

УДК 621.331.3

Д. О. БОСИЙ, О. М. СИНЬОГІНА (ДНУЗТ)

Кафедра Електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 793-19-11, ел. пошта: dake@i.ua

ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУЧАСНИМИ ЕЛЕКТРОННИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ В УМОВАХ ГАРМОНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ

Вступ

Взаємовідносини між продавцем і покупцем будуються в першу чергу на кількісній, якісній та вартісній оцінці товару. Електрична енергія, що постачається енергопостачальними організаціями, виступає як товар, що характеризується збігом у часі процесів виробництва, транспортування і споживання. Разом з тим до електроенергії, як до товару будь-якого виду, застосовуються категорії «кількість» і «якість». Таким чином, зростаючі вимоги до точності обліку кількості електричної енергії при необхідній якості базуються на економічній основі.

У реальних умовах виробництва, перетворення, розподілу і споживання електроенергії виникають спотворення форми синусоїдного струму і напруги. Ці спотворення виникають при генерації електроенергії, її передачі мережею і, головним чином, при споживанні, пов'язаному з випрямленням чи інвертуванням.

Основними джерелами спотворення струмів і напруг у системі тягового електропостачання електрифікованих залізниць є перетворювальні агрегати тягових підстанцій постійного струму та перетворювальні пристрої електровозів однофазного змінного струму [1]. При цьому, лінії зовнішнього електропостачання, елементи тягової мережі, розподільчі лінії поздовжнього електропостачання і автоблокування, володіючи певними частотними характеристиками вносять свої корективи у гармонійний склад напруг та струмів.

Все це негативно впливає на роботу приладів обліку електричної енергії та піднімає проблему електромагнітної сумісності засобів обліку з факторами, що впливають на точність обліку.

В даний час зі зміною виробничо-економічної ситуації в країні, зміною структури ринку електричної енергії загострюються проблеми обліку електричної енергії, зростають вимоги до систем електропостачання.

Широко застосовувані нині лічильники електричної енергії розроблюються і проходять повірку виходячи з припущення, що напруга в

мережі є синусоїдною, і вміст вищих гармонік в струмі навантаження не перевищує 10 %. На цьому ґрунтуються застосовувані в лічильниках матеріали та алгоритми обліку електроенергії.

Однак, більшість споживачів є нелінійними, і при включенні таких електроприймачів в мережу в споживаному струмі і функції живлячої напруги з'являються значний вміст вищих гармонік. І очевидно, що цей факт буде впливати на похибку приладу, призначеного для роботи в колах з практично синусоїдальними сигналами.

Метою даної роботи є виявлення похибки вимірювання потужності в колі з нелінійним навантаженням електронними приладами обліку електричної енергії та визначення критичного значення спотворення синусоїдності, при якому прилад обліку буде працювати поза межами встановленого класу точності.

Історія розвитку лічильників електроенергії

Першою областю масового застосування електрики стало освітлення. Коли цей новий продукт – електроенергію – почали продавати, виникла необхідність визначити ціну. Однак було неясно, у яких одиницях слід вести облік і які принципи виміру були б найбільш зручними.

Першим електролічильником став лічильник годин роботи лампи Самюеля Гардинера, запатентований у 1872 році. Він вимірював час, за який електроенергія подавалася в точку навантаження, при цьому всі лампи, підключені до цього лічильника, контролювалися одним вимикачем. З появою електричної лампи Едісона почали практикувати розгалужені кола освітлення і такий лічильник вийшов із вжитку.

За ним слідував винахід електролітичного лічильника Томаса Едісона у 1881 р., який базувався на електрохімічному ефекті електричного струму. Він мав електролітичну комірку, в яку, на початку розрахункового періоду, вміщувалась точно зважена пластина міді. Струм, що проходив через електроліт, викликав осадження міді. У кінці розрахункового періоду,

© Босий Д. О., Синьогіна О. М., 2014

мідну пластинку зважували знову, і різниця у вазі відображала кількість електрики, яка пройшла крізь неї. Цей лічильник був відкалібрований таким чином, що рахунки можна було виставляти в кубічних футах газу.

Ще одним з можливих принципів конструкції лічильників було створення деякого руху - коливання або обертання – пропорційного енергії, яка, в свою чергу, могла б запустити лічильний механізм для відображення показів лічильника.

Принцип роботи маятникового лічильника був описаний Вільямом Едвардом Ейртоном і Джоном Перрі в 1881 році. У 1884 році, не знаючи про їх винаходи, Германн Арон сконструював маятниковий лічильник.

У більш удосконаленій моделі цього лічильника було два маятники з котушками на кожному, підключеними до джерела напруги. Під маятниками розміщались дві струмові котушки з протилежним намотуванням. Завдяки взаємодії котушок один з маятників рухався повільніше, а інший швидше, ніж без електричного навантаження. Ця різниця ходу передавалася лічильному механізму лічильника. Маятники змінювалися ролями кожен хвилину, щоб компенсувати різницю у вихідній частоті коливань. У цей же момент заводився годинниковий механізм.

