



АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА РОБОТУ СТРУМОПРИЙМАЧІВ

Адамова С. В.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел/факс (0619) 42-11-74

Анотація – якість електроенергії тісно пов'язана з надійністю електропостачання, оскільки нормальним режимом електропостачання споживачів є такий режим, при якому споживачі отримують електроенергію безперебійно, в кількості, заздалегідь узгодженій з енергопостачальною організацією, і нормованої якості. Проблема якості у вітчизняних електричних мережах дуже специфічна. Широке поширення електронних пристроїв, що включають в себе обладнання інформаційних технологій, силову електроніку призводять до повної зміни природи електричних навантажень.

Робота присвячена аналізу впливу якості електроенергії при відхиленні її показників від стандартів на споживачів електричної енергії. Наведено основні фактори, які призводять до негативних наслідків для електрообладнання. Зміни параметрів електричної мережі, потужності і характеру навантаження в часі є основною причиною зміни показників якості електричної енергії. Відхилення напруги роблять значний вплив на роботу асинхронних двигунів, які є найбільш поширеними приймачами електроенергії в промисловості, а також негативно впливають на якість роботи і терміни служби побутової електронної техніки. Негативний вплив на споживачів також надає коливання напруги, до їх числа відносяться освітлювальні прилади, особливо лампи розжарювання і електронна техніка. Несиметричні струми навантаження, що протікають по елементах системи електропостачання, викликають в них несиметричні падіння напруги. Несиметрія напруги значно погіршує режими роботи електрообладнання. Крім цього, знижена частота в електричній мережі впливає на термін служби обладнання. Характеристикою електромагнітних перехідних перешкод є провали і імпульси напруги, короткочасні перенапруги. Пом'якшення проблем якості електроенергії може бути досягнуто на різних рівнях: передача, розподіл і використання обладнання кінцевого користувача.

Ключові слова – якість електроенергії, відхилення напруги, коливання напруги, несиметрія напруги, несинусоїдальні струми, відхилення частоти, електромагнітні перешкоди.

Постановка проблеми. Якість електроенергії тісно пов'язана з надійністю електропостачання, оскільки нормальним режимом електропостачання споживачів є такий режим, при якому споживачі отримують електроенергію безперебійно, в кількості, заздалегідь узгодженій з енергопостачальною організацією, і нормованої якості.



Багато проблем якості електроенергії виникають в мережі під час передачі і розподілу. Тому для мінімізації проблем якості електроенергії важливим є знання факторів впливу, правильне проектування і належним чином організоване обслуговування мережі[1].

Електроенергетика є базовою галуззю економіки України, від надійного і сталого функціонування якої значною мірою залежать темпи виходу України із скрутного економічного становища та енергетична безпека держави[2].

Аналіз останніх досліджень. Проблема якості у вітчизняних електричних мережах дуже специфічна. В усіх промислово розвинених країнах підключення потужних нелінійних навантажень, які деформують форму кривих струму і напруги електричної мережі, допускається тільки при дотриманні вимог щодо забезпечення якості електроенергії та при наявності відповідних коригуючих пристроїв. При цьому сумарна потужність нелінійного навантаження, яке вводиться знову, не повинна перевищувати 3 ... 5% від потужності всього навантаження енергокомпанії. Інша картина спостерігається в нашій країні, де такі споживачі підключаються досить хаотично. Питання, що стосуються якості електроенергії, в наш час є предметом особливої стурбованості. Широке поширення електронних пристроїв, що включають в себе обладнання інформаційних технологій, силову електроніку (регульовані приводи, програмовані логічні контролери, енергоефективні освітлювальні пристрої) призводять до повної зміни природи електричних навантажень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Проведення аналізу щодо встановлення основних показників якості електричної енергії та оцінки їх негативного впливу на роботу струмоприймачів.

Основна частина. Кожен струмоприймач призначений для роботи при певних параметрах електричної енергії: номінальних частоті, напрузі, струмі і т.п., тому для нормальної його роботи має бути забезпечено необхідну якість електроенергії. Таким чином, якість електричної енергії визначається сукупністю її характеристик, при яких струмоприймачі (ЕП) можуть нормально працювати і виконувати закладені в них функції.

Якість електроенергії тісно пов'язана з надійністю електропостачання.

Відхилення напруги роблять значний вплив на роботу асинхронних двигунів (АД), що є найбільш поширеними приймачами електроенергії в промисловості. При зміні напруги змінюється механічна характеристика АД - залежність його обертового моменту M від ковзання s або частоти обертання(рис. 1).

