

Б. І. Мокін, акад. НАПН України, д-р. техн. наук, проф.; В. А. Барчук, асп.

ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ РЕЖИМУ НА РОБОТУ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВІД ПРОТІКАННЯ СТРУМІВ НЕСИМЕТРІЇ

Проаналізовано вплив несиметрії напруги на роботу освітлювальних установок. Визначено фактори, які впливають на величину несиметрії в мережі зовнішнього освітлення. Викладені рекомендації щодо оптимального керування роботою освітлювальних установок для мінімізації втрат від несиметрії режиму.

Стан проблеми і постановка задачі

Освітлювальні установки зовнішнього освітлення є невід'ємною складовою енергетичного комплексу міста та міського господарства в темний період доби. Створення комфортних умов роботи в нічний час та дотримання гігієнічних норм освітлення вулиць міста ставить жорсткі вимоги до освітлювальних установок зовнішнього освітлення. Ці вимоги можуть бути виконані тільки при використанні сучасних освітлювальних установок, які відповідають усім світлотехнічним характеристикам діючих нормативних документів.

Зважаючи на вимоги нормативно-правових актів з проектування та експлуатації освітлювальних установок, дотримання світлотехнічних характеристик зовнішнього освітлення в межах норми без коригування параметрів мережі електропостачання є майже неможливим в зв'язку з їх взаємовпливом.

Установки зовнішнього освітлення вулиць можуть спричиняти певні проблеми, пов'язані із застосуванням високоекономічних газорозрядних ламп замість ламп розжарювання. Ці лампи чутливі до коливань напруги і до перерви в електропостачанні. Запалювання ламп високого тиску після значного провалу напруги живлення триває як мінімум декілька хвилин і чинить значний вплив на електричну мережу внаслідок тривалих пускових струмів та комутаційних перенапруг. Якість роботи та нормативний термін експлуатації установок зовнішнього освітлення досягається сприятливими умовами їх експлуатації. ГОСТ 13109-97 [1] накладає на параметри електропостачання освітлювальних установок та їх засоби управління дуже жорсткі вимоги щодо якості електроенергії та режиму економії.

Але, наказ про підтримання в установках зовнішнього освітлення напруги живлення світильників у відповідності з вимогами ГОСТ 13109-97 (прийнятий з 1.01.2000 р. як державний стандарт України) з відхиленням не більше $\pm 10\%$ від номінального значення практично виконаний бути не може через різномірність навантажень, що підключені до шин низької напруги міських трансформаторних підстанцій загального призначення, до яких, згідно з рекомендаціями, повинні бути підключені пункти живлення ліній освітлення. У цій ситуації необхідний пошук нових раціональних способів електропостачання освітлювальних установок зовнішнього освітлення з урахуванням будови та географічного положення самих мереж та їх джерел живлення [2].

Викладення основного змісту

Для освітлювальних установок характерним є тривалий режим роботи. Розглядаючи роботу цих установок в розрізі зміни споживаної потужності протягом певного періоду часу, можна констатувати, що ця залежність є сталою без суттєвих змін в часі. Такий режим роботи зумовлений фізичними та хімічними процесами, що відбуваються в освітлювальних лампах та елементах пуско-регулювальної апаратури. На сучасному етапі науково-економічного розвитку суспільства в цілому та електроенергетики зокрема освітлювальні установки в своєму конструктивному виконанні набули кардинальних змін, направлених на зменшення споживаної потужності. Це досягається шляхом збільшення діапазону випромінюваних хвиль у видимому спектрі. Проте зменшення величини споживаної енергії та збільшення терміну

служби освітлювальних установок за рахунок впровадження новітніх технологій зумовило значне збільшення часу запалювання ламп. Це, в свою чергу, призвело до виникнення несиметричних режимів під час пускових періодів.

Сучасні лампи, які застосовуються в освітлювальних установках за часом запуску досягають декількох хвилин, що характеризується виникненням сталого несиметричного режиму в чотирипровідній електричній мережі [3]. Тривалість запуску ламп освітлення від типу їх виконання показана в табл.

Тривалість запуску ламп освітлення від типу їх виконання

№	Тип лампи	Потужність, Вт	Час запуску, хв
1	Натрієві лампи низького тиску (НЛНТ)	50–1000	10–15
2	Натрієві лампи високого тиску (НЛВТ)	50–1000	6
3	Дугові ртутні люмінесцентні лампи (ДРЛ)	50–1000	2–5

Також в процесі роботи лампи з певним періодом часу гаснуть і знов загораються — це так званий час повторного загорання. Повторне загорання ламп викликане хімічними процесами світіння газів у лампі, і тривалість його збільшується при збільшенні терміну експлуатації освітлювальних установок. Час повторного загорання залежить від робочого положення, типу світильника, який застосовується та температури навколишнього середовища. Графічні характеристики цього режиму показані на рис. 1. Електротехнічні характеристики освітлювальних установок зняті експериментально на базі світильників зовнішнього освітлення із використанням натрієвих ламп високого тиску. Час ввімкнення світильника визначався з моменту подачі напруги на пуско-регулювальну апаратуру до моменту досягнення повної потужності світлового потоку згідно паспортних даних установки.

