

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 539.421:620.179.17

Е.А. Дармофал¹, М.І. Адаменко², Л.О. Левченко³

¹ Харківська державна академія фізичної культури, Харків

² Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків

³ Національний технічний університет України «КПІ», Київ

ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БЕЗПЕКИ ПРАЦЮЮЧИХ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ БАЗИ РЕОРГАНІЗАЦІЇ ЗАЗЕМЛЕННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Проведений аналіз конструктивних особливостей сучасних систем електроживлення. Надані практичні, науково обгрунтовані рекомендації по вибору оптимальних з погляду електромагнітної безпеки і стабільності функціонування технічних засобів способів організації електроживлення з урахуванням характеру використовуваного устаткування.

Ключові слова: електромагнітна безпека, заземлення систем електроживлення.

Вступ

На сьогоднішній день головними критеріями при виборі систем електроживлення є електробезпечність (захист людей від ураження електричним струмом), пожегобезпечність (імовірність виникнення пожеж внаслідок коротких замикань), безпечність енергопостачання, ушкодження електрообладнання при коротких замиканнях, вартість монтажу та експлуатації силової електромережі. На практиці останні два критерії багато років розглядалися як пріоритетні. Електрична безпека була другорядною задачею і розглядала, в основному, ураження людей електричним струмом при контакті з відкритими провідними конструкціями, які з тієї чи іншої причини опинилися під напругою.

Постановка задачі. Останнім часом як фахівці-електротехніки, так і спеціалісти з безпеки праці та життєдіяльності звертають увагу на необхідність розглядати мережі електроживлення як вагомий чинник електромагнітного забруднення середовища як на виробництві, так і у побуті. Низка ґрунтовних досліджень [1, 2] довела, що мережі електроживлення є джерелом появи в середовищі магнітних та електричних полів гігієнічно значущих рівнів. Значною мірою це обумовлено зміною не тільки кількісних, але й якісних характеристик електрообладнання, увімкненого до силової електромережі, а саме – зростанням питомої ваги нелінійних електроспоживачів у загальному навантаженні на електромережу. Пропоновані заходи з підвищення електромагнітної безпеки [3] вирішують проблему частково і обмежують кількість технічних засобів з імпульсними блоками

живлення, задіяних у виробничих процесах та побуті. Проведені дослідження [4] показали, що амплітудні та частотні характеристики незбалансованих струмів та струмів витоку значною мірою залежать від способу монтажу силової електромережі і використання додаткових пристроїв нормалізації напруги. Таким чином, вибір системи електроживлення може суттєво впливати на електромагнітну обстановку у приміщеннях, що, у свою чергу, сприятиме підвищенню рівня електромагнітної сумісності технічних засобів, чутливих до електромагнітних впливів.

Метою роботи є аналіз конструктивних особливостей систем електроживлення і визначення оптимальної організації мережі електрозабезпечення окремих будівель з точки зору підвищення електромагнітної безпеки людей та електромагнітної сумісності технічних засобів.

Виклад основного матеріалу

Це потребує аналізу переваг та недоліків існуючих систем електроживлення (в основному – конструкцій заземлення нейтралі) у мережах електропостачання з лінійною напругою 380 В (до 0,4 кВ згідно з термінологією, прийнятою у Правилах улаштування електроустановок). Цими Правилами (ПУЕ), зокрема чинною в Україні їх шостою редакцією [5], організацію мереж електроживлення з напругою до 1 кВ поділяють на електроустановки з глухозаземленою нейтраллю та з ізольованою нейтраллю. Така градація не повністю задовольняє сучасний рівень розвитку електричної або електронної техніки, тому доцільним є розгляд систем, регламентованих сьомою редакцією ПУЕ (набула чинності в Російській федерації), яка

відповідає міжнародному стандарту, прийнятому міжнародною електротехнічною комісією (IEC) [6]. До того ж національний норматив [7] дозволяє монтаж у житлових будинках навіть сучасної забудови вбудованих та прибудованих трансформаторних підстанцій (з використанням сухих трансформаторів). Такі мережі можуть використовувати комбіновані системи заземлення нейтралі, передбачені вимогами IEC.