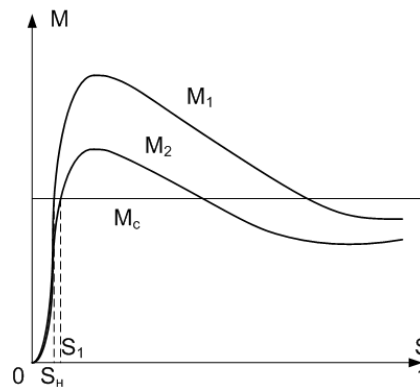


Рисунок 1. Механічна характеристика двигуна при номінальній (M_1) і зниженій (M_2) напругах

З достатньою точністю можна вважати, що обертовий момент двигуна пропорційний квадрату напруги на його затискачах. При зниженні напруги зменшується обертовий момент і частота обертання ротора двигуна, так як збільшується його ковзання. Зниження частоти обертання залежить також від закону зміни моменту опору M_c (на рис. 1 M_c прийнятий постійним) і від завантаження двигуна. Залежність частоти обертання ротора двигуна від напруги можна виразити

$$n = n_c \cdot \left(1 - k_z \frac{U_{ном}^2}{U^2} \cdot S_{ном} \right), \quad (1)$$

де n_c – синхронна частота обертання;

k_z – коефіцієнт завантаження двигуна;

$U_{ном}$, $S_{ном}$ – номінальні значення напруги і ковзання відповідно.

З формули (1) видно, що при малих завантаженнях двигуна частота обертання ротора буде більше номінальної частоти обертання (при номінальному завантаженні двигуна). Для двигунів, що працюють з повним навантаженням, зниження напруги призводить до зменшення частоти обертання. При значному зниженні напруги на виводах двигунів, що працюють з повним навантаженням, момент опору механізму може перевищити обертовий момент, що приводить до "перекидання" двигуна, тобто до його зупинки [3].

Зниження напруги погіршує і умови пуску двигуна, так як при цьому зменшується його пусковий момент.

Якщо двигун довго працює при зниженій напрузі, то через прискорений знос ізоляції термін служби двигуна зменшується. Наближено термін служби ізоляції T можна визначити за формулою

$$T = \frac{T_{ном}}{R}, \quad (2)$$



де $T_{ном}$ – термін служби ізоляції двигуна при номінальній напрузі і номінальному навантаженні;

R – коефіцієнт, що залежить від значення і знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна і дорівнює

$$R = (47\delta U^2 - 7.55\delta U + 1) \cdot k_3^2 \quad \text{при } -0,2 < \delta U_y < 0; \quad (3)$$

$$R = k_3^2 \quad \text{при } 0,2 \geq \delta U_y > 0. \quad (4)$$

Тому з точки зору нагріву двигуна більш небезпечні в межах, що розглядаються, негативні відхилення напруги.

Лампи розжарювання характеризуються номінальними параметрами: споживаною потужністю $P_{ном}$, світловим потоком $F_{ном}$, світловою віддачею $\eta_{ном}$ (що дорівнює відношенню випромінюваного лампою світлового потоку до її потужності) і середнім номінальним терміном служби $T_{ном}$. Ці показники значною мірою залежать від напруги на виводах ламп розжарювання. При відхиленнях напруги на 10% ці характеристики наближено можна описати наступними емпіричними формулами

$$P_{o.e.} = \frac{P}{P_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^{1.53}, \quad (5)$$

$$F_{o.e.} = \frac{F}{F_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^{3.67}, \quad (6)$$

$$T_{o.e.} = \frac{T}{T_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^{-14.8}, \quad (7)$$

$$\eta_{o.e.} = \frac{\eta}{\eta_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^{2.14}. \quad (8)$$

З кривих на рис. 2 видно, що зі зниженням напруги найбільш помітно падає світловий потік. При підвищенні напруги понад номінальної збільшується світловий потік F , потужність лампи P і світлова віддача h , але різко знижується термін служби ламп T і в результаті вони швидко перегорають. При цьому має місце і перевитрата електроенергії.

Відхилення напруги негативно впливає на якість роботи і термін служби побутової електронної техніки (радіоприймачі, телевізори, телефонно-телеграфний зв'язок, комп'ютерна техніка).

