

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМИ КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ КОНДЕНСАТОРА УНІФІКОВАНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ

¹Вінницький національний технічний університет

Досліджено ефективність застосування уніфікованого регулятора якості електроенергії (УРЯЕ) для зменшення коливань напруги в електричних мережах з різкозмінним нелінійним навантаженням. Запропоновано використання схеми керування напругою на накопичувальному конденсаторі УРЯЕ на основі фільтра зі скінченною імпульсною характеристикою (FIR) з метою мінімізації швидких змін напруги та показника флікера, а також сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень в системі розподілу. Кінцева симуляція дослідження проводиться з використанням MATLAB/Simulink. Для демонстрації ефективності запропонованої схеми керування проводиться порівняння результатів моделювання з PI-регулятором з погляду покращення вказаних показників якості електроенергії. Вихідними даними для виконання розрахунків коливань напруги є відомості про параметри електричної мережі та графік випадкового швидкозмінного електричного навантаження. Швидкозмінні навантаження викликають швидкі зміни напруги мережі, розмахи яких можуть досягти неприпустимих значень, наприклад, у випадку частих увімкнень асинхронного двигуна з великою кратністю пускового струму. Коливання напруги можуть також бути зумовлені технологічними установками, робота яких супроводжується накидами активної та реактивної потужності, такими як привод реверсивних прокатних станів, дугові сталеплавильні печі, установки контактного електрозварювання тощо. Основною задачею дослідження є підвищення якості електроенергії, і, як наслідок, підвищення терміну служби електрообладнання та забезпечення умов нормального технологічного процесу споживачів електроенергії. Кількісно оцінено показники, що характеризують коливання напруги: розмах зміни напруги (δU) і показник флікера (P_f). Перевірено ефективність нової схеми керування напругою конденсатора для зменшення вищих гармонік струму THD_1 в порівнянні з класичною схемою на основі PI-регулятора.

Ключові слова: коливання напруги, швидкозмінне навантаження, якість електричної енергії, графіки електричних навантажень, уніфікований регулятор якості електроенергії.

Вступ

Електрична енергія як товар використовується в усіх сферах життєдіяльності людини, має сукупність специфічних властивостей і безпосередньо використовується у створенні інших видів продукції, впливаючи на їхню якість. Кожний електроприймач призначений для роботи за певних номінальних параметрів електричної енергії, які характеризуються показниками якості електричної енергії (ЯЕЕ).

Робота електроприводів з різкозмінним навантаженням викликає коливання електричної напруги. Мережі, які порушують нормальну роботу електроустаткування, зменшують термін служби електронної апаратури та негативно впливають на зір працівників [1], [2]. Коливання напруги (КН) нормують та оцінюють швидкими змінами напруги та показником флікера [3], [4].

На стадії експлуатації електроустаткування показник флікера можна виміряти за допомогою спеціальних приладів, а за їхньої відсутності можна виміряти швидкі зміни напруги мережі, а потім обчислити показник флікера за методикою [5]. На стадії проектування швидкі зміни напруги та показник флікера повинні визначатися розрахунковим шляхом.

Для зменшення коливань напруги можна використовувати уніфікований регулятор якості електроенергії (УРЯЕ), який є одним зі спеціальних пристроїв, що використовуються в системах розподілу електроенергії для підвищення якості електроенергії у клієнтів [6].

Крім компенсації коливань напруги УРЯЕ компенсує реактивну потужність, зменшує струм та напругу зворотної послідовності і також вміст вищих гармонік та інтергармонік. Іншими словами, УРЯЕ має можливість покращувати якість електроенергії в точці встановлення в системах розподілу електроенергії або промислових енергосистемах. Таким чином, УРЯЕ вважається одним з найефективніших пристроїв для вирішення майже всіх проблем якості електроенергії на навантаженнях, чутливих до коливань напруги.

УРЯЕ складається з паралельного і послідовного компенсаторів, виконаних на базі інверторів напруги (рис. 1). Паралельний компенсатор використовується для компенсації збурень струму, а послідовний компенсатор використовується для усунення збурень напруги. Паралельний компенсатор може бути приєднаний ліворуч або праворуч від послідовного компенсатора. В ідеалі — паралельний компенсатор регулює струм для досягнення збалансованого синусоїдного струму в фазі з напругою живлення. Послідовний компенсатор використовується для підтримки номінальної напруги на затискачах споживачів.