Іншою альтернативою для створення електrolічильника було використання двигуна. У таких лічильниках обертальний момент двигуна пропорційний навантаженню і врівноважується протидіючим моментом таким чином, що частота обертання ротора пропорційна навантаженню, тоді як моменти перебувають у рівновазі. У 1889 році Еліху Томсон розробив свій «самописний ватметр». Це був двигун з якорем без металевого осердя, який запускався від електричної напруги, що проходить через котушку і резистор за допомогою колектора. Статор приводився в рух струмом, і тому обертальний момент був пропорційний добутку напруги і сили струму. Гальмівний момент забезпечувався постійним електромагнітом, який впливав на алюмінієвий диск, прикріплений до якоря. Такий лічильник використовувався переважно для постійного струму.

У 1884 році Люсьєн Голар і Джон Діксон Гіббс винайшли «вторинний генератор», попередник сучасного трансформатора. Завдяки цьому з'явилась можливість застосування електричних систем змінного струму. Починаючи з 20-го століття, вони поступово змінили системи постійного струму.

Для обліку електроенергії знадобилось вирішити нове завдання – вимірювання електроенергії змінного струму. У 1885 році Галілео Ферраріс зробив важливе відкриття, що два поля змінного струму, які не збігаються по фазі можуть змусити обертатися суцільний ротор, такий як диск або циліндр.

У 1888 році незалежно від нього Нікола Тесла теж виявив обертове електричне поле. Шелленбергер також, випадково, відкрив ефект обертових полів в 1888 році і розробив лічильник кількості електрики для змінного струму. Протидіючий момент створювався гвинтовим механізмом. У такому лічильнику відсутній елемент напруги, щоб врахувати коефіцієнт потужності, тому він не підходив для роботи з електродвигунами. Ці відкриття послужили основою для створення індукційних двигунів і відкрили шлях індукційним лічильниками [2].

До чергового сторіччя, були розроблені трифазні індукційні лічильники, які використовують дві або три системи виміру, встановлені на одному, двох або трьох дисках. У міру поширення електрики, швидко з'явилася концепція багатотарифного електролічильника з локальним або дистанційним управлінням, лічильника максимального навантаження, лічильника попередньо оплаченої електроенергії.

Електронні технології не знаходили застосування в обліку електроенергії до тих пір, поки в 1970-х роках не з'явилися перші аналогові і цифрові інтегральні мікросхеми. Нова технологія дала новий поштовх до розвитку електричних лічильників. Спочатку були розроблені точні стаціонарні лічильники, які головним чином використовують принцип часоімпульсного множення.

Ідея зчитування показань лічильників на відстані з'явилася в 1960-х роках. Спочатку використовувалась дистанційна імпульсна передача, але поступово замість неї стали використовувати різні протоколи і засоби передачі даних. В даний час лічильники з розвиненими функціональними можливостями ґрунтуються на новітніх електронних технологіях, із застосуванням цифрової обробки сигналів, причому більшість функцій передбачені вбудованим програмним забезпеченням.

Аналіз типів лічильників

Всі лічильники електричної енергії [3] можна класифікувати за типом підключення, вимірюваними величинами та конструкцією (рис.1).

В індукційних лічильниках магнітне поле нерухомих струмопровідних котушок впливає

на рухомий елемент з провідного матеріалу. Рухомий елемент являє собою диск, по якому протікають струми, індуковані магнітним по-

лем котушок. Кількість спожитої електроенергії, в цьому випадку, прямо пропорційна числу обертів диска.

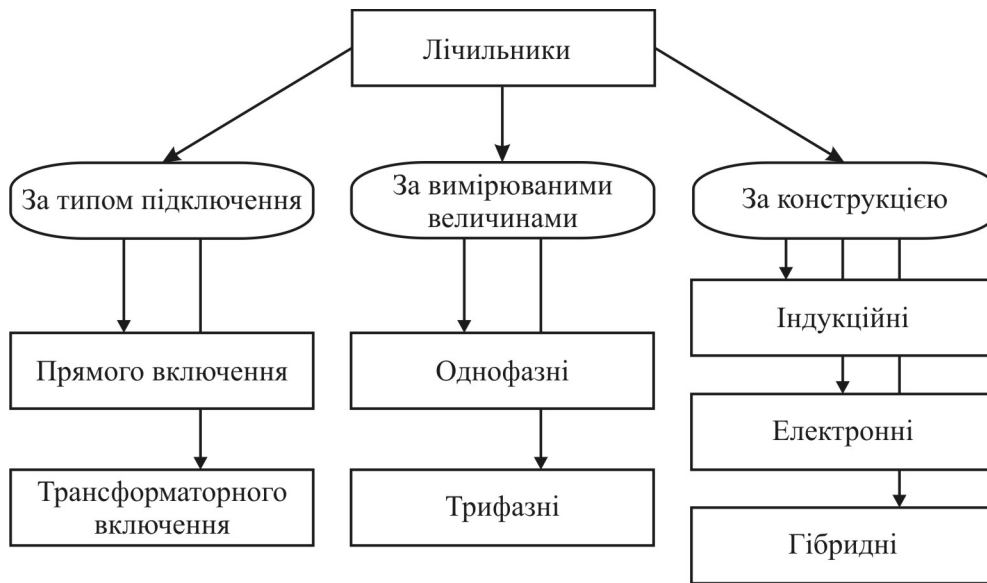


Рис. 1. Класифікація лічильників електричної енергії

Електронний лічильник представляє собою перетворювач аналогового сигналу в частоту проходження імпульсів, підрахунок яких дає кількість споживаної енергії, при чому відпадає необхідність застосування обертових елементів. Електронні лічильники забезпечують більш широкий інтервал входних напруг, дозволяють легко організувати багатотарифні системи обліку, мають режим ретроспективи чим дозволяють визначити кількість спожитої енергії за будь-який період; вимірюють споживану потужність, вписуються в конфігурацію систем автоматизованого комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ) та володіють додатковими сервісними функціями [4].

