УДК 631.371.621

ОБЛІК ПОВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ІНДУКЦІЙНИМ ЛІЧИЛЬНИКОМ

Сотнік О. В., Лисиченко М. Л., Балахонов О. М., Вітренко М. М.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновано пристрій для вимірювання позірної енергії в мережах однофазного струму, здійснений за допомогою індукційного лічильника, обмотка напруги якого безпосередньо увімкнена в мережу, а струмова обмотка живиться випрямленим струмом мережі.

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні продовжують виготовляти велику кількість індукційних лічильників, і в той же час сучасні вимоги ПУЕ вимагають враховувати не тільки активну, а і реактивну або повну потужність, що споживається електроприймачами на об'єкті. Промисловість налагодила випуск електронних лічильників, які вирішують цю задачу. Але чи потрібно замінювати всі індукційні лічильники на більш сучасні? Чи правильне таке тотальне захоплення електронними лічильниками?

Так з одного боку електронні лічильники актуальні при великих навантаженнях в точках обліку електроенергії, в місцях, де необхідно контролювати потужність, якість електроенергії. Тобто, висока вартість лічильників виправдана і є можливість дистанційного контролю його працездатності, а з іншого боку впровадження електронних лічильників у сільському господарстві та побутовій сфері не завжди є доцільним і не тільки через фінансові проблеми [1].

Крім того, протистояння між електронними та індукційними лічильниками це ще протистояння між заводами виробниками – тому, що вони призначені для різних секторів ринку [1-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На початку дев'яностих років минулого сторіччя закордонних виробників вимірювальної продукції охопило тотальне захоплення виробництвом електронних лічильників, що зараз існує у країнах СНД. Так, наприклад, в Великій Британії частка електронних лічильників сягнула 95%, однак сьогодні вона складає 65% [1].

Перевагою індукційних лічильників є їх надійність. Це актуально враховуючи погану якість мереж, а особливо у сільській місцевості. Ресурс індукційного лічильника десятки років і навіть через 50 років деякі зразки відповідають своєму класу точності [1,5].

Мета статті. Розширення функціональних можливостей індукційних однофазних лічильників.

Основні матеріали дослідження. Індукційні лічильники, якими можна вимірювати безпосередньо позірну енергію, створені у Німеччині, Швейцарії і США [6]. Лічильники позірної енергії представляють собою конструктивне об'єднання лічильників активної і реактивної енергії з їх геометричним складанням. Однак їх застосування стримується складністю і ненадійністю, пов'язаними з геометричним складанням активної і реактивної енергії.

Пристрій для вимірювання повної енергії в мережах однофазного струму, здійснений за допомогою індукційного лічильника, обмотка напруги якого безпосередньо увімкнена в мережу, а струмова обмотка живиться випрямленим струмом мережі. Роль оберненого перетворювача виконує інвертор напруги [7]. Як видно з рис. 1 вимірювальний струм, в даному випадку вторинний струм трансформатора струму 1, спочатку трансформується трансформатором 2, потім випрямляється містковим випрямлячем 3 і спрямляється фільтром 4. Трансформатор 2 необхідний для того, щоб підвищити надійність роботи і чутливість пристрою і зменшити його похибки.

У автономному інверторі напруги випрямляч змінного струму 3 працює в режимі джерела напруги.

Для виключення пульсації напруги при комутації тиристорів у фільтрі використовується конденсатор великої ємності. Комутуючими приладами в даному пристрою є тиристори *VS1, VS2, VS3, VS4*.

Напруга на струмовій обмотці 5 лічильника з'являється при почерговому попарному вмиканні тиристорів *VS1 VS3 і VS2, VS4*, які керуються вхідними імпульсами від блоком з платою керування.

При подачі першого керуючого (вхідного) імпульсу відкривається перша пара тиристорів *VS1, VS3*, і на струмовій обмотці 5 лічильника з'являється напруга позитивної полярності, яка дорівнює напрузі на виході випрямляча 3. Кут зсуву між першим керуючим імпульсом і додатною півхвилею вимірюваної напруги (напруги мережі) повинен дорівнювати нулю. Наступний керуючий імпульс повинен співпасти за фазою з від'ємною півхвилею напруги. При цьому відпираються тиристори *VS2, VS4* і запираються тиристори *VS1, VS3*. Напруга, яка при цьому виникла на струмовій обмотці лічильника буде мати від'ємну полярність.