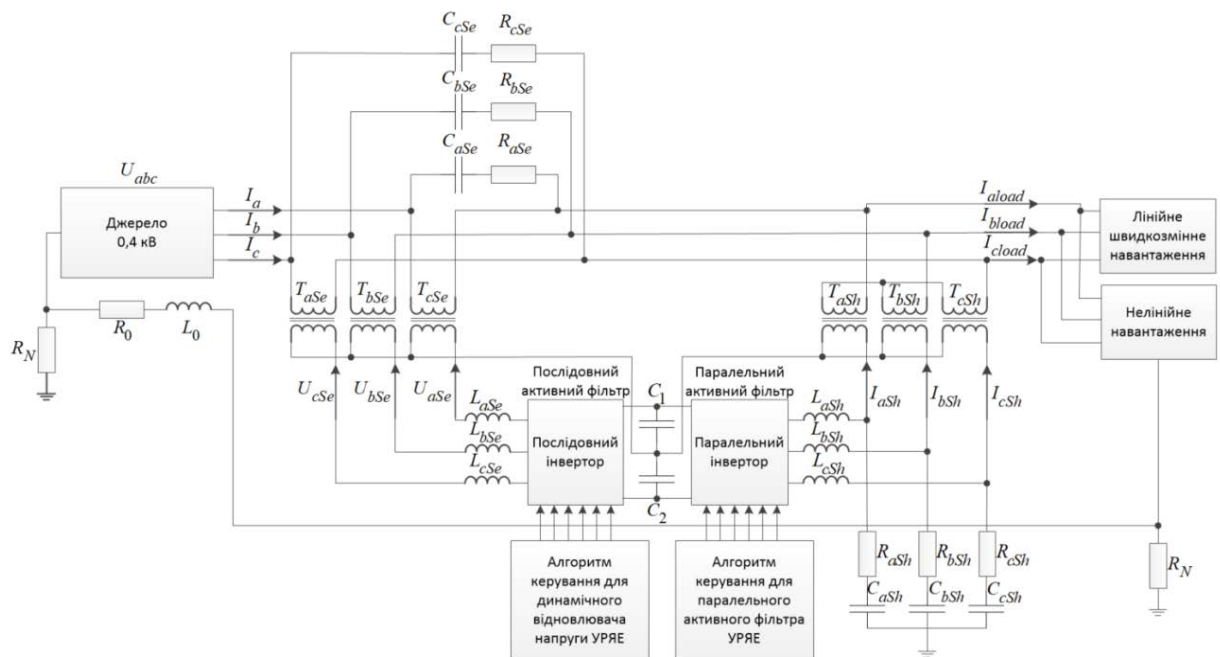


Рис. 1. Структурна схема уніфікованого регулятора якості електроенергії (УРЯЕ)

Можна зазначити, що обидва інвертори напруги живляться від спільних конденсаторів постійного струму. Кожний інвертор приєднується паралельно та послідовно до системи змінного струму через лінійний трансформатор. Паралельний інвертор разом зі своїм колом керування утворює схему паралельного активного фільтра (ПАФ). Послідовний інвертор з відповідною схемою керування формує схему послідовного активного фільтра або динамічного відновлювача напруги (ДВН).

ДВН вводить компонент напруги послідовно з напругою живлення, таким чином компенсуючи падіння або збільшення напруги на стороні навантаження. Реакція керування становить близько 3 мс, що забезпечує надійне живлення напругою в умовах перехідних режимів мережі. Генерація напруги довільної фази відносно струму навантаження передбачає можливість передачі активної потужності. Ця активна потужність передається через коло постійного струму та подається або діодним мостом, приєднаним до мережі змінного струму, або ШІМ-перетворювачем, приєднаним до паралельного інвертора, або пристроєм накопичення енергії. Він працює як гармонічний ізолятор, що запобігає потраплянню гармонік напруги джерела до навантаження [7].

Останні дослідження спрямовувалися на використання УРЯЕ для вирішення майже всіх проблем якості електроенергії, наприклад: для компенсації падіння напруги, перенапруги, перепадів напруги та корекції коефіцієнта потужності, а також недопущення неприйнятних рівнів гармонік у струмі та напрузі.

Метою роботи є аналіз доцільності заміни схеми керування напругою на накопичувальному конденсаторі УРЯЕ на схему керування, в основу якої покладений фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою (FIR-фільтр).

