

УДК 538.69.331.45

ГАРМОНІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТРУМІВ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ ОБСТАНОВКУ У ПРИМІЩЕННЯХ

Перельот Т.М.

Національний авіаційний університет, м. Київ

Вступ. Масове використання електронного обладнання з імпульсними джерелами живлення як в Україні, так і в усьому світі, стало причиною появи у силових мережах побутових, виробничих та адміністративних будівель електрострумів частотою 150 Гц.

Особливістю їх генерації є протікання таких струмів нульовими робочими провідниками трифазної силової мережі. Таким чином, відсутня компенсація магнітних полів прямого і зворотного електрострумів і, як наслідок, наявність у приміщеннях магнітних полів гігієнічно значущих рівнів.

Сучасний стан питання. Однією з причин появи гармонік електричного струму промислової частоти є несинусоїдальність напруги, яка породжується джерелами живлення технічних засобів.

Дослідженню спотворення синусоїдальності напруги (електроструму) у системах електроживлення присвячено багато робіт. Вони стосуються, в основному, проблематики енергозбереження, захисту обладнання від надмірного зносу та уникнення аварій у силових мережах [1-3]. Але ще одним наслідком такого явища є поява у кабелях електроживлення струмів вищих гармонік промислової частоти 50 Гц, які протікають нульовими робочими провідниками і генерують магнітні поля гігієнічно значущих рівнів. Більшість досліджень присвячено впливу таких полів на технічні засоби [4] або стосуються магнітних полів заздалегідь наднормативних рівнів, генерованих електрозварювальним обладнанням [5]. У роботі [6] досліджено появу некомпенсованих електрострумів у трифазній силовій мережі, але пропозиції щодо зниження генерованих ними магнітних полів стосуються виключно засобів обчислювальної техніки, обладнаними імпульсними джерелами живлення. Доці-

льним є дослідити загальні закономірності появи гармонік електроструму промислової частоти, критичність генерованих ними магнітних полів та окреслити напрями робіт з їх мінімізації.

Метою статті. Метою роботи є визначення рівнів гармонік електрострумів промислової частоти та генерованих ними некомпенсованих магнітних полів у приміщеннях та спорудах.

Дослідження виконувались у будівлях та їх окремих приміщеннях з різною часткою нелінійних споживачів у загальному електронавантаженні на силову мережу. В якості тестових обиралися ланки силової мережі, на яких нелінійні навантаження складали приблизно: до 15%, до 20% та більше 25%. Натурні вимірювання здійснювались за допомогою електротехнічних кліщів марки DT-9809 (електроструми промислової частоти 50 Гц). Амплітуди гармонік та інтергармонік промислової частоти визначалися зі спектра магнітних полів, генерованих електрострумами фазних та нульових робочих провідників пристроєм контролю гармонічного складу електричного струму промислової частоти (заявка на патент України U201404648).

Частота та синусоїдальність електроструму у зовнішній мережі контролювалися за допомогою цифрового запам'ятовуючого осцилографа Tektronix TDS2022C. Останнє є обов'язковим для виключення зовнішнього впливу на формування гармонічного складу електроструму у силовій мережі будівлі.

Характер електроструму нелінійного (імпульсного) споживача обумовлює спотворення синусоїдальної напруги на вході навантаження. Це так звана «пласка» синусоїда, що є наслідком падіння напруги на внутрішньому опорі електромережі (1).

$$U_n(f) = U_m(f) - I(f) \cdot Z_m \quad (1)$$

де, $U_n(f)$ – спотворена напруга на вході навантаження;
 $U_m(f)$ – синусоїдальна напруга силової мережі;
 $I(f)$ – імпульсний електрострум навантаження;
 Z_m – повний опір мережі з боку навантаження.

Несинусоїдальні електроструми викликають падіння напруги на опорі Z_m , що є наслідком появи на вході нелінійного споживача «пласкої» синусоїди напруги. Це са-

ме спостерігається на вході усіх електроспоживачів, ввімкннутих паралельно цьому навантаженню (рис. 1).

