вхідні і вихідні змінні величини, звані також сигналами, можуть мати безперервний або дискретний характер. У дискретній формі змінна величина виражається кінцевим числом її значень. Такі пристрої, що здійснюють логічні перетворення сигналів, називаються логічними пристроями.

Основою синтезу дискретних систем управління є вивчення та визначення оптимальних зв'язків між вхідними та вихідними сигналами, які беруть тільки два значення: 0 - сигнал відсутній і 1 - наявність сигналу. Використовуючи математичний апарат алгебри логіки (булева алгебра) , складається логічна модель, що описує взаємодію вхідних і вихідних сигналів дискретної системи управління. Будь-яка дискретна система керування, що має кінцеві кількості вхідних і вихідних сигналів, згідно з принципом суперпозиції може бути реалізована з кінцевої кількості схем, вираженої в структурних формулах булевої алгебри логіки з використанням операцій кон'юнкції, диз'юнкції, інверсії (заперечення).

Важливим етапом синтезу цифрових схем на основі спеціальних класів булевих функцій є комбінаторний перебір функцій заданого класу. Складність цього етапу залежить від складності формул або алгоритмів перерахування функцій цього класу і кількості функцій, які необхідно перебрати. У ряді випадків формули перерахування не забезпечують точний перебір, а включають множину функцій, які не належать заданому класу. Крім того, множина функцій, які перераховують окремі формули, можуть перетинатися. З метою скорочення перебору доцільно класифікувати весь цей клас на підкласи (типи), які не перетинаються, знайти формули перерахування підкласів, а потім перерахувати булеві функції, що належать кожному підкласу. Якщо отримані при класифікації підкласи пов'язані з деякими характеристиками цифрових схем, то вибір підкласів з необхідними характеристиками сам по собі дозволяє скоротити перебір незалежно від формул перерахування.

Розглянемо представлення монотонних булевих функцій (МБФ) у вигляді мінімальних вхідних наборів або відповідного сімейства підмножин Шпернера. (Будь-яке сімейство підмножин деякої множини називається сімейством підмножин Шпернера, якщо жодне з підмножин сімейства не міститься ні в якому іншому підмножині цього ж сімейства.) При цьому, якщо береться МБФ від n змінних, то довільна підмножина сімейства підмножин Шпернера може містити від 0 до n елементів. Кожній МБФ взаємно однозначно відповідає антіцепь (безліч взаємно непорівнянних елементів) в булевої решітці , що складається з мінімальних елементів цієї МБФ.

Назвемо вектор $T = (a_0 , a_1 , ..., a_i , ..., a_n)$ з $n + 1$ компоненти, які нумеруються зліва направо від 0 до n , типом МБФ, якщо i -я компонента вектора a_i дорівнює числу підмножин з i елементів у відповідному даної МБФ сімействі підмножин Шпернера. При цьому одночасно i компонента вектора a_i дорівнює числу мінімальних вхідних наборів даної МБФ, що лежать на рівні $n - i$ булевої решітки рангу n .

Назвемо число n рангом типу Т, число v ненульових компонент назвемо вагою типу Т, номер i першої зліва ненульовий компоненти назвемо лівої кордоном типу Т, номер j першої справа ненульовий компоненти правої кордоном типу Т, суму m всіх компонент типу Т назвемо потужністю типу Т.

Приклад. В якості прикладу візьмемо МБФ f від 5 змінних, рівну одиниці на вхідних наборах 00011, 00111, 01011, 10011, 01111, 10111, 11011, 11100, 11101, 11110 і 11111. Мінімальними вхідними наборами функції f є набори 00011 і 11100, перший з яких

знаходиться на рівні 3, а другий на рівні 2 булевої решітки. Звідси відповідне сімейство підмножин Шпернера складається з двох підмножин, перше з яких містить два елементи, а друге три елементи. Значить тип Т (f) функції f дорівнює (0, 0, 1, 1, 0, 0). Ранг цього типу n (Т) = 5, вага v (Т) = 2, ліва межа i (Т) = 2, права межа j (Т) = 3 і потужність m (Т) = 2. Такий же тип має і ще ряд МБФ, зокрема МБФ з мінімальними вхідними наборами 00101 і 11001.

Назвемо тип Т 2 = (a n , a n -1 , ..., a i , ..., a 0) зворотним до типу Т 1 = (a 0 , a 1 , ..., a i , ..., a n). Зворотні типи мають однакові ранги n і ваги v , але ліва межа i і права межа j даного типу перетворюються в праву межу n - i і ліву кордон n - j зворотного типу. Назвемо тип симетричним, якщо він збігається з зворотним до нього типом, тобто $a_i = a_{n-i}$. Якщо МБФ $f1$ має тип Т1 , а МБФ $f2$ зворотний тип Т2 , то тип Т2 має також деяка така МБФ $f3$, що сімейство підмножин Шпернера, відповідне $f3$, виходить з сімейства підмножин Шпернера, відповідного $f1$, взяттям доповнення до кожного подмножеству. Звідси випливає, що кількість МБФ, що мають тип Т1 , дорівнює кількості МБФ, що мають зворотний тип Т2 .

Знаючи тип МБФ Т рангу n, можна знайти МБФ n змінних, що має цей тип, в такий спосіб. Починаючи з компоненти aj , що має номер j правої межі типу, побудуємо (0, 1) матрицю з m (Т) рядків і n стовпців наступним чином. Перші aj рядків є aj послідовними двійковими числами, що містять j одиниць, починаючи з найменшого числа такого виду. Наступні a_t рядків відповідають наступній справа ненульовий компоненти a_t на позиції t . Кожна з цих рядків є мінімальним двійковим числом, що містить t одиниць, що не покривається жодним із двійкових чисел на всіх вище рядках, починаючи з першої. Подібним чином знаходяться і інші рядки матриці. Останні a_i рядків є a_i двійкових чисел, що містять i одиниць, де i ліва межа типу Т. В результаті отримано восьмий спосіб опису [1] функції f , що має тип Т, у вигляді (0, 1) матриці. Назвемо побудовану таким чином МБФ f модельної МБФ типу Т. Довільний вектор V з n + 1 компоненти є типом рангу n тоді і тільки тоді, коли по ньому можна побудувати модельну МБФ.

Відмови цифрових схем, тобто невірне значення однієї з булевих функцій, реалізованих схемою, виникають внаслідок помилкових значень на окремих контактах схеми. Залежно від повторюваності відмов вони ділячи ться на постійні відмови і збої . Залежно від кількості контактів, на яких трапляються помилки, відмови діляться на поодинокі і кратні. У більшості випадків мають місце поодинокі відмови і тому в подальшому будуть розглядатися тільки вони. Так як в цифрових схемах використовуються двійкові сигнали, то помилкове значення може бути 0 замість 1 або 1 замість 0. Відповідно відмова може проявлятися в неправильному значенні булевої функції 0 замість 1 або в неправильному значенні 1 замість 0. При виділенні в цифровий схемою однією з функцій під помилкою типу $0 \to 1$ (або типу $1 \to 0$) зазвичай розуміється помилкове значення на одному з входів цієї функції.

Помилка будь-якого типу не завжди призводить до відмови. Якщо на правильному вхідному наборі і вхідному наборі, що виникає внаслідок помилки, функція має одне і те ж значення, то відмови не відбувається. Кожному можливої відмови в булевої решітці відповідає ребро, що з'єднує два сусідніх вхідних набору, на одному з яких значення функції дорівнює 1, а на іншому 0.

Таким чином, максимально можлива кількість відмов для булевої функції від n змінних дорівнює подвоєному кількості ребер у відповідній булевої решітці, тобто подвоєному кількості ребер в n -мірному кубі.

Для будь-якого n серед булевих функцій від n змінних існує дві функції з максимально можливою кількістю відмов. Перша з них дорівнює 1 на вхідних наборах, які перебувають на парних рівнях булевої решітки, і дорівнює 0 на інших вхідних наборах. Друга, навпаки, дорівнює 1 на вхідних наборах, які перебувають на непарних рівнях булевої решітки, i дорівнює 0 на інших вхідних наборах.

Обчислимо максимально можливу кількість відмов $p2(n)$ для монотонної булевої функції від n змінних. Згідно нерівності Шпернера (2) максимально можливу кількість підмножин в сімействі множин Шпернера одно $C_n^{[n/2]}$. Згідно лемі 3 це число дорівнює

максимально можливій кількості мінімальних вхідних наборів, а згідно слідству 2 з леми 9 воно ж само максимально можливій кількості максимальних вхідних наборів монотонної булевої функції від n змінних. Для парного n число $[n / 2]$ одно $n / 2$, а для непарного n воно дорівнює $(n / 2) - 1$. Раніше було доведено, що число елементів на m рівні булевої решітки одно C_n^m. Звідси випливає, що число Шпернера дорівнює кількості елементів на $[n / 2]$ рівні решітки. Це означає, що якщо розріз містить максимально можливу кількість ребер, то для парного n або безліч мінімальних вхідних наборів, або безліч максимальних вхідних наборів є максимально можливим, а для непарного n обидва ці безлічі є максимально можливими. Раніше було доведено, що число ребер, що йдуть вниз від кожного елемента на m рівня булевої решітки, так само $n - m$. Якщо $m = [n / 2]$, то це число дорівнює $[n / 2] + 1$ для непарного n і $n / 2$ для парного n. У загальному випадку воно дорівнює $[(n + 1) / 2]$. Отже, максимальна кількість ребер в розрізі n мірного куба одно $[(n + 1) / 2] C_n^{[n / 2]}$. Звідси максимально можлива кількість відмов $p_2 (n)$ для монотонної булевої функції від n змінних одно:

$$p_2 (n) = 2 [(n + 1) / 2] C_n^{[n / 2]} .$$

Для парного n це число дорівнює:
а для непарного n воно одно:

$$p_2 (n) = nC^{n / 2} ,$$

$$p_2 (n) = (n + 1) / C_n^{(n -1) / 2}$$

Запропонована класифікація дозволяє розглядати тільки ті типи, які відповідають заданим властивостям синтезується схеми. Використовуючи цю класифікацію можна вивести досить зручні в застосуванні формули перерахування типів

На основі проведених досліджень показано, що в разі використання при синтезі цифрових пристроїв монотонних булевих функцій замість довільних булевих функцій досягається зменшення кількості можливих відмов, тобто підвищення надійності роботи синтезованого пристрою. Це зменшення залежить від числа входів схеми, що реалізує булеву функцію, і з ростом числа входів схеми підвищується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Иоффе М.И. Диагностирование логических схем. – М.: Наука, 1989. – 158 с.
2. Волгин Л.И. Синтез устройств для обработки и преобразования информации в элементном базисе реляторов. – Таллинн: Валгус, 1989. – 180 с.
3. Волгин Л.И. Комплементарная алгебра и предикатная алгебра выбора. – Ульяновск: УлГТУ, 1996.
   – 68 с.
4. Волгин Л.И. Логические основы математической теории надежности. – Ульяновск: УлГТУ, 1997. – 44 с.
5. Самофалов А.Г., Марковский А.П. Комбинаторный подход к синтезу специальных классов булевых функций // Электронное моделирование. – 2004. – Т. 26. – №3. – С. 27-40.
6. Яблонский С.В., Гаврилов Г.П., Кудрявцев В.Б. Функции алгебры логики и классы Поста. – М.: Наука, 1966. – 120 с.
7. Биркгоф Г. Теория решеток. – М.: Наука, 1984. – 568 с.
8. Гретцер Г. Общая теория решеток. – М.: Мир, 1982. – 456 с.
9. Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. – М.: Наука, 1982. – 384 с.
10. Тараканов В.Е. Комбинаторные задачи и (0,1)-матрицы. – М.: Наука, 1985. – 192 с.

УДК 621.314.1

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З КОМПЕНСУЮЧИМИ ЗВОРОТНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

к.т.н., доц. Стьопкін В.В., студент Юдін О.В.
Національна металургійна академія України

Електромеханічні системи (ЕМС) приводних машин металургійного виробництва володіють певними особливостями руху механічної частини: пружні ланки передач у перехідних процесах або при дії періодичних збурень стають причиною виникнення коливань, що викликають значні додаткові динамічні навантаження на електричне та механічне обладнання та відхилення процесів від заданої технології. Динамічні навантаження коливального характеру не дозволяють використовувати електричне обладнання за перевантажувальною здатністю, значно скорочують строк служби вузлів та деталей механічної передачі за зносостійкістю та витривалістю.

Для усунення або зменшення пружних механічних коливань здійснюють синтез ЕМС із реалізацією демпфуючої дії електропривода. Методики синтезу параметрів та структур ЕМС, що використовуються на практиці передбачають мінімізацію реакції електропривода на коливання механічної частини. В дійсності в ЕМС необхідно розглядати взаємодію коливань [1-3].

Метою роботи є розробка математичної моделі електропривода постійного струму з компенсуючими зворотними зв'язками для дослідження їх впливу на пружні механічні коливання.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

1) розрахунок структурних параметрів регуляторів, корегуючих та зворотних зв'язків електропривода;

2) проаналізувати вплив пружного зв'язку на контур струму та швидкості в однозонному двоконтурному електроприводі постійного струму;

3) виконати налагодження контуру швидкості однозонного електропривода з системою підпорядкованого регулювання параметрів із урахуванням пружного зв'язку.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси у контурі керування швидкістю електропривода постійного струму із пружною механічною передачею.

Предметом дослідження є система автоматизованого регулювання (САР) швидкості електропривода із пружністю.

Розроблена математична модель однозонного електропривода постійного струму із пружністю.

В роботі отримані результати розрахунку параметрів САК із:

1) стандартним налагодженням П-регулятора швидкості;

2) корегуванням за похідною швидкості виконавчого валу (ВВ) при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;

3) корегуванням за похідною швидкості ВВ при відповідному бажаному налагодженні ПІ-регулятора швидкості;

4) корегуванням за другою похідною швидкості ВВ при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;

5) корегуванням за різницею швидкостей виконавчого валу та двигуна при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;

6) корегуванням за різницею швидкостей виконавчого валу та двигуна при відповідному бажаному налагодженні ПІ-регулятора швидкості;

7) корегуванням за похідною швидкості двигуна при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості.

Отримані результати на моделі можуть бути корисними при налагодженні систем керування електроприводів із пружними зв'язками для відповідних механізмів. Розроблена модель може бути використана для досліджень різних варіантів електроприводів постійного струму та представляє практичну цінність при застосуванні її у навчальному процесі.

При складанні математичної моделі були зроблені такі припущення:

- зусилля та моменти в системі прикладені до зосереджених мас, що не зазнають деформації;
- пружні зв'язки невагомі та характеризуються сталим жорстким зв'язком, тобто коефіцієнтом пропорційності між моментом та деформацією;
- деформація пружних ланок лінійна та підпорядковується закону Гука;
- хвильовий рух деформації відсутній.

На рисунку 1 наведений приклад програми моделювання у пакеті MATLAB однозонного електропривода постійного струму із пружністю в механічній передачі. Математичні розрахунки виконані у вигляді m-файлу.

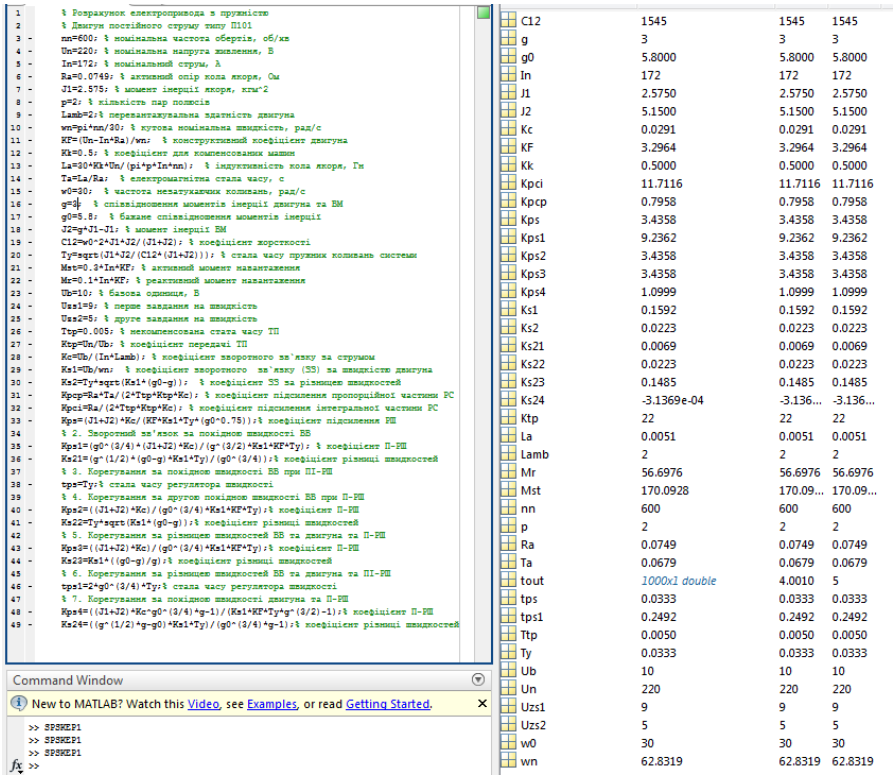


Рисунок 1 – Розрахунки у вигляді m-файлу в пакеті MATLAB

Для моделі був використаний двигун постійного струму типу з наступними даними: номінальна напруга $U_н = 220$ В; номінальний струм $I_н = 172$ А; номінальна частота обертів $n_н = 600$ об/хв; опір кола якоря $R_я = 0,0749$ Ом; момент інерції $J_{дв} = 2,575$ кгм^2. З двигуном використаний тиристорний перетворювач (ТП) зі сталою $T_{тп} = 0,005$ с. Перевантажувальна здатність двигуна $\lambda = 2$. Співвідношення моментів інерції $g = 1,5$. Частота незатухаючих коливань системи $\Omega_0 = 30$ рад/с. Бажане співвідношення моментів інерції $g_0 = 5,8$. Реактивний момент навантаження $M_г = 0,1 \cdot M_н$. Випадковий активний момент навантаження $M_{st} = 0,3 \cdot M_н$. Регулятор струму – пропорційно-інтегральний (ПІ). Регулятор швидкості – пропорційний (П). ЕРС некомпенсована. Режим роботи змодельований наступний – розгін до швидкості $0,9 \cdot \omega_н$, накид навантаження через 2с після початку руху та гальмування до швидкості $0,5 \cdot \omega_н$ через 3,5с після початку руху.

На рисунку 2 наведена програма моделювання розглянутої ЕМС у SIMULINK

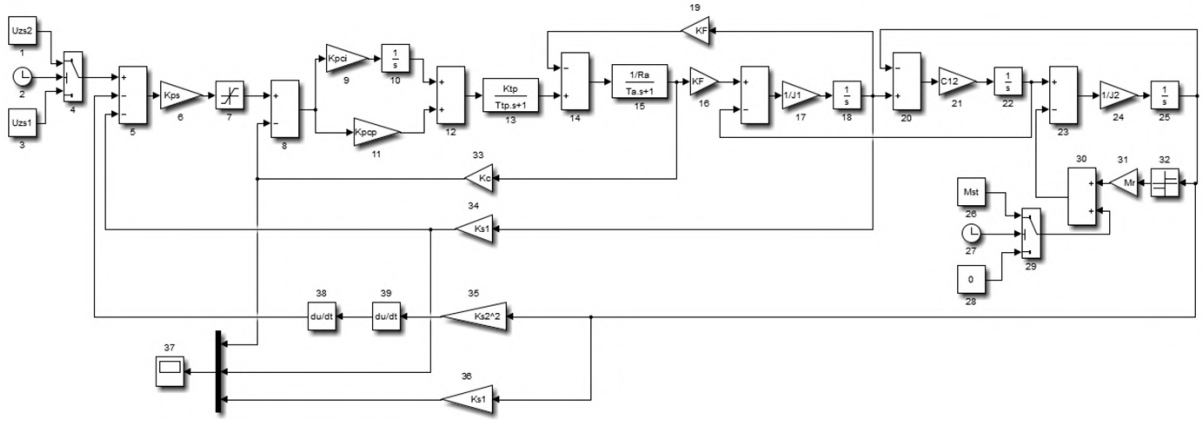


Рисунок 2 – Програма моделювання розглянутої ЕМС у SIMULINK

На рисунку 2 позначені такі блоки: 1,3 – блоки завдання на швидкість u_{zs1}, u_{zs2}; 2, 27 – блок відліку часу; 5, 8, 12, 14, 20, 23, 30 – блоки-суматори; 4, 29 – блоки логічних перемикачів, що визначають темп розгону привода; 6 – блок П-регулятора швидкості; 7 – блок обмеження на струм; 9-11 – блоки ПІ-регулятора струму; 13 – блок передатної функції ТП; 15 – блок передатної функції двигуна; 16, 19 – блоки конструктивної постійної двигуна KF; 17, 24 – блоки завдання моментів інерції J1 та J2; 26, 31 – блоки завдання активного M_{st} та реактивного M_r моментів; 21 – блок завдання коефіцієнту жорсткості C12; 33 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за струмом K_c; 34 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю двигуна K_{s1}; 35 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за різницею швидкостей K_{s2}; 37 – осцилограф.

Здійснювати розрахунок параметрів ЕМС за вихідними даними, та дослідження перехідних процесів за швидкостями двигуна, виконавчого механізму та струму двигуна при різних співвідношеннях моментів інерції двигуна та виконавчого механізму через коефіцієнт g будемо здійснювати у такій послідовності:

- стандартне налагодження П-регулятора швидкості;
- корегування за похідною швидкості виконавчого валу (ВВ) при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;
- корегування за похідною швидкості ВВ при відповідному бажаному налагодженні ПІ-регулятора швидкості;
- корегування за другою похідною швидкості ВВ при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;
- корегування за різницею швидкостей виконавчого валу та двигуна при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;
- корегування за різницею швидкостей виконавчого валу та двигуна при відповідному бажаному налагодженні ПІ-регулятора швидкості;
- корегування за похідною швидкості двигуна при відповідному бажаному налагодженні П-регулятора швидкості;
- корегування за похідною струму при стандартному налагодженні П-регулятора струму.

За результатами розрахунків (рисунок 1) здійснено моделювання перехідних процесів в пружному електроприводі за швидкістю виконавчого органу ω_2, швидкістю двигуна ω_1 та струмом якоря I_a.

У якості приклада на рисунку 3 наведені графіки перехідних процесів в пружному

електроприводі постійного струму при стандартному налагодженні П-регулятора швидкості та g=1,5.

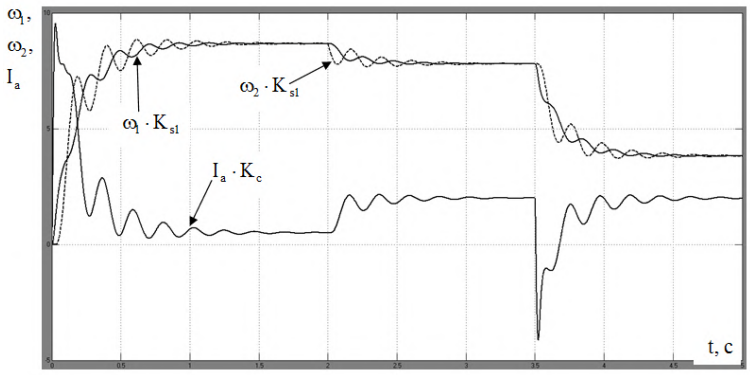


Рисунок 3 – графіки перехідних процесів в пружному електроприводі постійного струму при стандартному налагодженні П-регулятора швидкості та g=1,5

На рисунку 4 наведені графіки перехідних процесів в пружному електроприводі постійного струму при корегуванні за другою похідною швидкості виконавчого валу та g=1,5.

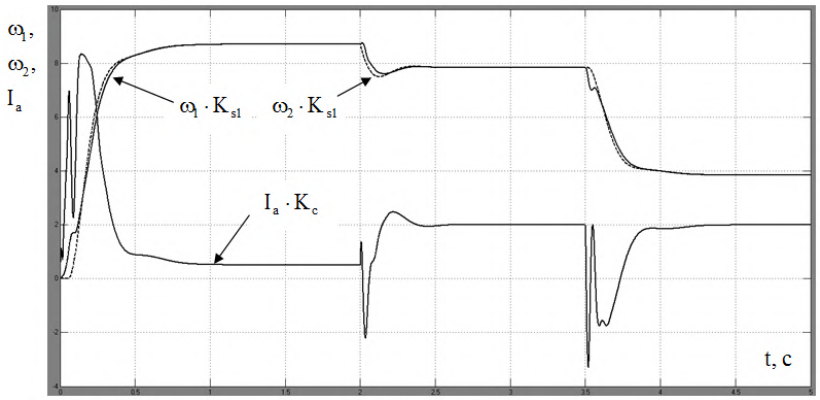


Рисунок 4 – графіки перехідних процесів в пружному електроприводі постійного струму при корегуванні за другою похідною швидкості виконавчого валу та g=1,5.

За результатами послідовності моделювання перехідних процесів в електроприводі з використанням різних типів зворотних зв’язків, можна зробити наступні висновки.

При g=3-10 необхідно без введення додаткових зворотних зв’язків налагодити регулятор швидкості. При g>10 найкращий ефект можна отримати при введенні додаткового зворотного зв’язку за похідною швидкості двигуна. При g=1-3 слід використовувати додатковий зворотний зв’язок за похідною швидкості виконавчого валу.

1. Стьопкін В. В. Вплив корегувальних зворотних зв`язків на механічні коливання електропривода зі спостерігачем / В. В. Стьопкін, А. В. Ніколенко. // Науковий вісник ТДАТУ. – 2019. – С. 4–13.

2. Задорожняя И.Н., Тарасов А.Ф., Задорожний Н.А. Оценка влияния механического демпфирования на динамику электропривода с упругими связями // Вести. нац. техн. ун-та «ХПИ». – 2005. – №45. – С.176-180.

3. Задорожняя И.Н. Описание динамических процессов в главных приводах прокатных станов на основе электромеханических аналогий. Вести. ДГМА. – Краматорск. – 2005. – С.55-58.

УДК 622.233.6:-83:68.3

ВЛАСТИВОСТІ ОБЄКТА КЕРУВАННЯ КОНТУРУ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРОМЕХАНІЧНОГО ПРИВОДУ

Хілов В.С. доктор технічних наук, професор
Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

Постановка проблеми і її зв'язок з прикладними задачами. Розроблений Ново-Краматорським машинобудівним заводом верстат для буріння вибухових свердловин, оснащений привідною системою спуско-підйомних операцій, що містить радіальні гідронасос і гідродвигун [1,2,3].

У кінематичний зв'язок між привідним двигуном і буровим снарядом при поступальному переміщенні ставу входять гідронасос, гідродвигун з редуктором і канатно-поліспастная система (КПС). У гідравлічній системі (ГС) використовується стислива рідина, а канати схильні до пружних деформацій. При цьому частота обертання валу двигуна та приведена до валу двигуна лінійна швидкість переміщення бурового снаряду в нестаціонарних режимах суттєво відрізняються. У привідний системі застосовуються швидкодіючий електропривод з пропускною здатністю контуру частоти обертання до 100 рад / с. При цьому частота власних пружних коливань канатно-поліспастового системи і гідроприводу потрапляють в смугу пропускання контуру регулювання частоти обертання. Тому не облік стисливості рідини і податливості канатів при аналізі об'єкта управління і синтезі системи регулювання може призвести до помилкових результатів і до істотного погіршення якості перехідних процесів у всьому електрогідромеханічному приводі.

Аналіз досліджень і публікацій. В об'єкт управління контуру частоти обертання потрапляє замкнутий контур регулювання активної складової струму статора асинхронного двигуна, механічне ланка електроприводу і додаткова передавальна ланка, що враховує пружні властивості трансмісії [4,5].

