

УДК 621.317.7

¹С.К. Батуревич, канд. техн. наук
²М.О. Петрище**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЧАСТОТУ**¹Закрите акціонерне товариство “Компанія Росток”²Кафедра інформаційних технологій, НАУ, e-mail: qq000@yandex.ru

Проаналізовано рівень захищеності статичних однофазних лічильників електричної енергії щодо можливості несанкціонованого відбору електричної енергії електричними методами. Відзначено недоліки перетворювачів активної потужності в частоту імпульсів, що використовуються в таких лічильниках. Запропоновано методи їх удосконалення.

Вступ

Останнім часом в Україні дуже гостро стоїть питання оплати споживання електричної енергії, що є специфічним видом товару. Це пов'язано як зі зменшенням платоспроможності населення, так і з сприйняттям електроенергії не як товару, а як природного блага. Ці обставини призвели до того, що для зменшення плати за споживання поширилися випадки несанкціонованого відбору електричної енергії шляхом зменшення показів приладів обліку (лічильників).

Масштаби цієї проблеми такі, що компанії-постачальники електричної енергії почали з нею цілеспрямовану боротьбу. Ця боротьба проводиться в двох напрямках:

- підвищення кваліфікації працівників Енергозбуту, що інспектують споживачів;
- використання для обліку лічильників із захистом від несанкціонованого споживання.

Унаслідок цього слід вважати актуальним завдання розробки лічильників, захищених від несанкціонованого відбору електричної енергії. Основні прийоми (методи і засоби) несанкціонованого споживання наведено в праці [1].

Мета статті – аналіз захищеності однофазних лічильників електричної енергії від найбільш поширеного методу несанкціонованого відбору – методу з застосуванням компенсуючого трансформатора струму.

Аналіз публікацій

Суть методу несанкціонованого відбору електричної енергії з використанням компенсуючого трансформатора струму полягає в створенні компенсуючого струму в колі струму лічильника [1]. Трансформатор, лічильник і навантаження споживача у цьому випадку вмикаються так, як показано на рис. 1. Підбором кількості витків і полярності вмикання однієї з обмоток трансформатора при замкнутому перемикачі K компенсується струм, що проходить через обмотку струму індукційного лічильника або шунт чи трансформатор струму (перетворювачі струм–напряга) статичного (електронного) лічильника.

Більш того, в індукційних лічильників без стопора зворотного ходу таке вмикання дозволяє змінити напрямок обертання диска, чим здійснювати відмотку показів лічильника значними розмірами за короткий час.

Для реалізації цього методу використовують силові трансформатори від лампових радіоприймачів і телевізорів, що повністю вичерпали свій ресурс та підлягають утилізації.

Для реалізації такого методу необхідно сурогатне занулення або заземлення. Для цього використовують водопровідні і каналізаційні труби, труби водяного опалення або спеціально сконструйовану та закопану в землю металеву конструкцію. Крім зазначених технічних засобів, для реалізації методу необхідно провести організаційний захід: змінити фазування підключення лічильника, тобто змінити місцями фазний і нульовий провідники генератора на клеммах лічильника.

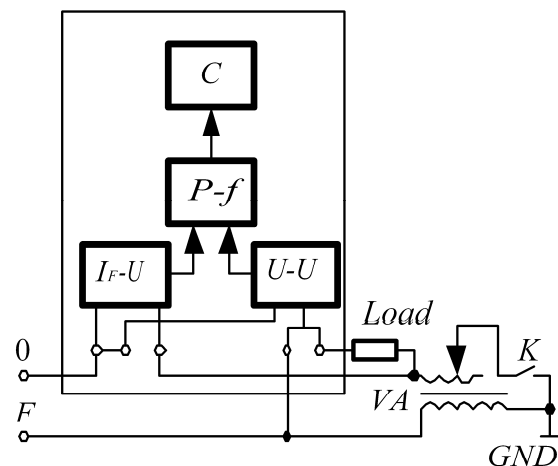


Рис. 1. Метод несанкціонованого відбору електричної енергії з допомогою компенсуючого трансформатора:

C – лічильник імпульсів; $P-f$ – перетворювач активної потужності в частоту імпульсів; I_f-U – перетворювач струм–напряга; $U-U$ – перетворювач напруга–напряга; $F, 0$ – фазний та нульовий провідники мережі електропостачання; $Load$ – навантаження споживача; VA – трансформатор струму; GND – сурогатне заземлення

Останню умову іноді буває складно виконати без видимого порушення пломбування, оскільки вдосконалення пломб відбувається постійно.