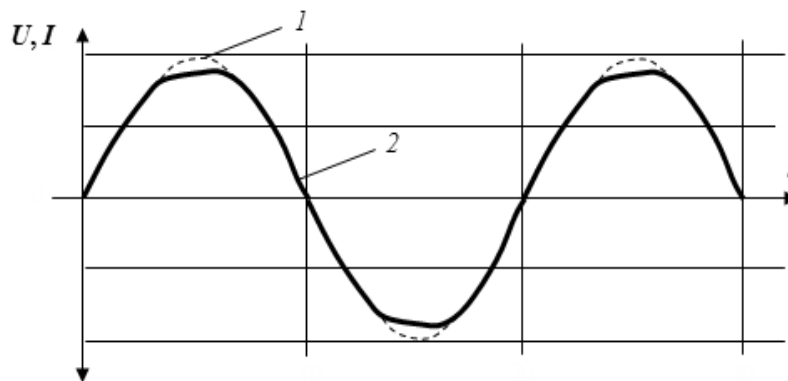


Рисунок 1. Спотворення синусоїдальності напруги 1 – синусоїда; 2 – пласка синусоїда.

Несинусоїдальність напруги у системах електроживлення непокоїть електротехніків та енергетиків через зниження коефіцієнтів корисної дії електротехнічного обладнання та його прискорене зношення: гальмування роторів електричних машин, перегрів трансформаторів та ізоляційних покриттів, нештатна робота та вихід з ладу батарей конденсаторів для компенсації реактивного навантаження тощо.

З точки зору безпеки людей це явище є причиною підвищення рівнів магнітних полів як у окремих приміщеннях, так і у будівлях в цілому.

Спотворення синусоїдальності напруги (електроструму) змінює їх гармонічний склад, що призводить до небажаних, з точки зору електромагнітної безпеки, некомпен-

сованих електрострумів у силовій електромережі.

За симетричного навантаження (навантаження кожної фази не перевищує нормативне відхилення у 10%) фазні електроструми основної частоти створюють системи прямої та зворотної послідовності і дають у сумі нульове значення.

Гармоніки, кратні трьом, створюють системи нульової послідовності, тобто мають у будь-який момент однакові амплітуди і фази. Через це у нульовому робочому провіднику виникають електроструми, що дорівнюють потроєній сумі струмів вищих гармонік, кратних трьом. За несинусоїдального симетричного електронавантаження струм у нульовому робочому провіднику дорівнює (2).

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2} \quad (2)$$

де, I_3, I_9, \dots, I_n – діючі значення відповідних гармонік електроструму;
 n – непарне число, кратне трьом.

Таким чином, за нелінійних навантажень електрострум у нульових робочих провідниках може значно перевищувати електрострум у фазах і залежить від частки нелінійного навантаження у загальному навантаженні на силову мережу. Розгляд амплітудних значень вищих гармонік показав, що з точки зору електромагнітної безпеки прак-

тичне значення має врахування тільки третьої гармоніки частотою 150 Гц.

Натурні вимірювання електрострумів у силовій мережі показали, що струми третьої гармоніки промислової частоти можуть бути меншими, порівняними та більшими за електроструми основної частоти (рис. 2-4).