Опис системи керування УРЯЕ

На рис. 2 показано функціональну схему системи керування УРЯЕ. Алгоритм керування та можливості паралельного активного фільтра описані в статті [8].

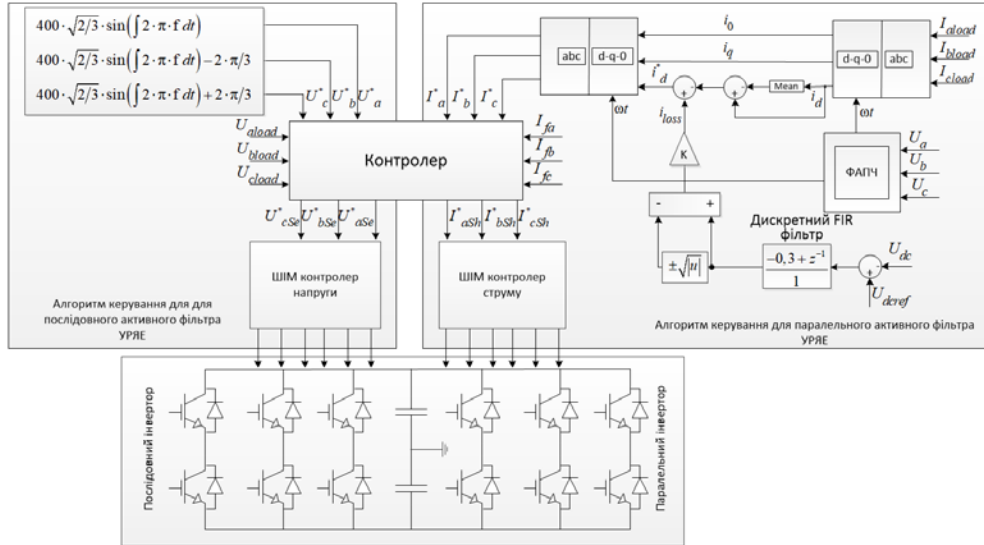


Рис. 2. Функціональна схема системи керування уніфікованим регулятором якості електроенергії
 Базові параметри УРЯЕ та мережі подано в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри моделювання УРЯЕ та навантаження

Найменування	Параметр		Значення
Джерело	Напруга	U	400 В
	Частота	f	50 Гц
	3- фазний АС послідовний опір	R	0,0184 Ом
	3-фазна АС індуктивність	L	54,4 мкГн
	Опір нульової послідовності	R_0	0,01 Ом
	Індуктивність нульової послідовності	L_0	19,1 мкГн
	Опір заземлення	R_N	4 Ом
Нелінійне навантаження	3- фазний АС послідовний опір		0,2 Ом
	3-фазна АС індуктивність		1,55 мГн
	3- фазний АС паралельний опір		35 Ом
	3-фазна АС індуктивність		47,7 мГн
	1-фазний DC опір		12 Ом
	1-фазна DC індуктивність		4 мГн
Лінійне швидкозмінне навантаження	3-фазне послідовне активне навантаження	P	70...120 кВт
	3-фазне послідовне реактивне навантаження	Q	10...120 кВАр
	3-фазне паралельне навантаження	$P_d (R_d)$	1 кВт
DC коло	Напруга	U_{dc}	650 В
	Два послідовних конденсатори	C_1, C_2	2500 мкФ
Паралельний активний фільтр	Лінійна індуктивність	L_{abcSh}	0,4 мГн
	Опір фільтра	R_{abcSh}	1 Ом
	Ємність фільтра	C_{abcSh}	10 мкФ
	Частота перемикачів	$f_{ШИМ}$	6 кГц
	Три паралельних трансформатори	T_{abcSh}	2,5 кВ·А

Послідовний активний фільтр	Лінійна індуктивність	L_{abcSe}	0,5 мГн
	Опір фільтра	R_{abcSe}	1 Ом
	Ємність фільтра	C_{abcSe}	47 мкФ
	Частота перемикання	$f_{ШМ}$	1,08 кГц
	Три послідовних трансформатори	T_{abcSe}	3 кВ·А