У цифрових системах обліку досяжний практично будь-який клас точності, при виборі відповідної елементної бази й алгоритмів обробки інформації. Відсутність механічних частин значно підвищує надійність. Обробка інформації в цифровому вигляді дозволяє одночасно підраховувати як активну, так і реактивну складові потужності, це є важливим, наприклад, при обліку енергії в трифазних мережах [5].

Гібридні лічильники електроенергії – проміжний варіант з цифровим інтерфейсом, вимірювальною частиною індукційного або електронного типу та механічним обчислювальним пристроєм.

У господарстві електрифікованих залізниць України на приєднаннях комерційного обліку застосовуються лише сучасні електронні лічильники з класом точності 0,5. Для сторонніх та

побутових споживачів невеликої потужності, як правило, використовуються гібридні лічильники з електронною вимірювальною частиною та подальшим механічним обчисленням з класом точності до 1,0. У випадку наявності потужних нетягових споживачів для обліку електроенергії застосовуються електронні лічильники з класом точності 0,5 та підключенням до системи АСКОЕ. В якості технічного обліку у мережах власних потреб можуть використовуватись і застарілі індукційні лічильники з класом точності до 2,0.

Окрім основної мети застосування обліку електроенергії, отриману достовірну інформацію про кількість виробленої електроенергії та потужності, її передачу, розподіл та споживання на оптовому і роздрібному ринку споживання можна використати і для вирішення наступних техніко-економічних завдань на всіх рівнях управління в енергетиці [6], тобто для:

- фінансових розрахунках за електроенергію і потужність між суб'єктами оптового і роздрібного ринку споживання;
- управління режимами електроспоживання;
- визначення та прогнозування складових балансу електроенергії;
- визначення вартості і собівартості виробництва, передачі, розподілу електроенергії та потужності;
- контролю технічного стану та відповідності вимогам нормативно-технічних докумен-

тив систем обліку електроенергії в електроустановках.

Типовий електронний лічильник має будову, блок-схема якої приведена на рис.2. Вхідні сигнали подаються через відповідні трансформаторні датчики на входи мікросхеми-перетворювача. З її виходу знімається частотний сигнал, що надходить на вхід мікроконтролера. Мікроконтролер складає кількість імпульсів, перетворюючи сигнал для одержання кількості енергії у Вт·год. По мірі накопичення кожної одиниці, значення накопиченої енергії виводиться на індикатор і записується до FLASH-пам'яті.

Серцем електронного лічильника є мікроконтролер, на який покладено виконання практично всіх функцій. В основному використовується в якості аналогово-цифрового перетворювача вхідного сигналу з трансформатора струму, виконує його математичну обробку і виводить результат на дисплей. Мікроконтролер також приймає команди від органів управління і здійснює управління інтерфейсними виходами. Можливості, якими володіє мікроконтролер, залежать від його програмного забезпечення, а різноманітність сервісних функцій і виконуваних завдань залежить від того, яке технічне завдання було поставлено перед розробкою програмного забезпечення.

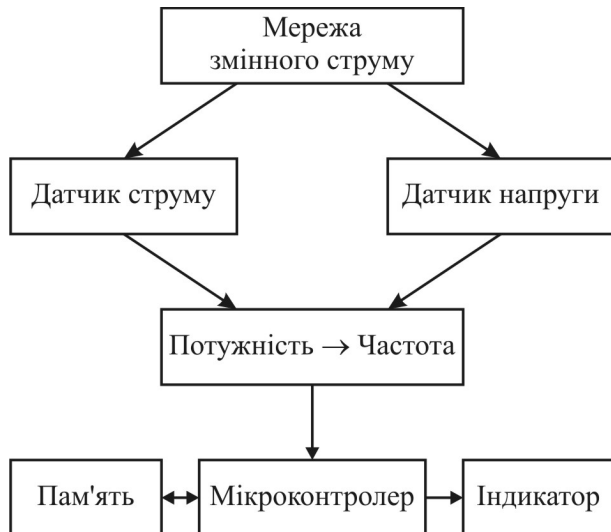


Рис. 2. Блок-схема будови електронного лічильника електроенергії

Електронні лічильники після випуску проходять заводську параметризацію, де встановлюються стандартні варіанти тарифікації. Перед установкою на конкретний об'єкт, вони проходять в обов'язковому порядку параметризацію в лабораторії АСКОЕ Енергозбуту, де в електролічильник встановлюються параметри

© Босий Д. О., Синьогіна О. М., 2014

відповідно до проектної документації і вноситься пароль захисту від несанкціонованого доступу.

Експериментальні вимірювання похибок електронних лічильників

Згідно з [7] повірці підлягають засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, випускаються з серійного виробництва, ремонту та у продаж, на які поширюється державний метрологічний нагляд. Повірку засобів вимірювальної техніки під час експлуатації та випуску з виробництва проводять метрологічні центри та територіальні органи, в яких зберігаються відповідні еталони. Засоби вимірювальної техніки визначають придатними до застосування, якщо результати повірки підтверджують їх відповідність метрологічним і технічним вимогам до цих засобів вимірювальної техніки, встановленим у нормативних чи експлуатаційних документах.