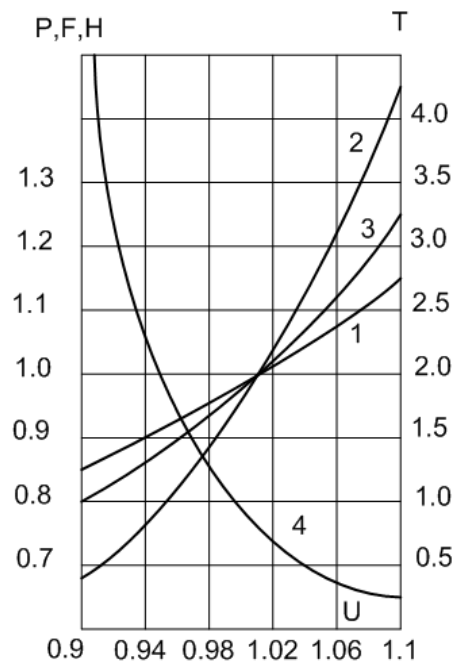


Рис. 2. Залежності характеристик ламп розжарювання від напруги: 1 - споживана потужність, 2 - світловий потік, 3 - світлова віддача, 4 - термін служби

Електричні печі чутливі до відхилень напруги. Зниження напруги електродугових печей, наприклад, на 7% призводить до подовження процесу плавки стали в 1,5 рази. Підвищення напруги вище 5% призводить до перевитрати електроенергії.

Відхилення напруги негативно впливають на роботу електрозварювальних машин: наприклад, для машин точкового зварювання при зміні напруги на 15% виходить 100%-вий брак продукції.

Негативний вплив на споживачів також надає коливання напруги, до їх числа відносяться освітлювальні прилади, особливо лампи розжарювання і електронна техніка.

Стандартом визначається вплив коливань напруги на освітлювальні установки, що впливають на зір людини. Миготіння джерел освітлення (флікер-ефект) викликає неприємний психологічний ефект, стомлення зору й організму в цілому. Це веде до зниження продуктивності праці, а в ряді випадків і до травматизму.

Найбільш сильний вплив на око людини надають миготіння з частотою 3 - 10 Гц, тому допустимі коливання напруги в цьому діапазоні мінімальні - менше 0,5%.

Колівання напруги порушують нормальну роботу і зменшують термін служби електронної апаратури: радіоприймачів, телевізорів, телефонно-телеграфного зв'язку, комп'ютерної техніки, рентгенівських установок, радіостанцій, телевізійних станцій і т.п.

При значних коливаннях напруги (понад 15%) можуть бути порушені умови нормальної роботи електродвигунів, можливо відпадиння контактів магнітних пускачів з відповідним відключенням працюючих двигунів. Коливання напруги з розмахом 10 - 15% можуть привести до виходу з ладу батарей конденсаторів, а також вентиляльних перетворювачів.

Несиметрія напруги викликається найчастіше наявністю несиметричного навантаження. Несиметричні струми навантаження, що протікають по елементах системи електропостачання, викликають в них несиметричні падіння напруги. Якісно відрізняється дія несиметричного режиму в порівнянні з симетричним для таких поширених трифазних електроприймачів, як асинхронні двигуни (рис. 3). Так, термін служби повністю навантаженого асинхронного двигуна, що працює при несиметрії напруги 4%, скорочується в 2 рази. При несиметрії напруги 5% наявна потужність двигуна зменшується на 5 - 10%.

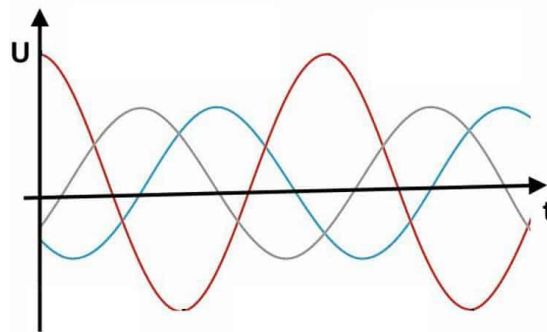


Рис. 3. Характерний перекис фаз

Несиметрія напруги значно погіршує режими роботи багатозначних вентиляльних випрямлячів: значно збільшується пульсація випрямленої напруги, погіршуються умови роботи системи імпульсно-фазового управління тиристорних перетворювачів [4]. Конденсаторні установки при несиметрії напруг нерівномірно навантажуються реактивною потужністю по фазах, що унеможлиблює повне використання встановленої конденсаторної потужності. Несиметрія напруг ускладнює роботу релейного захисту, веде до помилок при роботі лічильників електроенергії і т.п.

Струмоприймачі з нелінійними вольт-амперними характеристиками споживають з мережі несинусоїдальні струми при підведенні до їх затискачів синусоїдальної напруги. Струми вищих гармонік, проходячи по елементах мережі, створюють падіння напруги в опорах цих елементів і, накладаючись на основну синусоїду напруги, призводять до спотворень форми кривої напруги в вузлах електричної мережі. У зв'язку з цим ЕП з нелінійною вольт-амперною



характеристикою часто називають джерелами вищих гармонік.

