

О. Г. Гриб, д-р техн. наук, проф.;
 О. М. Довгалюк, канд. техн. наук, доц.;
 Д. М. Калюжний, канд. техн. наук, доц.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СХЕМ ВКЛЮЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ ЯКОСТІ СПІЛЬНО В ЛАНЦЮГАХ НАПРУГИ І СТРУМУ

Наведено методику і алгоритм визначення схем включення лічильників електроенергії спільно в ланцюгах напруги і струму, які враховують її якість і випадковий характер зміни кута навантаження.

Вступ та постановка задачі

Однією із складових комерційних втрат електричної енергії електропостачальних організації є помилки в її обліку [1]. Основна причина цього — неточності в схемах включення лічильників електричної енергії, виявлення яких вимагає спільного аналізу за вторинними ланцюгами напруги і струму. При цьому виникає проблема неоднозначності вирішення, обумовлена несиметрією параметрів режиму роботи мережі і зміною кута навантаження $\phi_{\text{наб}}$ або коефіцієнта потужності $\cos \phi_{\text{наб}}$, які взагалі носять випадковий характер. В роботах [2—4] наведені основні способи визначення схем включення (ВСВ) лічильників електроенергії з урахуванням вказаних недоліків. Проте, для їх практичного застосування необхідно розробити відповідні методики і алгоритми, які, в першу чергу, повинні бути орієнтовані на сучасні системи обліку.

З метою практичного застосування способів ВСВ лічильників електроенергії спільно по ланцюгах напруги і струму, що враховують її якість і випадковий характер зміни кута навантаження, необхідно розробити відповідні методики і алгоритми.

Розв'язання

Визначимо кількість можливих способів включення трьох- і двохелементних лічильників електроенергії спільно в ланцюгах напруги і струму. Так, для трьохелементного лічильника електроенергії, який характеризується 40-ма геометрично різними способами включення окремо по ланцюгах напруги і 20-ма способами в ланцюгах струму [5] кількість можливих способів його включення спільно по ланцюгах напруги і струму складе: $40 \cdot 20 = 800$ комбінацій. Для двохелементного лічильника: $6 \cdot 8 = 48$ комбінацій. Очевидно, що така кількість можливих способів включення лічильників електроенергії ускладнює розв'язання задачі з визначення їх схем включення. Тому ВСВ доцільно проводити в два етапи, де на початку проводиться ВСВ окремо в ланцюгах напруги і струму з подальшим математичним коректуванням вимірювальних електричних величин [6, 7], а потім спільно [8]. За такого підходу розв'язання задачі ВСВ спільно по ланцюгах напруги і струму зводиться до ідентифікації однієї з шести геометрично різних схем спільного включення за умови правильного включення окремо в ланцюгах напруги і струму (рис. 1). Так, з урахуванням несиметрії аргументи струмів щодо напруг, які характеризують різні способи включення, повинні знаходитися в таких діапазонах [8]:

— для трьохелементного лічильника електроенергії:

$$\left(n + \phi_{\text{наб}} - \left[30 - \arcsin \left(K_{2U}^* + K_{0U}^* \right) - \arcsin \left(K_{2I}^* + K_{0I}^* \right) \right] + \Delta\phi^n; \right. \\ \left. n + \phi_{\text{наб}} + \left[30 - \arcsin \left(K_{2U}^* + K_{0U}^* \right) - \arcsin \left(K_{2I}^* + K_{0I}^* \right) \right] + \Delta\phi^K \right), \quad (1)$$

де $n = 0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ$ або 300° — величина, що залежить від приналежності вектора стру-

му до різних фаз; $K_{0U}^* = K_{0U}/100\%$ і $K_{2U}^* = K_{2U}/100\%$ — коефіцієнти несиметрії напруг в нульовій і зворотній послідовностях [9] у відносних одиницях; K_{0I}^* , K_{2I}^* — коефіцієнти несиметрії струмів у нульовій і зворотній послідовностях, аналогічні коефіцієнтам несиметрії напруг; $\Delta\phi^n$ і $\Delta\phi^k$ — кути коректувань меж діапазону (1), що забезпечують дотримання зсуву струму щодо напруги в рамках $\pm 90^\circ$.