При проведенні повірки лічильників виконують наступні операції перевірки:

- зовнішнього огляду;
- електричної міцності ізоляції;
- роботи лічильного механізму;
- порогу чутливості;
- відсутності самоходу;
- метрологічних характеристик в режимі несиметричного навантаження.

При виконанні повірки клас точності встановлюється при дотриманні наступних нормальних умов роботи лічильника, а саме:

- 1) температура навколишнього середовища $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- 2) відносна вологість повітря 30...80 %;
- 3) атмосферний тиск 630...795 мм. рт. ст.;
- 4) відсутність зовнішніх магнітних полів (не більше 0.5 мТл);
- 5) номінальна частота $50 \pm 0,5$ ($60 \pm 0,6$) Гц;
- 6) пряме чергування фаз;
- 7) рівномірність і симетричність навантаження;
- 8) синусоїдність кривої струму та напруги з коефіцієнтом несинусоїдності не більше 5%;
- 9) відхилення значення фазної або лінійної напруги від номінального значення $\pm 1\%$;
- 10) відхилення значення сили струму в кожній фазі від середнього значення $\pm 1\%$;
- 11) відхилення від вертикального розташування лічильника по вертикалі не більше 1 %.

Кількісне значення основної відносної похибки лічильника δ_c , % розраховують для кожного з режимів перевірки за наступною формулою

$$\delta_c = \frac{C_c \cdot N_c - C_y \cdot N_e}{C_y \cdot N_e} \cdot 100, \quad (1)$$

де C_c – постійна лічильника, що підлягає повірці, виражається у ват-годинах на імпульс;

C_y – коефіцієнт перетворення еталонних засобів вимірювання повірочної установки;

N_c, N_e – число імпульсів, що надходять з вихідного пристрою до лічильника, що перевіряється та еталонного лічильника відповідно.

Результати повірки можна вважати прийнятними, якщо отримані значення основної відносної похибки при всіх точках навантаження не перевищують значення меж допустимої основної відносної похибки. Наприклад, для лічильника з класом точності 1,0 (для активної енергії) значення меж допустимої основної відносної похибки, відповідно до [8], складає $\delta_c = \pm 1,5\%$, а для класу точності 2,0 (реактивної енергії) $\delta_c = \pm 2,5\%$.

З метою перевірки обліку електричної енергії у несинусоїдному режимі в учбовій лабораторії навмисно створені умови, які відрізняють-

ся від вимог стандарту стосовно допустимих значень синусоїдності напруги та струму.

Схема для вимірювання лічильниками спожитої електроенергії приведена на рис.3, яка складається з 2 частин:

1) перша частина призначена для живлення обмоток напруги лічильників з використанням ЛАТРу, до вторинної обмотки якого підключаються відповідні обмотки кожного лічильника;

2) друга частина являє собою фізичний макет компенсації реактивної потужності з плавним тиристорним регулюванням і складається з:

- батареї конденсаторів увімкнених послідовно з реактором, утворюючи LC-фільтр налаштований на 3 гармоніку (компенсуючий контур);

- послідовно з'єднаних реактора та зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів (декомпенсуючий контур);

- підключеного індуктивного навантаження, у якості якого використовується двигун увімкнений через підвищуючий трансформатор.

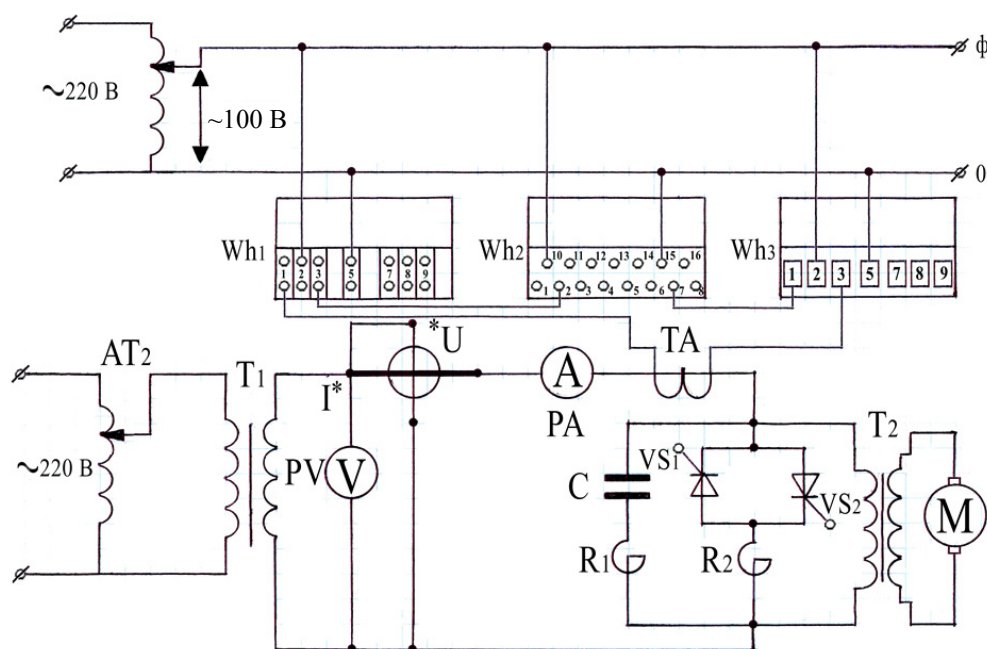


Рис. 3. Схема підключення приладів обліку та навантаження

Лічильники у першій частині схеми було обрано одного класу точності (1,0) різних типів, які для уникнення можливих претензій свіdomo не вказуються.