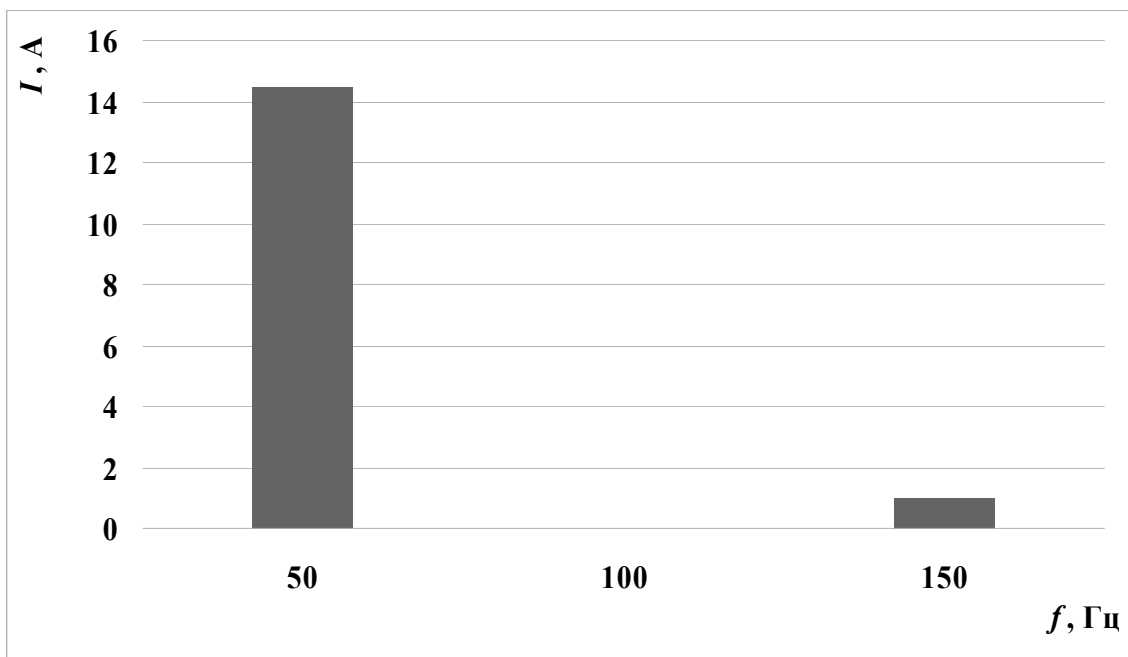


Рисунок 2. Амплітудні значення критичних гармонік електроструму в нульовому робочому провіднику з часткою нелінійних споживачів до 15%.

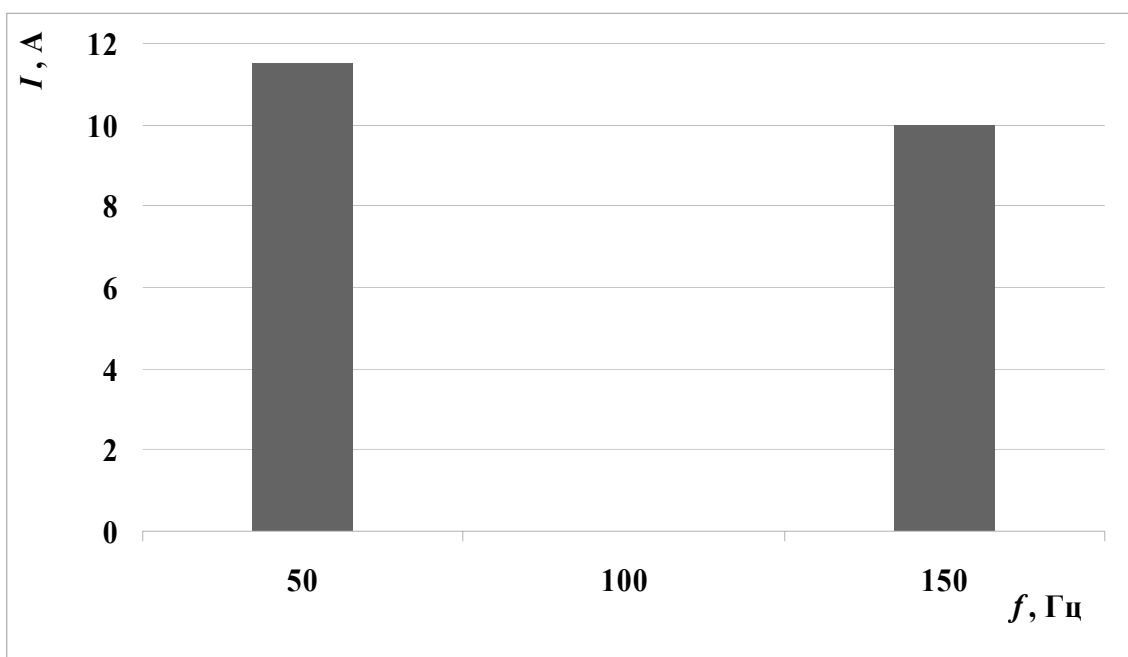


Рисунок 3. Амплітудні значення критичних гармонік електроструму в нульовому робочому провіднику з часткою нелінійних споживачів до 20%.