Регулятор напруги конденсатора (РНК) розглянуто в двох варіантах: новій схемі керування на основі *FIR*-фільтра та класичній схемі керування на основі *PI*-регулятора. Для демонстрації ефективності роботи РНК на базі *FIR*-фільтра проведено два досліди, в яких УРЯЕ характеризується: 1) максимальною компенсацією вищих гармонік; 2) максимальною швидкодією компенсації коливань напруги. Максимальну компенсацію вищих гармонік забезпечує коефіцієнт підсилення $K_1 = 1$, який встановлено в колі керування напругою конденсатора *FIR*-фільтра. Передавальна функція РНК на основі *FIR*-фільтра має такий вигляд:

$$H_{FIR_1}(z) = \frac{i_{loss1}}{U_{dc1}} = \frac{0,0777(z - 2,857)}{z}. \quad (1)$$

Дослідження максимальної швидкодії кола РНК на основі *FIR*-фільтра характеризує коефіцієнт $K_2 = 1,56$, за якого передавальна функція набуде такого вигляду:

$$H_{FIR_2}(z) = \frac{i_{loss2}}{U_{dc2}} = \frac{0,1213(z - 2,857)}{z}. \quad (2)$$

Еквівалентні коефіцієнти ($K_{p1} = 0,65$ та $K_{p2} = 1$) для *PI*-регулятора визначені за близькістю графіків напруги *PI*-регулятора та *FIR*-фільтра. Відповідні передавальні функції *PI*-регулятора

$$H_{PI_1}(z) = \frac{i_{loss1}}{U_{dc1}} = -\left(0,65 + 0,03 \frac{1}{z-1}\right); \quad H_{PI_2}(z) = \frac{i_{loss2}}{U_{dc2}} = -\left(1 + 0,03 \frac{1}{z-1}\right). \quad (3)$$

У стаціонарному стані, припускаючи синусоїдність та збалансованість напруги мережі та не враховуючи втрати УРЯЕ, потужність паралельного S_{Sh} та послідовного S_{Se} активних фільтрів, що нормалізовані відносно повної потужності навантаження, відповідно обчислюються так:

$$\left| \frac{S_{Se}}{S_{load}} \right| = \frac{\cos \varphi_1 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{v_{load}}{v_{source}}\right)^2}}{\sqrt{1 + THD_I^2}}; \quad \left| \frac{S_{Sh}}{S_{load}} \right| = \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi_1 \frac{v_{load}}{v_{source}} \left(\frac{v_{load}}{v_{source}} - 2\right)}{1 + THD_I^2}} + 1, \quad (4)$$

де $\cos \varphi_1$ — коефіцієнт потужності, зумовлений фазовим зсувом струму; THD_I — сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень вихідного струму.

В ідеалі, коли напруга навантаження v_{load} дорівнює напрузі джерела живлення v_{source} , перетік активної потужності через паралельний і послідовний активні фільтри відсутній. Потужність, що відбирається з електричної мережі дорівнює сумі потужності навантаження та втрат потужності в УРЯЕ. В цій схемі вихідна напруга v_{load} підтримується в фазі з основною складовою вхідної напруги. Таким чином, послідовний активний фільтр працює з реактивною потужністю лише за наявності гармонік вхідної напруги, оскільки основна складова напруги трансформатора зв'язку завжди знаходиться в фазі зі струмом, що споживається від електромережі [9].

Збільшення THD_I та зменшення $\cos \varphi_1$ приведе до зменшення співвідношення $|S_{Se}/S_{load}|$ і збільшення співвідношення $|S_{Sh}/S_{load}|$.

Для коригування THD_I та THD_U можна скористатись *RC*-згладжувальними фільтрами [10].

$$CR = \frac{K_{згл}}{\omega} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (5)$$

де η — коефіцієнт корисної дії; $K_{згл}$ — коефіцієнт згладжування.

З виразу (5) для збільшення ККД необхідно зменшувати опір резистора фільтра, а щоб отрима-

ти при цьому необхідний коефіцієнт згладжування, потрібно збільшувати ємність конденсатора.

Для регулювання компенсації реактивної потужності та гармонічних спотворень струму чи напруги потрібно змінювати ємність C_{abcSh} . Послідовний RC -фільтр (C_{abcSe}) використовується, як фільтр пульсацій напруги.

Моделювання та результати дослідження

Графіки активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ потужностей навантаження показано на рис. 3а. Вони мають різкозмінний характер.