Для досягнення поставленої задачі у якості еталонного приладу застосовано аналізатор

якості електричної енергії EDL-175 SATEC з класом точності 0,2. Прилад SATEC має 2 режими вимірювання реактивної потужності:

1) за миттєвими значеннями струму та напруги розраховується активна та повна потуж-

ності, а реактивна потужність є їх функцією, $Q = f(S, P)$;

2) за діючими значеннями струму та напруги, а також за кутом між ними розраховуються активна та реактивна потужності, а повна потужність є їх функцією, $S = f(Q, P)$.

Вимірювання проводились одночасно і лічильником, і еталонним приладом, з налаштуваннями спочатку на один, а потім на інший другий режим вимірювання потужності.

Знімання показів приладів відбувалось з кожною зміною характеру навантаження. Реєструвались такі показники: активна та реактивна потужності, струм навантаження, коефіцієнт спотворення форми струму, фіксувались осцилограми струму і напруги.

Режими зміни навантаження, використані у даному експерименті можна умовно поділити на три частини:

1) режим, при якому відсутня реактивна потужність основної гармоніки, $\varphi_1 = 0$;

2) режим недокомпенсації реактивної потужності при недорегульованні компенсації реактивної потужності за допомогою тиристорів;

3) режим перекомпенсації, за якого відсутнє регулювання тиристорним декомпенсатором.

Результати експериментальних вимірювань похибок лічильника зведені до табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань похибок лічильника

Дослідний		Еталонний				
P , Вт	Q , вар	I_{THD} , %	I , А	P , Вт	Q , вар	
					1	2
184	-382	2,2	4,35	181	-393	-390
178	-351	5,2	4,06	179	-361	-371
172	-316	10,6	3,7	174	-320	-336
170	-283	14,8	3,47	168	-290	-288
170	-236	20,6	3,09	169	-243	-251
174	-171	31,1	2,68	172	-176	-185
180	-123	37,5	2,47	178	-126	-160
225	-10	53,1	2,591	224	-13	-113
233	9	52,3	2,7	230	8	-106
305	148	40,5	3,72	304	146	216
395	262	30,2	5,07	393	268	297

Примітка: 1 – $Q = f(S, P)$; 2 – $S = f(P, Q)$.

На рис. 4 – 6 представлені характерні осцилограми струмів і напруги в окремих режимах навантаження.

Отримані значення сили струму, коефіцієнта спотворення форми кривої струму та кути зсуву фаз під час проведення експерименту в лабораторних умовах дають можливість відтворити форми кривих струму за допомогою програмного забезпечення WinSAM (рис. 7) універсальної системи для перевірки трифазних лічиль-

© Босий Д. О., Синьогіна О. М., 2014

ників електричної енергії MTS 320 виробництва Zera в умовах сертифікованої лабораторії.

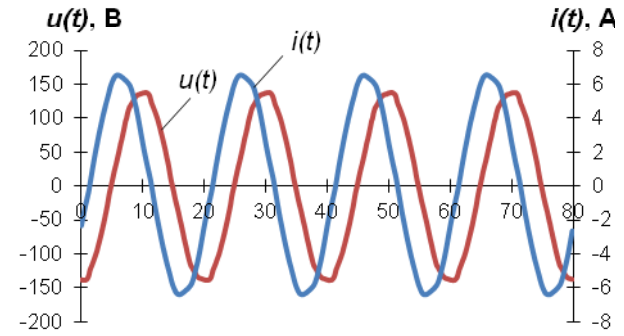


Рис. 4. Осцилограми напруги і струму в режимі перекомпенсації реактивної потужності при відсутності регулювання ($I = 4,35$ А, $\varphi_1 = -64,2^\circ$, $I_{THD} = 2,2$ %)

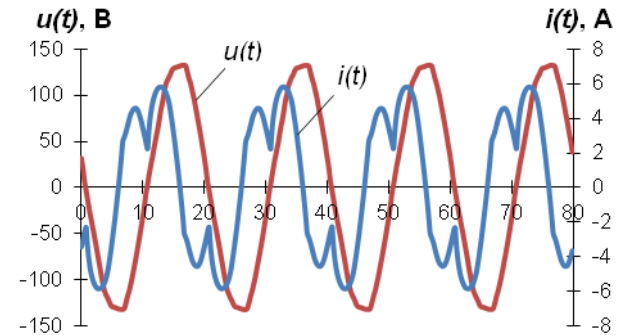


Рис. 5. Осцилограми напруги і струму при початку регулювання струму декомпенсації ($I = 5,07$ А, $\varphi = -34,3^\circ$, $I_{THD} = 30,2$ %)