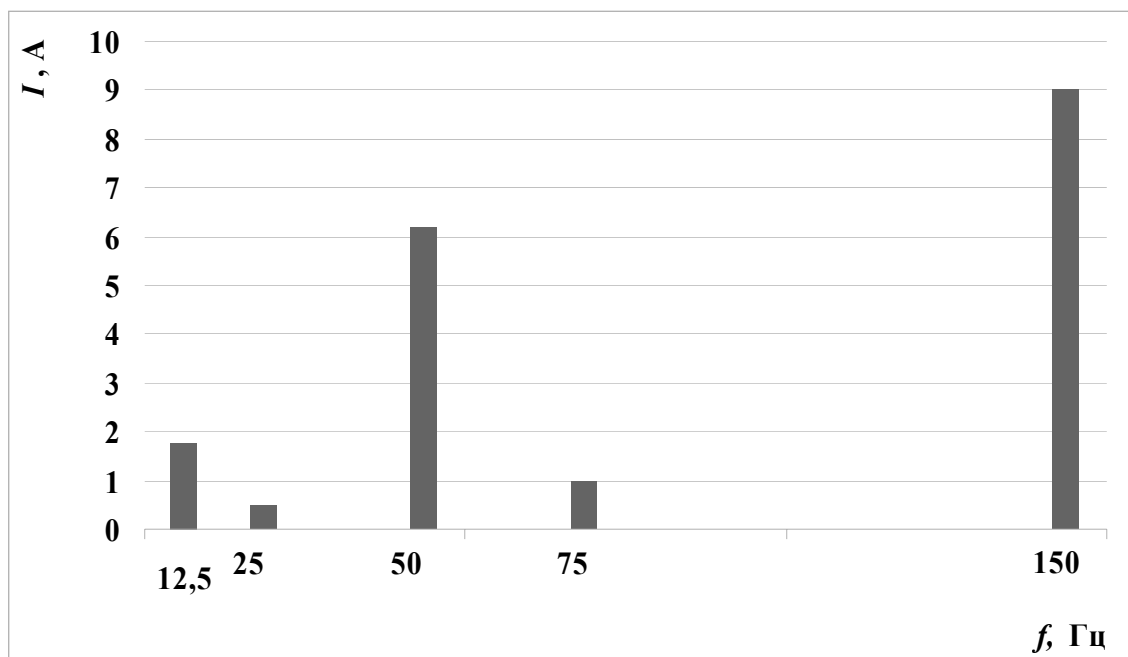


Рисунок 4. Амплітудні значення критичних гармонік електроструму в нульовому робочому провіднику з часткою нелінійних споживачів вище 25%.

Наявність інтергармонік (12,5, 25 і 75 Гц) за нашими даними обумовлюються не-синусоїдальністю електрострумів, а гармоніки 150 Гц – як перекосом фаз, так і впливом імпульсних джерел живлення технічних засобів. Усі електроструми гармонік та інтергармонік є некомпенсовані і генерують відповідні магнітні поля.