Згідно з номенклатурою IEC спосіб заземлення нейтралі та відкритих провідних елементів (які у нормальному стані не перебувають під напругою, наприклад – корпуси технічних засобів) позначається двома літерами: перша вказує на спосіб заземлення нейтралі джерела живлення (наприклад, силового трансформатора 6/0,4 кВ), друга – відкритих провідних елементів. У позначеннях використовуються перші літери французьких слів:

- T (terre-земля) – заземлено;
- N (neutre – нейтраль) – підключено до нейтралі джерела живлення;
- I (isolve) – ізолювано.

Номенклатура IEC передбачає три способи заземлення нейтралі та відкритих провідних елементів, а саме:

- TN – нейтраль джерела глухо заземлено, корпуси електрообладнання підключено до нейтрального провідника;
- TT – нейтраль джерела електроживлення та корпуси електрообладнання глухозаземлені (рис. 1);

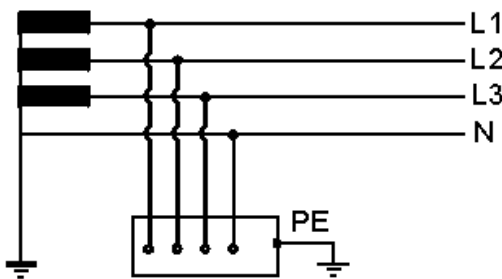


Рис. 1. Система організації мережі електроживлення за схемою TT

- IT – нейтраль джерела ізолювана або заземлена через прилади чи пристрої, які мають великий електроопір, корпуси електрообладнання глухозаземлені (рис. 2).

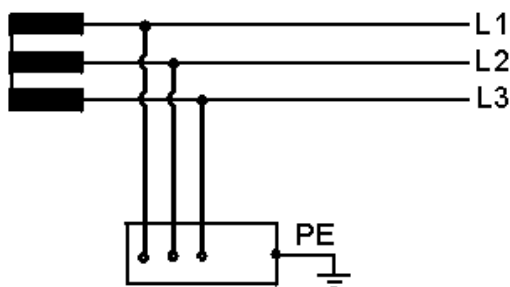


Рис. 2. Система організації мережі електроживлення за схемою IT

Системи організації електроживлення TN бувають таких типів:

- TN-C – (C – від слова combined – об'єднаний) уздовж усієї мережі електроживлення. Об'єднаний нульовий провідник позначається як PEN (protective earth neutral – захисна нейтраль, земля) (рис. 3);

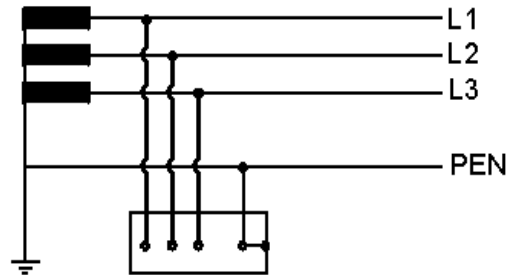


Рис. 3. Система організації мережі електроживлення за схемою TN-C

- TN-S – нульовий робочий провідник N та нульовий захисний провідник PE розділені (S-separated – роздільний) (рис. 4);

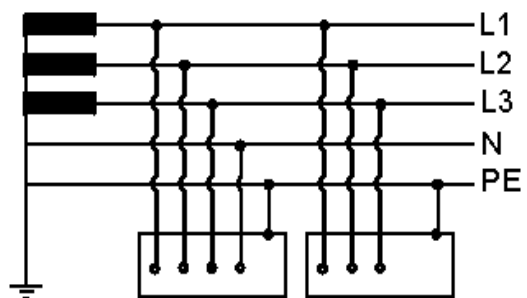


Рис. 4. Система організації мережі електроживлення за схемою TN-S

- TN-C-S – нульові робочий та захисний провідники об'єднані на головних ділянках електромережі у провідник PEN, а далі розділені на провідники N та PE (рис. 5).