Таким чином, у автономному інверторі напруги напруга на навантаженні, тобто на струмовій обмотці лічильника, має прямокутну форму. При почергових перемиканнях пар тиристорів струм через струмову обмотку лічильника не може змінюватися стрибком, а продовжує зберігати свій напрям протягом деякого часу повільно зменшуючись до нуля.

Тільки після цього струм в струмовій обмотці змінює свій напрямок на протилежний. У такі інтервали часу Δt струм не може пройти через тиристори, так як одна пара тиристорів взагалі закрита, а друга пара - відкрита, але струм для відкритих тиристорів має зворотній напрямок. Вмикання паралельно тиристорам в зворотньому напрямку діодів *VD5, VD6, VD7, VD8* дає змогу пропускати струм по струмових обмотках лічильника в указані інтервали часу t .У протилежному випадку е.р.с. самоіндукції, що виникає в ці моменти часу на струмовій обмотці, може вивести тиристори з ладу.

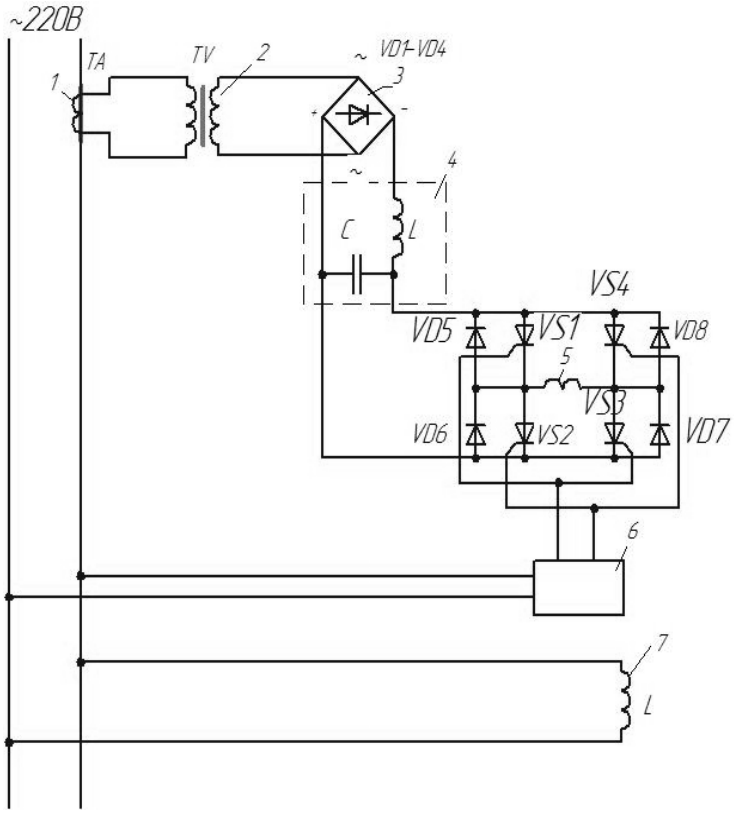

Рисунок 1 – Пристрій для вимірювання повної енергії в мережах однофазного струму:

1 – трансформатор струму; 2 – трансформатор напруги; 3 – містковий випрямляч; 4 – фільтр; 5 – струмова обмотка однофазного індукційного лічильника; 6 – блок з платою керування; 7 – обмотка напруги однофазного індукційного лічильника

Струмова обмотка лічильника має активну і індуктивну складові опору. Тому зміна полярності на струмовій обмотці буде супроводжуватися перехідним процесом, тривалість якого Δt залежить від індуктивного і активного опорів струмової обмотки:

$$\Delta t \approx 5\tau \approx \frac{5L}{R}\ , \qquad (1)$$

де τ - стала часу перехідного процесу;
L - індуктивність струмової обмотки;
R - активний опір струмової обмотки.