Розрахунки індукції магнітного поля для провідника кінцевої довжини та прямокутного контуру зі струмом за периметром

приміщення (2,3) показали, що для приміщення розмірами 6×8 м для сегмента довжиною 8 м та електрострумом 5 А індукція магнітного поля на відстані 1,0-1,5 м від стіни складає до 0,2 мкТл, а за протікання такого струму мережею електроживлення за периметром приміщення – 0,9 мкТл у його центрі. Це більш, ніж у тричі, перевищує гранично допустимий рівень для користувачів комп'ютерної техніки.

$$E = \frac{\mu P_0}{4\pi r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \text{ та} \quad (2)$$

$$B = \frac{2\mu_0 I \sqrt{x^2 + y^2}}{\pi x y}, \quad (3)$$

де, μ – магнітна проникність середовища;

μ_0 – магнітна стала;

I – ефективне значення електроструму;

r – відстань від провідника до точки визначення поля.

Вимірювання рівнів спектрального складу магнітних полів у приміщеннях з різним внеском нелінійних електроспоживачів у загальне навантаження на силову мережу свідчать про однозначний зв'язок цих полів з

некомпенсованими струмами у мережі електроживлення.

Відмінності спектральних складів магнітних полів та електрострумів у силових мережах пояснюється внеском у електромагнітну обстановку магнітних полів електро-

них технічних засобів, які можуть мати складний механізм їх генерації.

Спектр магнітного поля джерела живлення портативного комп'ютера при його

підключенні до електромережі наведено на рис. 5.

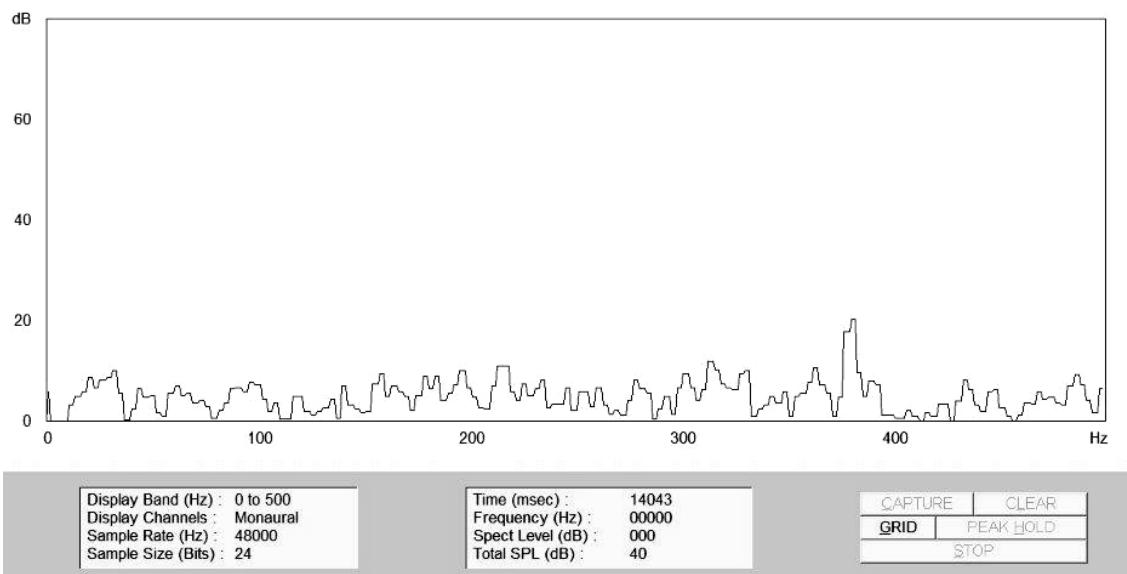


Рисунок 5. Спектральний склад магнітного поля джерела електроживлення потужністю 330 Вт.

Перерахунок рівнів магнітних полів з відносних одиниць у фактичну напруженість

магнітного поля здійснювався зі співвідношення (4).

$$U_{\text{вк}}(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{U_{\text{вк}}(\text{В})}{U_{\text{к}}(\text{В})}, \quad (4)$$

де, $U_{\text{вк}}(\text{дБ})$ – рівень сигналу у дБ (з екранної форми рис. 5);

$U_{\text{вк}}(\text{В})$ – рівень електричного сигналу з датчика магнітного поля у вольтах;

$U_{\text{к}}(\text{В})$ – робоча напруга звукової карти персонального комп'ютера (В).