Раніше знайдено [6,7], що механічна динамічна ланка об'єкта управління контуру регулювання частоти обертання двигуна при наявності ГС КПС описується функцією передачі з характеристичним рівнянням п'ятого порядку.

Для знаходження передавальної функції в зручному для аналізу вигляді, вводимо постійні часу, коефіцієнт демпфірування і коефіцієнти інерційності

$$W_c(p) = \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^{4} a_{n2} \cdot p^n}{\sum_{n=0}^{4} b_{n2} \cdot p^n},$$

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів поліномів чисельника і знаменника передавальної функції об'єкта управління контуру регулювання частоти обертання $W_C(p)$

n	a_{n2}	b_{n2}
0	$K_г / \gamma_{23}$	$K_г \cdot \Gamma / \gamma_{23}$
1	$T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_г / \gamma_{23}$	$T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_г \cdot \Gamma / \gamma_{23}$
2	$T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_г / \gamma_{23}$	$T_г \cdot T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} + K_г \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{12}$
3	$T_{M2} \cdot T_y^2 + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2}$	$2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} \cdot T_г + T_{M2} \cdot T_y^2$
4	$T_г \cdot T_{M2} \cdot T_y^2$	$T_{M2} \cdot T_y^2 \cdot T_г$

де використовуються позначення коефіцієнтів доданків поліномів, що зведені в таблиці 1. У таблиці позначено: $K_г, T_г$ – коефіцієнт передачі і стала часу гідросистеми; $\gamma_{12}, \gamma_{23}, \Gamma$ – часткові та повний коефіцієнти інерційності електрогідромеханічної системи; T_{M1}, T_{M2}, T_{M3} – механічні сталі часу електродвигуна, гідродвигуна і ставу; ξ_y, T_y – коефіцієнт демпфірування і стала часу коливань канатно-поліспастового системи.

Виділяємо в додаткової передавальної функції досліджуваного контуру ланку $W_2(p)$, обумовлену пружними властивостями ГС і КПС в явному вигляді

$$W_2(p) = \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\begin{array}{l}(p \cdot T_г + 1) \cdot p \cdot T_{M2} \cdot \gamma_{23} \cdot (p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1) + \\ + K_г \cdot (p^2 \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{23} + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1)\end{array}}{\begin{array}{l}(p \cdot T_г + 1) \cdot p \cdot T_{M2} \cdot \gamma_{23} \cdot (p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1) + \\ + K_г \cdot \gamma_{23} \cdot T_{M2} / T_{M1} \cdot (p^2 \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{23} + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1)\end{array}}.$$

Постановка задачі. Оцінимо вплив на динамічні процеси в контурі частоти обертання електродвигуна додаткових ланок, обумовлених впливом гідросистеми і канатно-поліспастового передачі [7, 8].

Основний матеріал і результати дослідження. Для знаходження в явному вигляді характеристичних частот коливань поліномів чисельника і знаменника, нехтуємо демпфірувальними властивостями канатів і гідросистеми, тоді маємо:

– характеристичні частоти чисельника

$$\omega_{kc1,3} = \sqrt{\frac{T_г \cdot T_{M2} + T_y^2 \cdot K_г}{2 \cdot T_г \cdot T_{M2} \cdot T_y^2} \cdot \left(\pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot T_г \cdot T_{M2} \cdot T_y^2 \cdot K_г}{\gamma_{23} \cdot (T_г \cdot T_{M2} + K_г \cdot T_y^2)^2}} - 1 \right)}.$$

– характеристичні частоти знаменника

$$\omega_{kc2,4} = \sqrt{\frac{T_{M2} \cdot T_г + T_y^2 \cdot \gamma_{12} \cdot K_г}{2 \cdot T_{M2} \cdot T_y^2} \cdot \left(\pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot K_г \cdot \Gamma \cdot T_y^2 \cdot T_г \cdot T_{M2}}{(T_г \cdot T_{M2} + T_y^2 \cdot \gamma_{12} \cdot K_г)^2 \cdot \gamma_{23}}} - 1 \right)}.$$

Частотні характеристики розімкнутого контуру частоти обертання без урахування дисипативних сил об'єкта управління, наведені на рис.1.

Частоти ω_{kc3} і ω_{kc4} близькі за чисельними значеннями, а резонансні сплески на амплітудно-частотної характеристики спрямовані в протилежні сторони, тому в результуючої характеристиці додаткового об'єкта управління контуру частоти обертання резонансні сплески на цих частотах практично взаємно компенсуються. У додатковій передавальній функції об'єкта управління контуру частоти обертання спостерігаються резонансні сплески на частотах ω_{kc1}, ω_{kc2}. Тому можна знизити порядок передавальної функції додаткової динамічної ланки контуру частоти обертання з четвертого до другого, залишаючи характеристичні частоти коливань ω_{kc1}, ω_{kc2}, і відкидаючи ω_{kc3}, ω_{kc4}, так як вони взаємно компенсуються:

$$W''_{2рео}(p) = \frac{p^2 \cdot (T_г \cdot T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} + K_г \cdot T_y^2) + p \cdot (T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_г / \gamma_{23}) + K_г / \gamma_{23}}{\begin{array}{l}p^2 \cdot (T_г \cdot T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot T_{M2} + K_г \cdot T_y^2 \cdot \gamma_{12}) + \\ + p \cdot (T_{M2} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_г \cdot T_{M2} / T_{M1} + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot K_г / \gamma_{23}) + K_г / \gamma_{23}\end{array}}.$$

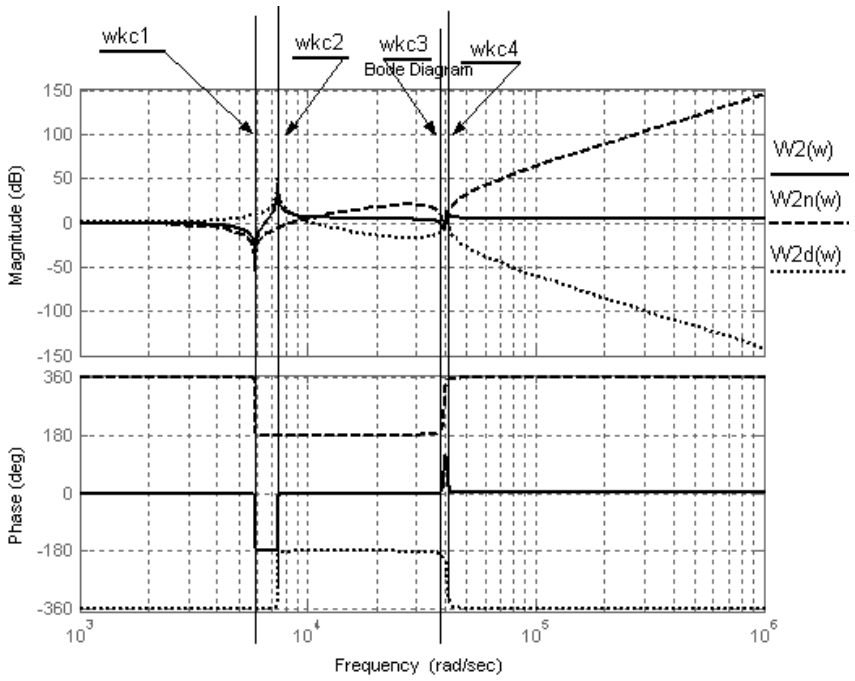


Рис.1. Логарифмічні амплітудні і фазові частотні характеристики додаткової ланки $W_2(p)$ контуру частоти обертання з урахуванням сил дисипації і при максимальних довжинах канатів і масі ставу

Передавальна функція розімкнутого контуру частоти обертання приводного двигуна:

– при налаштуванні контуру на модульний оптимум

$$W_{rktmo}(p) \approx \frac{T_{M1}}{a_c \cdot T_{0T}} \cdot \frac{1}{T_{0T} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^{2} a_{n2} \cdot p^n}{\sum_{n=0}^{2} b_{n2} \cdot p^n};$$

– при налаштуванні контуру на симетричний оптимум

$$W_{rktco}(p) \approx \frac{b_c \cdot a_c \cdot T_{0T} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c \cdot T_{0T} \cdot p} \cdot \frac{T_{M1}}{a_c \cdot T_{0T}} \cdot \frac{1}{T_{0T} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{T_{M1} \cdot p} \cdot \frac{\sum_{n=0}^{2} a_{n2} \cdot p^n}{\sum_{n=0}^{2} b_{n2} \cdot p^n}.$$

Висновки і напрямок подальших досліджень. Наявність піддатливих ланок в трансмісії зменшує запас по фазі в околицях частоти зрізу контуру, що призводить до збільшення коливальності перехідного процесу. Причому, якщо резонансні сплески знаходяться в низькочастотної області частотної характеристики, то регулятор частоти обертання ефективно пригнічує коливання, що виникають в контурі. Якщо резонансні сплески знаходяться в високочастотної області частотної характеристики, то додавши сталі часу гідромеханічної системи і пружних коливань канатно-поліспастового системи до малих "некомпенсуємих" сталих часу досягаємо оптимального налаштування контуру шляхом незначного зменшення його швидкодії.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу податливості гідромеханічних ланок на динамічні процеси контурів тиску, частоти обертання гідродвигуна і переміщення ставу.

Литература

1. Хилов В.С., Бешта А.С., Заика В.Т. Опыт применения частотно-управляемых приводов в буровых станках карьеров Украины. Горный информационно-аналитическийбюллетень,Мосва. МГГУ,2004, №10, с. 285-289.
2. Бешта А.С., Хилов В.С. Принципы построения системы управления електроприводом спуско-подъемных операцій. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ 2004. – Вип.4(20) .- с.85-88.
3. Хилов В.С. Математическая модель гидропривода подачи станка шарошечного бурения. Наук.-техн. зб. Гірнича електромеханіка та автоматика. Вип.70. Дніпропетровськ, НГУ. – С. 100-105.
4. Хилов В.С. Математическая модель объекта управления привода подачи бурового станка. Сб. научн. трудов НГУ. Дніпропетровськ, 2004, №19, т.2, с.33-39.
5. Хилов В.С. Синтез позиционной системы управления гидравлическим приводом подачи станка шарошечного бурения. Сб. научн. трудов НГУ. Дніпропетровськ, 2003, №17, т.2, с.122-127.
6. Хилов В.С. Влияние упругих свойств трансмисии и оборотной электродвижущей силы на динамику контура тока. Сборник научных трудов НГУ. Дніпропетровськ, НГУ, 2005, №,21 с. 43-55.
7. Хилов В.С. Собственные частоты колебаний разомкнутого контура тока привода спуско-подъемных операций бурового станка Наук.-техн. зб. Гірнича електромеханіка та автоматика. Вип. 74. Дніпропетровськ, НГУ, 2005.- С 25-31 .

8. Khilov, V, Hlukhova, N, Somin, A, and Kiiko, V. Drive systems of the drilling rigs for open pits in Ukraine: state and ways for improvement . E3S Web of Conferences 123, 01042 (2019) (https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/49/contents/contents.html)

9. Khilov, V, Triputen, V, uznetsov, M, Babiak A. Effect of The Types of Drive Systems of Drilling Rigs on The Rock Breaking Dynamics. Seventh International Conference IEEE 2020 on Energy Efficient Systems (ESS) 2020, pp. 158-169.

УДК 629.12.06

ВПЛИВ ОБРАСТАННЯ СУДНА НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

к.ф.-м.н. Цацко В.І., Гаур Т.О., Кулеба Р.Ю.
Одеський національний морський університет

Проблема обростання з'явилася разом з винаходом самих судів. Раніше для очищення корпусу від мешканців морів і океанів використовували ручний інструмент, за його допомогою відбувалося механічне видалення молюсків, мідій і водоростей - власне все, що негативно впливало на швидкість судна. Часи змінювалися, і на зміну механічним способам боротьби поступово стали приходити хімічні засоби. Для цих цілей застосовували різні речовини, включаючи смолу, миш'як і інші. Але головний принцип роботи залишався незмінним: щоб захистити корпус від небажаних мешканців, його покривали спеціальним складом, що містить різні отрути. Сучасний розвиток хімії вплинув лише на склад захисних матеріалів, залишивши принцип дії незмінним.

Обростання оказує суттєвий вплив на показники роботи суден. Розглянемо деякі з них.

Швидкість. Цей параметр судна є одним з найбільш актуальних. Обростання негативно впливає на хід судна, оскільки налиплі мідії, водорості та інші організми істотно змінюють шорсткість поверхні, роблячи її більш грубою і нерівною, що в свою чергу підвищує опір. Так, наприклад, невеликий катер, довжиною близько 5 м, за 3 місяці експлуатації в прісній воді втрачає до 14% від початкової швидкості [1].

Більші судна, такі як танкери, буксири або суховантажі можуть знизити хід на 2-3 вузли. На перший погляд це не так багато, але слід враховувати і відстані, які долають дані плавзасоби. Резюмуючи сказане, можна відзначити особливу важливість захисту корпусів швидкісних суден від обростання.

Збільшення витрат палива та додаткова вага. Може здатися, що молюски, мікроорганізми і водорості є нешкідливим доповненням до корпусу судна. Однак це не так. Істотно підвищуючи опір руху, вони змушують екіпаж збільшувати оберти головних двигунів, що в свою чергу призводить до зростання споживання палива, а також негативно впливає на екологію. Точні цифри назвати досить важко. Для тихохідних судів витрата може підвищуватися на 20-40%, для швидкісних суден ці показники можуть досягати і 100%. Крім того, ракоподібні обліплені підводну частину судна, істотно збільшують його вагу. Маса наросту може сильно відрізнятися (від 0,3 до 100 кг / м2) і залежить від безлічі факторів, а товщина "живого" шару доходити до 7 см! Доведено, що при великому налипанні морської флори на корпусі, швидкість яхти може зменшитися вдвічі. А ще це збільшить витрату палива.

Довговічність. Обростання стає причиною посилення процесів корозії металу у водному агресивному середовищі, яка призводить до передчасного руйнування об'єктів. Це створює цілий ряд проблем при експлуатації - від зниження ефективності використання палива до втрати працездатності конструкції. Тільки враховані втрати від біопошкоджень становлять 5-7% вартості світової промислової продукції, і вони поступово зростають.

Важливість боротьби з біологічним обростанням випливає з економічних показників експлуатації судна, що безпосередньо пов'язано із собівартістю доставки вантажів, а також тривалістю експлуатації морських гідротехнічних споруд і конструкцій [2-4].

Величину гідравлічного опору руху судна можна представити у вигляді суми трьох складових [5]: хвильового опору, опору форми та опору тертя.

Перші дві складові визначаються на фазі проектування судна, їх співвідношення відрізняється в залежності від швидкості судна. Суму цих складових називають залишковим опором. Третя складова, опір тертя, для суден всіх типів приблизно однаковий, і складає близько 60% від повного опору. У суден з великою швидкістю ходу найбільший вклад в залишковий опір дає хвильовий опір, а у суден з малою та середньою швидкістю основні зусилля при проектуванні повинні бути спрямовані на зменшення опору форми.

На рисунку 1 наведені середні дольові значення опору руху в залежності від швидкості ходу.

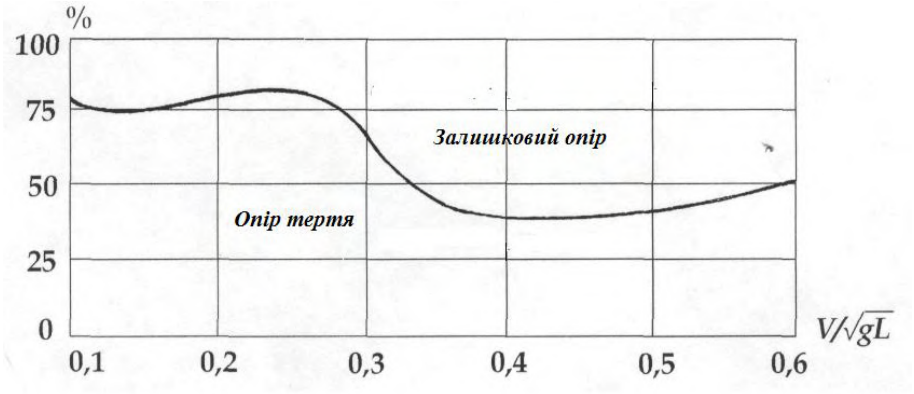


Рисунок 1. – Середні дольові значення опору руху в залежності від швидкості ходу [5]

Тут V – швидкість ходу, м/с; g=9,81 м/с^2 – прискорення вільного падіння; L – розрахункова довжина судна, м.

З аналізу цього рисунку слідує, що для суден з малою швидкістю ходу вплив опору тертя є найбільшим.

Швидкість ходу - одна з найважливіших експлуатаційних якостей судна. Вже протягом тривалого часу швидкість змінюється мало. Це пояснюється тим, що збільшення швидкості понад 25 вузлів приводить до настільки різкого зростання опору води, що для його подолання необхідна така значна потужність і, отже, відповідний запас палива, які в сукупності поглинають неприпустимо велику частину наявної водотоннажності судна.

З огляду на це можна стверджувати, що єдиною реальною можливістю істотно підвищити швидкості руху суден є зменшення опору їх руху.

Шорсткість корпусу будь-якого морського судна, не зважаючи на наявність ґрунтового шару і забарвлення його підводної частини чотирма шарами антикорозійної фарби і двома шарами антіфоулінгової емалі, збільшується ще в період добудови на плаву, приблизно на 0,25% за добу.

Боротьба з обростання підводної частини корпусів судів представляє складну задачу, не вирішених остаточно і в даний час.

Можна виділити два основні шляхи боротьби з обростанням суден:

1. Відділення обростання від корпусу судна. Воно може виконуватися як в умовах сухого доку, так й в підводному положенні, що є більш сприятливим з точки зору часу та економічної ефективності.

2.. Недопущення біологічного обростання.

Відділення обростання від корпусу судна в підводному положенні можна здійснити наступними методами:

- механічним − за допомогою щіток, шарошок, вібруючих ножів
- лазерним − з використанням скануючих систем лазерного випромінювання [6].
- гідродинамічним − струменями води під тиском з кавітаційними ефектами.

Недоліками цих методів є:

- висока ймовірність порушення в процесі очищення чинного лакофарбового покриття, що неприпустимо для плаваючого судна;
- висока енергоємність процесу очищення;
- висока собівартість процесів.

Недопущення біологічного обростання здійснюється пасивним та активним шляхами

• До пасивних відноситься застосування антифоулінгових лаків і фарб [7-8]. Слід відзначити, що такі матеріали є отруйним, їх використання заборонено в умовах Арктики та Антарктики.

• До активних відносяться

• захист хімічним способом, заснованим на подачі до поверхонь зі спеціальних ємностей різного виду токсинів;

• захист фізико-хімічними способами (електрохімічними) за допомогою електролізу морської води при використанні розчинних або нерозчинних анодів [9].;

• вуглекислотний спосіб, заснований на використанні відпрацьованих газів СЕУ для насичення ними морської води, що циркулює в судновий системі

Слід відмітити, що хімічні, електрохімічні та вуглекислотні способи дозволяють проводити очищення лише тих ділянок корпусу судна, які мають сполучення з внутрішніми приміщеннями суден. Крім того перші дві групи цих способів є шкідливими для зовнішнього середовища.

• У роботі [10] запропонований спосіб підводного лазерного очищення безпосередньо у морському середовищі без докування. Сфокусований лазерний пучок, перебуваючи в підводному повітряно-газовому міхурі, видаляє матеріальні об'єкти біологічного походження на глибині до 20 метрів. Аналіз результатів попередніх досліджень показав, що при відповідному виборі спектра і потужності лазерного випромінювання очищення корпусу судна можна проводити без пошкодження фарби, а швидкість очищення становить не менше 15 м^2/ год, при середній вартості - 0,25 $. / м^2

• Серед активних способів антіфоулінгу слід виділити системи ультразвукового антіфоулінгу [11], які змушують обшивку корпусу слабко вібрувати. Це не дозволяє морським організмам і водоростям прикріплюватися до поверхні обшивки та не перешкоджає середовищу на різницю від отрутних антіфоулінгових фарб. При цьому, однак, слід враховувати режим ультразвукового поля.

В роботі [12] був проведений порівняльний аналіз впливу ультразвукового антіфоулінгу та лазерного очищення на лакофарбове покриття корпусу судна. Встановлене, що обробка антіфоулінгового лакофарбового покриття в потоковому режимі ультразвукового поля у використаних режимах та тривалості процесу не викликає порушень покриття. При цьому швидкість очищення щонайменше не поступається лазерному очищенню. Однак у цій роботі не розглядалися питання щодо енергетичних втрат на проведення процесів очищення.

Саме цьому питанню присвячене це дослідження.

Відомо [13], що між швидкістю ходу та енергетичними витратами існує майже лінійний зв'язок: $EPS = RV/1000$, де EPS – буксирна потужність, кВт; R – повний опір, Н, V – швидкість ходу, м/с. Якщо не проводити очищення, то за добу, як було сказано вище опір зросте щонайменше на 0,25%. Отже, для збереження швидкості ходу потрібно підвищити потужність теж на 0,25%.

Проведемо розрахунок для багатофункціонального аварійно-рятувального судна потужністю 7 МВт, проекту MPSV06. Воно має габарити 86х19,1х8,5 м, глибину осадки 6 м. Приблизна площа підводної частини складає 1260 м^2. Тоді час, який буде потрібний для повного очищення підводної частини складе біля 84 годин. Слід, однак, відзначити, що очищення всієї підводної частини в більшості випадків непотрібне.

Дослідження показали, що для проведення лазерного очищення достатньо використання одного апарату зі споживанням електричної енергії 3,6 кВт*год за добу. Потужність ультразвукового очищення в ламінарному потоковому режимі ультразвукового поля складає біля 1,7 кВт*год за добу. На забезпечення економного ходу зазвичай використовується 65 % потужності установки судна 7000х0,65=4550 кВт. Збільшення потужності за рахунок подолання впливу заростання на ходкость за добу складає 4550*0,0025=11,375 кВт*год.

На рисунку 2 наведена залежність додаткової енергії, що потрібна для подолання впливу заростання на ходкость без очищення та з лазерним та ультразвуковим очищенням.

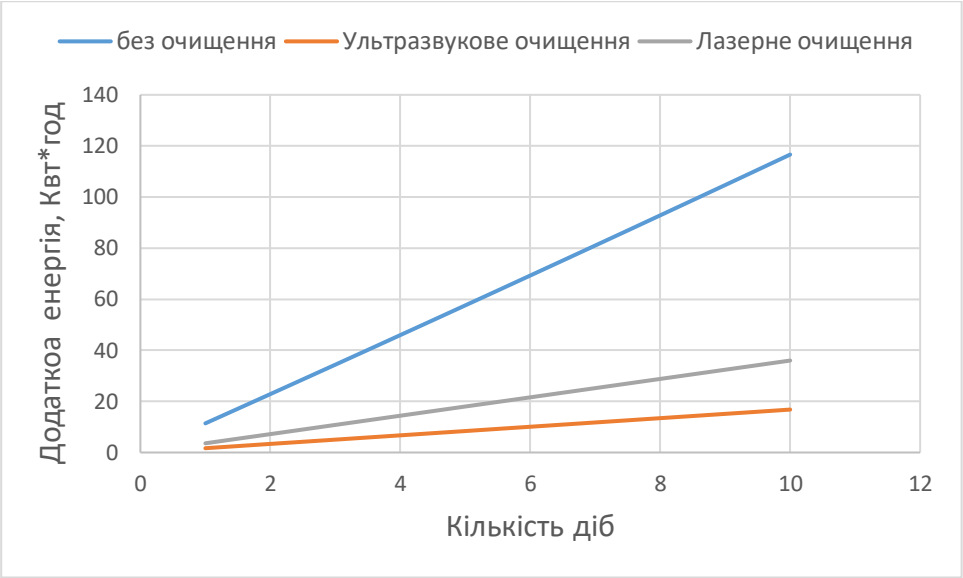


Рисунок 2 – Залежність додаткової енергії для подолання впливу заростання на ходкость при різних умовах очищення

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Как защитить корпус судна от обрастания. [Електронний ресурс]: https://spektrlkm.ru/blog/456/ (дата звернення 12.03.2021р.)
2. Хорн Р. Морская химия./Р. Хорн – М.: Мир, 1972. – 400 с.
3. Химия океана (из серии океанология).–М.: Наука, 1979. – Т.1.: Химия вод океана. –517 с.
4. Морское обрастание и борьба с ним: Сборник. / Пер. с англ. Под ред. В.Н. Никитина и Н.И. Тарасова. – М.: Воениздат, 1957.– 503 с.
5. Емельянов Н.Ф. Ходкость водоизмещающих морских судов: Уч. пос. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2004. – 249 с.
6. Быканова А.Ю., Костенко В.В., Львов О.Ю., Никитин А.И., Субботин Е.П., Костенко А.А. Роботизированный комплекс подводного инспектирования м лазерной очистки судов на плаву// Материалы Седьмой Всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 2017, с. 122-128.
7. Almeida, E; Diamantino, Teresa C. & De Sousa, “Marine paints: The particular case of antifouling paints”, Progress in Organic Coatings V. 59 (1): 2007, pp. 2–20.
8. Diego Meseguer Yebram, Kim Dam-Johansen. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings// Progress in Organic Coatings, V.50(2), 2004, pp. 75-104
9. Абрамов В.А. Совершенствование режимов и повышение эксплуатационной эффективности судовых электролизерных противообрастающих систем путем управления карбонатным равновесием морской воды // Судовые энергетические установки, науч.-техн. сб, № 26 - 2010, с. 82-101.
10. Кульчин Ю.Н., Никитин А.И., Субботин Е.П. Лазерная подводная очистка корпусов морских судов// [Електронний ресурс]: htpps://rfl20.iae.nsk.su>077. Кульчин ЮН.pdf.-(дата звернення 12.03.2021 р.)
11. Система ультразвукового антифоулинга/ [Електронний ресурс]: http://interparus.com/?go=news&nomid=19&id=19.- (дата звернення 12.03.2021 р.)
12. Гаур Т.О., Карапетян А.Р., Машін В.М., Цацко В.І. Аналіз впливу ультразвукового антіфоулінгу та лазерного очищення на лакофарбове покриття судна.// Молодий вчений №4(68), 2019, с.1-4.
13. htpps://rfl20.iae.nsk.su>077. Кульчин ЮН.pdf

УДК 621.315

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ В УМОВАХ РИНКОВИХ ВІДНОСИН

д.т.н., доц., академік НАН ВОУ Черкашина В.В[1]., інженер- проектувальник Баклицький В.М.[2]

[1]*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

[2]*ТОВ «Схід- Електросервіс»*

В існуючих на сьогодні умовах всі вартісні характеристики об'єкту визначаються в результаті взаємодії на ринку інтересів виробників і споживачів електроенергії. Якщо зіставити раніше пропоновані критерії з методологією сучасних техніко-економічних розрахунків, то формально використовуються ідентичні формули, але аналогія полягає тільки у формі запису критерію, а їх змістовні сторони істотно відрізняються. Раніше використовувався нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень $E_н$, а в умовах ринкових відносин використовуються такі показники, як відсоток на капітал (кредитна ставка), податки, страховки, а амортизаційні відрахування на реновацію основних фондів необхідно приймати з обліком дисконтування враховуючи те, що відбувається нерівномірне зростання цін на ресурси, устаткування і робочу силу, також при визначенні витрат необхідно враховувати інфляцію.

Оптимальним критерієм в умовах ринкових відносин, який описує техніко-економічні зв'язки є мінімум дисконтованих витрат:

$$\mathrm{B}(x) \to \min, \quad x \in X \tag{1}$$

З огляду на те, що в кожному класі напруги є свої перерізи проводу для проведення наукових досліджень вдосконалюються техніко-економічна модель повітряних ліній (ПЛ) з використанням двох змінних – перерізу проводів і напруги лінії.