Переваги цього методу – його універсальність і зовнішня прихованість, недолік – необхідність зміни фазування підключення лічильника, що у разі прискіпливого дослідження проводки споживача може бути виявлена спеціалістами енергопостачальних організацій.

Якщо індукційні лічильники захистити від такого методу відбору електричної енергії неможливо, то для статичних лічильників це завдання може бути успішно вирішене.

Розглянемо принцип роботи електронних лічильників, що захищені від застосування компенсуючих трансформаторів струму. Структурну схему таких лічильників показано на рис. 2.

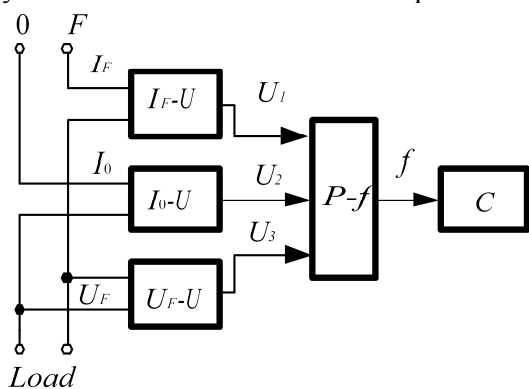


Рис. 2. Структурна схема лічильників з перетворювачами струму в фазному та нульовому провідниках:

I_F-U , I_0-U – перетворювачі струм–напруга у фазному та нульовому провідниках мережі; U_F-U – перетворювач напруга–напруга

Призначення перетворювачів I_F-U , I_0-U , U_F-U та лічильника імпульсів C не потребує детального пояснення. Перетворювач активної потужності в частоту є достатньо складним пристроєм, тому розглянемо його більш детально на прикладі спеціалізованої мікросхеми ADE 7751 фірми Analog Devices.

Саме на базі цієї мікросхеми за замовленням енергетичних компаній України в ЗАТ «Компанія Рісток», Державному національному виробничому об'єднанні «Комунарлічмаш» та інших провідних приладобудівних підприємств розроблені та серійно виробляються лічильники з захистом від наведеного методу відбору електричної енергії.

Замість указаної мікросхеми деякі виробники використовують її східноазійські варіанти з аналогічними властивостями.

Структурну схему перетворювача ADE 7751 показано на рис. 3 [2].

Аналого-цифрові перетворювачі $ADC1$, $ADC2$, $ADC3$ призначені для формування масивів миттєвих значень вхідних напруг U_1 , U_2 , U_3 , що пропорційні струмам у фазному та нульовому каналах лічильника I_F і I_0 та фазній напрузі U_F . Під фазним каналом розуміється канал лічильника, який призначено для перетворення струму, що протікає у фазному провіднику мережі електропостачання, під нульовим – канал, який призначено для перетворення струму, що протікає в нульовому провіднику.

Отримані масиви $U_1[n]$ і $U_2[n]$ порівнюються в логічному пристрої L , на виході якого залишається масив, значення кодів в якому більші.

Масив $U_3[n]$ та більший із масивів $U_1[n]$ та $U_2[n]$ дискретно перемножуються в перемножувачі цифрових кодів M .

Отримані миттєві значення активної потужності усереднюються фільтром нижніх частот DF та перетворюються в послідовність імпульсів в перетворювачі код-частота DFC .

Роботу перетворювача, структуру якого показано на рис. 2, можна подати виразом

$$f = \begin{cases} k_1 k_3 U_1 U_3, & U_1 \geq U_2, \\ k_2 k_3 U_2 U_3, & U_2 > U_1, \end{cases} \quad (1)$$

де k_1 , k_2 – коефіцієнти перетворення $ADC1$ та $ADC2$; k_3 – коефіцієнт перетворення, що одночасно враховує коефіцієнти перетворення $ADC3$, L , M , DF , DFC .

Постановка завдання

Перетворювач активної потужності в частоту імпульсів виконаний за структурою, що показано на рис. 3. Необхідно виявити недоліки такого перетворювача та способи їх подолання для забезпечення можливості правильного обліку електричної енергії у випадку застосування споживачем компенсуючого трансформатора струму.

