

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІЧНИХ СКЛАДОВИХ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Журавльов А.В., студент, Гаєвська Г.М., ст. викладач
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

Вступ. За останні 20 років відбулися якісні зміни складу і характеру навантаження. Наприклад, за наявними в літературі даними, в США зростання нелінійності в розподільчих мережах за рахунок силової електроніки складає більш 30%, а кількість нелінійних споживачів зросла в процентному відношенні майже до 50%. Зростання нелінійності призводить до появи вищих гармонік, спотворення форми струму, падіння напруги, появи вібрацій, нагріванню та додаткових втрат в обладнанні, скорочення терміну служби ізоляції, порушень в роботі автоматики [1].

Мета роботи. Моделювання та аналіз гармонійних спотворень в електричній трьохфазній мережі, які обумовлені нелінійним навантаженням. У якості навантаження у запропонованій моделі можуть розглядатися поширені пристрої силової електроніки: АС-DC випрямлячі, перетворювачі частоти та інші.

Матеріали і результати досліджень. Згідно з міжнародними стандартами до основних показників якості електроенергії відносяться коефіцієнт нелінійних спотворень струму (THD_I) та напруги (THD_U), пік фактор (FS), коефіцієнт нелінійних спотворень та інші [2].

За допомогою Фур'є перетворення нелінійний струм може розглядатися як сума струмів: струму основної частоти (частота співпадає з напругою) та інших струмів з частотами – кратними частоті цього основного струму (kf_1 , де k – це ціле число > 1). У нелінійно спотвореному струмі присутні непарні гармоніки: 7-13 ... – пряма послідовність, 5-11 ... – зворотня і 3-9 ... – нульова. Зазвичай струми гармонік з номерами 17 і вище не враховуються внаслідок їх малого значення. Струми трьох фаз зсуваються на $T / 3$. Тому гармоніки, які мають порядок кратний 3 і збігаються із зсувом фазових струмів, додаються одна до одної, що призводить до появи струму в нейтралі рівному потроєною сумі (при симетричній системі) трьох вищих гармонік, кратних трьом ($3(2n + 1)$) [2]

$$I_n = 3 \cdot \sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2} \quad (1)$$

де I_n – струм у нульовому проводі, I_3, I_9, I_{15} – відповідні вищі гармоніки.

Внаслідок спотворення синусоїдальності струм в нульовому проводі може набути великих значень, що призводить до зростання падіння напруги не тільки у нейтралі, а й в фазних проводах. Існуючі експериментальні дані показують, що коефіцієнт несинусоїдальності кривої струму може становити 52% при коефіцієнті несинусоїдальності кривої напруги цієї ж фази 9,2% [2]. Запропонована модель підтверджує ці значення. (див. рис. 2).

Ці зміни край негативно відбиваються на інших навантаженнях мережі [3], тому є необхідність їх контролю шляхом визначення коефіцієнту

потужності, коефіцієнту амплітуди, коефіцієнту потужності, коефіцієнту спотворення та інші. Оберемо для розгляду загальний коефіцієнту гармонійних спотворень струму на вході навантаження (THD – Total Harmonic Distorsion), який є відношенням сумарного діючого значення всіх вищих гармонік – $n \geq 2$ до діючого значення струму основної гармоніки, та пік-фактор – відношення пікового значення споживаного струму до його загального діючого значення.

$$THD_I = 100\% \frac{\sum_{k,k \neq 1} I_k^2}{I_1}, \quad FS_I = 100\% \frac{I_{\max}}{\sum_k I_k^2}, \quad (2)$$

де I_k – амплітуди гармоніки k-го порядку, I_1 – амплітуди першої гармоніки

Моделювання впливу наявності та амплітуди вищих гармонік, що створюються нелінійним навантаженням, на фазні струми и струм нейтралі дає змогу проаналізувати умови роботи розподільчої мережі та визначити ризики, пов'язані з перевищенням струму нейтралі, роботи сусідніх споживачів та обладнання мережі.

Схема живлення навантаження, що складається з нелінійного (НЛН) та лінійного (ЛН) наведена на рис. 1. Струм основної частоти подається на навантаження з мережі, але в НЛН генеруються вищі гармоніки I_n , які повертаються у мережу та негативно впливають на її роботу при перевищенні граничних значень (МЭК 61000-2-2, МЭК 61000-2-4) [3]. В процесі моделювання за допомогою Фур'є-перетворення проводиться аналіз спектру гармонік та вносяться зміни внеску вищих гармонік, що приводить до зміни струму в нульовому проводі. Зміни спектру оцінюються загальним коефіцієнтом гармонійних спотворень, а наслідки – потужністю струму нейтралі.

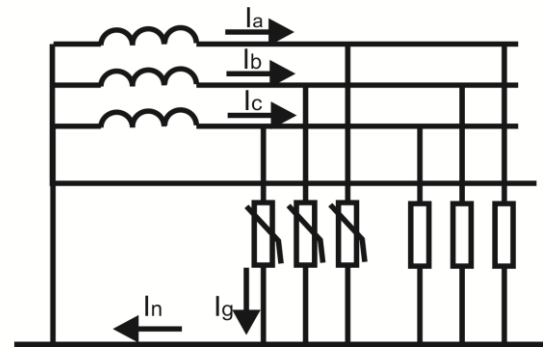


Рисунок 1 – Струм у нульовому проводі від вищих гармонік

На рис. 2 наведено приклад зміни гармонійного складу фазного струму при різних коефіцієнтах гармонійних спотворень.