Графіки на рис. 3б і рис. 3в показують потужності, що споживаються з мережі, у разі застосування УРЯЕ, відповідно, з PI -регулятором та FIR -фільтром. З цих графіків активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ потужностей мережі можна визначати: швидкодію, перерегулювання потужності та здатність компенсувати реактивну потужність УРЯЕ. Лінійність графіків потужностей залежить від потужності паралельного трансформатора та ємності накопичувального конденсатора постійної напруги. У разі невідповідного налаштування можливе виникнення коливань потужностей.

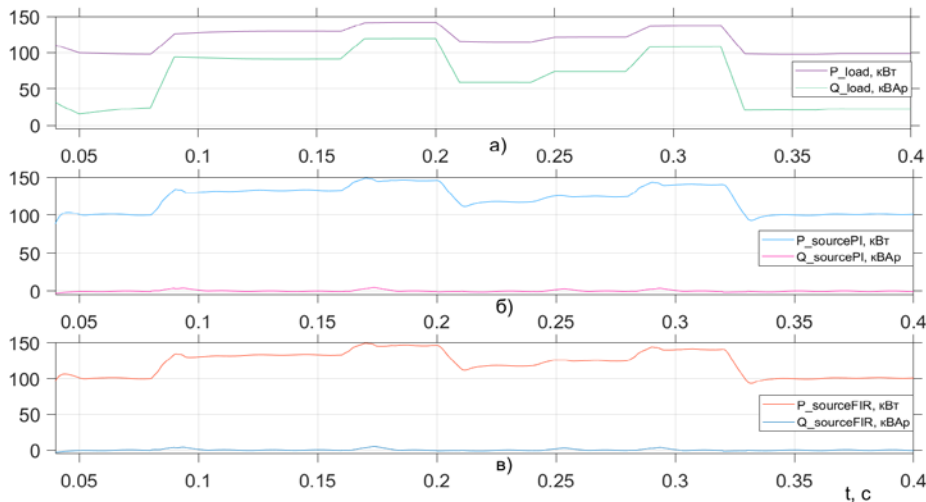


Рис. 3. Графіки зміни активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ потужностей: а — навантаження; б — мережі з PI -регулятором; в — мережі з FIR -фільтром

Графік зміни напруги на конденсаторі (рис. 4) показує стабільне її підтримання на заданому рівні.

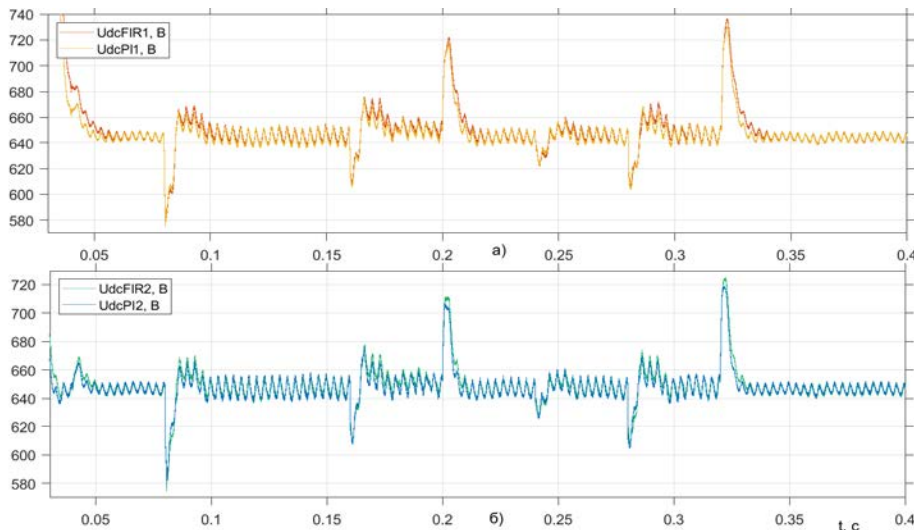


Рис. 4. Графік зміни напруги на конденсаторі УРЯЕ: а — дослід 1; б — дослід 2

У разі відхилення від заданого значення напруги в межах $600 < U_{dc} < 700$ В, виникають перерегулювання активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ потужностей з навантаженням вище 200 кВ·А та незначний розряд конденсатора. Ця проблема виникає внаслідок малої індуктивності паралельного

активного фільтра (L_{abcSh}) та може бути вирішена з її збільшенням.