Фактичні значення індукції магнітного поля отримуються з калібровочної таблиці датчика магнітного поля. Так, частоті 50 Гц відповідає чутливість 0,780 мВ/мкТл, частоті 100 Гц – 0,784 мВ/мкТл, 150 Гц – 0,788 мВ/мкТл, 200 Гц – 0,793 мВ/мкТл.

Інтегральне магнітне поле, генероване єдиними джерелом живлення, не впливає на

електромагнітну обстановку в приміщенні, але дає суттєвий внесок у сумарне магнітне поле на робочому місці користувача через наближеність до нього. Враховуючи різноманітність та кількість електронних пристроїв у сучасних виробничих будівлях такий вплив необхідно оцінювати у кожному окремому випадку.

Висновки

1. Сучасні будівлі та окремі приміщення характеризуються складною електромагнітною обстановкою з перевищенням гранично допустимих рівнів для окремих частот.

2. Головною причиною підвищення рівнів магнітних полів у будівлях є некомпенсовані електроструми у мережах електроживлення, обумовлені наявністю гармонік та інтергармонік електроструму промислової частоти.

3. Суттєвий внесок в електромагнітну обстановку приміщень дають магнітні поля технічних засобів зі складним спектром магнітних полів.

4. Зниження електромагнітного навантаження на людей досягається впровадженням низки заходів, головним з яких є зниження частки нелінійних електроспоживачів у загальному навантаженні на силову мережу та екранування дільниць з електрострумами, які відповідають частотам вищих гармонік та інтергармонік промислової частоти 50 Гц.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Г. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения / В.Г. Кузнецов, Э.Г. Куренный, А.П. Лютый. – Донецк: – Норд-Пресс, 2005. – 250 с.
2. Григорьев О.А. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О.А. Григорьев, В.С. Петухов, В.А. Соколов, И.А. Красилов // Новости электротехники. 2003. – №1. – С. 71-74.
3. Плеханов А.С. Средство компенсации реактивной мощности общепромышленных систем энергетики / А.С. Плеханов, А.И. Зайцев // Энергетические системы. 2008. – №3. – С. 2-7.
4. Сливкин В.Г. Электромагнитная совместимость оборудования информационных технологий при воздействии импульсных электромагнитных помех: дис...канд.техн.наук: 05.09.03 / Сливкин Виктор Геннадиевич. – Самара, 2004. – 212 с.
5. Levchenko O.G. Safe level of electromagnetic field intensity in resistance welding / O.G. Levchenko, V.K. Levchuk // The Paton Welding Journal, 2008. – №5. – P. 38-47.
6. Глива В.А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем: дис. докт.техн. наук: 05.26.21; Глива Валентин Анатолійович. – Київ, 2012. – 320 с.

ГАРМОНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБСТАНОВКУ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Перелет Т.Н.

Приведены результаты экспериментальных исследований гармонического состава некомпенсированных электрических токов в системах электроснабжения зданий. Установлено, что эти токи имеют частоты гармоник и интергармоник электрического тока промышленной частоты. Они генерируются импульсными блоками питания технических средств и являются причиной повышения уровня магнитных полей в помещениях. Предложены методы снижения этих полей. Основными из них есть уменьшение доли нелинейных потребителей в общей электрической нагрузке здания и экранирование участков электрической сети с некомпенсированными электрическими токами.

HARMONIC FREQUENCY INDUSTRIAL ELECTRIC CURRENTS AND THEIR IMPACT ON ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT ROOM

T. Perelot

The experimental results of the harmonic content of uncompensated electric currents in the building's electrical system. Found that these currents have frequency harmonics and interharmonics of electrical power frequency. They are generated by switching power supplies hardware and cause the increase of the level of magnetic fields on the premises. The methods to reduce these fields. The main of them is non-linear decrease in the proportion of consumers in the total electrical load of the building and shielding portions mains with uncompensated electric currents.