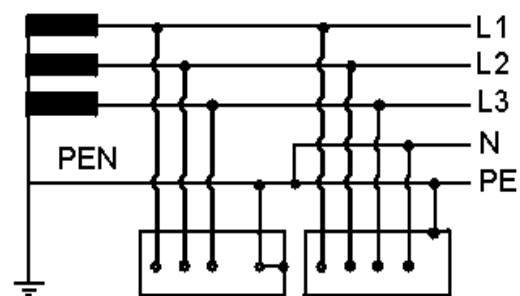


Рис. 5. Система організації мережі електроживлення за схемою TN-C-S

Експериментальні та теоретичні дослідження довали актуальність і доцільність розгляду рівнів електромагнітної безпеки людей, а також електромагнітної сумісності технічних засобів при використанні тих чи інших систем організації електроживлення виробничих та побутових електроприладів.

На сьогоднішній день в Україні найбільш поширеними системами організації електроживлення є системи, побудовані за системою TN-C. Електробезпеку у таких мережах при однофазних замиканнях на корпус забезпечуються запобігачами та автоматичними вимикачами. Такі системи впроваджувалися з часів, коли головною задачею було захист повітряних і кабельних ліній, а також приладів лінійних навантажувачів. Забезпечення електричної безпеки вважалося другорядною задачею, а електромагнітна безпека і сумісність взагалі не розглядалися і не регламентувалися. Для забезпечення електробезпеки при короткому замиканні (КЗ) у мережі напругою 220 В вимикання, згідно з [6], повинне виконуватися за 0,2 с. Проте спрацювання запобіжників та автоматичних вимикачів відбувається за умови високої кратності струмів КЗ (6-10 разів) відносно номінальних. Враховуючи низькі значення струмів КЗ через віддаленість навантажень від джерел та малий переріз кабелів час спрацювання значно збільшується.

Особливо небезпечними у мережах TN-C є обрив (відгоряння) нульового робочого провідника. У цьому випадку усі підключені за точкою обриву металеві занулені предмети опиняються під фазною напругою. Як показано у [4], використання імпульсних навантажень значно збільшує струми у нульових провідниках, що збільшує імовірність аварійних ситуацій. Найбільшим недоліком TN-C мереж є неможливість використання пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ), або RCD (residual current devices) згідно з класифікацією ІЕС. Однофазні КЗ в таких мережах викликають значне (до 40 %) перевантаження на неушкоджених фазах трифазної мережі. Такі перевантаження вкрай негативно впливають навіть на лінійні споживачі, а електронні технічні засоби виходять з ладу практично завжди.

Мережі TN-C характеризуються наявністю електромагнітних збурень навіть за умови нормального функціонування електромережі. Це пояснюється тим, що при протіканні робочого електричного струму нульовими провідниками має місце падіння напруги. Відповідно між різними точками нульового провідника виникає різниця потенціалів. Це викликає протікання струмів у провідних конструкціях будівель, оболонках силових та екранах телекомунікаційних кабелів і виникнення відповідних завад. Наявність великої кількості нелінійних споживачів (більше 15-20 % від загального навантаження) значно погіршує ситуацію через перевантаження нульового провідника як електричним струмом частотою 50 Гц, так і його третьою гармонікою [8].

Незбалансовані струми генерують у середовищі значні магнітні поля і знижують рівень електромагнітної сумісності обладнання. Такі недоліки описаної електромережі не можуть бути усунені за рахунок організаційно-технічних заходів, крім додаткового монтажу корпусного заземлення (логічної землі), що є бажаним при експлуатації комп'ютерної техніки.