На рис. 5 показано графіки середньоквадратичного значення напруги: а — на навантаженні до ввімкнення УРЯЕ; б — на навантаженні після ввімкнення УРЯЕ; в — в мережі після ввімкнення УРЯЕ.

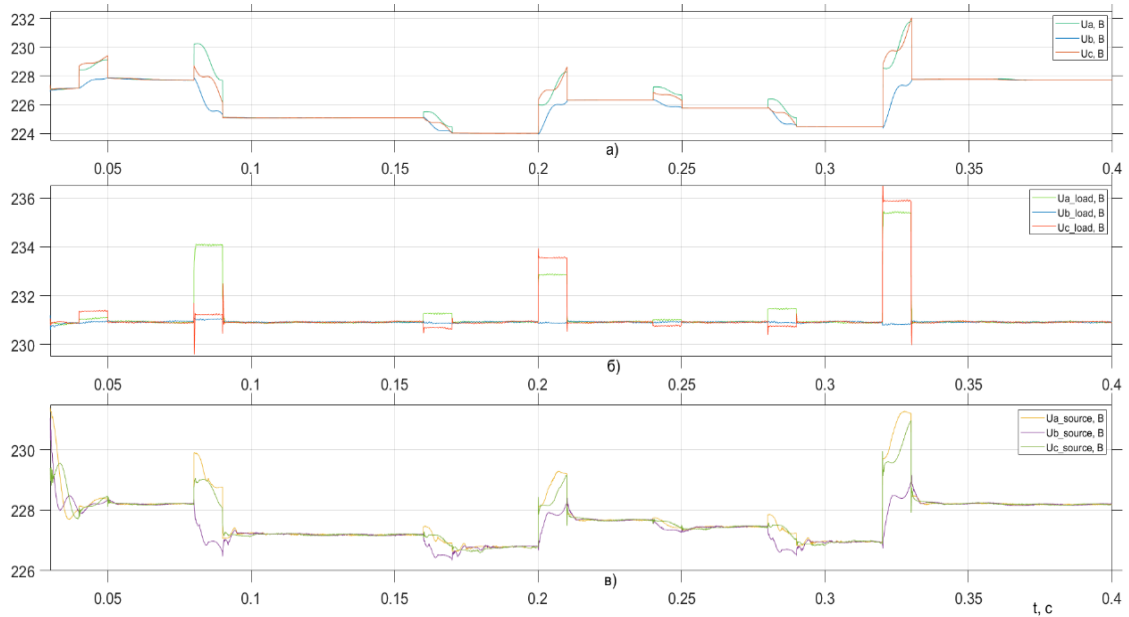


Рис. 5. Графіки зміни середньоквадратичного значення напруги: а — на навантаженні до ввімкнення УРЯЕ; б — на навантаженні після ввімкнення УРЯЕ; в — в мережі після ввімкнення УРЯЕ

За графіком зміни напруги (рис. 5) визначалися числові характеристики розмахів зміни напруги δU_{t_i}

$$\delta U_{t_i} = U_i - U_{i+1}; \quad \delta U_{t_i} = \frac{U_i - U_{i+1}}{U_i} \cdot 100\%. \quad (6)$$

В результаті отримані розмахи змін напруги (табл. 2—4).

Таблиця 2

Результати розрахунку розмахів змін напруги навантаження до ввімкнення УРЯЕ

№	$U_i, \text{В}$	$U_{i+1}, \text{В}$	$t_i, \text{с}$	$\delta U_{t_i}, \text{В}$	$\delta U_{t_i}, \%$
1	227,1	227,9	0,04...0,05	0,8	0,35
2	227,7	225,1	0,08...0,09	2,6	1,13
3	225,1	224	0,16...0,17	1,1	0,48
4	224	226,3	0,2...0,21	2,3	1,00
5	226,3	225,75	0,24...0,25	0,55	0,24
6	225,75	224,45	0,28...0,29	1,3	0,57
7	224,45	227,8	0,32...0,33	3,35	1,46
8	227,8	227,7	0,36...0,37	0,1	0,04