На рис. 2 показані часові діаграми напруг і струмів інвертора.

Напруга на струмовій обмотці лічильника має прямокутну форму. Струм струмової обмотки за формою кривої відрізняється від форми кривої напруги.

Крива струму є періодичною кривою, відстає за фазою від періодичної кривої напруги на кут α. Періодична крива струму симетрична відносно осі абсцис.

Тому періодичний ряд цієї функції [8] не має сталої складової і парних гармонік. Крім того, крива симетрична відносно початку координат, тому в її ряді не містяться косинусоїди. У межах півперіоду крива струму має три аналітичні вирази.

Рівняння кривої для різних інтервалів півперіоду мають такий вигляд:
при зміні часу t від 0 до t_1 (рис.2).

$$i = I_m / 1 - e^{\frac{-t}{t}} /, \qquad (2)$$

при зміні часу t від t_1 до t_2

$$i = I_m\ , \qquad (3)$$

при зміні часу t від t_2 до $\frac{T}{2}$

$$i = I_m e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad (4)$$

Тригонометричний ряд періодичної кривої струму послідовної обмотки лічильника записується у вигляді:

$$i_{(m)} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_1 t\ , \qquad (5)$$

де b_n - коефіцієнт непарної гармоніки тригонометричного ряду.

Для визначення коефіцієнта b_n ряду скористаємося формулою [9]:

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin n\omega_1 t dt . \qquad (6)$$

Так як періодична крива струму симетрична відносно початку координат і протягом півперіоду розбита на три ділянки від *0* до t_1, від t_1 до t_2, від t_2 до $\frac{T}{2}$, то інтегрування проводимо не за період, а за половину періоду:

$$b_n = \frac{4I_m}{T} \times$$
$$\times \left[\int_0^{t1} \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right) \sin n\omega_1 t dt + \int_{t1}^{t2} \sin n\omega_1 + \int_{t2}^{\frac{T}{2}} e^{\frac{-t}{\tau}} \sin n\omega_1 t dt \right] \qquad (7)$$

Після інтегрування одержимо вираз коефіцієнтів шуканого ряду:

$$b_n = e^{\frac{-0,01}{\tau}} - e^{\frac{-t_2}{\tau}} \left(\sin \omega_1 n t_2 - \cos n\omega_1 t_2\right) -$$
$$- e^{\frac{-t_1}{\tau}} \left(\sin n\omega_1 t_1\right) - e^{\frac{-t_1}{\tau}} - \frac{2}{n\omega_1} \sin^2 \frac{n\omega_1 t_2}{2} \qquad (8)$$

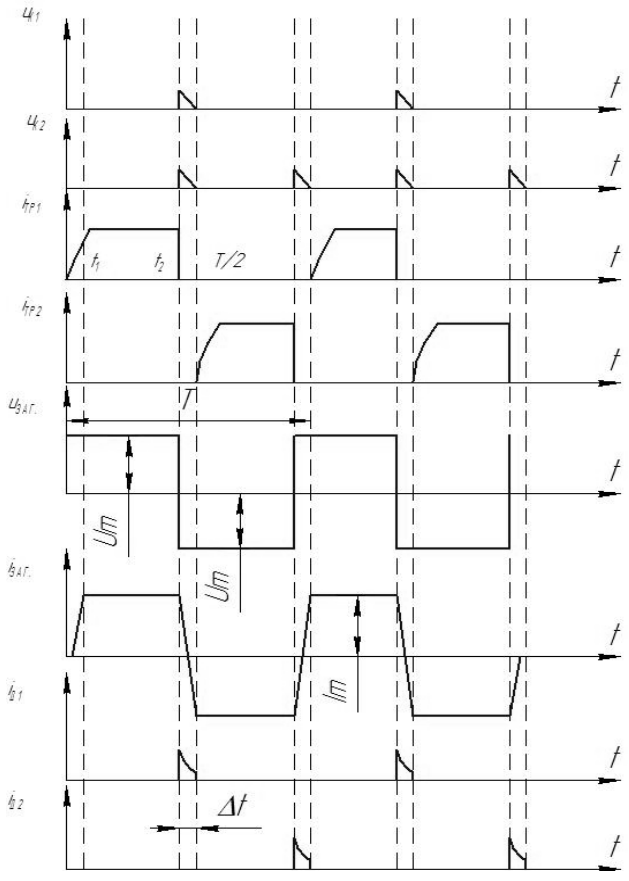

Рисунок 2 – Часові діаграми напруги і струму інвертора

Користуючись формулою (6) визначаємо коефіцієнти амплітудного значення непарних синусоїдних гармонік.