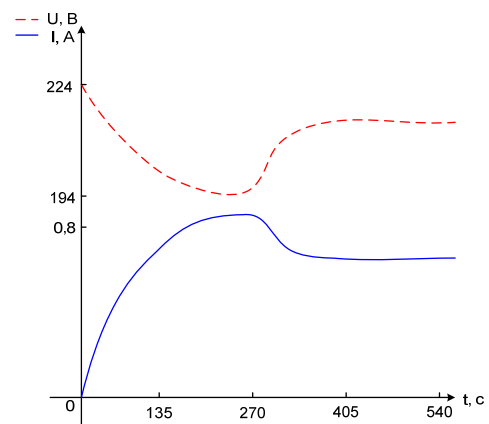


Рис. 1. Залежність напруги і струму від часу запуску освітлювальної установки

Як випиває з рис. 1, під час запуску освітлювальної установки зовнішнього освітлення напруга опускається за межі допустимого рівня. Розглянемо як впливає несиметрія режиму на роботу освітлювальних установок.

Освітлювальні установки однофазного виконання живляться від трифазної, чотирипровідної електричної мережі зовнішнього освітлення, причому нейтральний провідник є спільним як для мережі зовнішнього освітлення так і для мережі загального призначення рис. 2 [5].

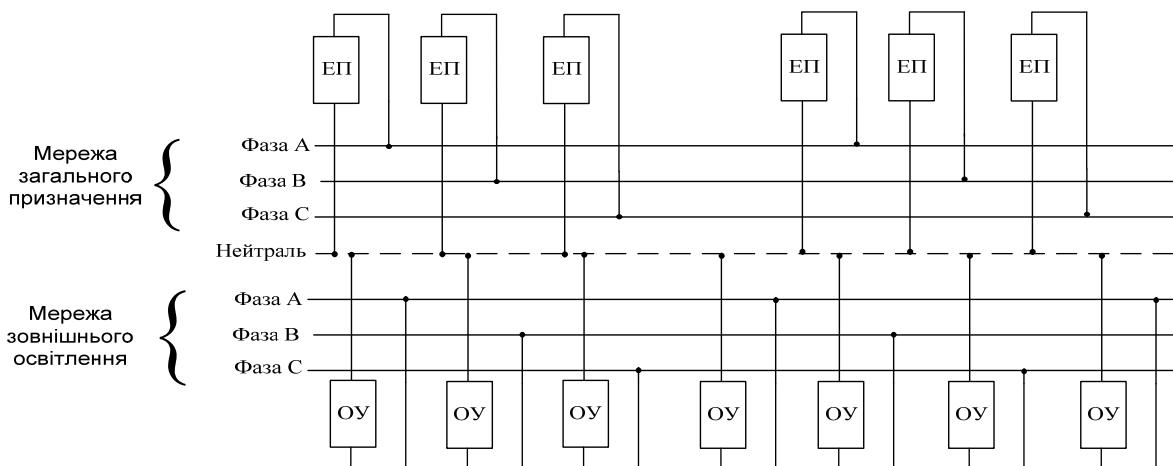


Рис. 2. Схема живлення освітлювальних установок та побутових споживачів зі спільною нейтраллю

Після проведення замірів напруги, струму та $\cos \varphi$ в підслідній мережі в кожній з фаз в

установленому режимі встановлено, що $U_A = 232$ В; $U_B = 222$ В; $U_C = 224$ В; $I_A = 11$ А; $I_B = 25$ А; $I_C = 16$ А; $\cos\phi_A = 0,93$; $\cos\phi_B = 0,73$; $\cos\phi_C = 0,95$.

На рис. 3, 4 побудовані векторні діаграми струмів та напруг несиметричного режиму під-дослідної електричної мережі загального призначення з використанням наведених даних.

