

перевищенні значення у 5 мм призводить до критичних наслідків в роботі досліджуваної зубчастої муфти.

Література

1. Галінський Є.М. Дослідження підвищення довговічності зубчастих муфт на етапах проектування, виготовлення і експлуатації / Є.М. Галінський, Н.І. Цивінда, О.В. Чернявська // Розвиток промисловості та суспільства : матеріали міжнародної науково-технічної конференції : [тези доповідей]. Т. 2 . – Кривий Ріг, 2019. – С. 83.
2. Chen F, Bai F, Chen C, Wang S, Zhang H. Research on double span rotor system driven by motorized spindle with coupling misalignment. *Advances in Mechanical Engineering*. 2019;11(4). doi:[10.1177/1687814018821009](https://doi.org/10.1177/1687814018821009)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Боляк А.В. здобувач вищої освіти спеціальності 141 електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Науковий керівник **Вахоніна Л.В.** канд. фіз.- мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Миколаївський національний аграрний університет, Україна

В роботі виконаний аналіз впливу вищих гармонік у системах електропостачання на втрати електричної енергії для розробки алгоритму визначення впливу мережного обладнання на спотворення форми кривої напруги у вузлах електричної мережі.

Ключові слова: *показник якості електроенергії, струм корони, вищі гармоніки.*

The work analyzes the influence of higher harmonics in power supply systems on the loss of electrical energy for the development of an algorithm for determining the influence of network equipment on the distortion of the shape of the voltage curve in the nodes of the electrical network.

Key words: *power quality indicator, corona current, higher harmonics..*

Постанова задачі дослідження. Одним з основних питань, пов'язаних із підвищенням якості електроенергії в мережах, які вирішуються як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації систем промислового електропостачання, є питання про вищі гармоніки електричної мережі. Будь-яке погіршення якості електроенергії спричиняє її перевитрату, таке становище справедливо і тих випадків, коли це погіршення лежить у межах норми і відповідає ДСТУ [1]. При перерахунках, пов'язаних із проектування та експлуатацією СЕП, не враховують втрати, що виникають у пристроях, що застосовуються для підтримки напруги на допустимому рівні. Так, наприклад, для трансформаторів із пристроями РПН це втрати у регулювальний пристроях.

Метою даної роботи є аналіз впливу вищих гармонік у системах електропостачання на втрати електричної енергії для розробки алгоритму визначення впливу мережного обладнання на спотворення форми кривої напруги у вузлах електричної мережі.

Результати дослідження. Останнім часом звертають увагу на такий показник якості, як відхилення частоти напруги від номінальних значень, який також призводить до втрат електроенергії. Виробничі витрати, зумовлені неякісною електроенергією, не оцінюються і не враховуються, однак це робити необхідно. Проблема несинусоїдальності (проблема вищих гармонік) виникла останнім часом у зв'язку із застосуванням потужних електроприймачів з нелінійною вольт-амперною характеристикою, таких як електрозварювання, дугові сталеплавильні печі, некеровані і, особливо, керовані вентильні перетворювачі. Нині проблема вищих гармонік є однією з важливих частин загальної проблеми електромагнітної сумісності приймачів електроенергії з живильною електричною мережею

Несинусоїдальний струм в опорах мережі живлення створює несинусоїдальне падіння напруги так, що навіть при синусоїдальній ЕРС джерела енергії в мережі з випрямляючим навантаженням мають місце несинусоїдальні струми та напруги. Таким чином, навантаження споживає з мережі живлення спотворений струм, до складу якого входять гармоніки, з частотами, що перевищують основну частоту. Падіння напруги, обумовлені цими струмами, викликають спотворення кривої напруги живлення, що веде до додаткових втрат потужності, що передається, може порушити роботу інших приймачів, створює небезпеку виникнення резонансу і перевантаження ланцюгів, що містять ємності. Тому випрямне навантаження можна розглядати як генератор вищої гармонійної напруги [2].

Вищі гармоніки негативно впливають на технологічний процес і режим роботи електролізерів. Наявність пульсуючої напруги з великим вмістом вищих гармонік сприяє збільшенню оборотних відновлювальних процесів в електроліті, впливає на рухливість іонів, перенесення заряду і, отже, призводить до зниження коефіцієнта корисної дії електролізних установок, погіршення якості продукції.

При проходженні струмів вищих гармонік елементами системи електропостачання виникають додаткові втрати активної потужності та електроенергії. Найбільші додаткові втрати активної потужності мають місце у трансформаторах, двигунах та генераторах. У ряді випадків ці втрати можуть призвести до неприпустимого перегріву обмоток електричних машин і завжди призводять до додаткових втрат електричної енергії [3].

За наявності гармонік у кривій напруги процес старіння ізоляції протікає інтенсивніше, що прискоренням при високих частотах електричного поля фізико-хімічних процесів у діелектриках, що зумовлюють їх старіння. Вищі гармоніки струму та напруги впливають на похибки електровимірювальних приладів. У практиці експлуатації важливе значення має збільшення похибок індукційних лічильників активної та реактивної енергії. Значення цих похибок істотно відбиваються з урахуванням споживання електричної енергії. Наявність вищих гармонік ускладнює і часом унеможлиблює використання силових ланцюгів як каналів передачі інформації. Вищі гармоніки погіршують роботу телемеханічних пристроїв, викликають збої у роботі, якщо силові ланцюги використовують у ролі каналів зв'язку.

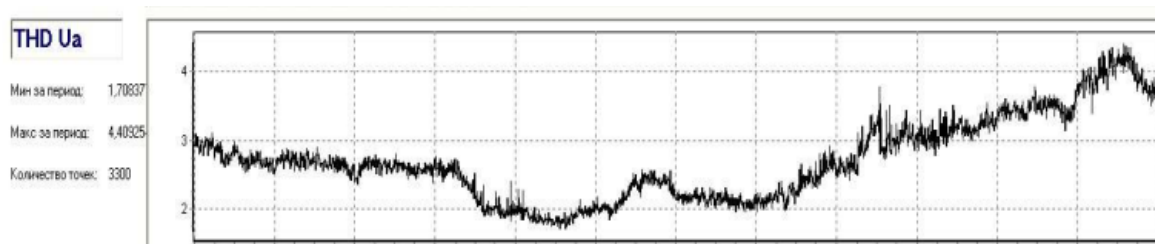


Рис. 1.- Графік показників гармонійної складової електричної мережі

Обмеження несинусоїдності напруги з найбільшою ефективністю може бути досягнуто на стадії проєктування систем електропостачання промислових підприємств, але потребує додаткових витрат. Тому таке обмеження є техніко-економічною проблемою, яку не можна вирішувати у відриві від завдання компенсації реактивної потужності. Це пояснюється тим, що компенсуючі пристрої з ємнісними параметрами (наприклад, конденсаторні батареї, фільтри вищих гармонік) у поєднанні з індуктивним опором мережі живлення можуть

призводити до резонансу в мережі на високій частоті, і отже, до збільшення окремих гармонік струму і напруги.

Висновок. Аналіз показав, що вищі гармоніки завдають шкоди електричним мережам, призводять до перевантажень, знижують термін служби та за певних умов можуть викликати передчасний вихід з ладу електричних та електронних споживачів. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці методів для виявлення вищих гармонік та зменшення їх шкідливих впливів. Тому необхідно розробити методику оцінки впливу основного обладнання електричних мереж на спотворення форми кривої напруги, яка дозволить визначити джерела та ступінь впливу на систему електропостачання.

Література

1. Степанов В., Базиль І. Вплив вищих гармонік у системах електропостачання підприємства на втрати електричної енергії. *Технічні науки*. 2019. Т. 12, № 2. С. 14–29.
2. How companies can extend the service life of transformers. *Home - Electrical Oil Services (EOS)*. URL: <https://www.electricaloilservices.com/blog/how-companies-can-extend-the-service-life-of-transformers#:~:text=Use%20high%20quality%20transformer%20oils,oxidation%20and%20ultimately%20limit%20corrosion>. (дата звернення: 03.10.2023).
3. О. Д. Демов. Економія електроенергії на промислових підприємствах : навч. посіб. ВНТУ, 2016. 96 с.

TECHNOLOGY OF USING VIRTUAL PRACTICAL WORKS IN THE TRAINING OF ELECTRICAL ENGINEERING SPECIALISTS

Churylo R. E. - *master of industrial training departments of electric power engineering, electrical engineering and electromechanics*
Mykolaiv National Agrarian University, Ukraine

The analysis and development of technology and model for the use of virtual practical works in the training of specialists in electrical engineering. As a result, it is determined that the training of specialists in electrical engineering in modern the world is moving to a fundamentally new level

Key words: *virtual reality, augmented reality, educational process, specialists in electrical engineering, virtual practical work.*

Goal: development of technology and models for the use of virtual practical work in the training of specialists in electrical engineering.

Introduction. Personal development of a specialist in electrical engineering occurs during the period of study at a higher educational institution. The current generation of higher education, in particular in the field of electrical engineering, global competition in higher education, the development of e-learning - all this leads to a paradigm shift in education, to a new understanding of how a modern electrical engineer can and