— для двохелементного лічильника електроенергії:

$$\left(n + \phi_{\text{наб}} - \phi_{\text{фл}} - \left[30 - \arcsin\left(K_{2U}^*\right) - \arcsin\left(K_{2I}^* + K_{0I}^*\right) \right] + \Delta\phi^n; \right. \\ \left. n + \phi_{\text{наб}} - \phi_{\text{фл}} + \left[30 - \arcsin\left(K_{2U}^*\right) - \arcsin\left(K_{2I}^* + K_{0I}^*\right) \right] + \Delta\phi^k \right), \quad (2)$$

де $\phi_{\text{фл}} = 30^\circ$ — кут зсуву між векторами фазної і лінійної напруги прямої послідовності.

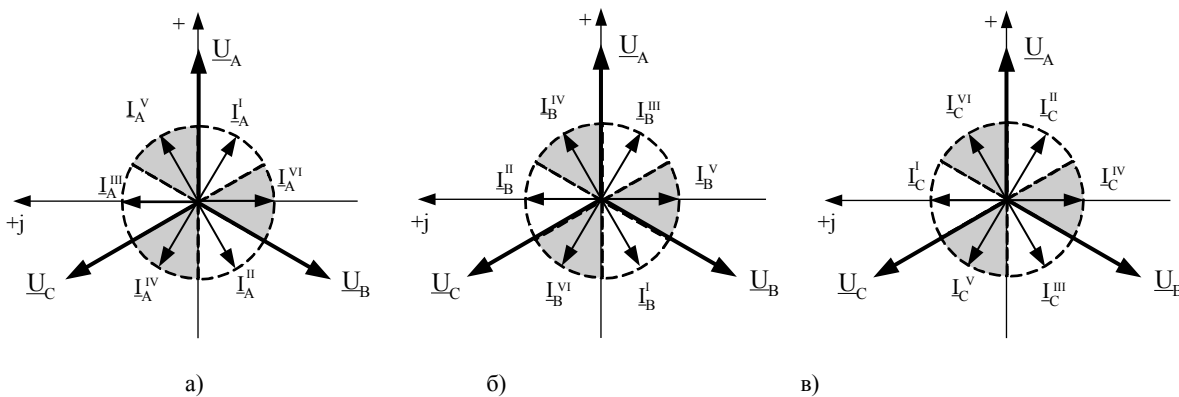


Рис. 1. Векторні діаграми шести геометрично різних схем включення лічильника електроенергії

Врахуємо, що $\phi_{\text{наб}}$ є випадковою величиною. Тоді різниця в квадратних дужках діапазонів (1) і (2) визначатиме граничне значення відхилення кута навантаження $\Delta\phi_{\text{наб}}$ від деякого середнього значення, з яким можна задавати $\phi_{\text{наб}}$ для отримання точного розв'язку задачі за ВСВ трьох- і двохелементних лічильників електроенергії, відповідно:

$$\Delta\phi_{\text{наб}} < 30 - \arcsin\left(K_{2U}^* + K_{0U}^*\right) - \arcsin\left(K_{2I}^* + K_{0I}^*\right); \quad (3)$$

$$\Delta\phi_{\text{наб}} < 30 - \arcsin\left(K_{2U}^*\right) - \arcsin\left(K_{2I}^* + K_{0I}^*\right).$$

Очевидно, що за такого задання кута навантаження $\phi_{\text{наб}}$ говорити про точний розв'язок можна з певною вірогідністю, яка визначатиметься вірогідністю знаходження випадкової величини в інтервалі $P\left(\left|\phi_{\text{наб}} - \phi_{\text{наб}}^{\text{ср}}\right| < \Delta\phi_{\text{наб}}\right)$.

Для кількісної оцінки $P\left(\left|\phi_{\text{наб}} - \phi_{\text{наб}}^{\text{ср}}\right| < \Delta\phi_{\text{наб}}\right)$ були проведені дослідження для трьох характерних споживачів електроенергії на різних класах напруги. При цьому первинною інформацією виступали добові графіки навантажень $P(t)$ і $Q(t)$ з усередненням 30 хвилин і глибиною вибірки один рік. Отримані результати для $\Delta\phi_{\text{наб}} = \{1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ \text{ і } 30^\circ\}$ наведені на рис. 2—4.