Припускаючи, що переріз проводу і напруга змінюються безперервно, дисконтовані витрати в 1 км ПЛ представляються як:

$$\hat{K} = \mathrm{K}_0 + K_u U^{\alpha} + \mathrm{K}_F F \tag{2}$$

де U – номінальна напруга лінії, кВ; F – переріз проводу, мм^2; K_0 – коэффициент постійної складової вартості, яка не залежить від перерізу проводу и класу напруги ПЛ; K_u, – коефіцієнт, який враховує клас напруги; K_F – коефіцієнт, який враховує зміну вартості спорудження 1 км ПЛ в залежності від перерізу проводу; α – показник ступеня: для ПЛ 35-110 кВ $\alpha = 1$; для ПЛ 330-750 кВ $\alpha = 2$ [1].

Враховуючи (1) дисконтовані витрати мають вигляд:

$$\mathrm{B} = K_0 \hat{p} l + K_u \hat{p} l U_i^{\alpha} + K_F \hat{p} l F + \frac{\mu \rho l P^2 K_k}{U^2 \cos^{-2} \varphi F} \tag{3}$$

де $p_л$ – коефіцієнт відрахувань ($p_л = p_а + p_{\text{рем і обсл}}$); F – преріз проводу ПЛ системоутворюючої мережі, мм^2; τ – час максимальних втрат, рік; μ – питома вартість втрат електроенергії, г.о / (кВт год); ρ – питомий опір провідникового матеріалу, Ом мм^2/км; P – максимальна потужність ПЛ, МВт; U – напруга ПЛ, кВ; l – довжина ПЛ, км; $cos\varphi$ – коефіцієнт потужності ПЛ; K_k – коефіцієнт втрат на корону ПЛ.

Використовуючи методику критеріального аналізу [2, 3] техніко-економічна модель (2) записується у вигляді:

$$\mathrm{B} = A_0 + A_u U^{\alpha} + A_F F + A_p U^{-2} F^{-1} \tag{4}$$

У моделі (3) змінюється зміст узагальнених констант таким чином:

- для ПЛ 35-110 кВ не ввійшли показники втрат на корону ($K_k = 0$);

- для ПЛ 330-750 кВ присутні показники втрат на корону ($K_k \neq 0$).

У зв'язку з тим, що критеріальний метод не може ефективно використовуватися за наявності в моделі (3) постійної складової (A_0) дана модель замінюється моделлю, яка не містить постійної складової в явному вигляді:

$$B = A_1' F^{\alpha l} + A_2' U^{\alpha} + A_3' U^{-2} F^{-1} \quad (5).$$

Наявність невизначеності вихідної інформації, закладеної в узагальнених константах є недоліком таких моделей і призводить до неповноти інформації. Згідно [2, 3] модель (4) в критеріальній формі записується в такий спосіб:

$$B = \pi_1' F^{\alpha l} + \pi_2' U^{\alpha} + \pi_3' U^{-2} F^{-1} \quad (6)$$

де π_1', π_2', π_3' – критерії подібності, які не залежать від вихідної інформації і визначаються з системи рівнянь, формування якої базується на умовах ортогональності і нормування в точці оптимуму [2, 3].

Частка участі кожної складової моделі (5) при мінімумі дисконтованих витрат буде:

- для ПЛ 35-110 кВ при $\alpha = 1$:

$$\pi_1' = \frac{1}{3\alpha_1 + 1};\ \pi_2' = \frac{2\alpha_1}{3\alpha_1 + 1};\ \pi_3' = \frac{\alpha_1}{3\alpha_1 + 1} \quad (7)$$

- для ПЛ 330-750 кВ при $\alpha = 2$:

$$\pi_1' = \frac{1}{2\alpha_1 + 1};\ \pi_2' = \frac{\alpha_1}{2\alpha_1 + 1};\ \pi_3' = \frac{\alpha_1}{2\alpha_1 + 1} \quad (8)$$

де α_1 – показник ступеня, який був отриманий в результаті аналізу вартісних характеристик ПЛ зі середньоквадратичною похибкою апроксимації, яка відповідає похибці інженерних розрахунків й становить 10% [1].

Результати розрахунку моделі (5) в критеріальній формі представлені в таблиці.

Таблиця – Результати розрахунку складових в техніко-економічних моделях ПЛ

Напруга, кВ	35	110	330	750
π_1'	0,55	0,56	0,46	0,2
π_2'	0,3	0,29	0,27	0,4
π_3'	0,15	0,15	0,27	0,4
α_1	0,27	0,26	0,59	2

Висновок. Результати виконаних досліджень дозволили визначити оптимальне співвідношення складових в техніко-економічних моделях ПЛ 35-750 кВ при мінімумі дисконтованих витрат незалежно від вихідної інформації. І, як свідчить аналіз, частка участі складової моделі залежить від класу напруги лінії, що підтверджує доцільність врахування перерізу проводів й напруги при техніко-економічній оцінці об’єкту в умовах ринкових відносин.

1. Черкашина В.В. Структурування повіряних ліній електропередачі в умовах неповноти інформації - Харків: видав“Факт”, 2017. – 160 с.

2. Лежнюк П.Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом. Монографія. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2003. – 131 с.

3. Черемисин Н.М., Черкашина В.В. Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах. Навчальний посібник. - Харків: видав“Факт”, 2014. – 96 с.

УДК 621.31

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

к.т.н., доц. Чернюк А.М., аспірант Кирисов І.Г., аспірант Черевик Ю.О.
Українська інженерно-педагогічна академія

Сучасними трендами розвитку вітчизняної та світової енергетики є демонополізація та децентралізація енергетичних ринків і систем.

З розвитком альтернативних джерел живлення з'являється все більше суб'єктів енергетичного ринку, які мають подвійне призначення. Тобто можуть виступати як в ролі споживача електричної енергії так і в ролі її джерела в залежності від енергетичного потенціалу поновлюваних джерел живлення. Суттєвим недоліком генерації альтернативними джерелами є слабка прогнозованість виробітки електроенергії та неможливість управляти цим процесом з заданою точністю та у відповідності із бажаним графіком електроспоживання. Тому аналітичне дослідження провідного світового досвіду побудови надійних енергетичних систем на базі об'єктів розподіленої генерації та аналіз енергетичного потенціалу різного роду альтернативних джерел живлення є актуальним в сучасних умовах.

Розподілена генерація енергії (РГЕ) - це виробництво енергії на рівні розподільної мережі або на стороні споживача, підключеного в мережу. У загальному випадку "розподілена" генерація це виробництво електричної (теплової) енергії за місцем її споживання. Відсутність розгалуженої мережі виключає втрати на передачу електричної (теплової) енергії. При наявності безлічі споживачів, які виробляють теплову і електричну енергію для власних потреб та направляють їх надлишки в загальну мережу. Розподіленими генераторами енергії можуть виступати когенераційні установки (КГУ) малої і середньої потужності, які дозволяють понизити витрати на виробництво енергії на 40%, досягти високої ефективності використання палива (до 90% від потенційної енергії) і оптимального використання встановленої потужності.

Можливість впровадження малої розподіленої генерації енергії визначає її конкурентоспроможність відносно централізованих систем і в даній перспективі залежать від багатьох чинників :

- рівня тарифів на приєднання до електричних і теплових мереж;
- принципів формування тарифів на електроенергію і тепло, а точніше - від співвідношення тарифів на електроенергію і тепло і вартості палива;
- практичній реалізації заходів по недискримінаційному доступу до електричної мережі і до постачань природного газу;
- розвиненості ринку енергетичного устаткування (з включенням його обслуговування);
- темпів розвитку економіки країни в цілому і конкретних регіонів;
- протекціоністської політики держави.

В залежності від умов і чинників можливі різні сфери застосування малої розподіленої генерації енергії, а саме:

1. Застосування РГЕ тільки для нових споживачів.
2. Використання технологій РГЕ для перетворення в ТЕЦ дрібних газових котельних.
3. Використання технологій РГЕ для перетворення в ТЕЦ великих котельних, в першу чергу, працюючих на природному газі.
4. Перехід споживачів від централізованого електро- і теплопостачання на застосування технологій малої РГЕ.
5. Застосування РГЕ для покриття напівпікової і пікової частин графіку навантажень і в якості резервної потужності при спільній роботі з централізованою генерацією.

На застосування РГЕ можуть вплинути такі обмеження:

- постачання природного газу;
- щільність електричних і теплових навантажень;
- стійкості функціонування електроенергетичної системи.

Інтеграція РГЕ в мережі забезпечує значні перспективи їх застосування поряд з централізованими системами. Можливість роботи РГЕ як на єдину з централізованими джерелами мережу, так і на індивідуальних споживачів, створює передумови для інтеграції централізованого і ізольованого (децентрализованного) виробництва енергії .

На теперішній час у багатьох країнах світу, поряд з розвитком централізованого енергопостачання, усе більш активно підтримується тенденція широкомасштабного переходу до РГЕ, яка має перевагу більшої конкурентоспроможності. В той же час, кожна з систем має свою сферу застосування, в який найбільшою мірою проявляються її переваги.

За останні роки в результаті широкого розвитку поновлюваної енергетики традиційна модель функціонування електричних мереж у ряді країн і регіонів змінилася. Нові концепції розподіленої генерації вимагають впровадження більш досконалих систем управління і вирішення питань, щодо застосування нових технологій підвищення надійності електромереж, ефективних систем акумулювання енергії та підвищення якості електроенергії. Продовжується пошук напрямів розв’язання проблем підвищення надійності та ефективності розподільної генерації, у тому числі мінімізації втрат при передаванні електроенергії, особливо в умовах широкого впровадження вітрової та сонячної генерації.

Дослідження про вплив розподіленої генерації на втрати електроенергії, які були зроблені в електромережах Німеччині з високою часткою вітрової та фотоелектричної генерації довели, що під час зростання частки мереж низької напруги, сумарний рівень втрат електроенергії знижується лише до певного рівня насичення локальними генеруючими джерелами. Виходячи з цього, обсяги та темпи розвитку розподіленої генерації мають бути обумовлені відповідними техніко-економічними розрахунками.

У США експлуатується близько 12 млн. установок малої розподіленої генерації (одиничною потужністю до 60 МВТ) загальною встановленою потужністю понад 220 ГВт, а темпи її приросту складають близько 5 ГВт в рік. Сумарна доля РГЕ в США не перевищує 5% від показників в галузі. Представництва компаній BMW, Apple, Google, Wall - Mart і Kroger свої потреби в електроенергії задовольняють за рахунок використання різних видів генерації - на газі, біогазі, паливних елементах і сонячній енергії. Наприклад, компанія Kroger зуміла заощадити за минулий рік 160 млн. доларів.

У Данії будівництво об'єктів малої енергетики визнане одним з найперспективніших з напрямів розвитку енергетики і підтримується державною програмою. У Данії планується перехід на поновлювану енергетику до 33% до кінця 2021 року і повна відмова від викопного палива до 2050 року. Окрім численних приватних будинків, що проектуються з використанням поновлюваних джерел енергії, в Європі активно діють програми по проектуванню "екологічних поселень", що підтримуються державою та регіональною владою.

Показовим є також, досвід Китаю, який намагається не відставати від лідерів. В країні особлива роль відведена сонячній енергетиці, а також енергії вітру. Китай планує довести до 2050 року розмір виробництва енергії з альтернативних джерел до 40% в загальному енергетичному балансі країни. Міністерство енергетики Китаю прийняло новий план, який передбачає доведення потужності вітряних електростанцій до кінця 2021 року до 100 ГВт.

У Німеччині у межах федеральної землі Баден-Вюртемберг взялися до впровадження проекту енергомережі з розподіленою генерацією Smart Grids силами енергетичного концерну EnBW за підтримки Технологічного інституту в Карлсруе. Метою проекту є створення мережі з розподіленою генерацією у повнофункціональному складі: виробництво, постачання споживачу, керування споживанням, а також тарифікація і облік. До цього часу випробовувалися лише окремі елементи таких мереж, повномасштабний проект є цілком

інноваційним. Важливим аспектом у ході реалізації проекту є робота з споживачем. Концерн EnBW активно просуває інноваційні рішення серед своїх потенційних споживачів - користувачів Smart Grids. Для реалізації проекту концерн вже віднайшов потрібну кількість споживачів, які бажають першими використовувати всі переваги мереж з розподіленою генерацією.

В планах концерну EnBW - побудова єдиних стандартів інформаційного обміну між всіма окремими елементами мережі і всіма пристроями, що входять до складу Smart Grids, а саме:

- генератори (вітро-, сонячні тощо), встановлені в межах домогосподарства;
- пристрої тарифікації та обліку – інтелектуальні електролічильники;
- побутові прилади.

Наступним етапом буде створення аналогічних регіональних Smart Grid з розподіленою генерацією і об'єднання їх в єдину енергосистему Німеччини.

З досвіду країн ЄС та світу можливо зрозуміти, що впровадження РГЕ у діючі енергосистеми здійснюється в три етапи.

Перший етап – пристосування РГЕ до діючих енергосистем. Цей етап країни ЄС вже пройшли. Україна перебуває на першому етапі.

Другий етап – створення децентралізованої електромережі, яка працює разом з основною енергосистемою. Країни ЄС, США перебувають на другому етапі. Джерела РГЕ і основна енергосистема стають рівноправними учасниками процесу забезпечення споживача електроенергією. Включаються процеси організації взаємодії між основною енергосистемою і РГЕ під час управління енергосистемою. Вирішуються проблеми спільної підтримки параметрів напруги у споживача, оптимізації втрат. На роздрібному ринку електроенергії починає діяти конкуренція.

Третій етап – створення дисперсної енергосистеми, де значна частина енергії виробляється системами розподіленої генерації. Основною метою інтеграції РГЕ в енергосистему є підвищення надійності електропостачання, зменшення втрат електроенергії та екологічного навантаження на довкілля. У той же час поява джерел РГЕ призводить до виникнення технічних проблем щодо організації їх роботи в енергосистемі – забезпечення надійності та стійкості роботи, якості електроенергії, організації диспетчерського управління, у тому числі виведення джерел РГЕ на паралельну роботу з енергосистемою та контролю відокремлення РГЕ від енергосистеми. При цьому підлягають розв’язанню можливі проблеми в електричних мережах середньої та низької напруги у зв’язку з появою двонаправлених перетікань електроенергії та необхідності обмеження струмів короткого замикання.

Для України, при реалізації завдань, щодо широкомасштабного використання енергії відновлюваних джерел для РГЕ, дуже важливо встановлення енергетичного потенціалу кожного з видів ВДЕ по всій території України. Для цього треба створити єдину інформаційно-аналітичну систему з розширеними функціями, яка дозволить оперативно вирішувати питання ефективності впровадження енергетичного обладнання в конкретній місцевості.

1. Розподілена генерація електроенергії – глобальні тенденції розвитку. Электронный ресурс. - Режим доступу: - http://uare.com.ua/novyny/453-rozpodilena-generatsiya-elektroenergiji-globalni-tendentsiji-rozvitku.html
2. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах : монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця : Вінниця : ВНТУ, 2014. — 204 с.
3. Кудря С.О. Потенціал розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.Модуль 23- К.: ЮНІДО, 2015. – С.19.

УДК 623:004.8

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СИСТЕМ

Шабатура Ю.В., д.т.н., проф., завідувач кафедри Національної академії сухопутних військ
Куценко Б.А., викладач Національної академії сухопутних військ , капітан

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Сьогодні, в умовах війни на сході нашої держави, стає очевидною потреба в постійній бойовій готовності підрозділів ЗСУ до виконання завдань за призначенням. Враховуючи досвід ведення бойових дій, потрібно зазначити, що артилерійські підрозділи відіграють чи не найважливішу роль під час, як локальних загострень на лінії зіткнення, так і більш масштабних протистоянь з противником. Однією з проблем даного роду військ наших Збройних Сил є застарілість більшості артилерійських систем. Це певним чином впливає на успішність виконання ними бойових завдань. Значний термін експлуатації більшості артилерійських систем закономірно призводить до зростання частоти виникнення різних несправностей їхніх складових. Саме тому завдання завчасного виявлення несправностей артилерійських систем є надзвичайно актуальним для ЗСУ в цілому, оскільки його вирішення дозволить вчасно попереджувати можливі випадки невиконання вогневих завдань внаслідок технічних поламок таких вогневих засобів.

Потрібно відзначити, що особлива складність поставленого завдання полягає у тому, що відомі методи і засоби технічної діагностики артилерійських систем, які є в наших Збройних Силах сьогодні унеможливлюють проведення повної кваліфікованої діагностики артилерійських систем без їх досить тривалого відсторонення від виконання завдань за призначенням. Саме тому, постає важлива і актуальна задача розроблення нового методу діагностики та аналізу справності основних вузлів та агрегатів артилерійських систем. Причому, застосування такого методу жодним чином не повинно негативно впливати на бойову готовність підрозділу, який перебуває в зоні бойових дій.

Одним із перспективних методів діагностики та аналізу справності артилерійських систем можна виділити метод, який базується на проведенні аналізу віброакустичних сигналів, отриманих внаслідок пострілу артилерійської гармати. Для практичної реалізації зазначеного методу пропонується розробити таку мікроконтролерну систему діагностики та аналізу справності артилерійського озброєння, яка б могла автоматично визначати основні несправності вузлів та агрегатів артилерійської системи, без додаткових операцій над нею. Надзвичайно важливою особливістю застосування запропонованої системи є те, що аналіз відбуватиметься «природнім» для артилерійської системи шляхом, - під час пострілу.

Для прикладу дієвості і ефективності зазначеної системи можна навести розробки, які вже існують на сьогоднішній день в галузі діагностики двигунів внутрішнього згорання. Більшість світових компаній, які виробляють сільськогосподарську техніку, вже впровадили використання бортових електронних засобів (БЕЗ). Як наслідок, це дало змогу зменшити кількість аварійних виходів з ладу устаткування. БЕЗ завчасно сигналізують про поломку якогось певного вузла чи системи і це в свою чергу дає змогу завчасно звернутись до відповідних сервісних органів. Особливістю таких БЕЗ є те, що вони абсолютно подібні за конструктивним складом для будь-якого зразку техніки, це обумовлено подібністю самої

техніки, адже здебільшого принцип роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) є однаковим для будь-якої конструкції чи виробника ДВЗ.

Перевагами запропонованого методу можна віднести:

- можливість діагностування поломки на раннях етапах її появи;
- можливість відслітковування і прогнозування розвитку виявлених дефектів;
- зниження імовірності раптового виходу з ладу устаткування;
- мобільність обладнання та низька трудомісткість при його застосуванні.

Діагностика техніки за допомогою БЕЗ відбувається шляхом порівняння еталонних значень віброакустичних сигналів, які зняті зі справних ДВС та значень які знімаються з імовірно несправних агрегатів[1].

Однак, у порівнянні із застосуванням даного методу діагностики в інших сферах техніки і технологій, ідея його використання з метою діагностики артилерійських систем породжує певні труднощі в практичній реалізації.

Однією з основних відмінностей використання віброакустичного методу діагностики для оцінки технічного стану вузлів та агрегатів, артилерійської гармати є те, що сам постріл являється достатньо швидкоплинним процесом і не має циклічного характеру, як це притаманно для ДВЗ. Тому досить складно прослідкувати характерні особливості, які можуть виникати в дуже короткочасному віброакустичному сигналі пострілу і які відображають інформацію про стан вузлів і агрегатів гармати. Іншою проблемою є вирішення задачі ефективної фільтрації всіх можливих факторів впливу на корисний віброакустичний сигнал від пострілу гармати.

Враховуючи зазначені особливості об’єкту діагности і обставини його функціонування задачу створення віброакустичної системи діагностики належить вирішувати комплексно. Для цього пропонується забезпечити максимально можливий збір інформації шляхом використання ряду давачів для сприйняття сигналів, які будуть виникати в артилерійській системі під час її пострілу. Давачі, які пропонується використовувати можна поділити на дві групи:

- зовнішні акустичні давачі (для зняття акустични даних по балістичній хвилі);
- п’єзоелектричні здавачі закріплені на вузлах і агрегатах гармати (для зняття даних щодо взаємодії складових агрегатів гармати).

Для прикладу, в якості об’єкта діагностики розглянемо базовий зразок причіпних артилерійських систем, які стоять на озброєнні в ЗСУ, а саме, гаубицю типу 2А65.

Загальний вигляд з позначеннями розташування вузлів і агрегатів цієї гармати наведений на рисунку 1.

Гаубиця 2А65 складається з наступних основних частин [2]:

- ствол з напівавтоматичним затвором;
- лафет.

Відповідно на кожній з цих основних складових частин необхідно здійснити розміщення п’єзоелектричних давачів, виходячи з переліку можливих несправностей гаубиці.

Передбачається розміщення п’єзоелектричних давачів на наступних вузлах гаубиці:

- ствол (казенна частина);
- противідкотні пристрої;
- врівноважувальний механізм;
- механізм досилання.

В подальшому, за результатами проведення експериментів, стане зрозумілим які особливості проходження віброакустичних сигналів через складові частини будуть спостерігатися, відповідно кількість і місце розташування давачів може бути відкорегованим.

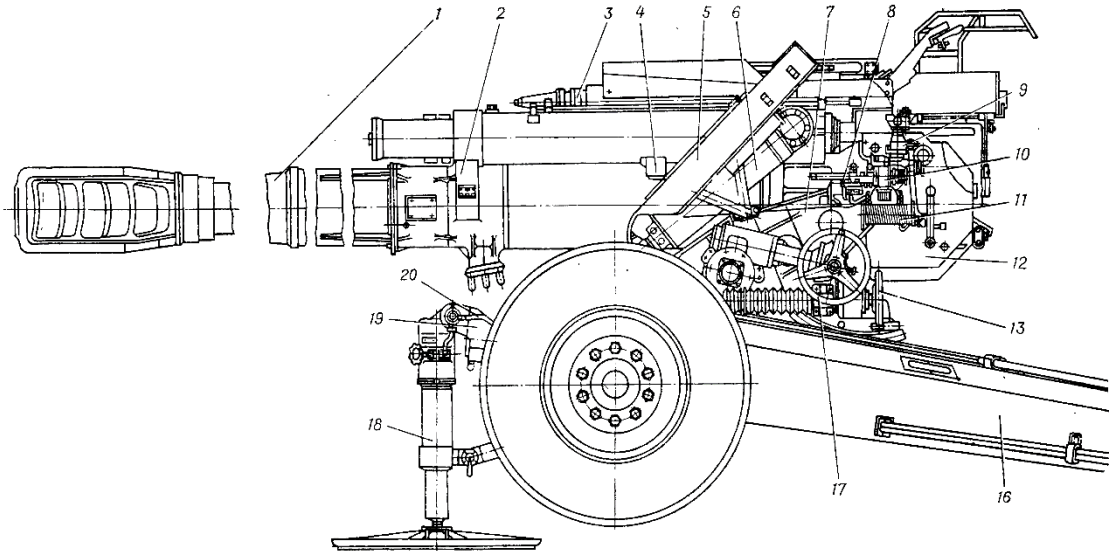


Рисунок 1 – 152-мм гаубиця 2А65

1 – ствол; 2 – люлька; 3 – досилач; 4 – електрообладнання; 5 – щит; 6 – врівноважувальний механізм; 7 – верхній станок; 8 – прицільні пристрої; 9 – панорама ПГ-1М; 10 – оптичний приціл ОП4М; 11 – приціл; 12 – огородження; 13 – механізм горизонтального наведення; 16 – станини; 17 – механізм вертикального наведення; 18 – домкрат з піддоном; 19 – нижній станок; 20 – гідроапаратура

У відповідності до принципу дії запропонованої системи діагностики існує потреба порівняння вихідних віброакустичних сигналів з еталонними даними, які повинні зберігатися в системі. Тому є необхідність створення бази даних з еталонним набором сигналів від кожного вузла та агрегата артилерійської системи за різних зовнішніх та внутрішніх умов. До зовнішніх чинників можна віднести метеорологічні умови. Тому потрібно відслідкувати вплив різних метеорологічних факторів на віброакустичні сигнали від пострілу, таких як температура, тиск, вологість повітря. Після встановлення закономірностей впливу метеорологічних чинників виникне можливість їх врахувати під час діагностики. Причому завдяки синтезу відповідних математичних моделей вплив даних закономірностей можна буде враховувати автоматично, для чого буде розроблено необхідне програмне забезпечення.

Щодо внутрішніх чинників, то тут доцільно врахувати можливість стрільби на різних зарядах, при цьому також необхідно виділити закономірність зміни сигналу в залежності від обраного порохового заряду і типу снаряду та враховувати її аналогічно до метеорологічних чинників.

Узагальнена структурна схема запропонованої системи віброакустичної діагностики технічного стану артилерійських систем наведена на рисунку 2.

Важливо зауважити, що застосування технологій штучного інтелекту дозволяє отримати систему діагностики, яка самостійно зможе формувати базу даних і базу знань для здійснення швидкої і якісної діагностики стану як існуючих артилерійських систем, так і нових, які будуть розроблені в майбутньому.

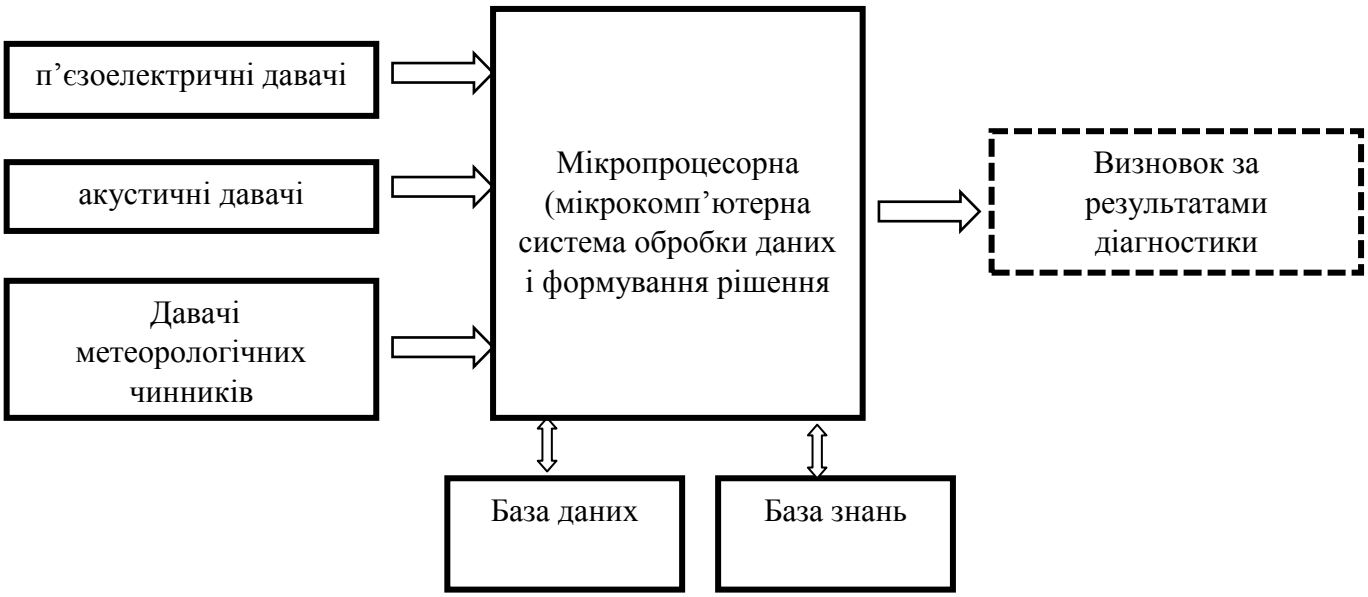


Рисунок 2 – Узагальнена структурна схема системи віброакустичного

аналізу та діагностики артилерійської системи

На основі застосування алгоритмів порівняльного аналізу сигналів, які були отримані під час стрільби та сигналів, які зберігаються в її базі, система одразу може видавати діагностичний висновок, використовуючи базу знань, про імовірну несправність із вказанням вузла, в якому її виявлено. Дана система є досить актуальною та перспективною, хоча і вимагає значної роботи з підготовки відповідних баз даних для кожного зразка артилерійського озброєння. Однією з основних проблем при створенні подібних баз даних є складність відшукання незношених артилерійських систем, які можна взяти за еталон, та малий запас боєприпасів для деяких з них, враховуючи необхідність відповідного настрілу для створення самої бази.