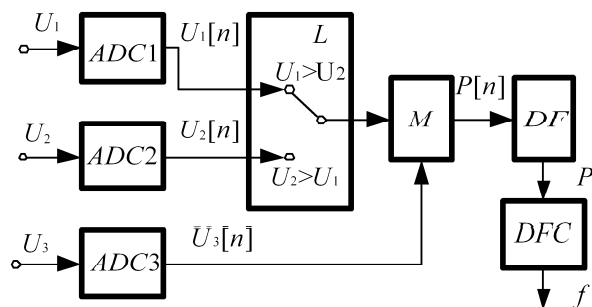


Рис. 3. Структура перетворювача активної потужності в частоту імпульсів

Розв’язок поставленого завдання

Розглянемо можливість застосування трансформатора з фазорегулятором-споживачем, за наявності лічильника з перетворювачем ADE 7751 (рис. 4).

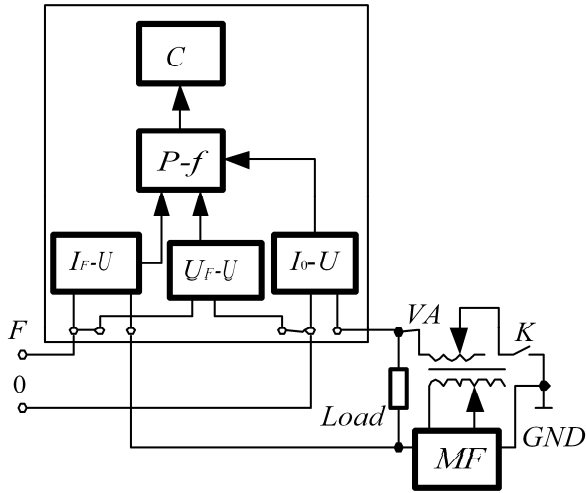


Рис. 4. Схема підключення трансформатора з фазорегулятором MF

До струму, що протікає через перетворювач струму в нульовому каналі, додається додатковий струм I_D , фазовий зсув якого відносно напруги може регулюватися за допомогою фазорегулятора та полярності увімкнення трансформатора.

Значення струму I_D може регулюватися за допомогою зміни коефіцієнта трансформації трансформатора (переключенням кількості витків у первинній або вторинній обмотці).

Через нульовий канал лічильника протікає струм

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_F + \vec{I}_D,$$

де \vec{I}_F – фазний струм, що протікає через шунт лічильника.

Варіюючи амплітуду струму \vec{I}_D , можна переключити лічильник у режим обліку електричної енергії за струмом нульового каналу.

Відповідно матеріалам [2] це відбувається за умови $I_0 > 1,125I_F$.

У подальшому, регулюючи фазу струму I_D , можна досягти фазового зсуву $\phi_0 = 90^\circ$ між струмом I_0 і напругою мережі U_F .

У такому випадку активна потужність, яка обліковується в нульовому каналі P_0 , дорівнює нулю, а лічильник відповідно перестає обліковувати спожиту енергію.

Фазорегулятор може бути реалізований в електромеханічному або електричному варіантах і в наявному матеріалі не наводиться з тим, щоб не перетворювати цей матеріал в інструкцію з розрадання електричної енергії.

Таким чином, лічильники на базі перетворювача, що працює за алгоритмом (1), знову опиняються незахищеними від можливого несанкціонованого відбору електричної енергії. Причому для цього не потрібна зміна фазування підключення лічильника, що спрощує організацію крадіжки та значно ускладнює пошук злочинця, оскільки зовнішні ознаки крадіжки (порушення пломб на кришці плати затискачів) відсутні.

Для нечутливості лічильника електричної енергії до зміни параметрів струму в нульовому провіднику мережі необхідно, щоб в перетворювачі потужності в частоту порівнювались не струми у фазному і нульовому каналах, а активні потужності, тобто реалізувати алгоритм

$$f = \begin{cases} k_1 k_3 P_F, & P_F \geq P_0, \\ k_2 k_3 P_0, & P_0 > P_F, \end{cases}$$

де P_F, P_0 – активна потужність у фазному і нульовому провідниках.

Для практичної реалізації такого алгоритму базовий варіант перетворювача потужності в частоту необхідно доопрацювати, як показано на рис. 5.

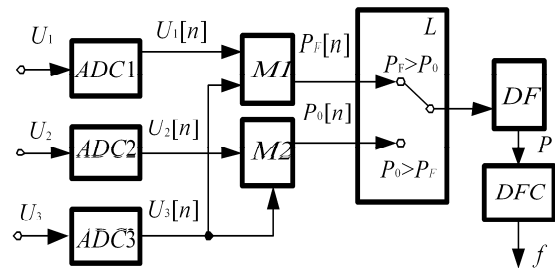


Рис. 5. Перетворювач потужності в частоту з двома перемножувачами

Оскільки модернізований варіант не містить принципово нових елементів, то він може бути реалізований на тих самих компонентах, зокрема, на базі аналогічного мікроконтролера за умови програмного доопрацювання, що і базовий варіант. Технічні характеристики перетворювача не будуть погіршені, а також не виникає передумов для збільшення вартості, що суттєво для підприємств, які виробляють лічильники крупними партіями.