Електромережі з TN-S способом заземлення нейтралі та відкритих провідних елементів є п'ятипровідниковими мережами (три фазних, нульовий робочий та нульовий захисний провідники). У таких мережах нульовий робочий та нульовий захисний дроти змонтовані окремо (гальванічно розділені). За такої організації силової електромережі при аваріях (наприклад, пробитті ізоляції та корпусу), як і у TN-C мережах виникає небезпечний потенціал. Проте у TN-S – системах можливе використання ПЗВ, які значно підвищують швидкість відключення ушкодженої ланки мережі і, як наслідок, підвищують рівень електробезпеки. У таких мережах обрив нульового робочого провідника не викликає появи фазної напруги на корпусах усіх ввімкнутих у мережу електроспоживачів. Щодо перенапруження та безперерійності електроживлення у разі виникнення нештатної ситуації, така мережа не відрізняється від систем TN-C.

Як показали дослідження, електромагнітна обстановка у приміщеннях і будівлях в цілому, де мережу електроживлення змонтовано з TN-S схемою, суттєво ліпша, ніж у будівлях з TN-C електромережами. Це пояснюється тим, що практично відсутні несанкціоновані відгалуження електричного струму на провідні елементи (струми витоку). Значно нижчі рівні незбалансованості струмів у робочих провідниках та пов'язані з ними магнітні поля. Порівнювання потенціалів окремих технічних засобів значно підвищує електромагнітну сумісність обладнання. Слід зауважити, що наявність п'ятого провідника та ПЗВ робить такі мережі дорожчими при первинному монтажі, але значно зменшує їх вплив на інформаційні кабелі, тобто дозволяє заощадити кошти на захисті комп'ютерних мереж від зовнішніх електромагнітних впливів.

З огляду на вимоги нормативу [7] доцільним є використання TN-C-S систем електроживлення, яким притаманні як недоліки, так і переваги обох.

Особливістю організації електромереж за схемою TT є те, що відкриті провідні елементи обладнання підключаються до заземлювача, незалежного від заземлювача джерела електроживлення. Для таких систем обов'язковим є використання ПЗВ. Використання TT-систем не забезпечує контактної електробезпеки, проте електричними короткого замикання значно нижчі ніж у інших системах. Наприклад, якщо опори заземлення живлючого трансформатора 6/0,4 кВ та локального заземлення по 0,5 Ом, то навіть нехтуючи опорами трансформатора та кабелів, за однофазної напруги 220В струм однофазного замикання у TT-мережі складає 220А. З урахуванням усіх опорів кола цей струм буде ще нижчий. У TT-системах корпуси кількох електроспоживачів зазвичай об'єднано єдиним захисним провідником РЕ та підключені до загального заземлювача. У штатному режимі у захисному провіднику струм відсутній і потенціали у технічних засобах однакові, тобто рівні електромагнітних збурень та магнітні поля, пов'язані з електричними струмами промислової частоти, мінімальні.

Проте практика довела, що у реальних умовах експлуатації, особливо за наявності великої кількості заземлених металевих елементів у конструкціях будівель, мають місце струми витоку досить високих рівнів.

Таким чином, у окремих приміщеннях та будівлях в цілому генеруються магнітні поля промислової частоти. Формально, мережі ТТ з точки зору забезпечення електромагнітної безпеки людей та електромагнітної сумісності мають переваги відносно TN-C та TN-S – системами, проте на практиці це забезпечується тільки за умови високої якості монтажу та технічного обслуговування. Мережі електроживлення ІТ мають ізольовану від землі нейтраль, або заземлену через значний опір (до кількох кОм). Захисні провідники розділені з нейтральними. Електробезпеку таких мереж при однофазному замиканні на корпуси електрообладнання найбільш висока. Це пояснюється малою величиною струмів короткого замикання (кілька ампер). Крім того електробезпека підвищується за рахунок використання ПЗВ.