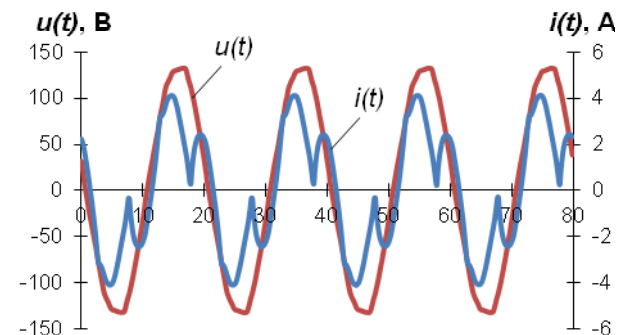


Рис. 6. Осцилограми напруги та струму у режимі, при якому відсутня реактивна потужність основної гармоніки ($I = 2,591$ А, $\varphi_1 = 0^\circ$, $I_{THD} = 53,1$ %)

Під час повторення експерименту в умовах сертифікованої лабораторії були використані ті ж самі типи електронних лічильників.

Аналіз отриманих результатів

При обробці результатів, отриманих під час виконання експериментальних дослідів, отримано залежність похибки електронного лічильника від коефіцієнта спотворення струму (рис. 8), яка відображає, що при значеннях I_{THD} більше 25 %, дослідний лічильник виходить за клас точності.

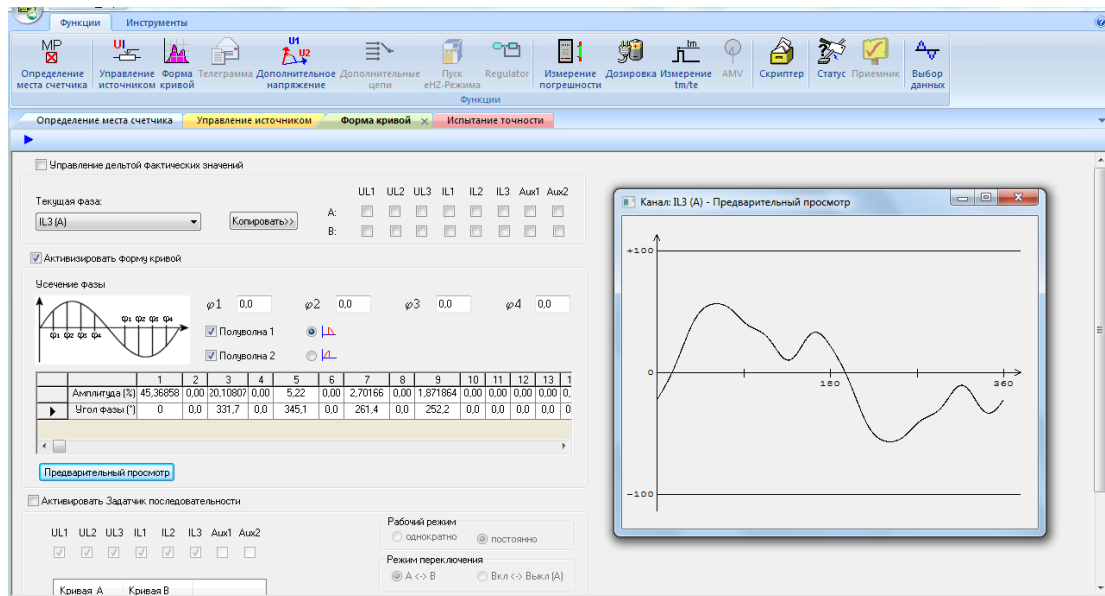


Рис. 7. Скріншот програми WinSAM при уведенні параметрів для отримання кривої форми струму з нульовим кутом зсуву фаз за основною гармонікою

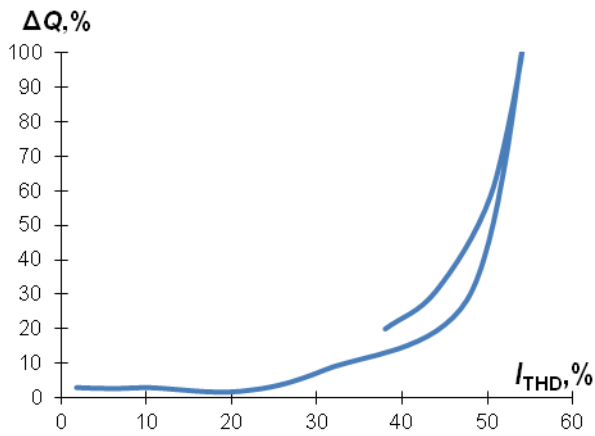


Рис. 8. Похибка електронного лічильника в залежності від коефіцієнта спотворення струму

Зіставляючи результати вимірювань реактивної потужності для двох приладів та двох режимів роботи еталонного приладу, отримана залежність (рис. 9), з якої видно, що для малих значень коефіцієнта спотворення струму реактивні потужності для двох методів розрахунку практично не відрізняються. При збільшенні спотворень струму збільшується різниця між цими величинами. Особливим є те, що за наявності спотворень реактивна потужність за концепцією Фризе змінює знак при зміні характеру навантаження, при цьому не дорівнюючи нулю.