Таблиця 3

Результати розрахунку розмахів змін напруги навантаження після ввімкнення УРЯЕ

№	$U_i, \text{В}$	$U_{i+1}, \text{В}$	$t_i, \text{с}$	$\delta U_{t_i}, \text{В}$	$\delta U_{t_i}, \%$
1	230,9	230,9	0,04...0,05	0	0
2	230,9	230,9	0,08...0,09	0	0
3	230,9	230,9	0,16...0,17	0	0
4	230,9	230,9	0,2...0,21	0	0
5	230,9	230,9	0,24...0,25	0	0
6	230,9	230,9	0,28...0,29	0	0
7	230,9	230,9	0,32...0,33	0	0
8	230,9	230,9	0,36...0,37	0	0

Таблиця 4

Результати розрахунку розмахів змін напруги мережі після ввімкнення УРЯЕ

№	$U_i, \text{В}$	$U_{i+1}, \text{В}$	$t_i, \text{с}$	$\delta U_t, \text{В}$	$\delta U_t, \%$
1	227,8	228,2	0,04...0,05	0,4	0,17
2	228,2	227,2	0,08...0,09	1	0,43
3	227,2	226,75	0,16...0,17	0,45	0,20
4	226,75	227,65	0,2...0,21	0,9	0,39
5	227,65	227,4	0,24...0,25	0,25	0,11
6	227,4	226,9	0,28...0,29	0,5	0,22
7	226,9	228,2	0,32...0,33	1,3	0,57
8	228,2	228,15	0,36...0,37	0,05	0,02

Обробка інформації проводилась за методикою [11]: для кожного розмаху δU_{t_i} обчислювалась доза флікера P_{St_i} , а потім — підсумкова короткочасна доза флікера P_{St} на інтервалі 10 хв. Результати дослідження для короткочасної дози флікера подані в табл. 5.

Таблиця 5

Значення короткочасної дози флікера

Змінна	P_{stload}	$P_{stPIload}$	$P_{stFIRload}$	$P_{stPIsource}$	$P_{stFIRsource}$
Значення	3,3873	1,37158	1,34875	0,703312	0,694558

Результати дослідження гармонічних спотворень струму за різко змінного характеру навантаження з коефіцієнтами підсилення K_1, K_2 FIR-фільтра та коефіцієнтами передачі K_{P1}, K_{P2} PI-регулятора подано в табл. 6, з якої випливає, що підвищення швидкодії РНК супроводжується збільшенням гармонічних спотворень струму.

Таблиця 6

Результати дослідження гармонічних спотворень струму

№	$K_{I(5)},$ FIR, %	$K_{I(7)},$ FIR, %	$K_{I(11)},$ FIR, %	$K_{I(13)},$ FIR, %	$K_{I(5)},$ PI, %	$K_{I(7)},$ PI, %	$K_{I(11)},$ PI, %	$K_{I(13)},$ PI, %	Коефіцієнт K для РНК з FIR-фільтром	Коефіцієнт K_P для РНК з PI-регулятором
1	0,243	0,264	0,061	0,088	0,428	0,447	0,083	0,116	1	0,65
2	0,335	0,376	0,075	0,111	0,718	0,768	0,138	0,177	1,56	1

Порівняння рівнів гармонічних спотворень струму показує збільшення ефективності нової схеми керування, коли $K = 1$: за 5-ю гармонікою на 43 %, 7-ю гармонікою на 41 %, 11-ю гармонікою на 26 %, 13-ю гармонікою на 24 %. У разі, коли $K = 1,56$, зменшення гармонічних спотворень становлять: за 5-ю гармонікою на 53 %, 7-ю гармонікою на 51 %, 11-ю гармонікою на 46 %, 13-ю гармонікою на 37 %.

Висновки

Запропонована нова схема керування напругою конденсатора УРЯЕ, в основі якої використано фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою (FIR-фільтр). Порівняно з класичною схемою керування ця схема оснований на PI-регуляторі, практично однаково компенсує коливання напруги: коефіцієнт швидкої зміни напруги і показник флікера незначно відрізняються як у разі роботи з коефіцієнтом $K = 1$ (максимальна компенсація вищих гармонік), так і за роботи з коефіцієнтом $K = 1,56$ (максимальна швидкодія) для УРЯЕ з новою та класичною схемами керування напругою конденсаторів. Оцінка зміни рівня гармонічних спотворень струму показує збільшення ефективності нової схеми керування за всіма гармоніками струму як за роботи з коефіцієнтом $K = 1$, так і за роботи з коефіцієнтом $K = 1,56$ в порівнянні з PI-регулятором. Використання нової схеми керування напругою конденсатора дає змогу збільшити ефективність роботи УРЯЕ для компенсації вищих гармонік струму за різко змінного характеру навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] A. V. Bessolitsyn, N. S. Bakshayeva, A. V. Votintsev, and E. A. Kalinina, "Influence of power equipment on change of voltage fluctuations in system of power supply," *Perspektivy nauki [Prospects of science]*, 2012, no. 11(38), pp. 109-116.