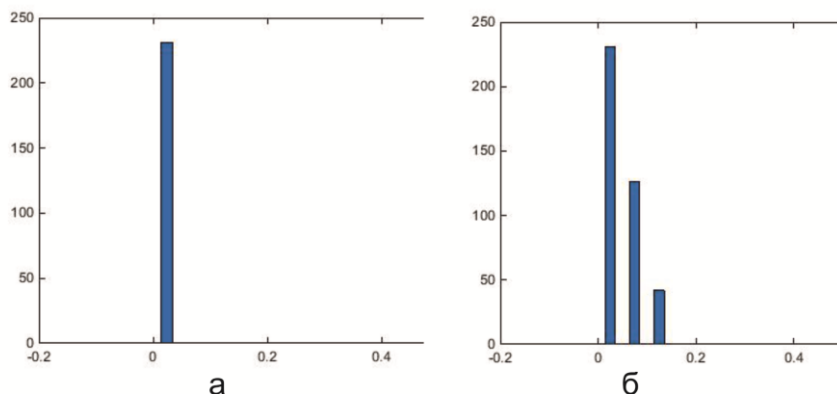


Рисунок 2 – Гармонійний склад фазного струму: а – синусоїдальний; б – спотворений нелінійним навантаженням.

Модель передбачає можливість змінювати зсув фаз та значення THD в кожній фазі незалежно від інших та проаналізувати їх загальний вплив. Відповідно до зростання цього коефіцієнту зростає, сума струмів в нульовому проводі, що чітко простежується на рис. 3.

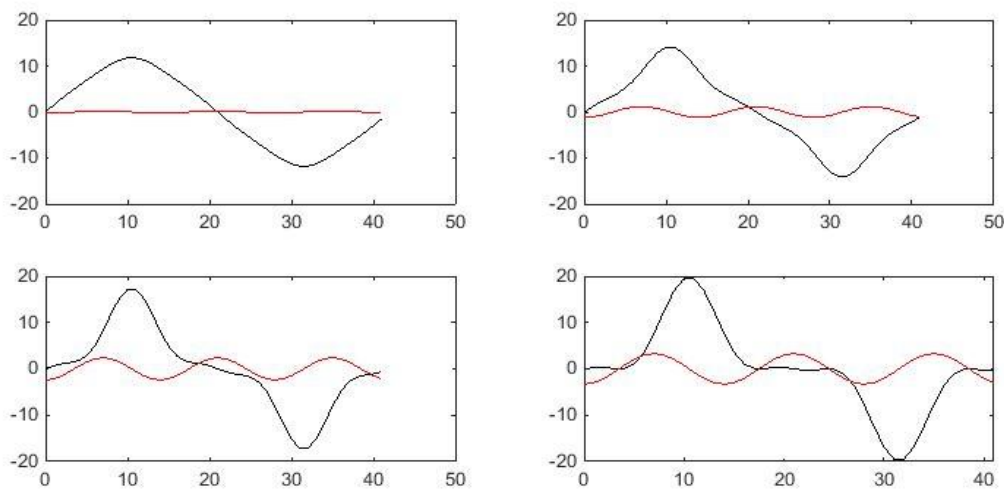


Рисунок 3 – Спотворення синусоїди струму в залежності від наявності вищих гармонік при різних значеннях THD₁: 5%, 20%, 35%, 50%

Зв'язок потужності струму в нульовий фазі з THD представлений на рис. 4, має параболічний характер та дозволяє кількісно оцінювати втрати у нульовому проводі та вплив спотворень на роботу обладнання.

Висновки. Модель дозволяє кількісно аналізувати гармонійні спотворення, які внесені нелінійним навантаженням в електричну трьохфазну мережу. Виконано числові розрахунки струмів та потужностей у нульовому та фазних проводах для навантаження, яке характерно для вентиляційних схем випрямлячів. Показано, що потужність у нульовому проводі швидко зростає (приблизно параболічно) з ростом величини THD, може призвести до перевищення втрат та температури нейтралі, а також до ризику резонансних явищ.

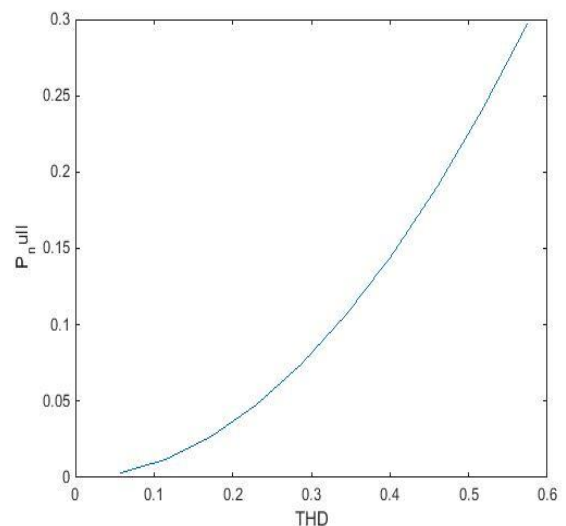


Рисунок 4 – Залежність потужності струму нейтралі від THD₁

Перелік посилань

1. Влияние компьютерных нагрузок на работу электрических сетей зданий / [О. Григорьев, В. Петухов, В. Соколов, И. Красилов] // Мир связи. – 2002. – №12. – С. 24 – 36.
2. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
3. Климов В., Карпиленко Ю., Смирнов В. Компенсаторы реактивной мощности и мощности искажения в системах гарантированного электропитания промышленного назначения // Силовая электро ника. – 2008. – № 3.