Найбільш серйозні порушення якості електроенергії в електричній мережі мають місце при роботі потужних керованих вентильних перетворювачів. При цьому порядок вищих гармонійних складових струму і напруги в мережі визначається за формулою

$$n = mk \pm 1, \quad (9)$$

де m – число фаз випрямлення;

k – послідовний ряд натуральних чисел(0,1,2 ...).

Струми намагнічування утворюють системи струмів прямої і зворотної послідовності, які за абсолютною величиною однакові для гармонік, що кратні трьом. Для інших непарних гармонік струми зворотної послідовності становлять близько 0,25 струмів прямої послідовності. Якщо на вводи трансформаторів подається несинусоїдальна напруга виникають додаткові складові вищих гармонік струму.

В цілому несинусоїдальні режими мають ті ж вади, що й несиметричні. Вищі гармоніки струму і напруги викликають додаткові втрати активної потужності у всіх елементах системи електропостачання: в лініях електропередачі, трансформаторах, електричних машинах, статичних конденсаторах, так як опори цих елементів залежать від частоти.

Жорсткі вимоги стандарту до відхилень частоти напруги живлення обумовлені значним впливом частоти на режими роботи електрообладнання, хід технологічних процесів виробництва і, як наслідок, техніко-економічні показники роботи промислових підприємств. Відомо, що зниження частоти на 1% збільшує втрати в електричних мережах на 2%.

Ступінь впливу частоти на продуктивність ряду механізмів може бути виражена через споживану ними активну потужність

$$P = af^n, \quad (10)$$

де a - коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу механізму;

f - частота мережі;

n – показник ступеня.

Залежно від значень показника ступеня n , струмоприймачі можна розбити на групи. Найбільш чутливі до зниження частоти двигуни власних потреб електростанцій. Зниження частоти призводить до зменшення їх продуктивності, що супроводжується зниженням потужності генераторів і подальшим дефіцитом активної



потужності і зниженням частоти (має місце лавина частоти).

Відхилення частоти негативно впливають на роботу електронної техніки: відхилення частоти більш $+0,1$ Гц призводить до яскравостним і геометричним фоновим спотворенням телевізійного зображення, зміни частоти від $49,9$ до $49,5$ Гц тягне за собою майже чотириразове збільшення допустимого розмаху телевізійного сигналу до фонові заваді. Крім цього, знижена частота в електричній мережі впливає і на термін служби обладнання, що містить елементи зі сталлю (електродвигуни, трансформатори, реактори зі сталевим магнітопроводом), за рахунок збільшення струму намагнічування в таких апаратах і додаткового нагріву сталевих сердечників.

У системах електропостачання загального призначення знайшли широке застосування електронні та мікроелектронні системи управління, мікропроцесори і ЕОМ, що призвело до зниження рівня завадостійкості систем управління ЕП і різкого зростання кількості їх відмов. Основною причиною відмов є вплив електромагнітних перехідних перешкод, що виникають при електромагнітних перехідних процесах як в мережах енергосистем, так і в міських, і промислових електричних мережах.

Характеристикою електромагнітних перехідних перешкод є провали і імпульси напруги, короточасні перенапруги. Для цих показників якості електроенергії стандарт не встановлює допустимих чисельних значень, проте, розглядає ці перешкоди в рамках проблеми електромагнітної сумісності.

При значеннях всіх показників якості електроенергії по напрузі, відмінних від нормованих, відбувається прискорене старіння ізоляції електрообладнання, в результаті зростає інтенсивність потоків відмов з плином часу.

При низькій якості електроенергії має місце взаємозалежність відмов елементів, наприклад, коли негативний вплив нелінійних, несиметричних і ударних навантажень скомпенсоване за допомогою відповідних коригуючих пристроїв при відключенні того чи іншого пристрою. Таким чином, якість електроенергії істотно впливає на надійність електропостачання, оскільки аварійність в мережах з низькою якістю значно вище, ніж в разі, коли показники якості електроенергії знаходяться в допустимих межах [5].

Висновки. Відхилення показників якості електроенергії від нормованих значень погіршують умови експлуатації електрообладнання енергопостачальних організацій та споживачів електроенергії, можуть призвести до значних збитків, як у промисловості, так і в побутовому секторі, зумовлюють технологічний і електромагнітний збитки. Зміни параметрів електричної мережі, потужності і характеру навантаження в часі є



основною причиною зміни показників якості електричної енергії. Пом'якшення проблем якості електроенергії може бути досягнуто на різних рівнях: передача, розподіл і використання обладнання кінцевого користувача. Засоби місцевого та індивідуального регулювання, що встановлюються у споживача, необхідно поєднувати з заходами по компенсації реактивної потужності, вирівнюванню навантажень фаз і іншими заходами, що знижують негативний вплив споживачів електроенергії на якість напруги. Якщо навіть найтривкіше обладнання піддається впливу, повинні бути вжиті інші заходи для захисту від проблем якості електроенергії, такі як використання технологій відновлення, розподіленої генерації або пристроїв сполучення.