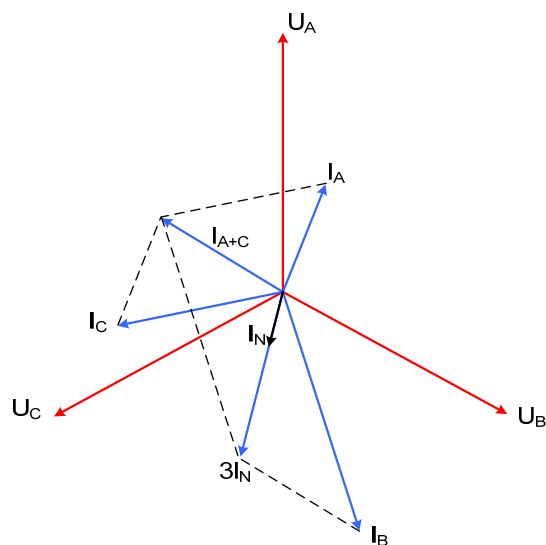


Рис. 3. Векторна діаграма струмів та напруг несиметричного режиму електричної мережі загального призначення

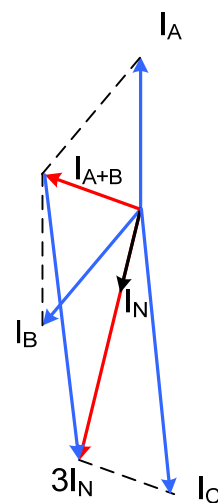


Рис. 4. Векторна діаграма струмів та напруг несиметричного режиму електричної мережі зовнішнього освітлення

Враховуючи той факт, що нейтральний провідник є спільним як для мережі загального призначення так і для мережі зовнішнього освітлення, то вектор струму зміщення нейтралі беремо для побудови векторної діаграми струмів мережі зовнішнього освітлення. Знаючи потужність однієї ОУ та скориставшись співвідношенням (1), отримаємо величину струму фази А та фази В. Скориставшись виразом (2), знайдемо струм в фазі С з урахуванням впливу струму в нейтралі

$$I = \frac{P_i}{3U \cdot \cos\phi_i}; \quad (1)$$

$$\dot{I}_N = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C). \quad (2)$$

Як впливає з векторних діаграм, навіть повністю симетрична система однофазних електроприймачів, які мають однакову потужність по модулю та за характером навантаження, має значну несиметрію, викликану несиметрією від мережі загального призначення через спільний нульовий провідник. Крім того, величина навантаження та струмів в мережі загального призначення в декілька разів більша ніж в мережі зовнішнього освітлення, і вплив несиметрії на електроприймачі буде значно більшим.

На практиці можна часто спостерігати явище, коли симетрична система трифазних напруг мережі зовнішнього освітлення внаслідок впливу мережі загального призначення перетворюється в асиметричну, а ОУ, в свою чергу, в результаті різкого перекосу фаз починають гаснути і знову вмикатися. Таке явище повторного запалювання внаслідок коливання рівня напруги в декілька разів зменшує термін експлуатації освітлювальних установок зовнішнього освітлення.

Обґрунтування результатів дослідження

Побудуємо заступну схему однієї з трьох фаз мережі освітлення (рис. 5) та виконаємо розрахунок струмів в лінії електропередач та освітлювальних установках, скориставшись відомими співвідношеннями [7].

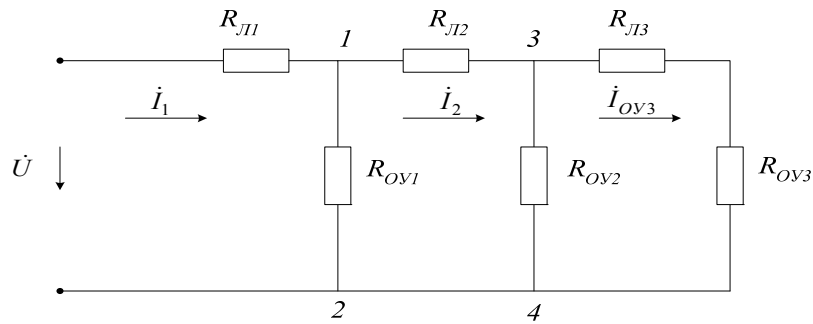


Рис. 5. Заступна схема електричної мережі освітлювальних установок, які живляться від однієї фази

Конфігурація електричної мережі не змінна, її параметри та технічна характеристика освітлювальних установок відомі. Враховуючи що схема заміщення електричної мережі складається з паралельно і послідовно підключених елементів та той факт, що мережа живиться від одного джерела живлення, розрахунок невідомих параметрів мережі зручно виконувати за методом пропорційних величин. Заданося струмом \dot{I}_{OY3} , який протікає через освітлювальну установку № 3. Напряга \dot{U}_{34} буде дорівнювати:

$$\dot{U}_{34} = \dot{I}_{OY3} (R_{L3} + R_{OY3}), \quad (3)$$

де \dot{U}_{34} — напруга між точками 34; \dot{I}_{OY3} — струм який протікає через ОУ № 3; R_{L3} — опір ділянки лінії електропередач; R_{OY3} — опір ОУ № 3.