Література

1. Задворнов Я.М., Рязанцев В.В. Особливості віброакустичного діагностування технічного стану спряжень деталей дизельних двигунів – К.: Механізація та електрифікація сільського господарства, 2016. Випуск №4 (103). С. 175-185.
2. Ткачук П.П., Дробан О.М., Бондаренко С.В., Федор Б.С., Звонко А.А., Юнда В.А., Поліщук А.М., Семів Г.О., Якубовський О.Г.. Будова артилерійського озброєння гармати великого калібру 152-мм гаубиця 2А65 – Львів, НАСВ, 2018. 220 с..

УДК 623.462.12 : 621.316

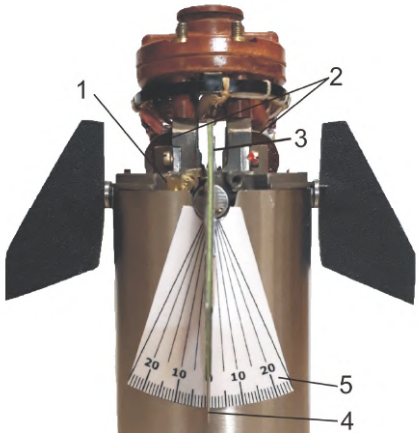
МОДЕРНІЗОВАНА ПРОПОРЦІЙНА ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ АЕРОДИНАМІЧНИХ РУЛІВ КЕРОВАНОГО СНАРЯДА

д.т.н., проф. Шабатура Ю.В., к.т.н. Мисик М.М.
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного

Модернізація існуючих і розроблення нових реактивних боєприпасів є надзвичайно актуальним завданням. Одним з напрямів модернізації наявного ракетного озброєння є заміна їх фізично і морально застарілих систем керування [1]. У процесі такої заміни виконавчі елементи існуючих систем, зокрема, приводи аеродинамічних рулів, можна залишити без змін. Особливо це стосується конструктивно найпростіших і тому найдешевших електромагнітних приводів (ЕМП). Головна їх перевага, порівняно з електромеханічними приводами [2–5] – прямий привід і достатньо високий момент сили. Окрім того, зміна способу керування з дискретного (увімкнуто-вимкнуто) на пропорційний зі застосуванням широтно-імпульсної модуляції, дасть змогу покращити динамічні характеристики реактивного боєприпасу, оснащеного такою системою, а завдяки цьому і точність його влучення в ціль.

Однак, для узгодження таких приводів з новими цифровими системами керування, чи для проектування нових актуаторів, необхідна інформація про їх статичні та динамічні характеристики. Окрім того, авторам не відомі дослідження саме таких приводів у режимі широтно-імпульсного керування. У найновіших публікаціях на цю тему [6, 7] досліджуються переважно конструктивні особливості ЕМП, практично ідентичного зі штатним приводом аеродинамічних рулів керованого снаряда типу 9М111М [2]. Тому актуальним є завдання експериментального дослідження пропорційного широтно-імпульсного керування таким електромагнітним приводом.

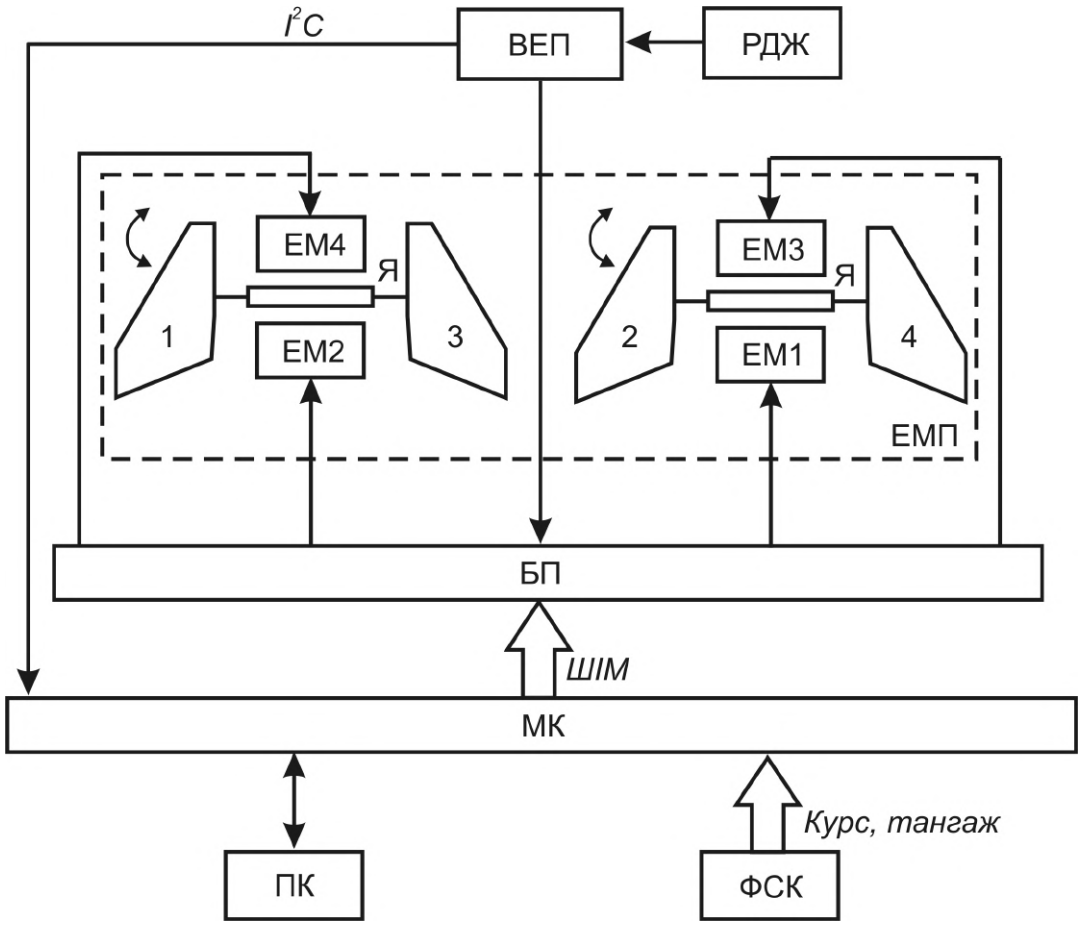
Для реалізації такого завдання авторами розроблено відповідний стенд, загальний вигляд якого представлений на рисунку 1, та структурна схема відповідної системи керування, яка показана на рисунку 2.



1 – електромагнітний привід; 2 – котушки електромагнітів; 3 – якір; 4 – вказівник; 5 – шкала.

Рисунок 1 – Стенд для дослідження характеристик електромагнітного приводу

Зазначене експериментальне обладнання дає змогу досліджувати статичні, динамічні та енергетичні характеристики електромагнітного приводу у складі цифрової системи керування.



РДЖ – регульоване джерело живлення; ВЕП – вимірювач енергетичних параметрів; ЕМ1 – ЕМ4 – електромагніти; Я – підпружинений якір; БП – блок підсилювачів; МК – мікроконтролер; ПК – персональний комп'ютер; ФСК – формувач сигналів керування.

Рисунок 2 – Структура мікроконтролерної системи для широтно-імпульсного керування електромагнітним приводом

Стенд для дослідження характеристик електромагнітного приводу (рис. 1) розроблено на основі штатного приводу 1 аеродинамічних рулів керованого снаряда типу 9М111М, який, для візуального контролю, доповнений шкалою 5 і вказівником 4. Таке доповнення дає можливість здійснювати вимірювання кута повороту аеродинамічного рульового оперення в залежності від коефіцієнта заповнення (шпаруватості) періоду управляючої імпульсної послідовності. Окрім того, така конструкція надає можливість виконувати калібрування оптичних, механічних чи мікроелектромеханічних сенсорів кута повороту, які часто використовуються в ракетно-артилерійських комплексах.

Керування ЕМП (рис. 2) здійснюється методом широтно-імпульсної модуляції імпульсних послідовностей, які формуються мікроконтролером МК і підсилюються блоком підсилювачів БП. Живлення ЕМП забезпечує регульоване джерело живлення РДЖ. Воно створює напругу в діапазоні 12÷24 В. Енергетичні параметри контролюються засобами вимірювань таких параметрів ВЕП і через послідовну шину i^2c надходять до мікроконтролера МК. Через стандартний інтерфейс USB мікроконтролер з'єднаний з персональним комп'ютером ПК. Програмування МК та візуалізація досліджуваних параметрів здійснюється за допомогою відповідного програмного забезпечення інстальованого на персональному комп'ютері. Формувач сигналів керування ФСК (рис. 2) призначений для ручного формування команд на зміну положення рулів курсу і тангажу у випадку автономної, без використання ПК, роботи стенда.

Результати проведених експериментів з ідентифікації статичної характеристики досліджуваного ЕМП дають підстави стверджувати, що навіть без будь-яких конструктивних змін, штатний ЕМП є цілком працездатним при застосуванні широтно-імпульсної модуляції для пропорційного керування кутом повороту аеродинамічних рулів. Причому, його працездатність зберігається у досить широкому діапазоні частот (порядку сотень Гц) управляючої імпульсної послідовності.

У подальших дослідженнях будуть ідентифіковані динамічні характеристики електромагнітного приводу, в тому числі, зі застосуванням порожнистого якоря, а також буде перевірена можливість використання «безпружинного» варіанту застосування такого приводу. Позитивний результат останнього дослідження дасть змогу значно покращити енергетичні характеристики усієї системи управління польотом оснащеного нею реактивного боєприпасу. Окрім того, застосування такого роду стендів є надзвичайно перспективним для організації проведення лабораторних занять з курсантами військових закладів відповідних спеціальностей, зокрема, у процесі вивчення дисципліни «Мехатроніка».

1. Володимир Горбулін. Україна потребує ракет середньої і малої дальності, 17 Жовтня 2019 URL: https://ussi.org.ua/analytics/ukrayina-potrebuye-raket-serednoyi-i-maloyi-dalnosti/ (дата звернення: 25.03.2021)
2. ПТУРС 9М111М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, М.: Военное издательство, 1983 г. -88с.
3. Salloum, R., Arvan, M. R., & Moaveni, B. (2016). Identification, uncertainty modeling and robust controller design for an electromechanical actuator. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 230(20), 3631-3641.
4. Daş, E., Delice, I. I., & Keleş, M. (2020). Analysis and robust position control of an electromechanical control actuation system. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 42(3), 628-640.
5. LEAD SCREWS: DRIVE MISSILE FIN ACTUATION SYSTEM URL: https://www.helixlinear.com/media/10483/missile-fin-actuation-case-study-1.pdf (дата звернення: 25.03.2021)
6. Kim, S., Lee, C., & Choi, H. (2019). A Study on Electromagnetic-Spring Actuator for Low Cost Miniature Actuators. Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 22(3), 392-400.
7. Kim, S., Lee, C., & Choi, H. (2019, May). A Study on Electromagnetic-Spring Actuator for Low Cost Miniature Actuator Systems. In 2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC) (pp. 2008-2013). IEEE.

УДК 621.391

СИСТЕМА ЗНЕШКОДЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ РОЇВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ІМПУЛЬСІВ

д.т.н., проф. Шабатура Ю.В., к.т.н., доц. Смичок В.Д.

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана П. Сагайдачного

Досвід воєнних конфліктів сучасності показує, що широке застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) різного спектру дії і призначення з боку однієї сторони, сьогодні здатне переломити хід подій і навіть незважаючи на очевидну перевагу в оснащеності традиційними засобами озброєння і військової техніки та рівня підготовки військ іншої сторони привести до її поразки [1]. Для аналізу причин і можливих наслідків таких донедавна ще несподіваних і здавалось взагалі неможливих результатів розвитку подій воєнних конфліктів необхідно розглянути узагальнені види, призначення і методи застосування БПЛА а також засоби і методи боротьби з ними

Найбільш узагальнену класифікацію БПЛА, які використовуються в збройних конфліктах можна здійснювати за ознакою їх призначення. За призначенням застосування БПЛА в збройних силах поділяються на: розвідувальні, ударні, забезпечення бойових дій. За масштабами в першу чергу радіуса дії БПЛА умовно можна поділити на: тактичні; оперативні; стратегічні [2].

У більшості армій світу за організаційною структурою підпорядкування БПЛА поділяють на 4 класи, а саме: 1-й клас – взводні; 2-й клас – ротні; 3-й клас – батальйонні; 4-й клас – бригадні. Кожний з виділених класів має певні особливості і задачі застосування, проте їх спільною ознакою в першу чергу можна вважати масовість застосування, що в свою чергу породжує вкрай актуальну проблему створення технологій дієвої протидії таким літальним апаратам.

Системний аналіз сформульованої проблеми дозволяє виділити в її вирішенні кілька стадій: - стадія виявлення;

- стадія ідентифікації;
- стадія унеможливлення виконання бойової задачі БПЛА.

Стадія виявлення базується на використанні демаскуючих ознак БПЛА як літаючого матеріального об’єкта. Ці ознаки виявлення і спостережуваності проявляються через їх акустичні прояви та сигнатури у видимому, радіочастотному та інфрачервоному діапазонах радіохвиль. Стадія ідентифікації здійснюється на основі порівняння профілей виявлених сигнатур БПЛА з відомими, притаманними тим чи іншим класам і видам БПЛА з врахуванням швидкості і параметрів траєкторій їх польотів. Необхідно зауважити, що для протидії потужним великогабаритним БПЛА типу RQ-4 Global Hawk, GlobaL Observer, MQ-9 Reaper Condor, MQ-1 Predator, та деяким іншим цілком придатними є існуючі засоби протиповітряної оборони, які здатні виявляти і ефективно протидіяти пілотованим повітряним цілям. Основним засобом виявлення зазначених БПЛА є радіолокаційні станції вони здатні засікати такі цілі на відстанях в десятки кілометрів. Унеможливлення виконання бойових задач таких БПЛА здійснюється шляхом їх фізичного знищення за допомогою зенітно-ракетних комплексів.

Значно ускладнюється вирішення задачі протидії для середніх, малих і мініатюрних БПЛА і практично не існує станом на сьогодні дієвих варіантів протидії роям БПЛА.

Типовим прикладом середніх БПЛА є ударний, оперативно-тактичний Bayraktar TB2. Його загальний вигляд отриманий з загальнодоступних джерел показаний на рисунку 1.



Рисунок 1 – Загальний вигляд БПЛА типу Bayraktar TB2

Умовно до цього класу можна віднести цілий ряд БПЛА-камікадзе. Типовим прикладами яких є БПЛА типу Hahor і Warmate. Вигляди останніх взяті з відкритих джерел наведено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд БПЛА-камікадзе типу Hahor і Warmate

Однак ці БПЛА не здатні діяти за ройовими технологіями, тому для протидії їх застосуванню вже створені відносно ефективні засоби виявлення і знешкодження. Більшість таких засобів ґрунтуються на використанні автоматично навідних швидкострільних гармат малого калібру з спеціальними боєприпасами. Типовими прикладами таких снарядів є:

- 40-мм снаряд PMD 330 з числом вражаючих елементів 407 вагою по 1,24 г;
- 35-мм зенітний снаряд KETF (Kinetic Energy Time Fuse) з детонатором за технологією AHEAD (Advanced Hit Efficiency and Destruction);
- снаряд PTFP (Programmable Time Fuse Pre-Fragmented), містить більше сотні вражаючих елементів циліндричної форми з вольфраму. Стабілізується за рахунок обертання, що поліпшує структуру хмари уламків для більш ефективного ураження цілі.

Останніми в ряді проаналізованих є міні-, мікро- і нано-БПЛА, які здатні підтримувати ройові технології. Серед доступних для аналізу у відкритих інформаційних джерелах можна виділити БПЛА типу Coyote і Perdix [3-5]. Їх загальний вигляд наведений на рисунку 3. Сьогодні можна з усією очевидністю стверджувати, що саме через масовість і ройову технологію їх скоординованого застосування традиційні засоби ППО для протидії є неефективними з точки зору критерію - «вартість-ефективність».

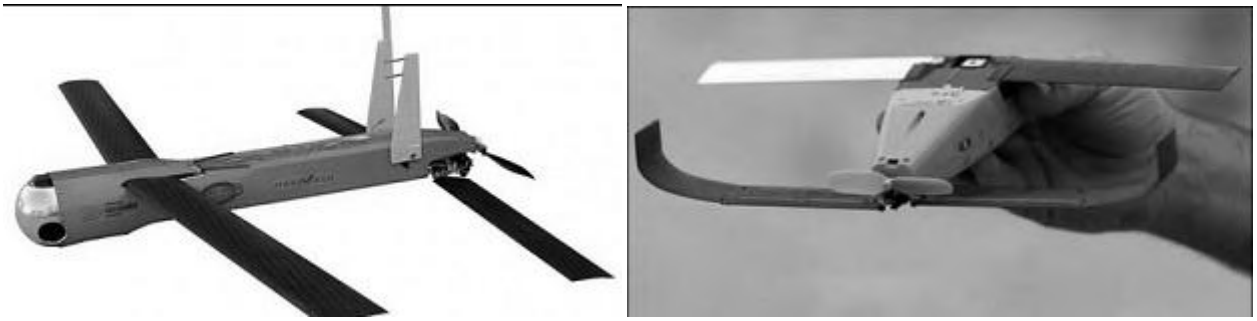


Рисунок 3 – Загальний вигляд БПЛА типу Coyote і Perdix

Покращити співвідношення зазначеного критерію вдається лише при застосуванні засобів протидії з дуже малою вартістю «пострілу» і високою скорострільністю. Лідируючу роль в цьому відношенні займають бойові лазери. Однак вони є дуже дороговартісними системами а ефективність їх застосування істотно залежить від погодних умов.

Застосування різноманітних систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) може виявитися неефективним в силу здатності рою БЛА до автономного функціонування і орієнтації. Єдиним засобом можливої ефективної протидії є вплив на бортову електроніку БПЛА.

Узагальнена структура БПЛА з точки зору бортових систем, які в обов'язковому порядку містять електронні вузли і компоненти представлена на рисунку 4.

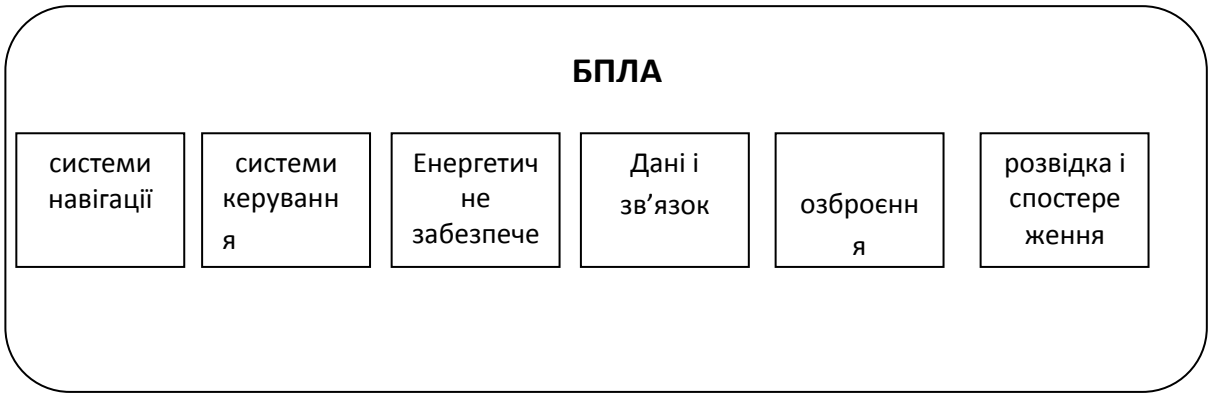


Рисунок 4 – Узагальнена структура БПЛА за внутрішніми системами

Фізичною основою для дистанційного створення пошкоджуючого впливу на бортову електроніку БПЛА є принцип електромагнітної індукції відкритий англійським вченим-винахідником Майклом Фарадеєм. Даний принцип вже використовується в створених американською компанією Raytheon та фахівцями дослідницької лабораторії військово-повітряних сил мікрохвильових «гарматах» Phaser і THOR відповідно. Ці «гармати» здатні створювати спрямований на БПЛА потужний промінь надвисокочастотного випромінювання, яке в буквальному сенсі випалює будь-яке бортове електронне обладнання і тим самим унеможливлює виконання останнім жодних бойових задач.

Сьогодні важко аналізувати можливості і недоліки даних систем оскільки будь-яка більш детальні інформація про неї є засекреченою, однак виходячи з аналізу зовнішнього вигляду і їх контейнерної компоновки, яка представлена на рисунку 5 можна зробити певні висновки. По перше, це досить громіздкі системи, які досить важко транспортувати і які очевидно потребують потужних джерел живлення та значного часу на їх розгортання.

В ідеалі необхідно мати в будь-якому військовому підрозділі, навіть на рівні взводу, невелику автономну систему, здатну ефективно знищувати рої БПЛА за рахунок застосування потужного електромагнітного імпульсу.

На кафедрі електромеханіки та електроніки Національної академії сухопутних військ імені гетьмана П. Сагайдачного розпочаті дослідницькі роботи з створення такої системи.



Рисунок 5 – Загальний вигляд мікрохвильових гармат Phaser і THOR відповідно

Макетний зразок розроблюваної системи представлений на рисунку 6.



Рисунок 5 – Загальний вигляд макетного зразка імпульсної системи протидії БПЛА

Основу системи складає антенна пристрій, джерело енергії і підсистема формування ультракороткого електромагнітного імпульсу. Джерелом енергії є блок іоністорів (6 штук по 3000 Фарад кожен), дозволяє оперувати потоком енергії в 80 КДж. Унікальна система «стиснення» імпульсу дозволяє розраховувати на отримування в імпульсі потужності гігаватного порядку, що створює можливості, в залежності від діаграми направленості антени, виводити з ладу чутливу електроніку БПЛА на відстанях 500-800 метрів.

У підсумку можна констатувати, що на даний час в жодній державі світу не має в наявності військово-технічних систем здатних забезпечити стовідсоткову ефективність протистояння до спланованих атак БПЛА. Це стає особливо очевидним при використанні роїв безпілотників, які складаються з нано-, мікро- і міні-БПЛА, які літають на малих висотах і здатні до нанесення скоординованих ударів по цілях, ідентифікацію і вибір яких здійснюється без зовнішнього управління а на основі технології розподіленого штучного інтелекту. Отже пошуки методів і засобів вирішення цієї проблеми є вкрай актуальними.

Література

1. Рой беспилотников. Новая тактика боевых действий уникального оружия Китая [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://tass.ru/armiya-i-opk/5786857.
2. Иванов Д.Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. - Известия ЮФУ, 2011. – С. 222-225.
3. DARPA собирает беспилотники в рой [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://cont.ws.
4. Blighter. AUDS Anti-UAV Defence System // Counter Drone and Counter UAS Technology from Blighter Surveillance Systems. URL: http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html
5. Jeff Stone. US Marines Test Boeing Laser To Knock Down Drones, Enemy Artillery// International Business Times. URL: http://www.ibtimes.com/us-marines-test-boeing-laser-knock-down-drones-enemy-artillery-2011610

УДК 621-926

FREQUENCY-STEP METHOD FOR CONTROLLING THE EFFICIENCY OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF PROLONGED OPERATING MODE

Associate prof. Borodai V.A., associate prof. Nesterova O.Yu., senior lecturer Kovaliov O.R.
Dnipro University of Technology

The problem of continuous growth of the cost of kWh of electricity encourages consumers to implement innovative technologies based on resource and energy conservation in their production. This is especially true for energy-intensive equipment, namely for stationary appliances of the mining and metallurgical complex. Among them, first of all, it is necessary to distinguish pump-ventilating units which work in a prolonged operating mode and have a little variable schedule of loading. As a rule, the installed power of their drive motors can range from hundreds to thousands of kilowatts. Accordingly, losses in the areas of operation of such equipment can reach significant values. Therefore, the special urgency of the highlighted problem, to which the authors focus their efforts in conducting research on energy efficiency, is obvious.

At present, it is established that the maximum efficiency of mechanisms of this type can be achieved with a comprehensive approach to solving the problem. Information from the source [1] clearly demonstrates the need to process a number of links where electrical and mechanical losses occur. Among such links are the following:

- energy channel or losses in the power supply network;
- conversion equipment;
- losses directly in the electric motor;
- mechanical losses in the working machine.

Modern methods for compensating losses in the power channel are usually carried out by stationary centralized or local filter-compensating RC circuits. Moreover, considering the present growing filtration accuracy requirements, local compensation methods are preferable. Although it should be emphasized that there are no substantial reasons of limiting the use of centralized methods.

It is known that the conversion appliances have a fairly high efficiency, which should characterize them as devices with quality power. But the presence of a low power factor for certain control methods increases the losses at this power supply of electromechanical units. Promising at this stage of development of conversion appliances is the principle of pulse-width modulation of the output voltage of the conversion, which offers a completely satisfactory voltage regulation [2], provided that the acceptable power factor is maintained. In addition, an analysis of Internet sources regarding the cost of power switches has shown that their current price is quite affordable and does not significantly exceed the price of controlled valves.

One of the approaches to energy efficiency of electric motors, which are mainly operated in steady state, is the instantaneous supply to its electromagnetic system of such an amount of energy that does not exceed the required to overcome the current level of load. A possible method of this control method is implemented using a special voltage regulator [1], the level of which is a function of the instantaneous value of the load.

The authors of previous publications have repeatedly emphasized the possibility of energy-efficient control of the asynchronous drive with voltage converters, which are almost three times cheaper than frequency converters. But the regulation of the supply voltage has almost no effect on the speed of both the motor and the working machine, which accordingly limits the possibilities of economic operation of the latter.

To attract the system of technological equipment to efficient use, it is proposed to refine the simple circuit implementation of the PPCS voltage regulator [2]. To do this it should be supplemented by the function of stepwise change of motor speed by sequential connection through the period of motor power supply of nominal or zero voltage. This will make it possible to halve

the speed of the working machine compared to face value. It is clear that the form of supply voltage, which is based on the consistent absence of every second period, simultaneously reduces both the frequency and the operating voltage. But the level of the latter in this control does not support the stator current of the asynchronous motor within the limits that do not allow saturation of the magnetic circuit of the motor. Therefore, at the stage of adjustment by the pulse-width method, the voltage is reached to a level that provides the allowable value of the magnetizing force of the system.

The proposed method of control is implemented by a simplified scheme of Fig. 1, which will allow a significant reduce of the initial capital investment compared to a full-fledged frequency converter. This is also facilitated by the pricing policy of manufacturers regarding the cost of IGBT transistors. Consider the improved scheme PPCS voltage regulator [2], which is reduced to the system of step frequency control Fig.1.