Лічильник, нечутливий до зміни параметрів струму в нульовому каналі, можна побудувати за допомогою двох перетворювачів активної потужності в частоту [3].

Структуру такого лічильника показано на рис. 6.

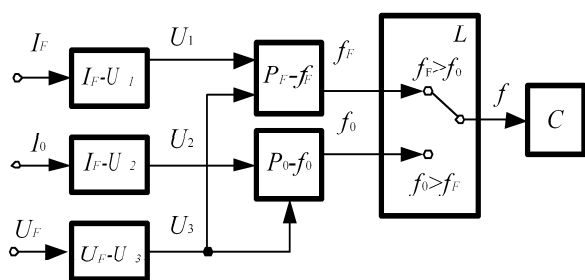


Рис. 6. Лічильник електричної енергії з двома перетворювачами активної потужності в частоту

Частоти f_F та f_0 , що утворюються на виході перетворювачів P_F-f_F та P_0-f_0 у фазному і нульовому каналах лічильника, порівнюються в пристрої порівняння частот L , на виході якого залишається частота f_F у випадку $f_F \geq f_0$ і частота f_0 у випадку $f_0 > f_F$.

Такий лічильник легше реалізувати ніж лічильник на перетворювачі, показаному на рис. 5, оскільки всі його компоненти на сьогодні серійно виробляються, однак кількість елементів у ньому буде значно більша.

Перспективи подальших досліджень

Для експериментального підтвердження можливості несанкціонованого відбору електричної енергії за допомогою наведеного методу необхідно розробити спеціальну методіку перевірки. Найбільш доцільною буде методіка, що базуватиметься на використанні стандартного метрологічного обладнання, оскільки розробка трансформатора струму з фазорегулятором може стати інструкцією з крадіжками.

Е.К. Батуревич, Н.А. Петрище

Особенности проектирования преобразователей активной мощности в частоту

Проанализирован уровень защищенности статических однофазных счетчиков электрической энергии относительно возможности несанкционированного отбора электрической энергии электрическими методами. Отмечены недостатки преобразователей активной мощности в частоту импульсов, используемых в таких счетчиках. Предложены методы их усовершенствования.

Е.К. Baturevych, М.О. Petrischtsche

Singularities of projection of an active power in frequency converter

The level of security of static single-phase watt-hour meters of an electric energy concerning a possibility of unauthorized takeoff of an electric energy by electric methods is analysed. The shortages of an active power in a pulse frequency converter are marked which are used in such watt-hour meters. The solutions on their refinement are offered.

Висновок

Перетворювачі активної потужності з порівнянням струмів у фазному і нульовому провідниках дозволяють забезпечити правильний облік електричної енергії у разі використання споживачем трансформатора струму з метою компенсування струму у фазному каналі струму лічильника.

Такі перетворювачі чутливі під час використання споживачем трансформатора струму з фазорегулятором, за допомогою яких можна змінити амплітуду та фазу струму в нульовому провіднику.

Запропонований перетворювач нечутливий до розглянутого методу несанкціонованого відбору.

Ця властивість досягається порівнянням активних потужностей у фазному і нульовому каналах.

У разі реалізації розробленого методу не погіршуються техніко-економічні показники перетворювача.

Запропонований лічильник також нечутливий до наведеного методу.

Нечутливість досягається через порівняння частот від двох перетворювачів активної потужності в частоту.

Запропонований перетворювач та лічильник можуть бути використані під час розробки нових типів однофазних лічильників електричної енергії.

Література

1. Удод Е.І. Посібник для працівників енергопостачальних компаній і енергонагляду щодо роботи зі споживачами електроенергії. – К.: Наук. думка, 1994. – С. 396.
2. Energy metering IC with on-chip fault detection // www.analog.com.
3. Пат. 2252424 С2 RU МПК⁷ G01R21/06. Счетчик ватт-часов / И.В. Масол, Е.К. Батуревич, В.А. Хомяк–№ 2003109369; Заявлено 04.04.2003; Оpubл. 20.05.2005 // Бюл. – 2005. №14.

Стаття надійшла до редакції 10.06.05.