Отримані результати свідчать про те, що при вимірюванні активної потужності (за умов, що не відповідають повірочним аспектам – нелінійне навантаження, підвищений рівень несинусоїдності напруги) основна відносна похибка відповідає допустимим класу точності значенням, а при вимірюванні реактивної потужності (за тих самих умов) основна відносна похибка

відповідає допустимим класу точності значенням лише для реактивної потужності першої гармоніки та при коефіцієнті спотворення форми струму не більше ніж 25%, а для інших значень – не відповідає.

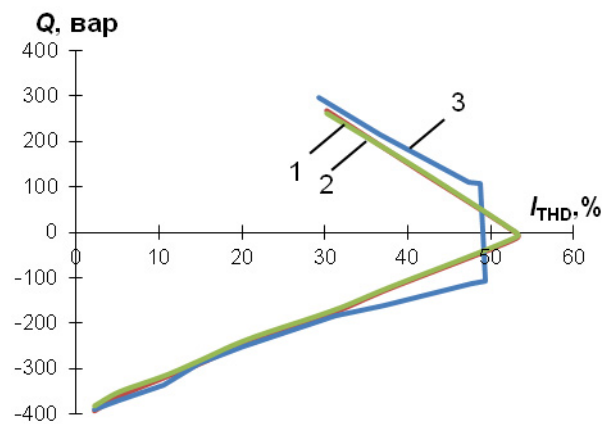


Рис. 9. Реактивні потужності в залежності від коефіцієнта спотворення струму: 1 – основної гармоніки за лічильником; 2 – основної гармоніки за еталонним приладом; 3 – потужність Фризе за еталонним приладом

При проведенні дослідів в умовах сертифікованої лабораторії за допомогою системи для перевірки лічильників були отримані чисельні результати, які приведені в табл. 2.

Як видно з табл. 2, лічильники 1 та 3 не виходять за межі своїх класів точності за умов, що не відповідають повірочним аспектам, а лічильник типу 2 – виходить. Також, аналізуючи покази дослідних та зразкового лічильників, можна стверджувати, що розрахунок реактивної потужності ведеться за основною гармонікою 50 Гц, а можливі потоки потужностей інших гармонік не враховуються.

© Босий Д. О., Синьогіна О. М., 2014

Таблиця 2

Значення похибок, отриманих з модуля вимірювання похибок лічильників

Прилад	Похибка δ_c , % за умов		
	$\varphi_1 = 0$	$\varphi > 0$	$\varphi < 0$
Лічильник 1	∞	-0,171	0,26
Лічильник 2	100	-5,151	3,883
Лічильник 3	0	-0,098	-0,123

Висновки

Цифрові системи обліку можна побудувати для будь-якого класу точності при відповідному виборі елементної бази та алгоритмів обробки інформації.

Електронні прилади обліку електричної енергії можуть мати декілька алгоритмів визначення реактивної потужності, які базуються на

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Siczenko W. G. Badanie liczników różnych typów pod niezrównoważonym obciążeniem / W. G. Siczenko, O. P. Koszma // Infrastruktura transportu. – 2013. – № 1. – P. 46-48.
2. Джиэзо Кмети История электросчетчика // Электронный журнал энергосервисной компании Экологические системы [URL: http://escosys.narod.ru/2007_2/art146.htm]. – № 2. – 2007.
3. ГОСТ 30207-94 Статистические счетчики Ватт-часов активной энергии переменного тока (классы точности 1 и 2). – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 54 с.
4. Гуртовцев, А. Электронные счетчики. Доверяют или проверяют? / А. Гуртовцев, В. Бордаев, В. Чижонков // Электронный журнал «Новости Электротехники». – 2005. – № 1(31), 2(32).
5. Тонкаль, В. Е. Баланс энергий в электрических цепях / В. Е. Тонкаль, В. А. Новосельцев, С. П. Денисюк. – К.: Наук. Думка, 1992. – 312 с.
6. Тубинис, В. В. Европа принимает общие технические требования к приборам учета топливных энергетических ресурсов / В. В. Тубинис, О. В. Балашов // Электро. Электротехника. Электроэнергетика. Электротехническая промышленность. – 2005. – № 1. – С. 47-51.
7. ДСТУ 2708:2006. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.
8. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования. – Взамен ГОСТ 13600-68; Введ. 01.07.81.
9. Босий Д. О. Особливості роботи електронних лічильників у несинусоїдних режимах тягових підстанцій електричного транспорту / Д. О. Босий // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – №9 (115). – С.29-37.

відомих теоретичних підходах до визначення неактивних складових повної потужності.

Приведені результати досліджень показують, що при виборі типу комерційних приладів обліку для нелінійних навантажень, зокрема для тягових підстанцій постійного та змінного струму, необхідно звертати увагу на результати випробувань при заниженій якості електричної енергії.