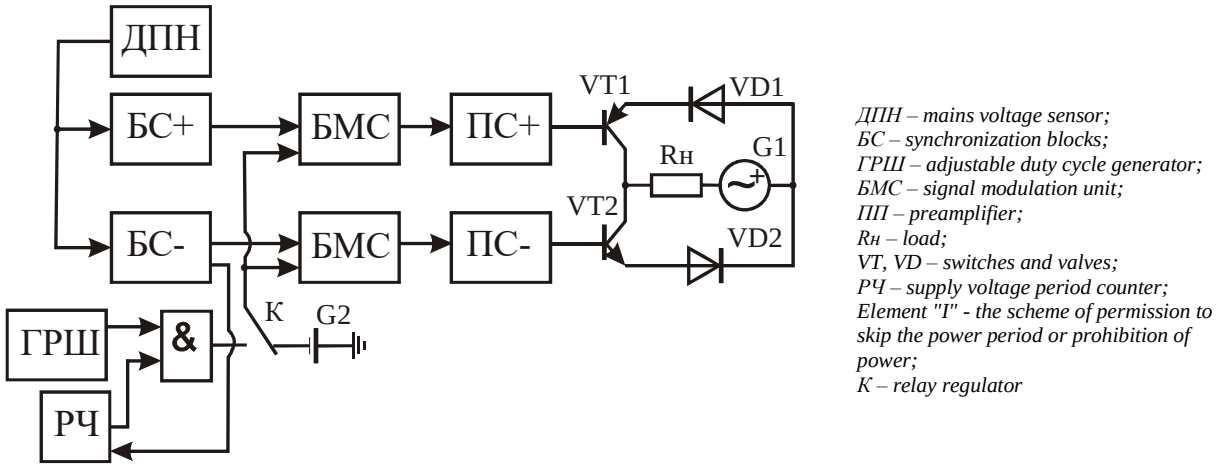


Figure 1 - Functional diagram of the converter phase.

The operation of the system begins with tracking by the ДПН sensor of point of the intersection with the mains voltage of zero level (functional diagram of Fig. 1), which is then fixed by synchronization units БС+ positive and БС- negative half-wave and kept in a single state throughout the respective half-cycles. The pulsating form of control signals is formed due to blocks of modulation БМС, the outputs of which are presented according to the previous amplifiers of ПП+ and ПП- and rotten control power to a level sufficient to control the power switches VT1, VT2. Due to the unequal conductivity of switches VT1, VT2 and control in the reverse phase current through the load $\boldsymbol{R_н}$ has a sinusoidal shape, and its regulation is carried out by changing the duty cycle of the ГРШ generator and РЧ frequency regulator data based on the trigger counting the number of periods and permission scheme "I" to the input of the modulation units БМС. In our case, with step control, the duty cycle is adjusted once before the start of the drive on the voltage that provides the allowable level of magnetic flux of the asynchronous drive stator, and then using the relay regulator К to switch the nominal mode to the position “connected to G2” or energy efficient one “connected to „I”.

The model of the proposed pulse-phase control system is implemented by means of an electronic instrument of the National Instruments component Multisim, depicted in Fig.2. Scheme solution holds one channel. A complete set in three-phase performance of such channels should have three, and their synchronization must be carried out on each phase separately. It is loaded on the replacement circuit of an induction motor 4A100L4U3 with a power of 4 kW and a speed of 1000 rpm and a nominal supply voltage of 220 V. The experiment was carried out for a steady state with a nominal slip s=0.05, where the rotor resistance is calculated by equation r2`×(1-s)/s=26 Ohm. That is, at this stage of research at the supply voltage frequencies *f*=50 Hz and *f*=25 Hz, the rotor resistance remains unchanged.

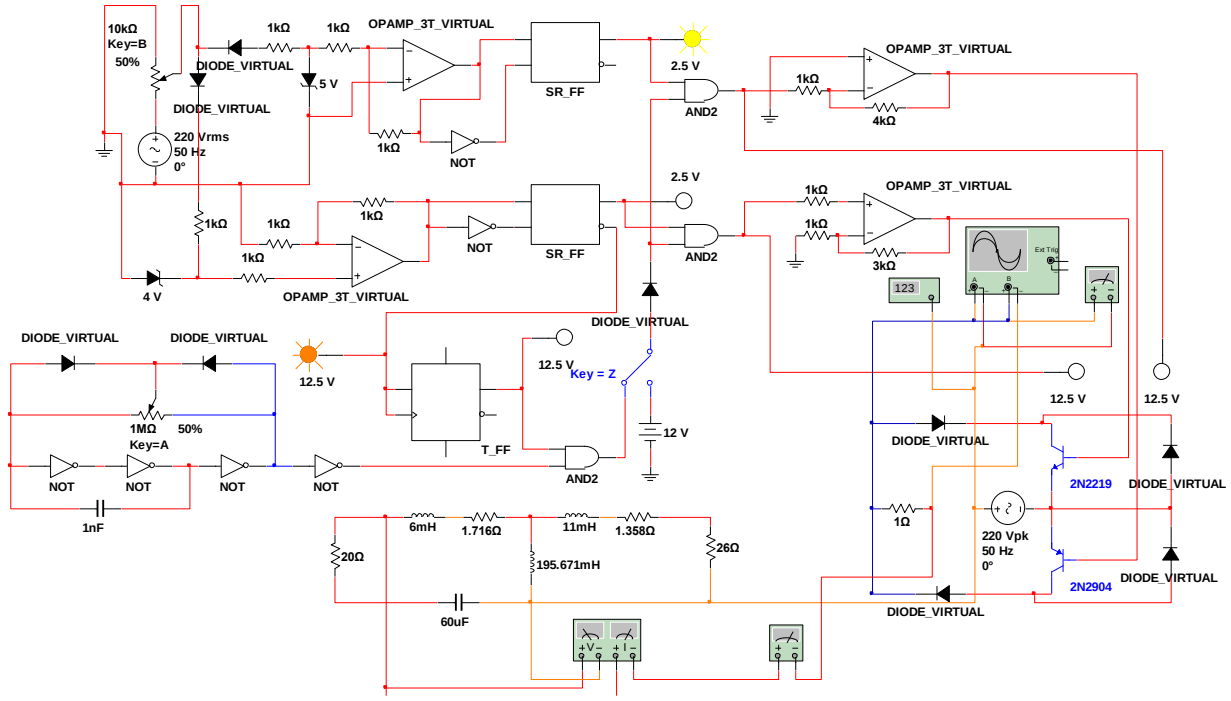


Figure 2 - Model of step frequency converter.

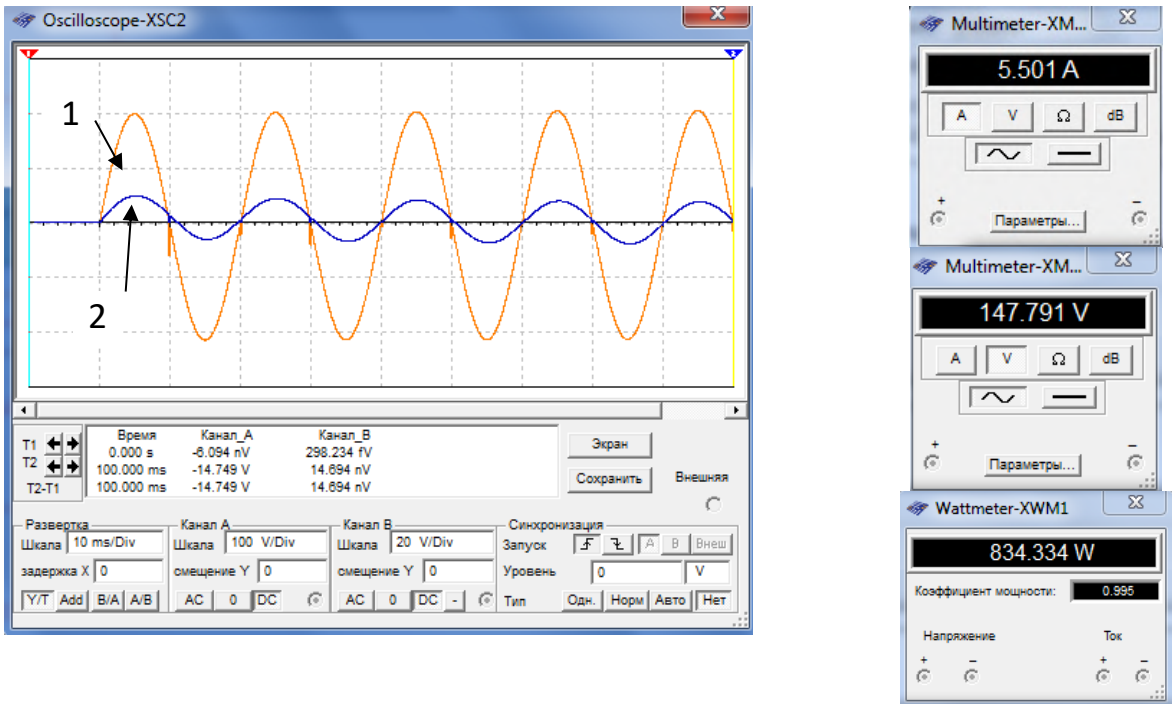
For guaranteed switching of power switches 2N2219 and 2N2904, the motor phase replacement circuit is covered by the ***RC*** compensation circuit. Algorithm for calculating its parameters and the magnitude of the limit load, which implements the switch from the nominal mode to the effective mode of taking from the source [2]. That is, in fact, if the motor load is within 0.6 ... 1 of the nominal active mode is normal (switch Z is connected to a DC source 12 V Fig.2), and for loads less than 0.6 - effective mode (switch Z is connected to the element "AND2" Fig.2).

When performing experimental studies, voltage, current and capacity and ***cos(φ)*** of the system were monitored. The test results are shown in Fig. 3. The system for normal mode provides a power factor not worse than 0.99, and effective 0.93. In this case, the power in effective mode goes down to almost 52%. The approach to determining the energy saving in the mechanical part of the drive is complicated due to obvious reasons. But given that in a preliminary study, a possible limit of saving of active capacity was 44% at a load of 0.6, and is about 48% for the present case, the advantage of the new system is clear.

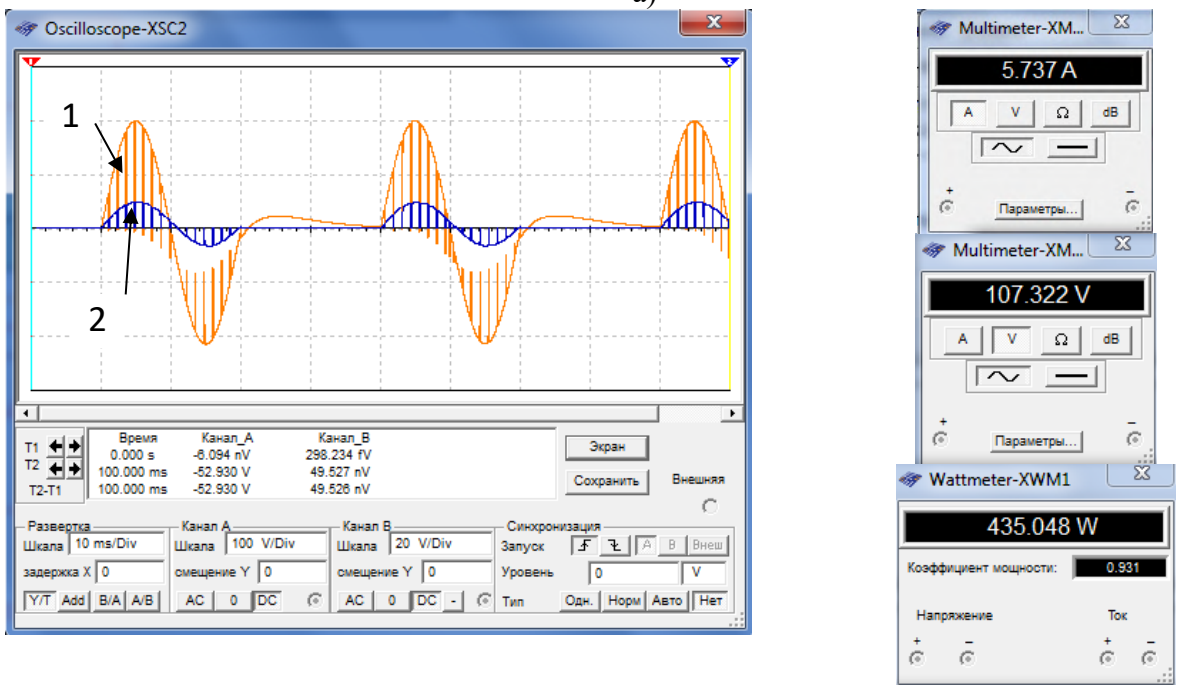
Conclusions.

- Maximization of the efficiency of electromechanical systems of long-term operating system possible is possible in case of a comprehensive approach to analysing the savings of the system;

  voltage regulator with the involvement of the principle of pulse-width modulation of the signal allows to provide a significant increase in the power factor of the system, but does not allow to use the mechanical (working machine) way of savings;
- the two-stage simplified PPCS of frequency control of the asynchronous motor drive uses all possible ways of economy of systems of a long mode of work and provides power savings to 48% for loading less than 0.6 units.



a)



b)

1 - voltage (scale 100 V / un); 2 - current (scale 20 A / un)

Figure 3 - The results of modelling modes nominal a) and effective b).

1. Бородай В.А. Спосіб синтезу регулятора енергоефективного управління асинхронним приводом механізмів без прямої стабілізації швидкості / В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова // Електротехніка та електроенергетика – Запоріжжя: – 2019. – № 3.– С. 16-23. DOI 10.15588/1607-6761-2019-3-2.
2. Бородай В.А. Параметричне керування ефективністю асинхронного приводу засобами перетворювача з підвищеним коефіцієнтом потужності [Текст] / В.А. Бородай, О.Р. Ковальов, О.Ю. Нестерова //Електротехніка та електроенергетика. – 2020. – № 2 – С. 8-16. DOI 10.15588/1607-6761-2020-2-1.

UDC 621.314.212

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF THE VACUUM FURNACES POWER EQUIPMENT THERMAL PROTECTION SYSTEM

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Cheilytko A.O.,
Ph.D., Associate Professor Ilin S.V., Ph.D., Associate Professor Osaul O.I.,
Postgraduate student Chernenko T.V.
Zaporizhzhia National University

A vacuum furnace is a device primarily designed to generate high temperatures inside a system. All this way is done in order to achieve optimal conditions for melting metal in vacuum using the energy of an electric arc.

At the moment, vacuum furnaces have found their application in many industries, where they play one of the most important roles. For example, vacuum furnaces have found their application in industries such as: rocketry, space industry, nuclear power, metallurgy.

All of these industries require quality smelting of high quality steels that can withstand the most challenging weather conditions. And without the participation of vacuum furnaces, it is simply impossible to achieve such a condition.

You can also consider the main advantages of a vacuum oven, which are actually huge in number. After passing through the vacuum furnace, the alloy remains the minimum content of gases and non-metallic substances.

Thanks to the high-quality design of the vacuum furnaces, namely its individual elements, it was possible to achieve the maximum strength of the unit. This factor makes it possible to reach maximum temperatures inside the system, up to 2000 degrees. Moreover, alloys are really very high quality and do not contain any unwanted elements. And the ovens themselves, regardless of the price category, do not deteriorate in any way and remain all the same effective.

Vacuum furnaces use power transformers as an energy source. The problem of thermal protection of power equipment in vacuum furnaces is an urgent area of research.

From the point of view of heat exchange processes inside the windings of transformers, there are two fundamentally different ways of cooling power transformers: with natural and with forced circulation of oil in the windings [1].

In the first case, the movement of the oil is created by the difference in densities of differently heated layers of oil along the height of the winding, so the oil washes the winding under the action of forced convection. In the second case, the movement of oil is due to external forces, such as the operation of oil pumps of the external cooling system.

With natural oil cooling, the circulation of oil in the cooling circuit is due to gravitational forces. The electrical losses that are released in the active part of the transformer are converted into heat energy, which is mainly transmitted by convective heat transfer to the oil that surrounds the active part. The oil under the action of the heat perceived by it is heated, and its density decreases, in connection with which in the area of active parts it is directed upwards, and in place of the heated oil which has moved, from below comes colder [1].

Currently, the following cooling systems for power transformers are used [1]:

1. natural circulation of air and oil;
2. forced air circulation and natural oil circulation;
3. natural air circulation and forced oil circulation;
4. forced circulation of air and oil.

The factor that has the greatest influence on the oil flow rate in the cooling channels will be the lifting force, which occurs due to the difference in oil densities along the transformer winding [2]. Thus, at natural oil cooling the speed of oil will be a function of its temperature $v = f(\vartheta)$, where v - speed of oil, m / s, ϑ - temperature of oil, K.

Given the design features of the transformer, it is convenient to use a cylindrical coordinate system for modeling [1].

A distinctive feature of the study of thermal processes in the transformer windings is the method of their study. According to the research method, the work is divided into experimental and theoretical [3].

Experimental methods for studying thermal processes in transformer windings are considered in [4]. Special attention is required for experiments demonstrating the processes in the windings of transformers, which were conducted at the All-Ukrainian Institute of Transformer Engineering (VIT). Their results are reflected in research protocols [5] and in articles [6]. However, currently experimental research methods are almost not used due to the high cost of equipment.

Theoretical methods for studying thermal processes in transformer windings are considered in [7]. They, in turn, are divided into: analytical techniques, numerical modeling, and systems analysis [4]. The results of numerical simulation of transformer windings are given in [5]. The analytical technique is based on the analogy of thermal and electrical phenomena. By changing the resistances of parallel sections of electrical circuits, the establishment of an electromagnetic field identical to the temperature field of a similar model is achieved [2]. However, this technique eliminates the possibility of calculating the oil flow through the transformer winding and performing hydraulic analysis of the system. System analysis is based on systems of equations, which take into account the total losses in the system, the basic hydraulic and thermophysical laws.

To conduct studies of thermal processes in the disk windings of the transformer, the parameters were selected in accordance with [4] (Fig. 1, 2) and numerical simulation as a research method.

The paper accepts the following assumptions, which are formulated by Laszlo Imre [6]:

- heat transfer conditions above and below the disk are the same;
- thermophysical properties of copper and insulation do not depend on temperature;
- all winding coils emit an equal amount of heat.

However, in contrast to Imre's studies [8], the paper takes into account that there is heat transfer between adjacent coils through the radial channel, and the presence of a laminar layer in the horizontal channel.

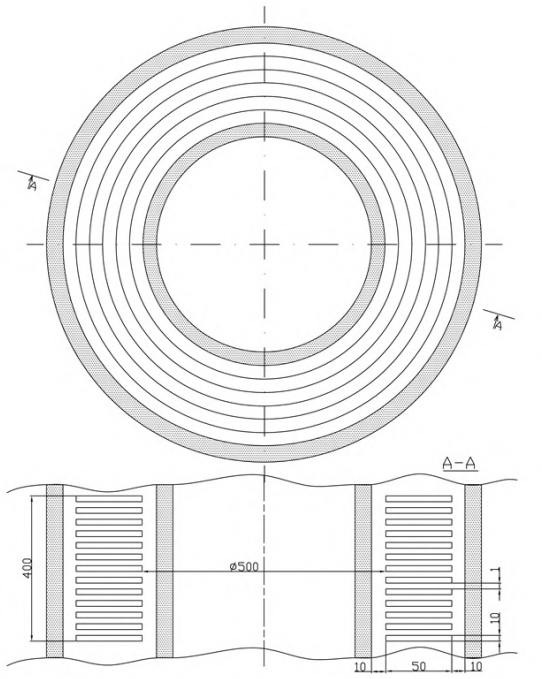


Figure 1 – Schematic diagram of the transformer winding

To study the general picture of heat distribution in the transformer winding and to compare the results obtained by mathematical modeling with the results of the experiment [9], it is necessary to consider the model of the disk winding, which has 40 coils. When creating the winding model, the following assumptions were made: all coils emit the same amount of heat; all coils, except the top,

are an integral copper parallelepiped. The upper coil is further divided into 16 parallelepipeds that mimic turns of copper wire.

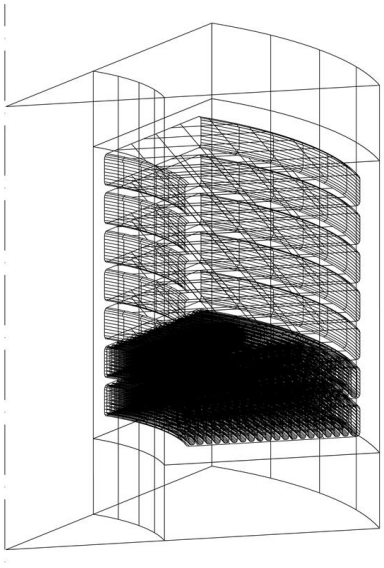


Figure 2 – Volume cutout of the disk winding

The results obtained are shown in Fig. 3 and are presented in table 1. As it moves up the vertical channel of the power transformer's disk winding, the oil temperature increases from 60^0C (oil inlet temperature) to almost 85^0C, which does not exceed the allowable range of oil temperature fluctuations of 70^0C, at an ambient temperature of 30^0C [8]. The temperature of the oil in the radial channels of the lower part of the winding differs significantly from the surface temperature of the coils that formed this channel. This indicates that in this part of the winding, the oil removes part of the heat from the radial channel, and it can be argued that in these radial channels there is a through circulation of coolant. However, in the upper part of the winding, the temperature of the oil in the radial channels coincides with the temperature of the coils. This is a sign that the through circulation of oil in the radial channels of the upper part of the winding is absent.

Table 1.
Temperature field of copper coils of transformer windings

Dimensionless height , h/H	Estimated temperature of copper, K	Estimated temperature of copper , ^{0}C	Experimental temperature of copper , ^{0}C	Absolute measurement error , ^{0}C	Relative measurement error, %
0,025	340,3	67,1	71,2	4,1	6,1
0,05	339,4	66,2	69,7	3,5	5,3
0,075	337,8	64,6	65,1	0,5	0,8
0,1	342,2	69	68,4	0,6	0,9
0,125	349,5	76,3	77,9	1,6	2,1
0,15	355,5	82,3	84,5	2,2	2,7
0,175	359,1	85,9	87,8	1,9	2,2
0,2	361,4	88,2	89,1	0,9	1
0,225	362,3	89,1	89,8	0,7	0,8
0,25	363,2	90	90,5	0,5	0,6
0,275	364,2	91	90,8	0,2	0,2
0,3	365,3	92,1	91,9	0,2	0,2

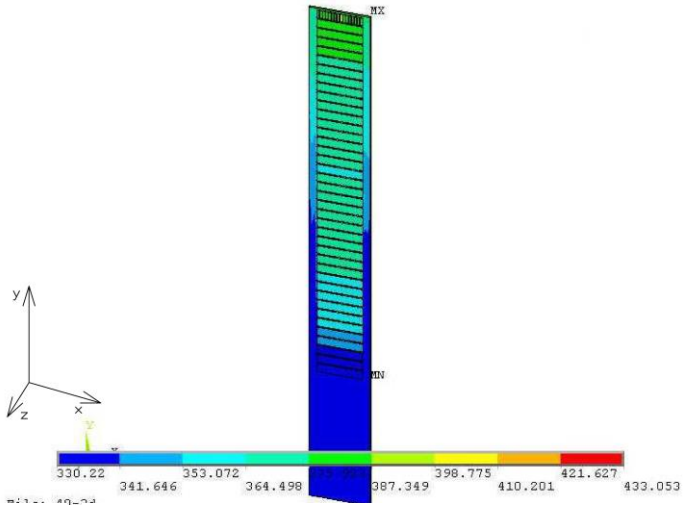


Figure 3 – Temperature field (K) in the transformer winding.

It is confirmed that with increasing copper temperature of transformer coils the numerical values of local heat transfer coefficients at the boundary "solid surface - liquid" and heat flux density increase, and with decreasing temperature - also decrease. The nature of heat distribution in radial and vertical channels, in places of connection of channels, in copper of coils is revealed. Numerical values of the obtained temperatures in comparison with the results of the experiment [5], calculated absolute (not exceeding 4^0C) and relative (not exceeding 6%) calculation errors, which confirm the reliability of the obtained results.

It is confirmed that the temperature of the copper coils depends on the location of the coil in the tank along the height of the winding. Therefore, the temperature of the copper coils increases as it moves up along the winding. For the first time, analytical dependences were obtained that describe the dependences of the copper temperature of the coils of disk windings on the dimensionless height of the winding provided that the width of the horizontal channel is less than 3 mm and the natural circulation of the coolant.

1. Zhang J. Oil cooling for disk-type transformer windings [Text] / J. Zhang, X. Li // Part I: Theory and model development, IEEE Trans. Power Del. — Vol. 21. — 2006. — pp. 1318-1325.

2. Allen P.H.G. Heat transfer in electrical machines [Text] / P.H.G. Allen // Elec. Times. — 1967. — № 19. — pp. 85-92.

3. Allen P.H.G. Perestup tepla v laminarnim proudeni pri zmene tyzikalnick vlastnosti [Text] / P.H.G. Allen // Electotechn. obz. — 1969. — 58, №2. — pp. 53-60.

4. Imre L. The role of the characteristic parameters in the warming of oil-transformers [Text] / L. Imre, A. Bitai, P. Czenyi // Period polytechn. Elec. Eng. — 1979. — №3-4. — pp. 293-300.

5. Imre L. A method for determining the steady-state temperature distribution in the winding discs of oil-cooled transformers [Text] / L. Imre, G. Danko // Period polytech. Elec. Eng. — 1976. — №2. — pp. 89-102

6. Mikhailovsky Y.A. Methods of temperature rise calculations of power transformer windings [Text] / Y.A. Mikhailovsky, A.B. Shvidler, G.E. Tarle, V.M. Tchornogotsky // CIGRE International Conference. Large High Voltage Electric Systems, Paris. — 1984. — pp. 12-16.

7. Prandtl L. Uber Flussigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung [Text] / L. Prandtl // Verhandlung d. III. Intern. Matn. Kongr. Heidelberg. — 1904. — pp. 484—491.

8. Cheilytko A.O., Ilin S.V.., Karpenko G.V. Improving the efficiency of the unit of the Zaporizhzhia NPP with a WWER-1000 reactor. Nuclear Science and Technology Issues (VANT): Pure Materials and Vacuum Technologies. 2020. № 1(125). C. 135-139.

9. Tarasov V., Banakh A., Polikarpova L., Makushin, M. Improvement of external thermal insulation protection of buildings and structures. Urban planning and spatial planning. — 2019. — pp. 380-389.

УДК 623.6

ANALYSIS OF "KROPIVA", "UKROP", "ARTOS" AND BASALT-M APARATUS STANDARD DEVIATION RELATED TO THE CATALOG OF GEODETIC POINTS COORDINATES

Ph.D, lecturer Taras Kravets, Ph.D, lecturer Andrii Shcherba,
Lecturer Complexes and Devices of Artillery Reconnaissance of the National Army Academy named after Hetman Petro Sahaidachnyi,
Lviv, Ukraine

The aim of the article is to present the results of global navigation satellite systems (GNSS) and geographic information systems (GIS) analysis in military units on the example of software and hardware system (computer appliance CA) "Kropyva", "Ukrop", "Artos" and "Basalt-M", in particular comparison of coordinates determination accuracy by devices in relation to the catalog of geodetic points coordinates and the list of points coordinates of special geodetic networks. **Method.** The research was carried out on the basis of available literature sources analysis on this subject and practical application of CA "Kropyva", "Ukrop", "Artos" and "Basalt-M", comparison of coordinates definition accuracy and development of recommendations on their basis. **Results.** Theoretical, methodical and practical problems of using CA "Kropyva", "Ukrop", "Artos" and "Basalt-M" in troops for coordinates determining have been studied. The tendencies and prospects of the studied CA are analyzed, taking into account the devices error in the coordinates determining and the expediency of their use for topographic and geodetic support of units. A thorough analysis of four tools for coordinates determining was compared and performed. **Scientific novelty.** The need for this study is due to the fact that although PJSC "Kropyva", "Ukrop" and "Artos" are authorated for use in the Ukrainian Armed Forces, and "Basalt-M" is in service, or actively used in units, including the Area Joint Forces (JF) operations, but anyone did not performed comparison of coordinate accuracy and application recommendations. **Practical meaning.** Based on the analysis of "Kropyva", "Ukrop", "Artos" and "Basalt-M" aparatus standard deviation in relation to catalog of geodetic points coordinates, recommendations for the use of tactical level commanders have been developed. The temporal features of PAC application and their influence on thef coordinate determinating accuracy are singled out. The CA which is most expedient to apply is established. The results of the study are designed for unit commanders who can use them for more effectively performing of their combat missions.