Усі гармоніки будуть проходити через початок координат, тобто вони не будуть зсунуті по відношенню до початку несинусоїдної періодичної кривої.

Обертовий момент індукційного лічильника пропорційний активній потужності, яка проходить через нього.

Активна потужність є середнє значення миттєвої потужності за період.

Розглянемо середні потужності за період для кожної гармоніки струму і напруги мережі.

Середнє значення потужності першої гармоніки струму і синусоїдної напруги мережі:

$$P_{1cp} = \frac{1}{T}\int_0^T P_1(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T U_m \sin \omega t I_{m1} \sin \omega_1 t dt = UI_1 \qquad (9)$$

Середнє значення потужності першої гармоніки дорівнює добутку діючого значення струму першої гармоніки на діюче значення напруги мережі.

Енергія, яка виділяється першою гармонікою, повністю ураховується лічильником.

Середнє значення потужності третьої гармоніки струму і синусоїдної напруги мережі:

$$P_{3cp} = \frac{1}{T}\int_0^T P_{3(t)}dt = \frac{1}{T}\int_0^T U_m \sin \omega t \cdot I_{m3} \sin 3\omega_1 t dt = 0 \qquad (10)$$

Середнє значення потужності п'ятої гармоніки струму і синусоїдної напруги:

$$P_{5cp} = \frac{1}{T}\int_0^T P_{5(t)}dt = \frac{1}{T}\int_0^T U_m \sin \omega t \cdot I_{m5} \sin 5\omega_1 t dt = 0 \qquad (11)$$

Середнє значення потужності п'ятої гармоніки струму і синусоїдної напруги за період Т дорівнює нулю.

Середні значення потужності синусоїдної напруги і наступних непарних гармонік струму теж будуть дорівнювати нулю, тобто:

$$P_{ncp} = \frac{1}{T}\int_0^T P_{n(t)}dt = 0 , \qquad (12)$$

де n = 3, 5, 7, 9, ...

На рис. 3 показані графіки зміни потужності при синусоїдній напрузі і першій, третій та п'ятій гармоніках струму.

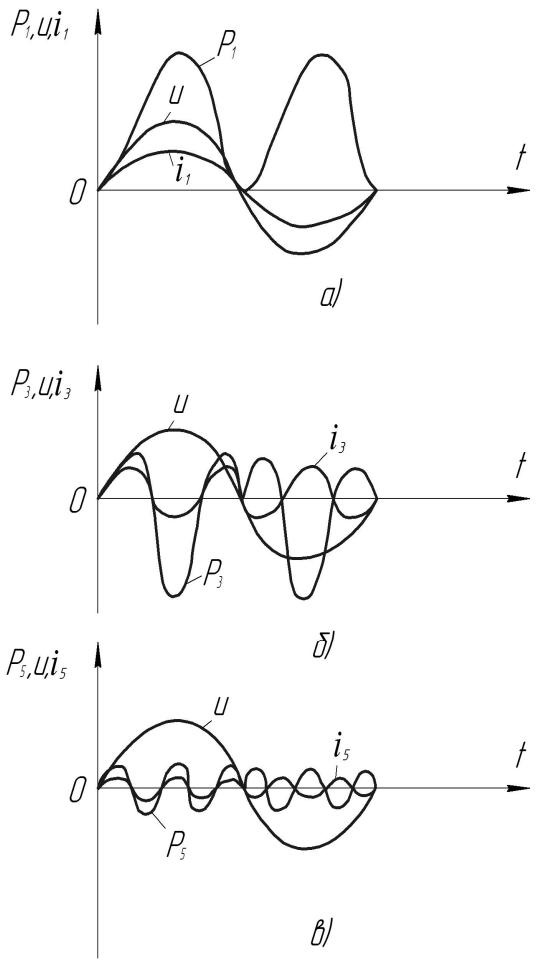

Рисунок 3 – Графіки зміни потужності при синусоїдній напрузі мережі і першій (а), третій (б) і п'ятій (в) гармоніках струму