Література

1. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). – [Чинний від 2014-10-01]. – К.: Держстандарт України, 2014. – 27 с.
2. Дідур В. А. Сучасна енергетика: стан, проблеми, перспективи розвитку / В. А. Дідур, О. В. Лисенко, С. В. Адамова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2016. – Вип. 16, т. 2. – С. 113-119.
3. Суднова В. В. Качество электрической энергии / В. В. Суднова. – М.: Энергосервис, 2000. – 80 с.
4. Качество электрической энергии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.asutpp.ru/osnovy-elektrotexniki/kachestvo-jelektrojenergii.html>
5. Гамазин С. П. Обеспечение надежности электроснабжения и качества электроэнергии / С. П. Гамазин, В. М. Пупин, Ю. В. Марков // Промышленная энергетика.–2006. – №11. – С. 51-56.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Адамова С. В.

Аннотация

Качество электроэнергии тесно связано с надежностью электроснабжения, поскольку нормальным режимом электроснабжения потребителей является такой режим, при котором потребители получают электроэнергию бесперебойно, в количестве, заранее согласованном с энергоснабжающей организацией, и нормированного качества. Проблема качества в отечественных электрических сетях очень специфична. Широкое распространение электронных устройств, включающих в себя оборудование информационных технологий, силовую электронику приводят к полному изменению природы электрических нагрузок.

Работа посвящена анализу влияния качества электроэнергии при отклонении ее характеристик от стандартов на потребителей электрической



энергии. Приведены основные факторы, которые приводят к негативным последствиям для электрооборудования. Изменения параметров электрической сети, мощности и характера нагрузки во времени является основной причиной изменения показателей качества электрической энергии. Отклонения напряжения оказывают значительное влияние на работу асинхронных двигателей, которые являются наиболее распространенными приемниками электроэнергии в промышленности, а также негативно влияют на качество работы и сроки службы бытовой электронной техники. Негативное влияние на потребителей также представляет колебание напряжения, к их числу относятся осветительные приборы, особенно лампы накаливания и электронная техника. Несимметричные токи нагрузки, протекающие по элементам системы электроснабжения, вызывают в них несимметричные падения напряжения. Несимметрия напряжения значительно ухудшает режимы работы электрооборудования. Кроме этого, снижение частоты в электрической сети влияет на срок службы оборудования. Характеристикой электромагнитных переходных помех есть провалы и импульсы напряжения, кратковременные перенапряжения. Смягчение проблем качества электроэнергии может быть достигнуто на разных уровнях: передача, распределение и использование оборудования конечного пользователя.

ANALYSIS OF THE ELECTRICITY QUALITY EFFECT ON THE WORK OF ELECTRIC RECEIVERS

S. Adamova

Summary

The quality of electricity is closely related to the reliability of electricity supply, since the normal mode of electricity supply to consumers is a regime in which consumers receive electricity uninterruptedly, in an amount agreed in advance with the energy supply organization and the standardized quality. The quality problem in domestic electric grids is very specific. The widespread use of electronic devices, including information technology equipment, power electronics, leads to a complete change in the nature of electrical loads.

The work is devoted to the analysis of the influence of the quality of electricity under conditions of deviation of its characteristics from the standards for electricity consumers. The main factors that lead to negative consequences for electrical equipment are given. Changes in the parameters of the electric network, power and the nature of the load over time is the main reason for the change in the quality of electrical energy. Voltage deviations have a significant effect on the operation of induction motors, which are the most common receivers of electric power in industry, and also negatively affect the quality of work and the service life of consumer electronics. Negative influence on consumers is also represented by voltage fluctuations, including lighting devices, especially incandescent lamps and electronic equipment. Unsymmetrical currents flow through the elements of the power supply system and cause asymmetrical voltage drops. The asymmetry of the voltage significantly worsens the operating conditions of the electrical equipment. In addition, frequency reduction in the electrical network affects the service life of the equipment. The characteristics of electromagnetic transients are dips and voltage pulses, short-term over voltages. Mitigation of power quality problems can be achieved at different levels: the transfer, distribution and use of consumer's equipment.

Keywords: power quality, voltage deviation, voltage fluctuations, voltage unbalance, non-sinusoidal currents, frequency deviation, electromagnetic interference.