Keywords: geoinformation systems, geoinformation systems of military purpose, coordinates, software, geodetic point.

Introduction

Problem statement. Solving various military tasks is impossible without the use of space technology, navigation support through the use of global navigation satellite systems (GNSS) [2].

Space technologies make it possible to solve military tasks with high probability [3]: evaluation of the armaments accuracy characteristics; ensuring high accuracy during testing and application of modernized and advanced weapons systems; operation of weapon systems on the "unprepared" battlefield; prompt bringing weapons systems into readiness for use; interoperability during joint actions in coalition armed groups; providing accurate operational targets, the possibility of point strikes and minimizing the associated destruction; organization of virtual training grounds and cost reduction during units combat training; introduction of dispatching information technologies and information systems (intelligence, navigation, communication and data transmission systems, etc.). However, the basis of all these advantages and functions is the coordinates definition, on the basis of which all these possibilities open up.

The lack of its own satellite navigation system or at least one satellite remains a major problem for Armed Forces of Ukraine. According to international experts [4], any system tied to external governance from other countries is a "Trojan horse", which may sooner or later have a negative impact.

The analysis of recent researches and publications. The Armed Forces of Ukraine will create a single automated system that will integrate automated combat control systems, computers, communications, electronic warfare, reconnaissance, navigation and firepower [1]. All these areas are well described and analyzed, and the use of GNSS and GIS is no exception.

Military experts in the world consider navigation equipment as one of the most important types of combat equipment, and navigation equipment as one of the main control systems of troops. For example, in the United States, navigation is given the third most important degree.

Today, the terminology of GIS is widely developed, there are a significant number of approaches to the coverage of the definition itself. Terminology related to navigation and navigation systems has also been extensively developed, but the direct determination of accuracy by various instruments and software is not sufficiently disclosed in the literature and needs to be clarified.

Areas of application of GNSS and GIS are also studied, in particular, it is determined that the use of geospatial data is carried out for calculations in various fields of science and technology [4 - 5] as components of decision support systems (DSS) or intelligent systems; data display is realized in digital form using standard or specialized software.

However, there is no literature and information on the features and accuracy of determining coordinates using CA "Kropyva", "Ukrop", "Artos", and for "Basalt-M" needs clarification.

Purpose of the report. The aim of the article is to analyze the GNSS and GIS in military units on the example of CA "Kropyva", "Ukrop", "Artos" and "Basalt-M", in particular to compare the accuracy of coordinates determining by devices relative to the catalog of geodetic points.

Main part

Space navigation systems are increasingly entering the lives of mankind. Navigational information obtained by the equipment of GNSS users is used in many areas of human activity, using the ability to determine the location and exact time. This allows the use of satellite navigation receivers adopted in the units of missile forces and artillery, in the interests of topographic and geodetic training of combat operations of missile forces and artillery units.

The most accessible and popular geographic information systems for locating in combat conditions and in particular coordinates are "Kropyva", "Ukrop", "Artos" and "Basalt-M", these tools are the main ones used by units of the Armed Forces of Ukraine since the beginning of hostilities in the east of our state to this day. However, information on the features and accuracy of determining coordinates using software and hardware complexes (CA) "Kropyva", "Ukrop", "Artos" is missing, and for "Basalt-M" needs clarification.

To eliminate this gap, the analysis of GNSS and GIS in military units was performed on the example of "Basalt-M" and CA "Kropyva", "Ukrop" and "Artos", in particular, the comparison of the accuracy of determining the coordinates of the equipment relative to the catalog geodetic nets.

The principle of determining the object location on the earth's surface using GNSS is based on measuring the distance from the space navigation device to the receiver of satellite signals and calculating the coordinates of the object (spatial notch). These spheres are a set of points located at a measured distance to one of the satellites. The points of intersection of the spheres and determine the location of the GNSS user equipment antenna.

In order to establish the real accuracy of determining the rectangular coordinates of the points "Basalt-M" and CA "Kropyva", "Ukrop", "Artos" under certain conditions, a field experiment was conducted. The essence of the experiment was to determine the rectangular coordinates of the point using "Basalt-M" and CA"Kropyva", "Ukrop", "Artos" under certain conditions. The rectangular coordinates of this point must be determined by another method (known) with an accuracy higher than the operation of CA equipment. For this purpose, a sampling from the catalog of coordinates of geodetic points M-35-XIX section B polygonometry point according to the catalog №209 "Gas, tower" was carried out.

The accuracy of determining the coordinates is influenced by several factors: first - the algorithm of the CA; secondly - the characteristics of the hardware that determines the coordinates; third - the favorable conditions of observation (open sky, almanac of satellites, at the time of measurement, other sources of error).

During the experiment, it was determined that the characteristics of the hardware on which the software is installed, directly affects the speed of coordinates determining. Thus, simultaneously launching the coordinate determination programs, it was found that the coordinates of CA "Kropyva" on the Samsung A7 were determined within 3 seconds, the coordinates were determined after 1.5 minutes with similar software on the Sigma tablet. All devices detected coordinates from 1 to 3 minutes after switching on, except for the Samsung A7.

Table 1.

Investigation of the accuracy of determining the coordinates

" cold start "									
Координати Еталонні (пункт ДГМ)						X	5525241		
						У	5286193		**Error, m**
"MilChat"		X1	5525249	X2	5525227	X	5525238	3	**3**
		У1	5286189	У2	5286201	У	5286195	-2	
" **Basalt- M** "		X1	5525217	X2	5525240	X	5525228,5	12,5	**9**
		У1	5286181	У2	5286195	У	5286188	5	
" **Kropyva** "		X1	5525251	X2	5525292	X	5525271,5	-30,5	**15**
		У1	5286191	У2	5286194	У	5286192,5	0,5	
"Artos"		X1	5525278	X2	5525240	X	5525259	-18	**14**
		У1	5286201	У2	5286200	У	5286200,5	-7,5	
" **Ukrop** "		X1	5525230	X2	5525208	X	5525219	22	**28**
		У1	5286226	У2	5286228	У	5286227	-34	
After 15 minutes of work									
"MilChat"		X1	5525252	X2	5525228	X	5525240	1	**3**
		У1	5286195	У2	5286201	У	5286198	-5	
" **Basalt- M**"		X1	5525250	X2	5525236	X	5525243	-2	**1**
		У1	5286190	У2	5286200	У	5286195	-2	
" **Kropyva** "		X1	5525246	x2	5525231	X	5525238,5	2,5	**1,5**
		У1	5286191	У2	5286193	У	5286192	1	
"Artos"		X1	5525235	x2	5525256	X	5525245,5	-4,5	**3**
		У1	5286196	У2	5286208	У	5286202	-9	
" **Ukrop** "		X1	5525240	X2	5525218	X	5525229	12	**22**
		У1	5286225	У2	5286227	У	5286226	-33	
After 30 minutes of work									
"MilChat"		X1	5525248	X2	5525234	X	5525241	0	**2,5**
		У1	5286200	У2	5286200	У	5286200	-7	
" **Basalt- M**"		X1	5525248	X2	5525237	X	5525242,5	-1,5	**1**
		У1	5286192	У2	5286200	У	5286196	-3	
" **Kropyva** "		X1	5525247	X2	5525234	X	5525240,5	0,5	**0,75**
		У1	5286189	У2	5286194	У	5286191,5	1,5	
"Artos"		X1	5525249	X2	5525264	X	5525256,5	-15,5	**3**
		У1	5286196	У2	5286205	У	5286200,5	-7,5	
" **Ukrop** "		X1	5525231	X2	5525207	X	5525219	22	**20**
		У1	5286212	У2	5286212	У	5286212	-19	

After switching on all devices and programs, 3 measurements were assembled at one point: the first - immediately after switching on, the second - after 15 minutes, the third - after 30 minutes. This was done in order to increase the reliability and reliability of measurements, to avoid accidental errors in determining the rectangular coordinates.

After comparing the measurements and determining the deviations from the reference data by different software, we note that immediately after switching on MilChat provides an error - 3 m,

"Basalt-M" - 9 m, "Kropyva" - 15 m, "Artos" - "Ukrop"- 28 m. The slightest error immediately after turning on the MilChat software, but keep in mind that "Kropyva" provided the coordinates on the phone 1-2 times faster than all other devices, and the accuracy did not deviate significantly from other programs. After comparing the measurements and determining the deflection 15 minutes after switching on, MilChat provides an error - 3 m, "Basalt-M" - 1 m, "Kropyva" - 1.5 m, "Artos" - 3 m, "Ukrop" - 22 m. Thus, MilChat continued to display data with the same error, "Basalt-M" improved the accuracy of determining coordinates from 9 m to 1 m, "Kropyva" - from 15 m to 1.5 m, "Artos" - from 14 m to 3 m. m, and "Ukrop" - from 28 m to 22 m. All devices, working at a point of 15 minutes improved coordinate accuracy, with the exception of MilChat. After 30 minutes after switching on MilChat gives an error - 2.5 m, "Basalt-M" - 1 m, "Kropyva" - 0.75 m, "Artos" - 3 m, "Ukrop" - 20 m. So, MilChat, "Basalt- M "and" Artos " did not change the accuracy of the definitions, "Kropyva"improved the accuracy to 0.75 m, and "Ukrop" from 22 to 20 meters (Table 1).

After analyzing the results of measurements, you can depend on the duration of measurements at the point and the accuracy of determining the coordinates. However, after 30 minutes indicators do not change and remain stable despite the duration of measurements, for this purpose the measurement was continued with fixation of accuracy in time intervals of 45 minutes, 1 hour and 1 hour 30 minutes, but the data of the devices have not changed.

Therefore, up to 30 minutes the accuracy of coordinate determination changes, especially noticeable changes in the results after switching on (the so-called "cold start") with the results after 30 minutes of work. Over time, the accuracy of determining the coordinates increases. This is due to the number of space navigation devices from which the receiver receives signals and the value of G-DOP - a factor in the geometric location of the satellites working constellation.

Conclusions. Studies have shown that external factors affect the accuracy and timing of coordinates determining. These results meet the requirements for topographic and geodetic reference of positions, posts and points of missile troops and artillery. The openness of the celestial sphere is essential. Operation of the device in the settlements of dense building, in a gorge or in other conditions of the closed sky the unstable accuracy of definitions is possible. When choosing the point whose coordinates are determined, the commander must ensure maximum openness of the celestial sphere, and when assessing the accuracy of determining the coordinates to be guided by the calculated average error of the device. According to the analysis of coordinates determining accuracy, the highest accuracy was demonstrated by SN-3003M "Basalt-M" and CA "Kropyva", other means meet the requirements for the accuracy of topogeodesic reference, but showed a slightly worse result.

References

1. Bovda E.M., Pluhovyy YU.A., Romanyuk V.A. Conceptual bases of synthesis of the automated communication control system for military purpose.
Digest of scientific works of MITIT. 2016. № 1. S. 6–18.

2. Boyko V. M. Directions for improving the organizational and technical basis of the system for ensuring the unity of navigation and time measurements in the Armed Forces of Ukraine. *Metrology and devices*. 2012. № 5. S. 59–64.

3. Boyko V.M., Havrylov A.B., Rondin YU.P. On the issue of technical equipment of the workplace for verification (certification) of satellite navigation equipment of consumers in the Armed Forces of Ukraine. *Metrology and devices*. 2013. № 1. S. 56–61.

4. Vodyanykh A.A., Tymchuk V.YU., Kondratyuk I.O., Zarudnyev D.I. Technical characteristics of navigation equipment SN23003M "Basalt". *Military-technical digest.* 2011. № 1. S. 198–205.

5. Havrylov A.B., Krasyns′kyy S.V. Some views on the problematic issues of metrological support organization through the prism of metrological examination of documentation on armaments and military equipment being developed (modernized). *Weapons systems and military equipment*. 2010. № 1. S. 48–54.

UDC 621.314

IMPROVING OF SINUSOIDAL FORM OF THE OUTPUT VOLTAGE IN SEMICONDUCTOR CONVERTERS

PhD, Associate Professor Nerubatskyi Volodymyr, Postgraduate Hordiienko Denys
Ukrainian State University of Railway Transport

Autonomous voltage inverters are one of the most widely used in industry, as well as in the transport of semiconductor power converters [1–4]. In cases where autonomous voltage inverters are used in power supply and control systems of asynchronous and synchronous electric drives, the quality, namely the harmonic composition of the output voltage is not critical, so the motor torque is provided by sinusoidal output current [5, 6]. In a number of technical programs, the quality of the output voltage of stand-alone voltage inverters is a critical parameter.

An example of such autonomous voltage inverters are converters in the composition of electricity generation systems from renewable and alternative power sources, which is shown in Fig. 1.

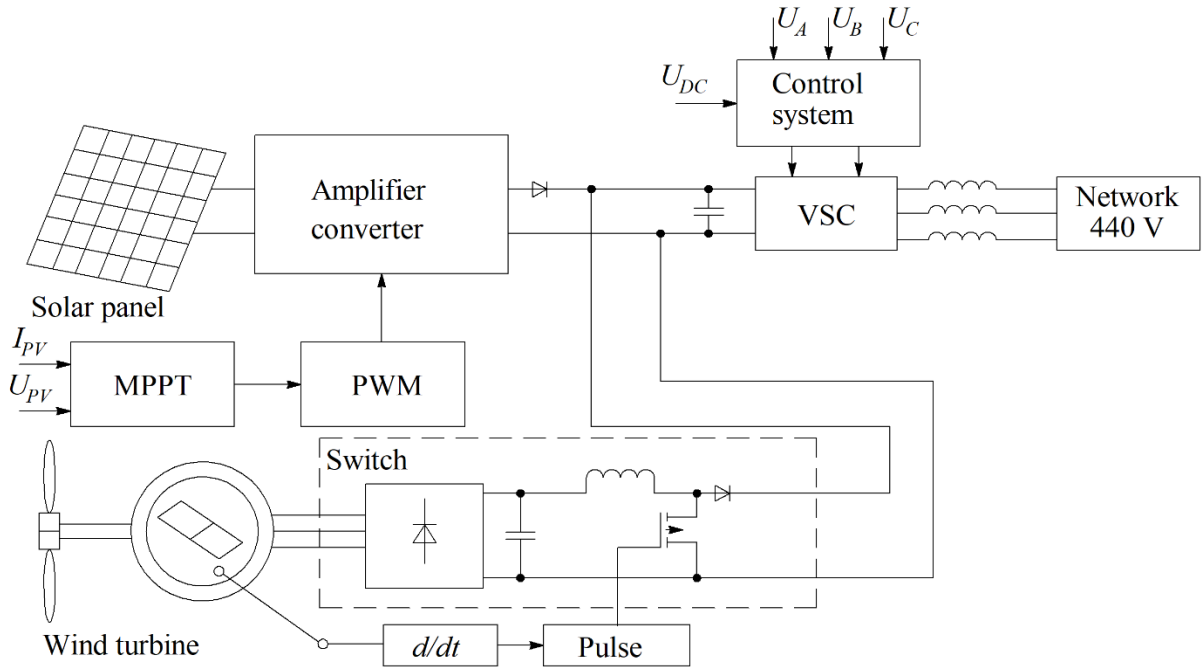


Figure 1 – Converters in the composition of electricity generation systems from renewable and alternative power sources

The task of power semiconductor converters working with alternative energy sources is to generate electricity in the general industrial network or to create an autonomous power supply system [7, 8]. The basic requirements for the quality of electricity generated by voltage inverters are regulated by international standards [9, 10].

Requirements for the allowable value of the total voltage harmonic distortion (*THD*) in general industrial electrical networks in accordance with the international standard IEEE-519 are given in Table 1.

Table 1 – Limits of voltage distortion for harmonics

Voltage value	U_b (%)	THD_U (%)
$U < 69$ kV	3	5
69 kV $\leq U <$ 161 kV	1.5	2.5
$U \geq 161$ kV	1	1.5

THD_U is determined according to the expression [11, 12]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}. \quad (1)$$

It is possible to ensure high quality output voltage of two-level inverters by using output sinusoidal filters. The advantage of this solution is the ability to ensure high quality output voltage with minimal economic costs [13, 14].

To meet the requirements for the harmonic distortion coefficient of the shape of the output voltage of the sine filter less than 5 %, the amplitude of the higher harmonics from the voltage inverter must be suppressed [15, 16]. The resonant frequency of the filter must be related to the modulation frequency of the inverter in two orders:

$$f_C = \frac{F_{PWM}}{100}, \quad (2)$$

where f_C is the cutoff frequency of the LC filter, F_{PWM} is the PWM frequency in the self-commutated voltage inverter.

A simulation model was developed in Matlab / Simulink software to confirm the formation of a sinusoidal shape of the output voltage of a sinusoidal filter with a THD_U value < 5 % and limiting the starting current of the filter capacitors. The developed simulation model of the studied system is shown in Fig. 2.

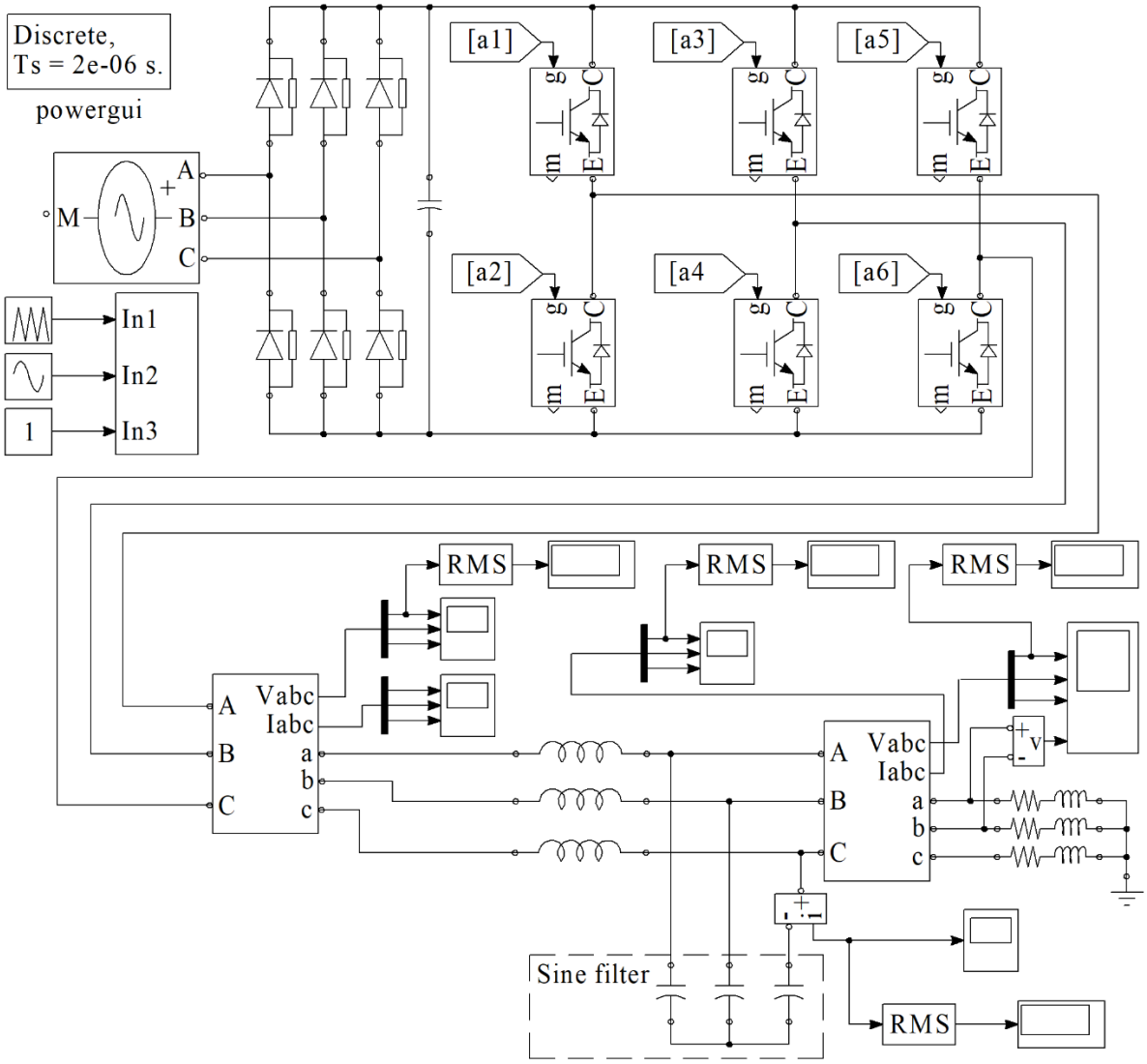


Figure 2 – Simulation model with sine filter

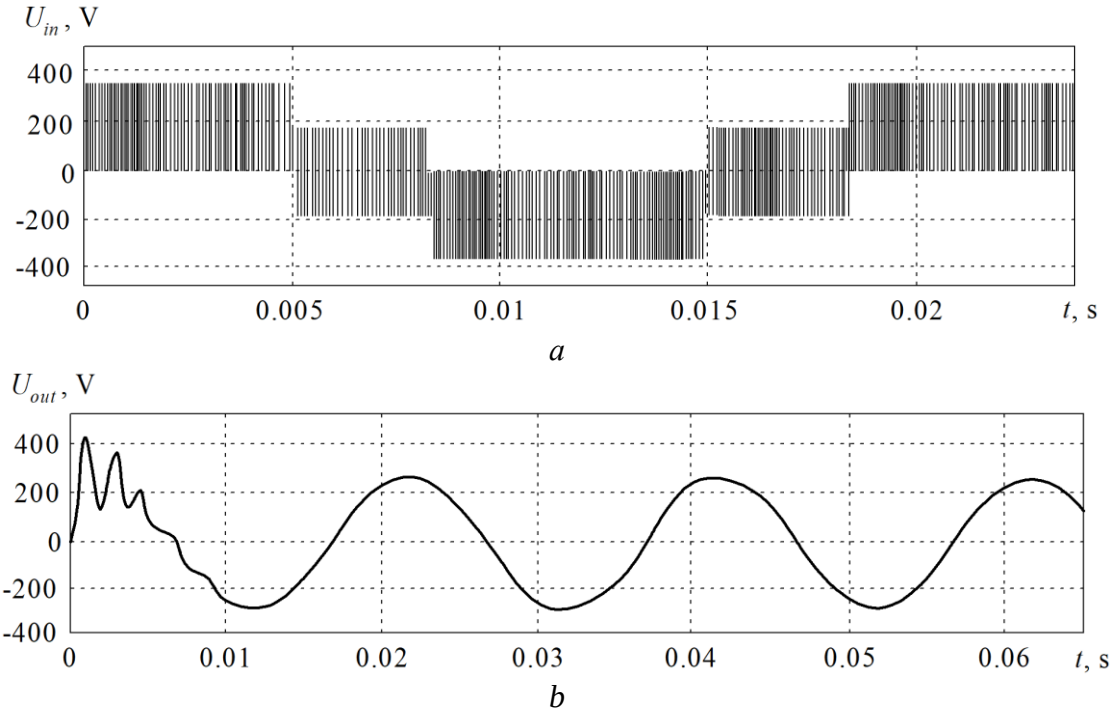
Taking into account the modulation frequency of the voltage inverter, the requirements for limiting the allowable value of the starting current of the filter capacitor and the requirement to ensure the harmonic distortion ratio relative to the IEEE-519 standard, the inductance and capacitance of the sine filter can be determined by:

$$L = \sqrt{\frac{1}{\left(\pi \cdot F_{PWM}\right)^2} \cdot \left(\frac{U_{DC}}{2,7 \cdot I_{\max} \cdot K_1}\right)^2}; \tag{3}$$

$$C = \sqrt{\frac{\frac{1}{\left(\pi \cdot F_{PWM}\right)^2}}{\left(\frac{U_{DC}}{2,7 \cdot I_{\max} \cdot K_1}\right)^2}}, \tag{4}$$

where U_{DC} is the inverter DC voltage, $I_{\max}$ is the maximum allowable inverter current, K_1 is the set current margin factor, F_{PWM} is the inverter PWM frequency.

In Fig. 3 shows the results of simulation of a frequency converter with a sine filter.



a

b

Figure 3 – The results of simulation:
a – the shape of the input phase voltage of the sine filter;
b – the shape of the output phase voltage of the sine filter

As can be seen from Fig. 3, the shape of the output voltage of the sinusoidal filter after the transition process is almost sinusoidal.

A feature of the method (equations 3, 4) is to determine the filter parameters that provide sinusoidal output voltage $THD_U < 5$ %, taking into account the PWM modulation frequency of the voltage inverter and taking into account the requirements of limiting the starting current of the filter capacitor.

1. Хоменко І. В., Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Стасюк І. В. Електроенергетика України. Структура, керування, інновації: монографія. Харків: НТУ «ХПІ», ТОВ «Планета-Прінт». 2020. 132 с.
2. Rylatt R. M. Exploring Smart Grid possibilities: a complex system modelling approach. Smart Grid. Vol. 1, No. 1. 2015. P. 1–15.

3. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Контроль і планування енерговикористання на залізничному транспорті. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології». 2019. С. 227–230.
4. Suslov K., Solonina N., Stepanov V. A principle of power quality control in the intelligent distribution networks. 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). 2015.P. 260–264. DOI: 10.1109/SEDST.2015.7315218.
5. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Застосування енергетичного аудиту з метою зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів тяговим рухомим складом залізниць. Тези стендових доповідей та виступів учасників 32-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». 2019. № 4 (додаток). С. 13–14.
6. Ganesh P., Shanmugavadivu N., Santha K. Single-Phase 63-Level Modular Multilevel Inverter fed Induction Motor Drive for Solar PV Applications. 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES). 2018. P. 596–604. DOI: 10.1109/icees.2018.8443287.
7. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Підвищення енергоефективності системи тягового електропостачання електричного рухомого складу за допомогою інтегрованої системи Smart Grid. Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики». Херсон: ПП «Резнік». 2020. С. 165–168.
8. Kumar S. S., Sasikumar M. An approach of hybrid modulation in fusion seven-level cascaded multilevel inverter accomplishment to IM drive system. 2016 Second International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM). 2016. P. 383–387. DOI: 10.1109/iconstem.2016.7560980.
9. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Інтелектуальне багаторівневе управління на залізничному транспорті. Тези доповідей першої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології. Трускавець-Харків, 24-30 січня. 2020. С. 90–92.
10. Ahmadzadeh T., Sabahi M., Babaei M. Modified PWM control method for neutral point clamped multilevel inverters. 14th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). 2017. P. 765–768.
11. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Tsybulnyk V., Philipjeva M., Korneliuk S. Energy efficient conversion system of a distributed solar photovoltaic station with power filtration function. International scientific journal «Industry 4.0». Vol. 5, Issue 5. 2020. P. 214–217.
12. Gupta K. K., Jain S. A multilevel Voltage Source Inverter (VSI) to maximize the number of levels in output waveform. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2013. Vol. 44. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.ijepes.2012.07.008.
13. Kaszewski A., Ufnalski B., Grzesiak L. M. The LQ controller for the 3-phase 4-leg inverter with an LC output filter – Choosing the right reference frame. 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE). 2013. P. 484–493. DOI: 10.1109/epe.2013.6631891.
14. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А., Веренко Л. І. Особливості використання рекуперативного гальмування на електричному рухомому складі електрифікованих залізниць постійного струму. Тези стендових доповідей та виступів учасників 33-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків, 30 жовтня. 2020. № 3 (додаток). С. 26–27.
15. Vdovin V. V., Kotin D. A., Pankratov V. V. Parameters determination in the sine filters for AFE converters and VSI with PWM. 2014 15th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2014. P. 383–386. DOI: 10.1109/edm.2014.6882553.
16. Schobre T., Mallwitz R., Automated Design Method for Sine Wave Filters in Motor Drive Applications with SiC-Inverters. 2020 22nd European Conference on Power Electronics and Applications. 2020. DOI: 10.23919/EPE20ECCEEurope43536.2020.9215952.