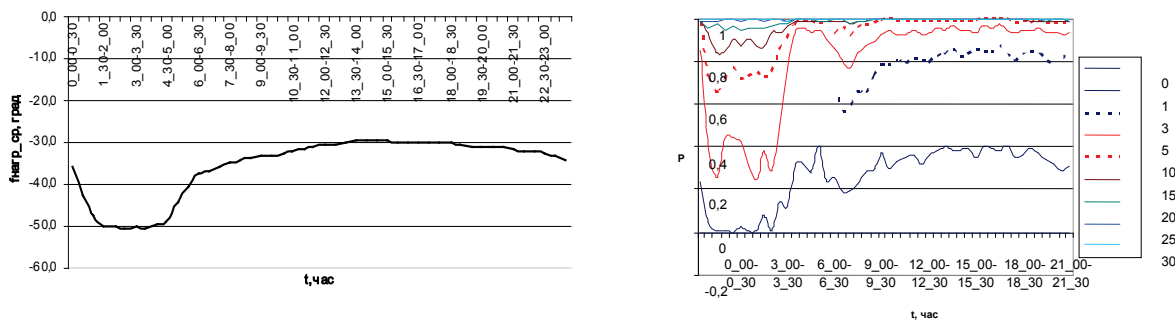


Рис. 2. Зміни $\phi_{\text{нав}}^{\text{ср}}(t)$ і $P(|\phi_{\text{нав}}(t) - \phi_{\text{нав}}^{\text{ср}}(t)| < \Delta\phi_{\text{нав}})$ протягом доби для промислового навантаження 0,38 кВ

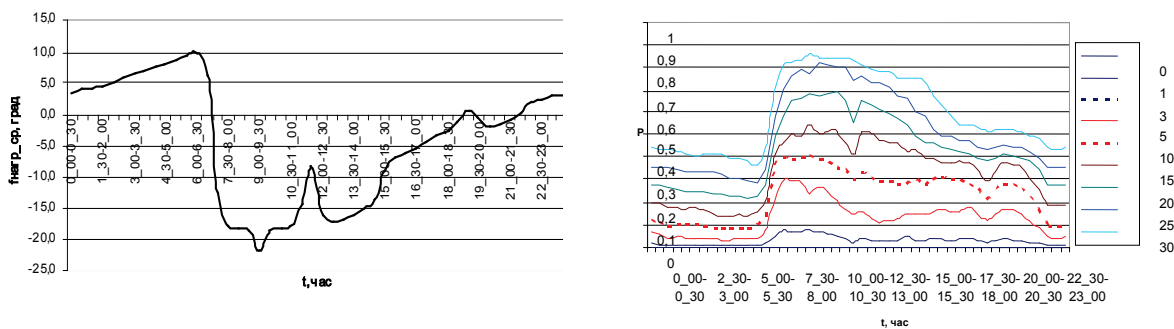


Рис. 3. Зміни $\phi_{\text{нав}}^{\text{ср}}(t)$ і $P(|\phi_{\text{нав}}(t) - \phi_{\text{нав}}^{\text{ср}}(t)| < \Delta\phi_{\text{нав}})$ протягом доби для промислового навантаження 10 кВ з компенсацією реактивної потужності

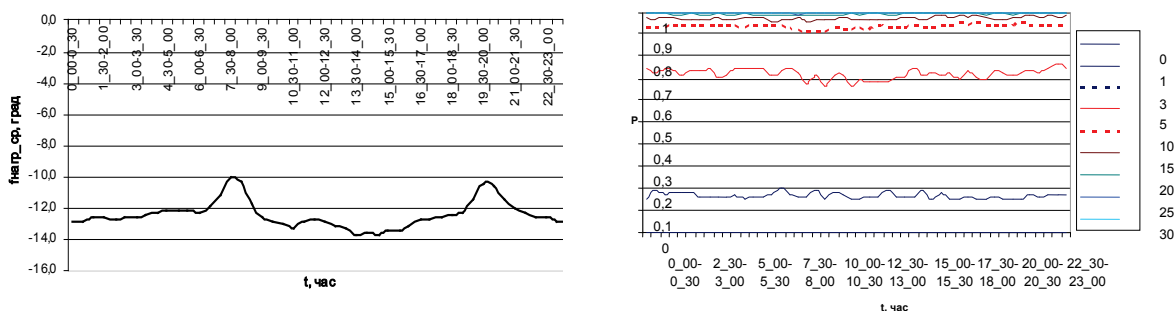


Рис. 4. Зміни $\phi_{\text{нав}}^{\text{ср}}(t)$ і $P(|\phi_{\text{нав}}(t) - \phi_{\text{нав}}^{\text{ср}}(t)| < \Delta\phi_{\text{нав}})$ протягом доби для промислового навантаження 110 кВ

На основі вищевикладеного можна запропонувати узагальнений алгоритм розв’язання задачі ВСВ трьох- і двоелементних систем обліку електроенергії спільно в ланцюгах напруги і струму, блок-схема якого показана на рис. 5.