Таким чином, обертовий момент лічильника буде пропорційний напрузі мережі і першій гармоніці струму, який проходить через струмову обмотку лічильника. Струми гармонік вищих порядків участі в створенні обертового моменту не беруть і на них лічильник не реагує.

Висновки. Таким чином, для обліку повної енергії в побутовій сфері можна скористатися однофазним індукційним лічильником, за умови незначної доробки. Тобто до лічильника підключається пристрій живлення струмової обмотки однофазного лічильника, що дає змогу обліковувати повну електроенергію.

В результаті запропонована доробка дає можливість розширити функціональні можливості індукційних однофазних лічильників.

Причому, всередину самого опломбованого лічильника ніякі елементи не вбудовуються, що дозволяє зберегти для нього міжповірочний інтервал, не знімати з місць установки і не здійснювати додаткову повірку після дооснащення його даним пристроєм.

Список використаних джерел

1. Акимов Е. Г. Индукционные и электронные счётчики - что лучше? [Електронний ресурс] / Е. Г. Акимов, А. И. Шулешко // Электронный журнал "Электросчетчики", 2010. - №3. - Режим доступу до журн.:
http://lemz.spb.ru/customers/3

2. Развитие села и социальная политика в условиях рыночной экономики: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию МГАУ, (Москва, 12-13 ноября. 2000 г.) - М.: МГАУ, 2000. – 168 с.

3. Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок ДНАОП 0.00-1.32-01. – К.: Укрархбудинформ, 2001. – 117 с. – (Національний стандарт України).

4. Сторожев Р. С. Энергоснабжение – масштабный государственный проект / Р. С. Сторожев // Энергетическая политика Украины. – 2006. - №1. – С. 31-33.

5. Акимов Е. Г. Надежность и долговечность электросчётчиков [Електронний ресурс] / Е. Г.Акимов, А. И. Шулешко // Электронний журнал "Электросчетчики", 2010. - №3. - Режим доступу до журн.:
http://lemz.spb.ru/customers/3

6. Мадяр Л. Коэфициент мощности / Л. Мадяр – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 375с.

7. Пат. 28100 Україна, МПК G01R 11/54 (2006/01). Пристрій живлення струмової обмотки однофазного індукційного лічильника / Лугова О. В., Сотнік О. В., Стрижак В. Д.; замовник Кременчуцький державний політехнічний університет ім. М. Остроградського. - № u 200503063; замов. 22.06.07; зареєстр. 26.11.2007.

8. Математичний аналіз у задачах і прикладах: навч. посібник для вузів. / [Л. І. Дюженков, Т. В. Колесник, М. Я. Лященко та ін.] – К.: Вища школа,. 2003. – 462 с.

9. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехника / Л. А. Бессонов– М.: Высшая школа, 1985. – 740 с.

Аннотация

УЧЁТ ПОЛНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИНДУКЦИОННЫМ СЧЕТЧИКОМ

Сотник О. В., Лисиченко Н. Л., Балахонов А. М., Витренко Н. М.

Предложено устройство для измерения полной энергии в сетях однофазного тока, с помощью индукционного счётчика, обмотка напряжения которого непосредственно включена в сеть, а токовая обмотка питается выпрямленным током сети.

Abstract

ACCOUNT OF THE COMPLETE ELECTRIC POWER BY THE INDUCTION COUNTER

O. Sotnik, N. Lysychenko, O. Balachonov, N. Vitrenko

The device for measurement of complete energy in networks of a single-phase current, with the induction counter is offered, the winding of which voltage is switched directly on in a network, and the current winding supply the straightened current of a network.