UDK 621.372.852.018.7.072.8-533.7; 519.254

WAVELET-BASED CONTROLLER OF ACTIVE POWER FILTER

c.t.s., ass. prof. Povorozniuk N.I., first -year student Trynus N.V.
Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute, department theory electrical engineering

Introduction. The widespread introduction in the power industry of consumers with nonlinear characteristics operating in the switching mode has led to a decrease power quality. The main types of distortion are: distortion of the shape of currents and voltages, that is, the appearance of higher harmonics, a decrease in the power factor, asymmetry of three-phase currents, voltage drop and overvoltage, etc. Such distortions of the power supply led to overheating and failure of devices, triggering the protection system. Economic losses from low power quality amount to hundreds of billions of dollars; therefore, quality indicators are standardized by international [1, 2] and national standards [3].

One of the most effective ways to improve power quality is the use of active power filters [4].

The purpose of the work. The purpose of the work is to construct an active power filter controller model. Develop an active power filter controller structure in a Matlab / Simulink environment based on wavelet analysis.

Materials and research results. The principle of the shunt active power filter is to generate currents of the form that would offset the distortion of the energy source currents. The structure of such a filter is shown in Fig. 1.

The main device of the active power filter is an IGBT inverter, which converts the energy accumulated on the capacitor into three-phase compensation currents. To control the operation of the inverter, a control device is provided - a controller consisting of the following parts: three-phase voltage and current sensors, a synchronizer, a distortion identifier, a current controller, and gating signal generator.

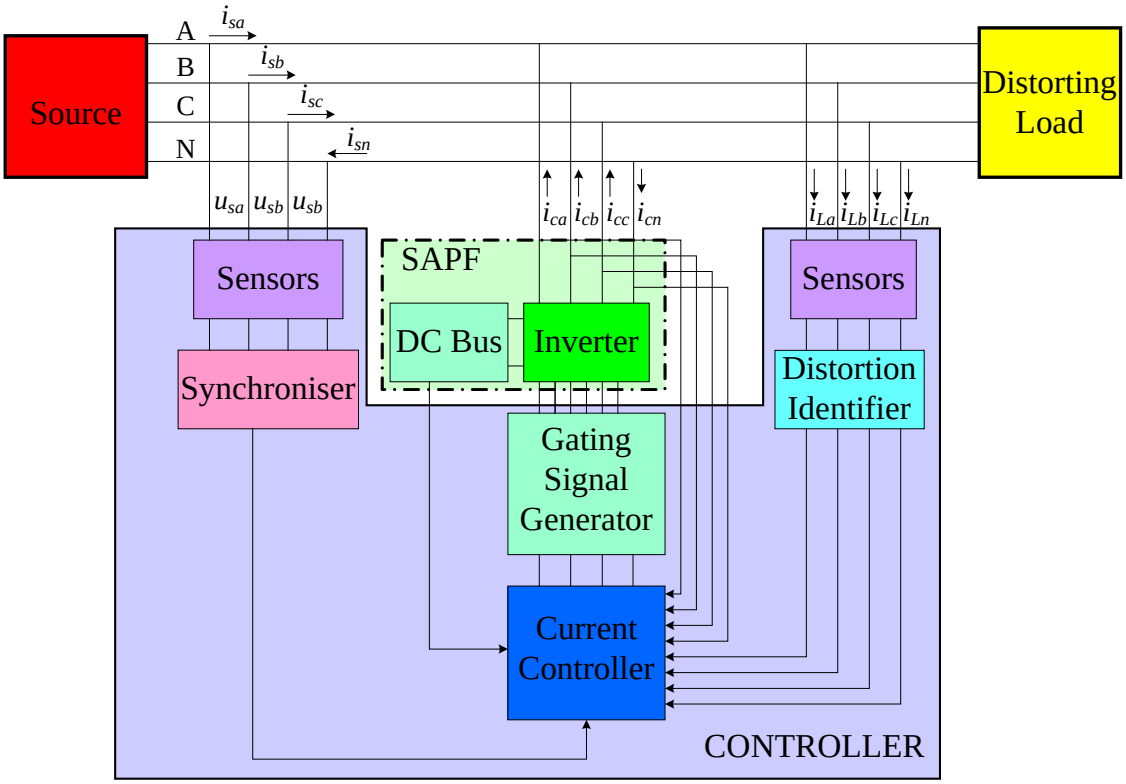


Fig. 1 – Shunt Active Power Filter

The Shunt Active Power Filter (SAPF) controller works in this way. Information on the state of the voltages and currents in the electrical network is perceived by sensors and submitted for further processing. Voltage information is sent to the synchronization device, which coordinates the operation of all devices of the controller. Information about distorted currents of a network enters the identifier of distortions.

The distortion identifier split the three-phase load currents $i_{La,}$ i_{Lb}, i_{Lc} into two components: the fundamental harmonic $i^*_{La,}$ i^*_{Lb}, i^*_{Lc} and the distortion components i_{Lad}, i_{Lbd}, i_{Lcd}

$$i_{La} = i^*_{La} + i_{Lad}; \quad i_{Lb} = i^*_{Lb} + i_{Lbd}; \quad i_{Lc} = i^*_{Lc} + i_{Lcd}. \qquad (1)$$

Several methods are used to identify distortions in both time and frequency domain. In particular, the frequency domain traditionally uses the Fourier analysis, which uses the Fast Fourier Transform (FFT) algorithm. Fourier analysis should be used for stationary signals whose characterization does not change over time. In modern power supply networks, short-term voltage and overvoltage, flicker noise and other distortions with fast changes in time are observed. To analyze such nonstationary signals, it is expedient to use wavelet transforms with resolution both in time and frequency. The selected basic harmonics of signals are compared in the controller of currents with load currents and distortion signals are generated. These signals are fed to the IGBT gate of the transistors that control the operation of the inverter.

In contrast to the traditional wavelet transform at frequencies of multiple powers of 2, wavelet transformations were applied to the fundamental and multiple harmonics.

Conclusion. In the Matlab / Simulink environment, the model of the controller of the active power filter was constructed and the controller's work was analyzed for various kinds of distortions. The results of computer simulation showed the efficiency and accuracy of the controller, especially for distortions with high dynamic characteristics.

References

1. IEEE Std 1159–2009, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality; IEEE Power & Energy Society: New York, NY, USA, 2009.

2. CEI/IEC 61000–4-30 International Standard. Testing and Measurement Techniques—Power Quality Measurement Methods, 1st ed.; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2003.

3. ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”

4. P. Dey, S. Mekhilef (2015), Current Controllers of Active Power Filter for Power Quality Improvement: A Technical Analysis AUTOMATIKA 56(2015) 1, 42–54

Performance Management of Electric Load Forecasting for Power Systems: A Review

Malik U. Dilawar
Sir Syed CASE Institute of Technology,
Islamabad, Pakistan
ud_malik@hotmail.com

Atif Ali
PMAS Arid Agriculture University
Rawalpindi, Pakistan
atif.alii@yahoo.com

***Abstract*—Electric Load Forecasting (ELF) is one of the challenges being faced by the power system industry. With the ever growing consumer's demand, power generating companies are struggling to manage and provide un-interrupted power supply to the users. Over the past few decades, introduction of smart grids and power deregulation has changed the dynamics of load forecasting. Most of the research is now focused towards short term load forecasting (STLF) involving an hour to a week's time forecasting. Various techniques are being used for accurately predicting the electric load. However, gold standards are yet to be defined mainly because of the variety, non-linearity and un-predictive form of the subject. In this study critical review of 25 publications has been carried out to find the most efficient method being used for ELF. Novelty of this study is that comparative as well as scientific analysis is carried out to find the most proficient techniques for load forecasting. Also, various parameters are combined for comparison in this study after analysis of published reviews on the subject. Artificial Neural Networks (ANN) and Auto Regressive Moving Average (ARMA) models outperform other methods basing upon statistical analysis i.e. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and comparative acceptance, in research community.**

***Index Terms*— Strategic management, Performance management, Electric load forecasting, Power load, Modelling electricity loads, Long term/ Short term forecasting.**

I. INTRODUCTION

Electric load forecasting (ELF) has been a prime area of concern since the advent of electricity. The predictions about future load helps power utility companies in planning to meet the power generation with consumer's demands. ELF is also one of the significant factors for regulatory bodies, industries, trading and insurance companies [1]. With the technological advancement integration of smart devices in various technical fields has become a norm and power industry is not an exception. Additionally, inclination towards renewable energies, due to global warming issues, resulted into the introduction of smart equipment in power generation and grid systems. Same has resulted in availability of digitized data which on the other hand became helpful for analysis and future prediction [2]. The consumer's demand of electricity is increasing day by day, as the world has moved towards an automated version of almost everything. Traditional power generating companies are facing challenges to meet user demands and their returns on investments are declining. A strong change in the power sector is observed during 1990's with the process of deregulation and market competition [3]. On the other hand development of smart electronics devices have gained popularity in generating power more efficiently. The volatility of electricity is adamant with the fact that it has to be provided promptly. Huge amount of electricity cannot be stored hence equating generation with the user demands is a tough task. ELF has thus emerged as a vibrant field for scientific community. An accurate load prediction enables decision making by the power operators. Power industry thus invested a lot in this field to compete in the market and to avoid burning extra fuel or running machinery to generate abundant amount of electricity.

ELF is generally categorized in long, medium and short term forecasting on the temporal basis. Though no standard categorization has been laid so far and all of them are interconnected in the broader perspective. Long Term Load Forecasting (LTLF) - forecasting for 3 years or more. For less than 3 year time period, it is termed as medium forecasting (MTLF). Finally, in short term (STLF), forecasting is carried out from an hour/ half-hour to a week times [1]. With the growing renewable power generation systems, introduction of smart grid systems and trend of privatizations, the short term and very short-term forecasting have gained popularity. In this study critical review will be carried out to look for the best technique being used for electric load forecasting. Rest of the paper is divided in four major parts. In the first part literature review is carried out, the next one describes the research methodology applied in this study. Findings with comparative analysis and results is explained in next part. Finally discussion is carried out before concluding the study.

II. LITERATURE REVIEW

Calculation of load is one of the significant factors for power companies. All the operations and planning of power generation, transmission, maintenance etc are based upon the future load value. The forecasting helps in decision making as well as reducing the risk of non-availability of power. Several conventional methods of forecasting are already in practice. Over the period of time various techniques have been researched to improve the load forecasting.

The qualitative methods forecast based upon the opinions and discussion with domain experts. These methods are employed when historical data is not available for a forthcoming event. Estimates are generally vague and can lead to a blackout. The Quantitative techniques involve Time Series Analysis and Econometric Analysis. In time series a variable of interest is defined such that its value is estimated relying on the elevant historical data. Base band model, Trend model, Linear Regression models are few examples. Econometric analysis considers the drivers such as business index, weather index etc such that they further lead to estimate demand requirements. Recently, Artificial Intelligence (AI) has out-performed the conventional methods in the fields where non-linear and complex data is involved. The non-linear demands, transmission losses, climate factors etc and their relationships have made the load forecasting a potential field for AI techniques. Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machines (SVM), Genetic Algorithm, Fuzzy Logic, Self-Organizing Maps, Extreme Learning Machines are few other AI techniques that can also be employed in load forecasting. Various reviews and analysis done on the subject are consulted to develop a comprehensive meta-analysis approach for this study. The methods followed by the authors are depicted in the Table 1.

Main contributions of this paper are:

- Results are generated basing upon comparative as well as statistical analysis of different studies already published in the subject field. Since both analysis have different implications. Comparative analysis show the acceptance of different techniques in the research community. While on the other hand, statistical analysis compare results in mathematical form.
- Previous reviews on ELF are first analyzed to select the parameters for further comparison of various studies on the subject.
- Systematic review is carried out for considering the studies published in various journals. Aim is to cover the subject domain in a wholesome and diverse manner.
- Research community can benefit by realizing the theoretical as well as statistical performance of various methods from this study.

III. RESEARCH APPROACH

Research is an ongoing process where methods and theories are developed and supported by logics and proofs. Meta-analysis is a common field of almost all research disciplines. Its main objective is to combine published methods and theories of one category and compare them with that of another, in a systematic manner to reach some conclusion [9]. It consists of five basic steps involving finding relevant studies on the subject, developing consistent criteria for comparison, recording relevant information from the study as per the criteria, analyzing information to compile them in broad contours and finally drawing conclusion basing upon these findings [10]. Aim of this study is to review the academic literature to explore the most efficient methods being used for STLF. Critical analysis is carried out to analyze the dynamics and performance of various methods and techniques employed.

The general framework of the study comprises of two phases. In the first phase research papers and articles are searched in top most databases on internet centered upon specific keywords. In the next phase developed methods and their results are analyzed statistically. General framework of this research is shown in Fig. 1.

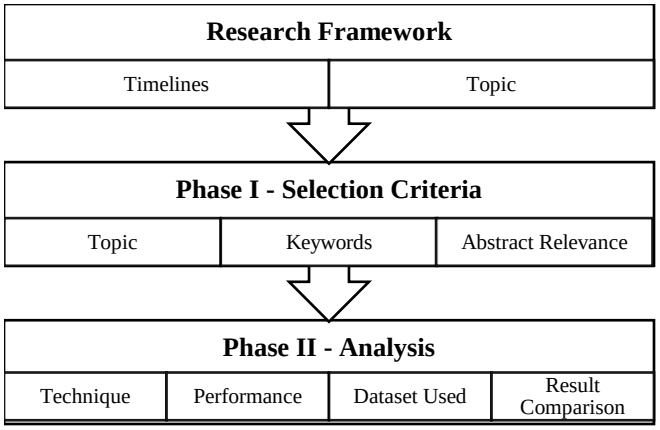
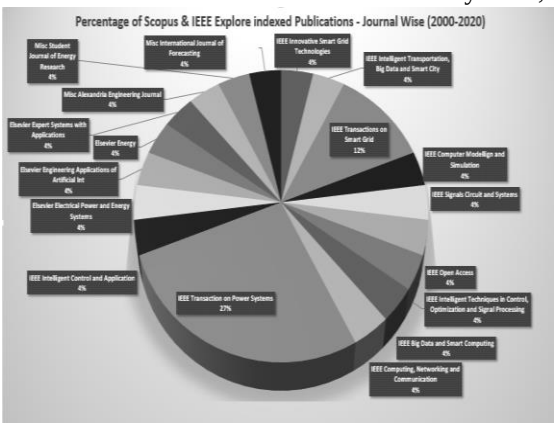


Fig. 1. General Framework

A. Research Catalogue

In phase I, to systematically review the literature, search is mainly carried out from year 2000-2020 by using specific keywords and search engines. Scopus and IEEE Xplore are the most reliable databases in scientific community. Both these databases are used with the keywords, "electric load forecasting", "power load", "modelling electricity loads" and "long term/ Short term forecasting". 8,505 number of papers and articles came out as a result of search initially, including papers from areas of computing, power market and wind energy as well. The advanced research tool is used to narrow down the search to specific area of power engineering which then resulted in 5,009 papers. The search is further refined based upon the title of the papers to locate 1865 papers relevant to electric load forecasting and STLF. Keeping in view the time constraint, scope of the project and resources available 25 papers on STLF are selected for review and meta-analysis purposes. The top most journals that contributed towards the selected topics are found to be IEEE Transactions on Power Systems, IEEE



Graph 1. Journal Wise No of Publications from 2000-2020

RMSE)

Transactions on Power Grids, International Journal of Forecasters and International Journal of Electrical Power and Energy System as shown in the graph below:

B. *A*nalysis Approach

Finally in phase II, each publication is studied in detail for comparative analysis after selecting publications during initial phase. Owing to the variability of consumer's load demands due to various meteorological conditions, socio-economic conditions two pronged approach is applied in this study. Firstly, a specific criteria is developed to analyze and compare the studies in detail. Since each step of the research contribute towards the final results of the studies, criteria is developed in such a sense that it covers complete research methodology. Secondly for statistical analysis the proposed methods are compared as per their Mean Absolute Percentage Error (MAPE) results. This study assumes that all the results published in the studies are correct, methods used by majority of the expert community are best and finally MAPE percentages of the studies are compared.

C. Criteria of Analysis

Different performance measures and results are used in different papers as per their requirements. However, meaningful meta-analysis can only be done on the basis of some criteria. This criteria needs to be selected very thoughtfully, as if it misses the relevant parameters of respective research theme then chances are high that meta-analysis may not be able to make correct assessments. Henceforth, various systematic literature reviews and studies on the subject are consulted before defining comparison criteria for this study. Criteria given in Table 1 are used to compare the papers in this study.

IV. RESEARCH FINDINGS

During this research it is found that a number of techniques are used by researchers while estimating load forecasts. Since, no standardized model exist for the types employed, the rise of multidisciplinary collaborations in scientific community has made the types of techniques more ambiguous to categorize. However it is found that most of the expert community has classified techniques in two main areas; statistical and artificial intelligence based as shown below.

A. Statistical Methods

These econometrics based mathematical models are generally based on relationships between two or more variables. The relationship is multiplicative or additive in nature. These techniques mostly use the historical load series to forecast the future load [11].

1) Auto regressive (AR) and *Moving Average (MA)*

These are two basic models used for studying the statistical properties of a non-stationary process. Mostly researchers use their different combinations for forecasting purposes. ARMA model is actually the integration of AR and MA models [12]. In the AR model, present value of a load series can be expressed in the form of combination of past loads [13]. This model can be used to predict the load value based upon past values of the load having some correlation. The equation of AR model can be written as follows:

$$y_k - \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \, y_{k-i} = e_k$$

Where α_i's are the unknown coefficients of AR Model,$e_k$is the random noise and p the order of AR model that tells us the no of past values involved in the process. The MA model are used where load value is forecasted from past values of the input random noise values. The equation can be written as:

$$y_k = e_k + \sum_{i=1}^{q} \beta_i \, e_{k-1}$$

Where β_i's are the unknown coefficients of the Model, $e_k$is the random noiseand q the order of MA model. Written in the notation of ARMA (p, q) these models combine strengths of AR and MA model to forecast the load value. Present values of load can be expressed in the form of past values of load and current and past value of noise, as shown in the equation below:

$$y_k - \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \, y_{k-1} = e_k + \sum_{i=1}^{q} \beta_i \, e_{k-i}$$

[13] developed an ARMA model by adding Gaussian noise to incorporate nonlinearity and then selecting a suitable model, with an order, to predict load. Parameters are estimated using gradient based methods and finally model is validated for its adequacy with the real data. The model performed well a compared to simple ARMA and ANN. [12] developed a basic ARMA model and compared it with Projection Pursuit Regression (PPR) to be better performing.

Another variant is Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA), which take into account the non-linearity involved in a time series. The AR, MA and ARMA models are applicable for stationary processes only. However, when non-stationary data is involved, data has to be transformed to a stationary form. The equation of the ARIMA model is:

$$\alpha(B). \bigvee d \; . \; y_k = \beta(B). \; e_k$$

Where α, β are the unknown coefficients. e_k defines the noise. [14] employed modified version of ARIMA model by incorporating temperature and operator's knowledge in to the model. The proposed model performed better than the ARMA model for predicting next year's hourly data. The ARMA and ARIMA are used successfully by [11] to forecast the load for Kuwaiti electric network. Their approach is to mainly use segmentation and decomposition of time series into similar regions and contours to make the forecast.

2) Kalman Filtering Algorithm

The long term forecasting is generally termed by a certain level of un-certainty. To cope up with this, Kalman Filters were introduced in 1960 to minimize the mean of the squared model's error. The algorithm comprises of a set of equations that gives efficient recursive means to estimate the state of an observed sequence [15]. This technique has few powerful characteristics where it can control the highly noisy systems as well as cater for small unknown variables of the system. In load forecasting the unknown variables like weather, abrupt load demands, and customer's requirements can be addressed by this algorithm. The mechanism works in two stages. In the predictor stage, the algorithm predicts load's current state based upon its previous states along-with its covariance and in the corrector

stage information from metering device is collected to and estimated state vector is updated by employing the weighted average. The Kalman Filter method generally does not take into account the non-linear issues of the load forecasting. Hence its modified versions are employed as done by [15]. They proposed modified Kalman Filter versions Extended Kalman Filter (EKF) and Unscented Kalman Filters (UKF) to better estimate the non-linear behavior using Jacobian Matrices.

3) Regression Models

Regression models are widely used statistical methods in forecasting. Main gist is learning more about the relationship between dependent and independent variables of the process. Multiple regression is based on minimizing the sum of squares of difference between observed and predicted values. [16] used regression technique to develop a semi parametric additive model for 24 hour demand forecast. They developed 48 models, on half hourly basis, using selected historical load and temperature data. Forecast residuals and forecast errors are calculated using modified bootstrap method and finally empirical distributions are constructed around the forecast errors for load prediction.

4) Non-Linear Predictors

Non-linear dynamics of power industry is explored using non-linear chaotic dynamic and evolutionary strategy by many studies. [17] used non-linear chaotic dynamic based predictor PREDICT2 for analysis of non-linear load during training stage with emphasis on the optimization of the objective function. A new Evolutionary strategy is proposed to solve the optimization problem with candidate solution vector, having a random value with standard deviation. [18] applied Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU) networks to remove gradient problems in the past load data for ELF.

5) Exponential Smoothing (ES)

This forecasting technique works on the weighted average of the past observations. Highest weight is given to the present value of the load, then next lower weight to the preceding value of the present value and even lower to the observation before. Due to the simplicity and accuracy ES technique is used quite frequently for the load forecasting. The ES techniques have been divided into three further divisions. Single exponential smoothing (Brown's Method) used when there is no pattern in the given data, Double exponential smoothing (Holt's Method) when trend is observed in the data and finally Triple Exponential Smoothing (Holt Winters Method) when data reveals significant seasonal configurations. [19] developed five ES weighted models including a Singular Value Decomposition SVD based model to reduce the data to lower dimensions with uncorrelated variables. In [20] they proved that their proposed Seasonal Holt Winters Exponential Smoothing method out performed ARMA and PCA models. They used the models to forecast seasonal demands of European data. They added an additional index and smoothing equation for forecasting the load. Also, ARMA and PCA models are developed to compare the performance. [21] calculated load forecast for Irish market using Double Seasonal Holt Winter's Exponential Smoothing with Error Correction. Seasonal parameters are initialized from the historical load data and model is proposed using the exponential smoothing algorithm. Finally GRG nonlinear error of predicted value and actual data is calculated.

B. Artificial Intelligence (AI) Models

With the advent of advanced technology and high computational powers, AI systems have been developed for forecasting and estimating.

1) Support Vector Machines (SVM)

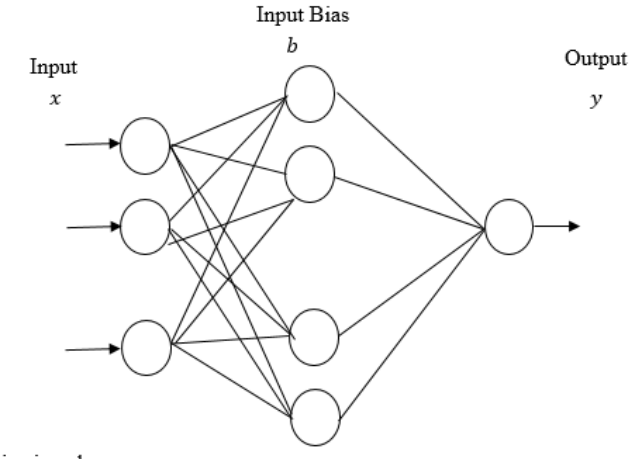
Presented by Vapnik in 1995, the SVM are basically classification and regression techniques. SVM mainly extract the decision rules having satisfactory generalization ability from the training data called support vectors [22]. Input space is mapped nonlinearly into a higher space dimension constructing an optimal hyper plane. In the training phase of the SVM, linearly constrained quadratic programming is carried out which is unique but time consuming. [23] used Self Organizing Mapping (SOM) technique to organize the input data into clusters. SVMs are then applied on each data subset to forecast the load for next day. This hybrid method proved helpful in addressing the non-stationary load time series. [22] and [24] applied VMD is applied to decompose input data into sub series based on certain center frequency and bandwidth. Nonlinear mapping function is used to map data in high dimension where SVR function is used to relate forecast value with input.

2) Artificial Neural Network (ANN)

Developed in 1990 by Warren McCulloch and Walter Pitts, the ANN have been applied in several areas including forecasting and classifications [25]. ANN is basically a non-linear circuit that can perform non-linear curve fitting. It processes information in line with the human biological systems. Inspired by the working of human brain, the NN can process the certain piece of information using its basic unit called neuron. Information received at the input node of the neuron is accumulated, processed and then further forwarded to the next neuron through output node. The ANN system is trained on the relevant historical data where it identifies the similarities and patterns of the input data. Then basing upon this prior knowledge about the data and system, the network gives generalized output. In its most simplistic form, the network consists of an input layer, a hidden layer and finally an output layer. Input I is sent to the hidden layer, along-with associated weights, which perform certain function f(x) to give an output. Based upon its topology, the ANN are generally categorized into Feed Forward (FF-NN) and Feedback or Recurrent NN

3) Feed Forward Neural Networks (FF-NN)

Usually preferred for forecasting and consists of various combinations of an input, hidden and an output layers. In its simplistic form Single Layer Perceptron, no hidden layer exists. The forecasts are obtained using linear combination of inputs and weight vectors, which are obtained using learning algorithm that minimized some cost function e-g MSE. With the addition of an intermediate layer, the NN takes the form of Non-Linear Multi-Layer Perceptron (MLP). Neurons are arranged in layers and connected through weight vectors with next layer. Neuron b takes the input from its predecessor neuron, if it exists, computes the weighted sum w, eliminate the bias and gives the output after applying the activation function g.



Equation is given by:

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\beta_j}\, \boldsymbol{g}\left(\boldsymbol{w_j}\,.\,\boldsymbol{x_i} + \boldsymbol{b_j}\right) = \boldsymbol{y_i}$$

Where, x_i is the input, w_j is the weight, b is the neuron of hidden layers.

4) Feedback Neural Networks

Unlike the FF-NN, the feedback NN is dynamic in nature. Their output depends on the state of the system. Whenever a new input pattern in given the output of neurons are computed. Feedback of the neurons are modified due to the feedback system and hence the NN enters into a new state. To overcome the vanishing gradient problem of the NN, Nonlinear Autoregressive Models with Exogenous Inputs (NARX) has been developed. This three layer FF-NN with good learning capabilities has sigmoid activation function in its hidden layer, linear activation function in output layer and delay lines for storing previous predicted values.

NN based STLF has been enhanced using Multi-resolution analysis (MRA) by [26]. Four models are developed with different input variables among load, temperature, differenced load from first model and MRA with differenced load. The final models comprises of sub-models of first three models to decompose the load series using individual fitting. Proposed Model with load, temperature and first order differenced load as input predicted the load most accurately. [25] also proposed Wavelet based NN (WNN), using previously used algorithms for generation, selection and generalization, to compare its prediction performance. However, they concluded that results of WNN are comparable with naïve methods and MLP NN on GEFCom dataset. [27] improved the BP NN with introduction of GA. They used PSO to improve the convergence speed and PCA to reduce the matrix dimensionality.

[28] introduced Artificial Immune System with ANN. Aim is to check benefits of the robust AIS like computational strengths as its distributed, diverse with anomaly detection and self-organizing learning abilities. The performance of AIS based FF-NN has comparable results on MAPE scale with that of BP NN. However, further studies may reveal true potential of AIS in the field. Different types and scale of NN have been in use for last two decades by the researchers for load forecasting. Having received considerable success, the NN are also criticized for having too many input parameters which can lead towards data over fitting. [29] conducted a detailed review of various models of NN with traditional statistical methods. They compared large NN with linear models including Naïve forecasting, methods with one and more smoothing filters, smoothing filters with linear regression combination of smoothing filers and NN. Conclusion is that large NN can perform well because they consider more historical data and also they have ability of interpolating high dimensional functions which improves the profile load forecasting. [30] also worked to investigate the non-linear characteristics of the power load series is identified using MLP. An attractor is then developed in phase plane to train ANN. [31] proposed a set of probabilistic models as constrained quantile regression models to average and predict the future data.