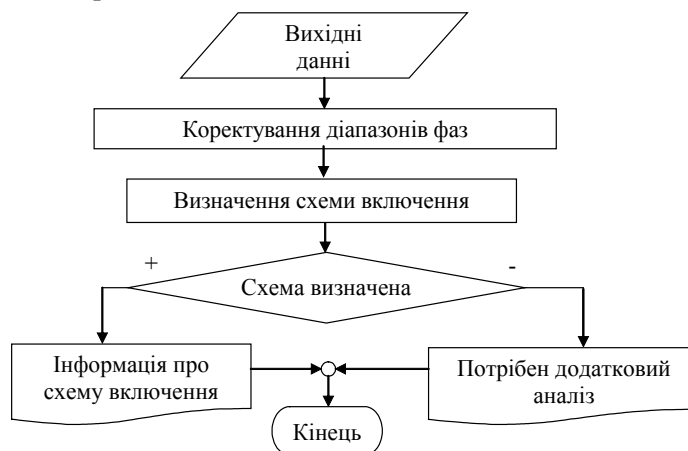


Рис. 5. Блок-схема узагальненого алгоритму ВСВ лічильників електроенергії спільно в ланцюгах напруги і струму

У якості вихідних даних цього алгоритму виступають значення струмів, напруг і їх фазові співвідношення, максимально можливі коефіцієнти несиметрії напруг і струмів у зворотній і нульовій послідовностях, а також інформація про кут навантаження. В блоці «Коректування діапазонів фаз» визначаються діапазони можливого знаходження фаз модулів струмів щодо напруг з урахуванням несиметрії параметрів режиму і заданого кута навантаження. В блоці «Визначення схеми включення» безпосередньо проводиться ВСВ лічильників електроенергії спільно в ланцюгах напруги і струму. У разі позитивного рішення видається інформація про схему включення. Інакше потрібний додатковий аналіз схеми включення із залученням кваліфікованого персоналу і можливо додаткових засобів вимірювання.

Висновки

1. Розроблені методика і алгоритм ВСВ лічильників електроенергії спільно в ланцюгах напруги і струму, які враховують несиметрію параметрів режиму роботи і випадковий характер зміни кута навантаження.

2. Визначені умови точного і однозначного розв'язання задачі ВСВ систем обліку електроенергії спільно в ланцюгах струму і напруги залежно від несиметрії параметрів режиму роботи і випадкового характеру зміни кута навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Воронницкий В. Э. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций / В. Э. Воронницкий, М. А. Калинкина, В. Н. Апрыткин // Энергосбережение. — 2000. — № 3. — С. 36—39.
2. Схемы включения счетчиков электрической энергии : практическое пос. / под ред. Я. Т. Загорского. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
3. Труб И. И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках. — / И. И. Труб. [2-е изд., перераб. и доп.] — М. : Энергоатомиздат, 1983.
4. Вострокнутов Н. Г. Электрические счетчики и их эксплуатация; / Н. Г. Вострокнутов. — изд. 6-е, перераб. — М.-Л. : Госэнергоиздат. 1959.
5. Калюжный Д. Н. Анализ схем подключения счетчиков электрической энергии / Д. Н. Калюжный // Світлотехніка та електроенергетика. — 2007. — № 3—4. — С. 58—63.
6. Калюжный Д. Н. Определение схемы включения двух- и трехэлементного счетчика электроэнергии по токовым цепям в условиях несимметрии / Д. Н. Калюжный // Энергосбережение: Энергетика: Энергоаудит. — 2008. — № 4(50). — С. 32—36.
7. Методика и алгоритм определения схем включения систем учета электроэнергии по цепям напряжения с учетом качества электроэнергии / [В. И. Васильченко, О. Г. Гриб, А. А. Гринченко, Д. Н. Калюжный] // Промислова електроенергетика та електротехніка. — К. : ВАТ Інститут «Київпромелектропроект». — 2009. — № 5. — С. 57—62.
8. Калюжный Д. Н. Определение схем включения счётчиков совместно по цепям тока и напряжения с учётом качества электрической энергии / Д. Н. Калюжный // Энергосбережение: Энергетика: Энергоаудит. — 2010. — № 7(77). — С. 13—19.
9. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. — К. : Госстандарт Украины, 1999.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 4.02.11
Рекомендована до друку 14.02.11

Гриб Олег Герасимович — завідувач кафедри, *Довгалюк Оксана Миколаївна* — доцент, *Калюжний Дмитро Миколайович* — доцент.

Кафедра електропостачання міст, Харківська національна академія міського господарства, Харків