- [2] John De Dad, "Flicker: Causes, Symptoms, and Cures," *Electrical Construction and Maintenance*, Jan. 1, 2007.
- [3] *Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності*, ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Київ, Україна: Держстандарт України, 2012, 39 с.
- [4] *Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення*, ГОСТ 13109-97. Україна, 2012.
- [5] И. В. Жежеленко, и Ю. Л. Саенко, *Показатели качества электроэнергетики и их контроль на промышленных предприятиях*, 3-е изд., перераб. и доп. Москва, РФ: Энергоатомиздат, 2000, 252 с.
- [6] H. Fujita, and H. Akagi, "The unified power quality conditioner: The integration of series and shunt-active filters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 13, no. 2, pp. 315-322, Mar. 1998.
- [7] M. Aredes, "A combined series and shunt active power filter," in *Proc. IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conf.*, Stockholm, Sweden, pp. 18-22, June 1995.
- [8] М. Й. Бурбело, Д. Ю. Лебедь, і О. Р. Лещенко, «Оптимізація часу заряду/розряду конденсаторів активного фільтра під час коливань напруги,» *Вісник ХНУ*, вип. 4, с. 58-63, серп. 2022. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-58-63>.
- [9] Raphael J. Millnitz dos Santos, Jean Carlo da Cunha, and Marcello Mezaroba, "A Simplified Control Technique for a Dual Unified Power Quality Conditioner," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 61, no. 11, Nov. 2014.
- [10] *The Art of Electronics*, 3rd ed. Cambridge, USA: Cambridge University Press, 2015.
- [11] *Електромагнітна сумісність. Частина 4-15. Методики випробування та вимірювання. Флікерметр. Технічні вимоги до функціонування та конструкції*, ДСТУ EN 61000-4-15:2018. Київ, Україна: Держстандарт України.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.01.2023

Бурбело Михайло Йосипович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: burbelomj@gmail.com ;

Лебедь Денис Юрійович — аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. Yo. Burbelo¹
D. Yu. Lebed¹

Investigation of the Efficiency of the Capacitor Voltage Control Circuit of a Unified Electricity Quality Regulator to Reduce Voltage Fluctuations

¹Vinnitsia National Technical University

This article investigated the effectiveness of using a unified power quality regulator (UPQR) to reduce voltage fluctuations in electrical networks with a rapidly changing nonlinear load. It is proposed to use a voltage control scheme on the URYAE storage capacitor based on an FIR filter in order to minimize rapid voltage changes and the flicker indicator, as well as the total coefficient of harmonic distortions in the distribution system. The final simulation of the study is carried out using MATLAB/Simulink. To demonstrate the effectiveness of the proposed control scheme, a comparison of simulation results with a PI controller is made from the point of view of improving the specified power quality indicators. The initial data for performing calculations of voltage fluctuations are information on the parameters of the electrical network and the graph of a random, rapidly changing electrical load. Rapidly changing loads cause rapid changes in the network voltage, the amplitudes of which can reach unacceptable values, for example, in the case of frequent start-ups of an asynchronous motor with a large starting current. Voltage fluctuations can also be caused by technological installations, the operation of which is accompanied by active and reactive power surges, such as the drive of reversible rolling mills, arc steel melting furnaces, contact electric welding installations, etc. The main task of the research is to improve the quality of electricity, and, as a result, to increase the service life of electrical equipment and to ensure the conditions for the normal technological process of electricity consumers. Indicators characterizing voltage fluctuations were quantified: voltage change range (δU_t) and flicker indicator (P_f). The effectiveness of the new capacitor voltage control scheme for reducing higher current harmonics compared to the classical one based on the PI-regulator is verified.

Keywords: voltage fluctuations, fast load, quality of electricity, electrical load graphs, unified electricity quality regulator.

Burbelo Mykhailo Yo. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelomj@gmail.com ;

Lebed Denys Yu. — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com