While using NN [32] employed wavelet based ensemble scheme. Selection of mother wavelet and decomposition level is a tricky affair. Here ensemble of wavelets is used and their output is aggregated to get the best features as output. Wavelet based ensemble networks, algorithm incorporating Levenberg–Marquardt **(**LM) for improved learning, Conditional Mutual Information Feature Selection (CMIFS) method is employed for feature selection and Partial Least Square Regression (PLSR) is used for forecasting purposes. In another scheme, [33] exploited that NN learn dynamics of load without memorizing the data for long time with accurate results. Challenges are faced while extrapolating the relationships different from those extracted from training data. Five models of three layered FF NN are used for forecasting. Redundant hidden neurons are also eliminated by observing duplication in co-linearity with the output.

C. Hybrid Models

Applications of combining strengths of different models into a hybrid models have been published by many in the past. Also, for the load forecasting various methods have been combined to produce efficient methods. The probabilistic nature of power systems, make it a potential field for employing various methods to estimate the forecast for time ahead.

V. RESULTS

Since there is no gold standard yet for types of forecasting and methods for prediction, reviewers take into considerations various assumptions to while comparing the publications. This study assumes that all the results published in the studies are correct, methods used by majority of the expert community are best. However, for statistical analysis MAPE percentages of all studies are also compared.

A. Comparative Analysis

After selecting publications for this study during initial phase, each publication is studied in detail for comparative analysis. The dynamics of topic and unpredictability of load influence the researchers to use different variables and performance standards to measure their proposed methods. In addition, heterogeneity of data due to socio-economic conditions and consumer's profile, non-linear environmental conditions including weather, humidity for different countries add complexity to the comparison of studies. At times a simple or a particular method favor a particular situation even than the sophisticated techniques. Main objective is on the fields mentioned in the Table I of basis of comparison including

Proposed Method, Data set used, Overview and Prediction Term. ANN stands out to be the most used methods for ELF, after going through all the publications during this study as shown in the graph below. Eleven out of 25 publications used ANN in its one form or the other. ARMA based models are next most frequently used method for ELF by the researchers.

B. Statistical Analysis

For performance measurement, researchers have used various forecasting standards like including Mean Absolute Percentage

TABLE II
COMPARISON OF STUDIES

Ser	Paper	Technique	Dataset/ Training & Testing	Overview
1.	[12]	Hybrid using Auto-regression Integrated moving average (ARIMA) & projection pursuit regression (PPR)	5 min interval time series of Sichuan Electric Power Company, China with 864 observations for randomly selected data from 26-28 Sep 2016. 576 for training and 288 for testing out of the total of 864	• ARIMA is modelled estimating its order and parameters using Bayesian Information Criteria (BIC) and correlation function. • Next the PPR model is developed. Integration of both models is carried out to address the linear and non-linear dynamics of the load forecast.
2.	[11]	Hybrid model using Autoregressive Moving Average ARMA and ARIMA.	Daily load data of Kuwaiti Electric network from 2006 – 2008.	• Data is segmented to locate the identical patterns and calculate their probability. Afterwards series is decomposed using MA for load pattern segmentation. • For load forecasting, curve fitting is conducted to identify region similarity, contours and related points.
3.	[13]	ARMA including Gaussian and Non Gaussian Processes	Hourly data of 3 months between 1998-1999 of Taipower Company, Taiwan	• Historical data is processed for Gaussian test using Bi-spectrum process. • If data is Gaussian, second order statistics are calculated otherwise MA model is applied. • Correct model identified in previous step is used to estimate parameter representation of model.
4.	[14]	ARIMA Model integrated with operators knowledge	Hourly load and peak load data from Iran's national grid from 1996-1998. Data from 1996-1997 is used for training, while that of 1998 for testing purposes.	• ARIMA model is proposed considering the historical data, estimating the parameters. • 16 Modified ARIMA models are used for forecasting along-with the temperature and operators knowledge
5.	[18]	Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU) networks	3 year record data of various feeders from West Canada with 1997 records 1,597 records for training and 400 out of total 1997 (80%/20% split ratio)	• Features from past data are collected based upon socio-economic and weather conditions. • Principal component Analysis (PCA) and Normalization of selected features is performed. • LSTM and GRU networks for Many to Many and One to Many configuration is developed. • These networks are better to vanish and explode gradient problems in the data.
6.	[17]	A hybrid approach based on non-linear chaotic dynamic predictor	Hourly electricity load of year 2002 from New England, Albert and Spain. Random selection of 4 weeks, one each in 4 months of a year, for testing. Rest of the data used for training	• The time series data, set as input to the model, is divided into two segments. One segment used to predict data in second segment. • Population is initialized using candidate random variables. Next the population parameters are recombined to produce off-springs and then mutate. • This ES is used to tune the prediction parameters.
7.	[16]	Semi parametric additive models using Modified Bootstrap method	Half hourly demand and temperature data of Melbourne from 1997-2009 from Australian National Electricity Market. Data from 2004-2008 used for training and 2009 data for testing.	• Semi parametric model is developed to forecast demand and temperature values using their historical data. Cross validation is done to select the variables for use in models. • Forecast residuals are calculated by sequentially substituting into random forecasted model values. • Modified bootstrap method is used to obtain forecast errors.
8.	[15]	Modified Non-linear Kalman Filter, Extended Kalman Filter (EKF) and Unscented Kalman Filter (UKF). Weather and Wind Speed data is accumulated from the website.	Reference Energy Disaggregation Dataset (REDD) anonymously collected from Boston, US	• Standard KF is modeled using past data, temperature and wind speed data. • The model predicts the value based on past data along-with its covariance. • The output is recursively updated using the law of minimizing mean square error. • The non-linear Modified filters, EKF and UKF are applied to calculate the prediction.
9.	[12]	ES with Holt Winters, ARIMA and PCA	30 Weeks hourly/ half hourly data of 6/ 4 European countries from Apr – Oct 2005. First 20 weeks of each data is used for training and last 10 weeks for testing.	• Seasonal Holt Winters Exponential Smoothing is applied to forecast two seasonal demands. • Additional seasonal index and extra smoothing equation is added for double seasonal method. • The initial level and seasonal values are estimated by averaging the observations and minimizing squared sum of errors.

				• ARMA and PCA models are also developed to compare the performance
10.	[21]	Double Seasonal Holt-Winters Exponential Smoothing with error correction	Half hourly data of 15 months from an Irish supply company from Jan 2013- March 2014	The seasonal parameters defined in the form of Days, Weeks and Seasons are initialized from the historical load data. The model is proposed using the exponential smoothing algorithm. Finally GRG nonlinear error of predicted value and actual data is calculated.
11.	[19]	Five exponentially weighted methods incl new Singular Value Decomposition SVD based ES	Half hourly observation from 2007-2009, first 2 years used for training and last year for testing	• SVD based approach is used to reduce the data to lower dimensions with uncorrelated variables. • Modified Holt Winter ES (HWT) • Discounted weight regression (DWR)
12.	[23]	Hybrid approach to combine SOM with SVM	Hourly data of one year from 2003-2004 of New York City, US	• In the first stage SOM is used to group the training data with similar properties. • SVM network of 24 machines is then applied with regression and risk minimization principle to forecast next day's load.
13.	[24]	Simulated Annealing with SVM	Taiwanese load data from 1045-2003, 40 years training set from 1945-1984, 10 yrs validation 1985-1994, 9 yrs testing 1995-2003	• The past data is normalized using the simulated annealing algorithms. • Then SVMs are applied for load forecasting. • The proposed model is compared with ARIMA and Regression NN.
14.	[22]	Hybrid model using Variational Mode Decomposition Self Recurrent Support Vector Regression Cuckoo Bird Cuckoo Search (VMD-SR-SVRCBCS)	Half hour load data from National Electricity Market, Queensland, Australia and hourly load data from New York Independent System, USA. Both datasets distributed into 3 x parts for training, validation and testing phase	• VMD is applied to decompose input data into sub series based on certain center frequency and bandwidth. • Nonlinear mapping function is used to map data in high dimension where SVR function is used to relate forecast value with input.
15.	[30]	ANN based on Multilayer Perceptron	Daily peak demand of one year for 1995, 9 months data is used for training and 2 months for testing	• Time series is extended to confirm its chaotic character using correlation dimension and Lyapunov Spectrum. • A state space of differential equation is created for the time series taking into account all its variables. • Then model based on correlation dimension and state space of the data is developed.
16.	[27]	Neural Network optimized using Particle Swarm Optimization (PSO) and Principal component Analysis (PCA)	1 year data of a Power Grid Corporation Previous one year data for training	• PSO is used to initiate the model from initial weights and thresholds. • PCA is used to reduce the input dimension as per the set threshold with GA optimization of the model. • Load is forecasted for next 24 hours.
17.	[28]	Feed Forward-Neural Network (FF-NN) trained by the Artificial Immune System (AIS)	Day, time, temperature and 720 samples each from historical load data of Kuala Lumpur, Malaysia and the other from North Carolina, US 65% of the data is used for training and 35% for testing	• AIS based algorithm is developed with initial weights selected randomly between 0 and 1. • FF-NN on MLP architecture is proposed where input parameters are multiplied with weights. • Regression is performed to correlate the predicted values with the past load series.
18.	[34]	Convolutional Neural Network (CNN) with K Means clustering is employed.	1.4 million records of electricity data from 2012-2014 containing hourly load data from power industry. 1,003,716 samples from 2012 - 2013 are used for training and 469300 samples for testing.	• Raw data is pre-processed, converted into two subsets, training and testing, based upon selected feature analysis using K Means Clustering. • CNN is trained on one subset and then validated on testing subset.
19.	[35]	Feed Forward Deep Neural Network (FF-DNN) and Recurrent Deep Neural Network (R-DNN)	Hourly data of NEW England, USA from 2007-2012 comprising 52600 records. 43824 samples are used for training while rest are used for testing phase.	• The data is analyzed in time and frequency domain to model it comprehensively. • In next stage, Rectifier Activation Function (ReLU) is used to model FF-DNN and R-DNN. • Separate results are computed considering only Time Domain and Time & Frequency Domain features.
20.	[36]	Modified Deep Residual Network adopting ensemble strategy	North American utility data set with hourly data from 1985-1992. 2 year data from 1991-1992 is used as test data, rest of the data is used for training. To check the generalization ISO-NE data is used.	• Two level basic structure is formed for forecasting 24 hours data with Scaled Exponential Linear Units (SELU) activation function. • Output is fed into Deep Residual Network (ResNet) constructed from a stack of three residual blocks. • Modifications is made, ResNetPlus, by employing number of side residual blocks and averaging output of each main residual block with these side blocks to improve error back propagation of the network. • Next ensemble strategy is used to improve generalization capability of the network.

21.	[26]	NN with Wavelet decomposition	Hourly load data of North America from 1988-1992	• Features are extracted into Low and High Frequency components using Multi Resolution Analysis. Input variables are selected by applying correlation functions. • 4 models of NN have been developed based upon MLP. • The model with inputs of load, temperature and first order differenced performed the best among other NN.
22.	[37]	Wavelet Neural Networks	Hourly load data of NEW England from 2003-2005 as training and year 2006 data used for testing.	• Wavelets are used to decompose the load into Low and High Frequency components • MLP based NN are then applied for load forecasting.
23.	[29]	Large NN and regression methods	Hourly data from 1996-1997 of a city of Brazil. Data is split for training, testing and validating phase.	• Various models are developed based upon Naïve forecasting, methods with one and more smoothing filters, smoothing filters with linear regression combination of smoothing filers and NN and large NN
24.	[33]	NN	Load data of previous 1 hour is used to predict next 20 minutes load for a power company in US.	• They used relative load curves of past data instead of load increments to improve the forecasting accuracy as is done in traditional NN models. • Input variables are selected basing upon their string statistical correlation with outputs. • Supervised training is carried out for the proposed NN using the previous load data and minimizing the error function.
25.	[38]	Hybrid NN based on Wavelets	Hourly load data from ISO England for year 2009-2010.	• ELM-LM algorithm is developed by randomly initializing the weights and biases to estimate the output weights. • Wavelet transform is used to employ frequency components along-with temporal dimensions of the past load series. • PLSR is used to combine the forecasts of different wavelets. • Hourly load data is fed into 24 FF-NN with the detailed extraction of frequency components using wavelet transforms.

TABLE III

COMPARISON OF MAPE AND STANDARD DEVIATION

Ser	Cat	Ref	Proposed Method	Bench Mark Method	% MAPE	Mean-MAPE
1.	ARMA / ARIMA	[12]	Hybrid using ARIMA & Projection Pursuit Regression (PPR)	ARIMA PPR	0.634 0.403	**0.8446**
2.		[11]	Hybrid model using ARMA and ARIMA.	Real data	0.5	
3.		[13]	ARMA including Gaussian and Non Gaussian Processes	ARMA ANN	0.05 0.58	
4.		[14]	ARIMA Model integrated with operators knowledge	ARIMA ANN Operators	1.24 1.27 2.08	
5.	Non-Linear	[18]	Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU) networks	FNN Modified FNN	5.1 2.79	5.05
6.		[17]	A hybrid approach based on non-linear chaotic dynamic predictor	ANN ARIMA	5 4.5	
7.	Regression	[16]	Semi parametric additive models using Modified Bootstrap method - Regression	ANN Hybrid	0.85 0.4	0.85
8.	Kalman Filter	[15]	Modified Non-linear Kalman Filter - Kalman	EKF	0	0
9.	Exponential Smoothing (ES)	[20]	ES with Holt Winters.	ARMA PCA AR	0.059 0.05 0.086	0.69
10.		[21]	Double Seasonal Holt-Winters Exponential Smoothing with error correction	Naïve w/o EC	1.66 5.3	
11.		[19]	Five exponentially weighted methods incl new Singular Value Decomposition SVD based ES	ANN HWT with SM NEW SVD Weather based	0.02 0.01 0.01 0.016	
12.	Vector Machines (SVM)	[23]	Hybrid approach to combine SOM with SVM	ISO SVM	1.15 0.65	2.42
13.		[24]	Simulated Annealing with SVM	ARIMA GRNN	8.55 3.42	
14.		[22]	Hybrid model using VMD-SR-SVRCBCS	ARIMA GRNN BPNN SVR	7 5.3 5.1 3.8	
15.	Neural Networks (NN)	[30]	ANN based on Multilayer Perceptron	Others	0.4%	**0.799**
16.		[27]	NN optimized using PSO and PC Analysis	No PC Reduction	1.1	
17.		[28]	FF-NNtrained by theArtificial Immune System (AIS)	Data 1 - AIS Data 2 – AIS	0.473 1.347	
18.		[34]	CNN with K Means clustering is employed.	LR SVR SVR &K Means NN NN & K-Means	25 8.97 0.89 0.163 0.115	
19.		[35]	FF-DNN and Recurrent Deep Neural Network (R-DNN)	Time Frequency	12 0.01	
20.		[36]	Modified Deep Residual Network adopting Ensemble Strategy	Temperature-1 Temperature-2 Temperature-3	0.02 0.05 0.11	
21.		[26]	4 models based on NN with Wavelet decomposition with different inputs	Model-1 Model-2 Model-3	0.17 0.42 0.94	
22.		[37]	Wavelet NN	NN w/o weather NN & weather Similar day	0.188 0.07 0.22	
23.		[29]	Large NN and regression methods	Smoothing with small NN Large NN	 0.1 1	
24.		[33]	NN	Forecaster-1 Forecaster-2 Forecaster-3	0.59 0.39 0.23	
25.		[38]	Hybrid NN based on Wavelets	Abductive MLR RBFNN Random forest	0.79 0.83 0.56 0.92	

Error (MAPE), Root Mean Square Error etc. However, MAPE is used more frequently in the statistical studies. The MAPE difference of the proposed and other methods are calculated. Then the smallest value is located to identify the best method. It is revealed that ARMA models and ANN gave the lowest MAPE values. A stable difference criteria has also been defined by setting the value of alpha from 0.01 to 5. This means that difference values less than 0.01 and greater than 5 are ignored in this study. Difference value is calculated by taking absolute difference between proposed method and other methods with which it is compared. The mean MAPE for ANN and ARMA Models is 0.799 and 0.8446, respectively.

VI. Discussion and Future Research

Load forecasting has become a topic of significance in past few decades. Various techniques have been used by researchers to identify the best performing methods. However, the non-linear dynamics of the topic implies that not one method can be classified as the best. Availability of historical load data is the prime factor in forecasting, however heterogeneity in this data itself challenges the analysis. The data is dispersed in different patterns with different power companies. Somewhere it is calculated on hourly basis, whereas at the other places it is recorded on seasonal basis.

Most of the statistical methods employ past load series and weather information for prediction. These past load data are used as input to Regression techniques along-with weather and its functional relationship. Same is then solved regressively to reduce the square error of the prediction. Exponential smoothing models are developed by linear combination of time series and other variables. Kalman filtering use filtering techniques to reduce the noise in data to predict future load. The ANN techniques have performed quite well for ELF. When combined with Wavelet decomposition forecasting is improved further as it employ frequency component of data series as well. However their main concern is data fitment. The NN employ layers of neurons and a large no of parameters which raise the concern of over parameterization in performing the task. Mostly, large NN perform better in forecasting results but the theory behind this remains a black box.

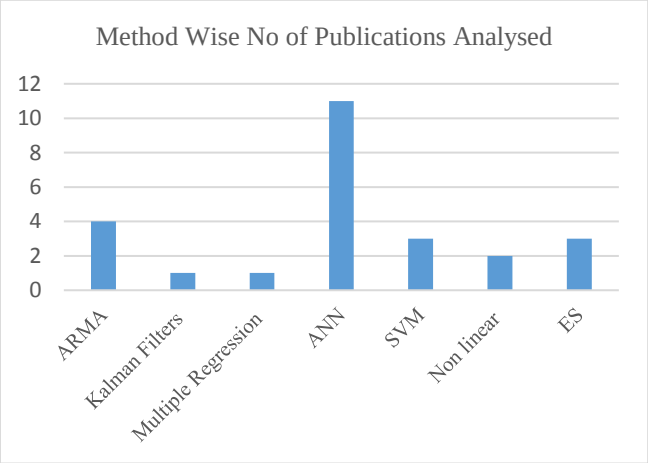
Meteorological conditions also risks the load forecasting. Although in today's digital world, previous data as well as future weather forecasts are also available. Still the unpredictability of the weather, humidity conditions play significant role in the load forecasting. Then the socio-economic conditions of the consumers dictate the variability of load demands. One cannot take into account the functions, gatherings or other related activities at a specific place. Another important concern is about the transmission network dynamics. Equipment failures and accidents make the power unavailable at one region thus causing variation in demand at another generating region.

The technological advancements especially in form of renewable energies have modified the dynamics of power sectors. The load forecasting will be an area of concern to fulfill consumer's power requirements. On the basis of this study, following areas are elaborated for future research:

- Implement the techniques found during this study on the real world load data to verify their performance. Challenges found in this study like availability of data, weather constraints, divers consumer's power demand etc will be taken into account.
- Increasing use of electric appliances and wide adoption of electrical transportation systems have significant impact on electricity requirements. Load forecasting in this regard will enable power utilities to meet user's load requirements.
- Load forecasting is evolving day by day with the latest technological developments. The growing acceptance of renewable power generation systems, especially solar systems, is making user's load demand unpredictable. Research in renewable power generation and forecasting is also area of interest for future.
- Study the feasibility of integrating renewable power generation systems into the main power grid.

VII. Conclusion

Meta-Analysis is carried out by studying 25 publications on ELF modeling proposed by researchers and compared with various other forecasting methods. The criterion for comparison is selected including technique employed, data set used, overall methodology, performance and MAPE measurement. The comparative results show that various non-linear factors play significant role in ELF, importantly weather conditions. Few methods are preferred because of their fast computation power and linear relationship among variables. ANN and ARMA are found to be the best performing methods. ANN are mostly used when changes are occurring at faster pace like frequent change in weather or environmental conditions. However, with larger NN the issues of data over fitment need to be taken into consideration. The ARMA models are attractive due to ease in



Graph II. No of Publications Studied as per Method

their practical interpretation. They are usually criticized for their limitation to deal with non-linearity behavior of processes.

REFERENCES

[1] Hammad, M. A., Jereb, B., Rosi, B., & Dragan, D. (2020). Methods and Models for Electric Load Forecasting: A Comprehensive Review. Logistics & Sustainable Transport, 11(1), 51-76.

[2] Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-Art with a look into the future

[3] (Leung et al., 2019).

[4] Kuster, C., Rezgui, Y., & Mourshed, M. (2017). Electrical load forecasting models: A critical systematic review. Sustainable cities and society, 35, 257-270.

[5] Zhao, H., & Tang, Z. (2016, June). The review of demand side management and load forecasting in smart grid. In 2016 12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA) (pp. 625-629). IEEE.

[6] Zor, K., Timur, O., & Teke, A. (2017, June). A state-of-the-art review of artificial intelligence techniques for short-term electric load forecasting. In 2017 6th International Youth Conference on Energy (IYCE) (pp. 1-7). IEEE.

[7] Almalaq, A., & Edwards, G. (2017, December). A review of deep learning methods applied on load forecasting. In 2017 16th IEEE international conference on machine learning and applications (ICMLA) (pp. 511-516). IEEE.

[8] Upadhaya, D., Thakur, R., & Singh, N. K. (2019, October). A systematic review on the methods of short term load forecasting. In 2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC) (pp. 6-11). IEEE.

[9] Mohammed, Z. C., Humberto, A. R. J., Kiplel., M. C. & Chepkoech, M. (2017, Dec). A Meta-Analysis on Sustainable Supply Chain Management: An Analytical approach. European Journal of Logistics, Purchasing and Supply Chain Management

[10] Neuman, L. W. (2007). Social research methods, 7/E. Pearson Education India.

[11] Almeshaiei, E., &Soltan, H. (2011). A methodology for electric power load forecasting. Alexandria Engineering Journal, 50(2), 137-144.

[12] Yang, L., & Yang, H. (2019, May). A Combined ARIMA-PPR Model for Short-Term Load Forecasting. In 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia) (pp. 3363-3367). IEEE.

[13] Huang, S. J., & Shih, K. R. (2003). Short-term load forecasting via ARMA model identification including non-Gaussian process considerations. IEEE Transactions on power systems, 18(2), 673-679.

[14] Amjady, N. (2001). Short-term hourly load forecasti using time-series modeling with peak load estimation capability. IEEE Transactions on power systems, 16(3), 498 505.

[15] Gaur, M., &Majumdar, A. (2017). One-Day-Ahead Load Forecasting using nonlinear Kalman filtering algorithms.

[16] Fan, S., & Hyndman, R. J. (2011). Short-term load forecasting based on a semi-parametric additive model. IEEE Transactions on Power Systems, 27(1), 134-141.

[17] Unsihuay-Vila, C., De Souza, A. Z., Marangon-Lima, J. W., & Balestrassi, P. P. (2010). Electricity demand and spot price forecasting using evolutionary computation combined with chaotic nonlinear dynamic model. International journal of electrical power & energy systems, 32(2), 108-116.

[18] Dong, M., & Grumbach, L. (2019). A Hybrid Distribution Feeder Long-Term Load Forecasting Method Based on Sequence Prediction. IEEE Transactions on Smart Grid, 11(1), 470-482.

[19] Taylor, J. W. (2011). Short-term load forecasting with exponentially weighted methods. IEEE Transactions on Power Systems, 27(1), 458-464.

[20] Taylor, J. W., & McSharry, P. E. (2007). Short-term load forecasting methods: An evaluation based on european data. IEEE Transactions on Power Systems, 22(4), 2213-2219.

[21] Kavanagh, K. (2017). Short Term Demand Forecasting for the Integrated Electricity Market. Student Journal of Energy Research, 2(1), 1.

[22] Zhang, Z., Hong, W. C., & Li, J. (2020). Electric load forecasting by hybrid self-recurrent support vector regression model with variational mode decomposition and improved cuckoo search algorithm. IEEE Access, 8, 14642-14658.

[23] Fan, S., & Chen, L. (2006). Short-term load forecasting based on an adaptive hybrid method. IEEE Transactions on Power Systems, 21(1), 392-401.

[24] Pai, P. F., & Hong, W. C. (2005). Support vector machines with simulated annealing algorithms in electricity load forecasting. Energy Conversion and Management, 46(17), 2669-2688.

[25] Ribeiro, G. T., Mariani, V. C., & dos Santos Coelho, L. (2019). Enhanced ensemble structures using wavelet neural networks applied to short-term load forecasting. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 82, 272-281.

[26] Reis, A. R., & Da Silva, A. A. (2005). Feature extraction via multiresolution analysis for short term load forecasting. IEEE Transactions on power systems, 20(1), 189-198.

[27] Lv, Y. C., Xu, X., Xu, R. L., &Ren, H. (2019, January). Research on Short-Term Load Forecasting Approach for Smart Grid. In 2019 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS) (pp. 602-605). IEEE.

[28] Hamid, M. A., & Rahman, T. A. (2010, March). Short term load forecasting using an artificial neural network trained by artificial immune system learning algorithm. In 2010 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation (pp. 408-413). IEEE.

[29] Hippert, H. S., Bunn, D. W., & Souza, R. C. (2005). Large neural networks for electricity load forecasting: Are they overfitted?. International Journal of forecasting, 21(3), 425-434.

[30] Michanos, S. P., Tsakoumis, A. C., Fessas, P., Vladov, S. S., &Mladenov, V. M. (2003, July). Short-term load forecasting using a chaotic time series. In Signals,

Circuits and Systems, 2003. SCS 2003. International Symposium on (Vol. 2, pp. 437-440). IEEE.
[31] Wang, Y., Zhang, N., Tan, Y., Hong, T., Kirschen, D. S., & Kang, C. (2018). Combining probabilistic load forecasts. IEEE Transactions on Smart Grid, 10(4), 3664-3674.
[32] Li, S., Wang, P., & Goel, L. (2015). A novel wavelet-based ensemble method for short-term load forecasting with hybrid neural networks and feature selection. IEEE Transactions on power systems, 31(3), 1788-1798.
[33] Charytoniuk, W., & Chen, M. S. (2000). Very short-term load forecasting using artificial neural networks. IEEE transactions on Power Systems, 15(1), 263-268.
[34] Dong, X., Qian, L., & Huang, L. (2017, February). Short-term load forecasting in smart grid: A combined CNN and K-means clustering approach. In 2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp) (pp. 119-125). IEEE.
[35] Din, G. M. U., &Marnerides, A. K. (2017, January). Short term power load forecasting using deep neural networks. In 2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC) (pp. 594-598). IEEE.
[36] Chen, K., Chen, K., Wang, Q., He, Z., Hu, J., & He, J. (2018). Short-term load forecasting with deep residual networks. IEEE Transactions on Smart Grid, 10(4), 3943-3952.
[37] Chen, Y., Luh, P. B., & Rourke, S. J. (2008, June). Short-term load forecasting: Similar day based wavelet neural networks. In 2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (pp. 3353-3358). IEEE.
[38] Li, S., Wang, P., & Goel, L. (2015). A novel wavelet-based ensemble method for short-term load forecasting with hybrid neural networks and feature selection. IEEE Transactions on power systems, 31(3), 1788-1798.

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА:
застосування, дослідження, освіта

Збірник тез доповідей
Всеукраїнської наукової конференції

15 квітня 2021 року

Редакційна група за якість матеріалів відповідальності не несе.
Матеріали доповідей авторів надано у вигляді, відповідно
до заявок на участь у конференції.
Дякуємо авторам за дотримання рекомендованого шаблону та обсягу виступів.

Відповідальний за випуск – Букарос А.Ю.