За результатами вимірювань встановлено, що при вимірюванні активної потужності основна відносна похибка відповідає допустимим за класом точності значенням, а при вимірюванні реактивної потужності основна відносна похибка відповідає допустимим за класом точності значенням лише для реактивної потужності першої гармоніки та при коефіцієнті спотворення форми струму не більше за 25%

REFERENCES

1. Siczenko W. G. Badanie liczników różnych typów pod niezrównoważonym obciążeniem / W. G. Siczenko, O. P. Koszma // Infrastruktura transportu. – 2013. – № 1. – P. 46-48.
2. Dzhiezo Kmeti Istorija elektroschetchika [History of the meter] // Electronic Journal of the energy service company Environmental Systems [URL: http://escosys.narod.ru/2007_2/art146.htm]. – № 2. – 2007.
3. GOST 30207-94 Statistical watt-hour meters for active energy alternating current, Moscow, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1996, 54 p.
4. Gurtovtsev A., Borodaev V., Chizhonok V. *Elektronnie schetchiki. Dovyat' ili provyatyat'* [Electronic meters. Trust or check?] // Electronic journal "News of Electrical Engineering", 2005, № 1(31), № 2(32).
5. Tonkal' V. E., Novoseltsev V. A., Denisyuk S. P. *Balans energiy v elektricheskikh tsepyah* [The energy balance in electrical circuits], Kiev, Scientific Thought Publ., 1992, 312 p.
6. Tubinis V. V., Bapashov O. V. *Evropa prinimaet obshchie tehnicheckie trebovaniya k priboram ucheta toplivnykh energeticheskikh resursov* [Europe takes the general technical requirements for metering devices of fuel and energy resources] // Electro. Electrical Engineering. Electric power industry. Electrical industry, 2005, №1, pp. 47-51.
7. DSTU 2708:2006. *Povyirka zasobiv vymyruval'noyi tehniky. Organizatsiya ta porydok provedennyya* [Verification of measuring instruments. Organization and procedures].
8. GOST 8.401-80. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Klassy tochnosti* [State system for ensuring the uniformity of measurements. Accuracy classes of measuring instruments], Moscow, Stand. Publ., 1981.
9. Bosiy D. O. *Osoblyvosti roboty elektronnykh lichil'nykh u nesinusoidnykh rezhimakh tyagovykh pid-*

Надійшла до друку 12.05.2014.

stantsiy elektrichnogo transportu [Features of electronic meters in nonsinusoidal modes of traction substations of electric transport] // Energy saving. Energetics. Energy audit, 2013, № 9(115), pp. 29-37.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Денисюк С. П.*

В статті розглядається питання виникнення похибок електронних лічильників унаслідок спотворення синусоїдності напруги і струму на тягових підстанціях електрифікованих залізниць. Проаналізовано область застосування, необхідність створення та основні етапи розвитку лічильників електроенергії. Запропоновано експериментальним шляхом визначити похибку електронного лічильника при невідповідності однієї з нормальних умов роботи, а саме наявність гармонійних спотворень у кривих струму та напруги. Виконані експериментальні дослідження в умовах учбової та сертифікованої лабораторії, які показали збіжні результати для широкого діапазону зміни коефіцієнта спотворення синусоїдності струму. Встановлено, що дослідні типи лічильників у своїй роботі налаштовані на класичне уявлення визначення реактивної потужності. Практичну цінність складає отримане в результаті досліджень критичне значення коефіцієнта спотворення, при якому лічильник виходить за межі, регламентовані класом точності.

Ключові слова: тягова підстанція, гармонійні спотворення, лічильник, електроенергія, похибка.

УДК 621.331.3

Д. А. БОСЬИЙ, О. Н. СИНЕГИНА (ДНУЖТ)

Кафедра Электроснабжение железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: (056) 793-19-11, эл. почта: dake@i.ua

УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ СЧЕТЧИКАМИ В УСЛОВИЯХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ

В статье рассматривается вопрос возникновения погрешностей электронных счетчиков вследствие искажения синусоидальности напряжений и токов на тяговых подстанциях электрифицированных железных дорог. Проанализирована область применения, необходимость создания и основные этапы развития счетчиков электроэнергии. Предложено экспериментальным путем определить погрешность электронного счетчика при несоответствии одного из нормальных условий работы, а именно наличие гармонических искажений в кривых напряжений и токов. Выполнены экспериментальные исследования в условиях учебной и сертифицированной лаборатории, которые показали согласующиеся результаты для широкого диапазона изменения коэффициента искажения синусоидальности тока. Установлено, что исследуемые типы счетчиков в своей работе настроены на классическое представление определения реактивной мощности. Практическую ценность составляет полученное в результате исследований критическое значение коэффициента искажения, при котором счетчик выходит за пределы, регламентированные классом точности.

Ключевые слова: тяговая подстанция, гармонические искажения, счетчик, электроэнергия, погрешность.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Денисюк С. П.*

UDC 621.331.3

D. O. BOSIY, O. M. SINYOGINA (DNURT)

Department of Power supply of Railways, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 793-19-11, e-mail: dake@i.ua

THE ENERGY METERING OF THE MODERN ELECTRONIC METERS IN A HARMONIC DISTORTION CONDITION

The article discusses the occurrence of errors due to electronic meters harmonic distortion of voltages and currents in the traction substations of the electrified railways. The field of application, the need to create and the main stages of electric power meters development is analyzed. The accuracy of the electronic meter for non-compliance of one of the normal operating conditions, namely the presence of harmonic distortion in the voltage and current curves, invited to determine experimentally. Experimental researches in terms of educational and certified laboratory performed for a wide range of variation of total harmonic distortion of the current. Researches have shown consistent results. It has been established that the investigated types of meters in their work set to the classical concept of the definition of reactive power. Practical value is obtained as a result of research in critical distortion factor value at which the meter is outside the range which regulated by the class accuracy.

Keywords: traction substation, harmonic distortion, meter, electric energy, error, accuracy class.

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*

© Босий Д. О., Синьогіна О. М., 2014