$$\dot{I}_{OY3} = \frac{\dot{U}_{34}}{R_{OY2}} = \frac{\dot{I}_{OY3} (R_{L3} + R_{OY3})}{R_{OY2}}. \quad (4)$$

Рухаючись таким чином до джерела живлення, аналогічно визначаються струми \dot{I}_1 , \dot{I}_2 та виконуються спрощення з урахуванням, що $R_{OY1} = R_{OY2} = R_{OY3}$ і $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3}$,

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_{OY3} R_{L3}}{R_{OY2}} + \frac{R_{OY3}}{R_{OY2}} \dot{I}_{OY3} + \dot{I}_{OY3} R_{L3} + \dot{I}_{OY3} R_{OY3}; \quad (5)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{OY3} \left(\frac{R_{L1}^2}{R_{OY}} + 2 \frac{R_{L1}}{R_{OY}} + R_{L1} + 2 \right). \quad (6)$$

Втрати напруги в лінії електропередач у разі протікання струму внаслідок підключення n -ї кількості електроустановок

$$\dot{U}_{втр} = \dot{I}_1 R_{L1} + \dot{I}_2 R_{L2} + \dot{I}_{OY3} R_{L3}. \quad (7)$$

Підставимо (4)–(6) у вираз (7):

$$\begin{aligned} \dot{U}_{втр} = & \dot{I}_{OY3} \left(\frac{R_{L1}^3}{R_{OY}} + 2 \frac{R_{L1}^2}{R_{OY}} + R_{L1}^2 + 2 \right) + \\ & + \dot{I}_{OY3} \left(\frac{R_{L1}^2}{R_{OY}} + R_{L1}^2 + R_{OY} R_{L1} + \frac{1}{\dot{I}_{OY3}} \right) + \dot{I}_{OY3} \left(\frac{R_{L1}^2}{R_{OY}} + R_{L1} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Аналізуючи останній вираз можна зробити висновок, що з метою забезпечення стабільної роботи освітлювальних установок та мінімізації втрат активної потужності необхідно враховувати низку факторів та обмежень:

1. Рівень напруги на затискачах ОУ, який допустимий для стабільної роботи;
2. Рівень напруги в кінці лінії електропередач, який дорівнює $U_{втр}$;

3. Кількість освітлювальних установок;
4. Параметри електричної мережі;
5. Рівень несиметрії в мережі загального призначення.

Експлуатуючи мережі зовнішнього освітлення з метою мінімізації рівня несиметрії напруг, необхідно враховувати як параметри електричної мережі так і параметри окремо взятої освітлювальної установки.

Висновки

В результаті проведених досліджень показано, що:

1. Сталу несиметрію електричного режиму, спричинену дією освітлювальних установок, зумовлюють такі фактори:
 - 1.1. Тривалий час запалювання ламп типу НЛНТ, НЛВТ та ДРЛ;
 - 1.2. Процес повторного запалювання, викликаний хімічними процесами всередині лампи, який також триває декілька хвилин;
 - 1.3. Збільшення циклів повторного запалювання зі збільшенням терміну експлуатації освітлювальних установок;
 - 1.4. Висока чутливість до коливань рівня напруги, які спричиняють повторне запалювання лампи в освітлювальній установці.
2. Тому синтезувати систему управління ОУ потрібно з урахуванням цих факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. в Украине с 01. 01. 99.
2. Салтыков В. А. К вопросу энергосбережения в установках наружного освещения / В. А. Салтыков, В. Ф. Соколов, Г. В. Федун // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. Вып. 17. — К. : Техніка, 1998. — С. 91—92.
3. Platikanov S. How to select the appropriate equipment for street lighting // Guide for Implementation of Projects for Energy Efficiency in Street Lightng,— Publication of EnEffect Bulgaria, 2006. — P. 15—19.
4. Енергозбереження в освітленні. Державний комітет України з енергозбереження [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.necin.com.ua>.
5. Идельчик В. И. Электрические системы и сети / В. И. Идельчик. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 592 с.
6. Кнорринг Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. — Л. : Энергоиздат, 1981. — 136 с.
7. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. / Л. А. Бессонов. — 7-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1978. — 528 с.

Рекомендована кафедрою відновлювальної енергетики, та транспортних електричних систем та комплексів

Стаття надійшла до редакції 24.02.12

Рекомендована до друку 26.04.12

Мокін Борис Іванович — професор, **Барчук Віталій Анатолійович** — аспірант.

Кафедра відновлювальної енергетики, та транспортних електричних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця