

УДК 621.317.7

¹С.К. Батуревич, канд. техн. наук
²М.О. Петрище**ПЕРЕВІРКА ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ЧУТЛИВІСТЬ
ДО ЗМІНИ СТРУМУ В НУЛЬОВОМУ КАНАЛІ**¹Закрите акціонерне товариство “Компанія Рісток”²НАУ, кафедра інформаційних технологій, e-mail: qq000@yandex.ru

Запропоновано методику перевірки однофазних електронних лічильників активної енергії змінного струму на їх чутливість до зміни струму в нульовому провіднику мережі електропостачання. Визначено границі можливого недообліку електричної енергії при зміні сили струму та його фази.

Вступ

Під час розробки будь-якої високотехнологічної продукції однією з суттєвих проблем для виробника є захист її від копіювання. З цією метою виробник може обмежувати (або навіть спотворювати) відомості щодо деяких особливостей свого продукту. У той самий час відсутність повної інформації може призвести до певних помилок під час проектування або теоретичних розрахунків, що базуються на такій інформації. Тому теоретичні розрахунки потребують підтвердження емпіричними методами.

Аналіз публікацій

У праці [1] теоретично визначено, що однофазні електронні лічильники активної енергії змінного струму з перетворювачами струму у фазному і нульовому провідниках (далі буде розглядатися лише цей вид лічильників) можуть бути чутливими до методу несанкціонованого відбору електричної енергії, який базується на зміні амплітуди та/або фази струму в нульовому провіднику. Для експериментального підтвердження такої можливості згідно з працею [1] потрібен трансформатор струму з фазорегулятором, які не є складними пристроями. Разом із тим, їх розробку і опис для експериментальних досліджень можна використати як інструкцію з безоплатного користування електричною енергією.

Мета статті – розробка методики, що дозволила б експериментально підтвердити чи спростувати чутливість лічильників до зміни параметрів струму в нульовому каналі без застосування додаткових пристроїв.

Постановка завдання

Використовуючи електронний лічильник, установку для перевірки лічильників електричної енергії класів точності 1,0 та нижче, наприклад, У1134М або К68001, зразковий лічильник класу точності 0,2 або вище, наприклад У441, необхідно розробити методику дослідження та зробити висновки щодо чутливості такого виду лічильників до вказаного методу несанкціонованого відбору.

Розв'язок

Розглянемо можливості установки для перевірки метрологічних характеристик лічильників У1134. Діапазон установлення напруг становить від 0,015 до 650 V, струмів – від 0,010 до 100 А, кутів зсуву фаз між фазними напругами та струмами – від 0 до 360°.

Значення струмів і напруг установлюються за допомогою регулювальних елементів окремо для кожної фази, значення кутів зсуву фаз – за допомогою фазорегулятора одночасно для всіх фаз. Ураховуючи зазначені можливості установки, лічильник, що перевіряється, та зразковий лічильник можна ввімкнути до установки за схемою, яка наведена на рис. 1.

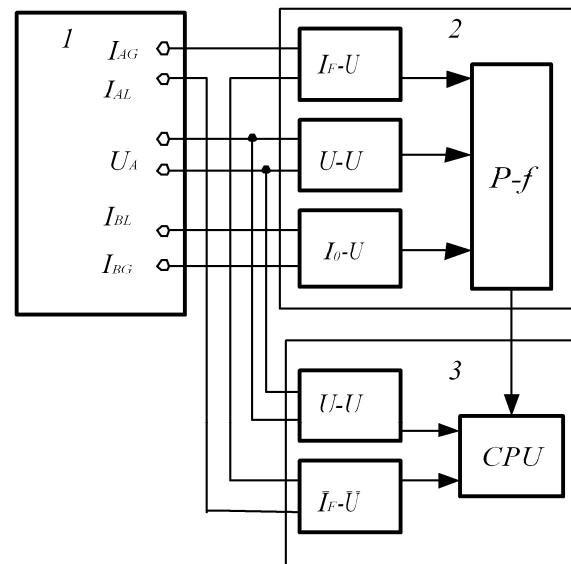


Рис. 1. Схема ввімкнення приладів та установки для проведення експерименту:

1 – установка У1134; 2 – лічильник, що перевіряється; 3 – зразковий лічильник; $U-U$ – перетворювачі напруга–напруга лічильників; I_F-U – перетворювачі струм–напруга у фазному каналі лічильника, що перевіряється, та зразкового лічильника; I_0-U – перетворювач струм–напруга в нульовому каналі лічильника; $P-f$ – перетворювач активної енергії в частоту; CPU – мікроконтролер

Векторну діаграму струмів і напруг на входах лічильника показано на рис. 2.

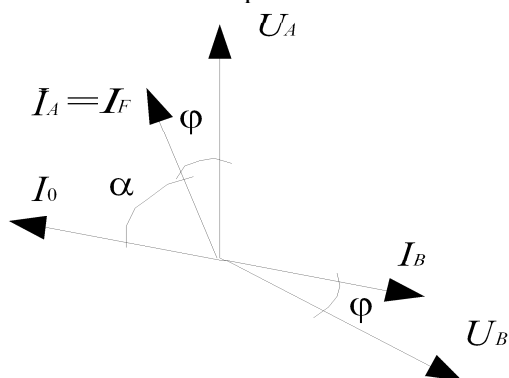


Рис. 2. Векторна діаграма струмів і напруг на виході установки та на входах лічильників під час випробування

З діаграми видно, що в разі обліку електричної енергії W_F за фазним каналом її значення становить $W_F = U_A I_A \cos \varphi$,

де U_A – дійсне значення напруги, встановленої у фазі А установки; I_A – дійсне значення сили струму, встановленого у фазі А установки; φ – кут зсуву фаз між напругою та струмом у фазовому каналі лічильника.

У разі обліку електричної енергії за нульовим каналом значення енергії W_0 становить

$$W_0 = U_A I_B \cos(\alpha + \varphi),$$

де I_B – дійсне значення сили струму, встановленого у фазі В установки; α – зсув фаз між струмом у фазовому каналі лічильника та нульовому (у цьому випадку для схеми на рис. 1 $\alpha = 60^\circ$ між зворотним струмом фази В та струмом фази А установки).

Згідно з методом, запропонованим у праці [1], у нульовому каналі лічильника протікає струм I_0 , фазовий зсув якого відносно струму у фазовому каналі I_F та різницю між ними за амплітудою можна регулювати, оскільки можна регулювати амплітуду, фазування та фазовий зсув додаткового струму I_D , який створюється за допомогою трансформатора та фазорегулятора.

Розглянемо критерії доцільності можливого методу несанкціонованого відбору для лічильника зі зміненими значеннями струму в нульовому каналі. Величину недообліку електричної енергії δ_n у відсотках можна визначити за формулою

$$\delta_n = \frac{W_F - W_0}{W_F} 100 = \frac{U I_F \cos \varphi - U I_0 \cos(\varphi + \alpha)}{U I_0 \cos(\varphi + \alpha)} 100 = \left(1 - \frac{I_0 \cos(\varphi + \alpha)}{I_F \cos \varphi} \right) 100. \quad (1)$$

За формулою (1) можна визначити основний критерій доцільності несанкціонованого відбору за вказаним методом. Недооблік електричної енергії буде відбуватися лише за умови

$$I_0 \cos(\varphi + \alpha) < I_F \cos \varphi.$$

За умови

$$I_0 \cos(\varphi + \alpha) = I_F \cos \varphi$$

облік енергії не змінюється, а якщо

$$I_0 \cos(\varphi + \alpha) > I_F \cos \varphi,$$

відбувається “переоблік”, тобто лічильник нараховує більше ніж фактично споживається електричної енергії.

Оскільки у споживачів електричної енергії, як правило, лише активне навантаження (коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 1$, $\varphi = 0^\circ$), то формула (1) для цього випадку набуває вигляду

$$\delta_n = \left(1 - \frac{I_0 \cos \alpha}{I_F} \right) 100. \quad (2)$$

Методика перевірки лічильників

Для перевірки лічильників доцільно виконати такі операції:

- 1) прилади та обладнання приєднати за схемою, показаною на рис. 1;
- 2) установити напругу 220 V у фазі А установки;
- 3) установити струм 2,5 A у фазі А;
- 4) за показами зразкового лічильника визначити похибку лічильника;
- 5) збільшуючи струм у фазі В, досягти моменту, коли лічильник почне обліковувати електричну енергію за нульовим каналом (це контролюється за показами зразкового лічильника);
- 6) зменшуючи струм у нульовому каналі та контролюючи значення недообліку, досягти моменту, коли лічильник знову почне облік за основним каналом;
- 7) після повторного виконання п. 5, змінюючи фазорегулятором кут зсуву фаз між струмами та напругами, досягти такого його значення, за якого значення недообліку виявиться на рівні 100 % (лічильник повністю перестане рахувати електричну енергію).

Відповідно до формули (1) таке явище має відбутися при куті зсуву фаз $\varphi = 30^\circ$.

Результати експериментальних досліджень

Під час виконання пп. 1–5 розробленої методики було визначено, що перемикання лічильника на облік за нульовим каналом відбувається при струмі $I_0 > 6,5 A$. За формулою (2) недооблік за цих умов становить

$$\delta_n = \left(1 - \frac{6,5 \cos 60}{2,5} \right) 100 = -30 \%.$$

Від'ємний знак указує на те, що під час вимірювання активної енергії лічильника відбувається не недооблік, а "переоблік". Експериментально визначена похибка вимірювання електричної енергії відносно основного каналу становила 28,5 % ("переоблік").

У разі зменшення струму I_0 (п. 6 методики) перемикання лічильника на облік за фазним каналом відбувається при струмі $I_0 < 4$ А. Розрахункова величина недообліку при вказаному струмі за формулою (2) становить

$$\delta_n = \left(1 - \frac{4 \cos 60}{2,5} \right) 100 = 20 \% .$$

Експериментально була досягнута максимальна величина недообліку 23,5 % при струмі $I_0 = 4$ А. Розбіжність між розрахунковими величинами недообліку та експериментально отриманими можна пояснити похибкою вимірювання струмів I_F , I_0 та похибкою при отриманні кута зсуву фаз $\varphi = 60^\circ$ (через відсутність повної симетрії напруг в установці).

Під час дослідження чутливості лічильника до зміни зсуву фаз у нульовому каналі були отримані такі результати.

Під час виконання пп. 1–5 та 7 розробленої методики (для одночасної зміни кута зсуву фаз між струмом I_F і напругою та струмом I_0 і напругою) найбільше значення недообліку дорівнювало 58,5 % при коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0,92$ ($\varphi = 23,1^\circ$).

Коефіцієнт потужності контролювався за допомогою зразкового ватметра. При куті $\varphi > 23,1^\circ$ лічильник перемикався на облік за фазним каналом. Розрахункова величина недообліку при $I_0 = 6,5$ А та $\varphi = 23,1^\circ$ за формулою (1) становить

$$\delta_n = \left(1 - \frac{6,5 \cos(23,1 + 60)}{2,5 \cos 23,1} \right) 100 = 65,9 \% .$$

Е.К. Батуревич, Н.А. Петрище

Проверка счетчиков электрической энергии на чувствительность к изменению тока в нулевом канале
Предложена методика для проверки однофазных электронных счетчиков активной энергии переменного тока на их чувствительность к изменению тока в нулевом проводнике сети электроснабжения. Определены пределы возможного недоучета электрической энергии при изменении силы тока и его фазы.

E.K. Baturevych, M.O. Petrischtsche

Check of watt-hours meters on sensitivity to a modification of a current in the zero channel

The procedure for check of single-phase static watt-hours meters on their sensitivity to a modification of a current in a zero conductor of a web designed. The limits of the possible illconditioned account of the current are defined at a modification of a current intensity and his phase.

Розбіжності між отриманими розрахунковою величиною недообліку та результатами експерименту можна пояснити тими самими факторами, що і при попередньому випробуванні.

Результати останнього випробування мають особливий інтерес, оскільки не було досягнуто граничної мети – підтвердження можливої повної "зупинки" лічильника. Разом із тим, отримані під час випробувань значення недообліку є дуже суттєвими, оскільки для нечесного споживача вони є "привабливими економічно" та відносно безпечними, оскільки не існує явних ознак відбору електричної енергії.

Перспективи подальших досліджень

Оскільки факт певного недоліку активної енергії в існуючих лічильних можна вважати доведеним, вбачається доцільним створити дослідні зразки лічильників із перетворювачем активної потужності в частоту, структуру та принципи функціонування яких наведено у праці [1].

Висновок

Лічильники з двома перетворювачами струму мають недосконалий перетворювач активної потужності в частоту, що призводить до недообліку електроенергії в разі застосування компенсуючого трансформатора струму.

У цьому випадку недооблік споживаної енергії може становити до 60 %, що підтверджено розробленою методикою випробувань на стандартному метрологічному обладнанні.

Запропонована методика може бути використана під час випробувань лічильників на тендерах з їх закупівлі енергопостачальними компаніями.

Література

1. Батуревич Е.К., Петрище М.О. Особливості проектування перетворювачів активної потужності в частоту // Вісн. НАУ. – 2005. – №3 – С. 188–191.
2. Energy metering IC with on-chip fault detection// www.analog.com.

Стаття надійшла до редакції 20.10.05.