Мережі ІТ відрізняються високою безперебійністю електропостачання. Виникнення однофазного замикання не вимагає швидкого відключення.

Електромагнітні збурення у мережах ІТ незначні через невеликі значення незбалансованих струмів навіть за виникнення нештатних ситуацій. Проте для обслуговування таких мереж треба мати персонал високої кваліфікації, який швидко виявить та ліквідує замикання. Така робота потребує наявності спеціального обладнання – генератора нестандартних частот або чутливого вимірювача незбалансованих струмів. Недоліком ІТ-систем є обмеження на масштабування мереж через те, що нові підключення збільшують електроструми однофазного замикання.

Висновки

Проведений аналіз та обстеження мереж електроживлення, організованих за різними схемами, дозволяють дійти висновку, що не існує універсального, найбільш прийняттого рішення щодо монтажу та експлуатації силової електромережі. Електромагнітна безпека людей та електромагнітна сумісність технічних засобів обумовлюється, у першу чергу, характером обладнання навантаження.

За умови підключення до електромережі лінійних електроспоживачів (80-85% загального навантаження) цілком можливе використання мереж побудованих за схемою TN-C. При цьому слід суворо дотримуватися значень опорів занулення, регламентованих чинними нормативними актами.

При підключенні до електромережі значної кількості нелінійних споживачів (більш 15-20% загального навантаження на мережу) задовільні рівні електромагнітної безпеки людей та електромагнітної сумісності технічних засобів забезпечуються використанням TN-S – систем. Якщо комп'ютерну техніку об'єднано у локальну мережу, слід монтувати додатковий контур заземлення для порівнювання по-

тенціалів корпусів технічних засобів. У будівлях з вбудованими та прибудованими трансформаторними підстанціями як з точки зору електромагнітної безпеки, так і стабільності функціонування технічних засобів, доцільно використовувати електромережу виконану за схемою TN-C-S.

Системи ТТ слід розглядати як такі, що призначені для тимчасового (мобільного) використання та у мережах, які потребують постійного розширення. При реальних умовах експлуатації через наявність струмів витоку електромагнітна безпечність таких систем не може бути гарантована.

Обладнання, призначене для виконання важливих робіт, і таке, що потребує безперебійного живлення, слід підключати до електромереж, змонтованих за ІТ-схемою. Електромагнітна безпека людей та стабільність функціонування технічних засобів (особливо сучасної комп'ютерної техніки) забезпечується за умови неперервного контролю стану електричних та комп'ютерних мереж (своєчасне виявлення струмів витоку, незбалансованих струмів та струмів екранами інформаційних кабелів).

Враховуючи короткостроковий досвід експлуатації в Україні електромереж сучасних конструкцій і реальний стан загальної енергосистеми, перспективним уявляється збирання та узагальнення інформації щодо раптових змін електромагнітної обстановки у будівлях різного призначення, відмов технічних засобів та вироблення рекомендацій щодо користування чинної нормативної бази з проектування, монтажу та експлуатації електричних мереж.

Список літератури

1. *Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ* / О.А. Григорьев, В.С. Петухов и др., // *Новости электротехники*. – 2002. – № 6. – С. 23-28.
2. *Магнітне поле 50 Гц як потенціальний фактор ризику житлового середовища багатифункціональних житлових комплексів* / В.Я. Акіменко, та ін. // *Гігієна населених місць*. – К.: УГМЕ АМН. – 2007. – Вип. 50. – С. 178-186.
3. *Підвищення рівня безпеки праці користувачів інформаційно-технічних комплексів* / В.А. Глива, О.Г. Вільсон, У.О. Азнаурян, Л.О. Левченко, У.М. Ковтун // *Вісник НТУУ «КПІ»*. – К.: ЗАТ «Техновибух», 2007. – Вип. 15. – С. 68-73.
4. *Петухов В.С. Электромагнитная экология. TN-C система – виновник ухудшения* / В.С. Петухов // *Новости электротехники*. – 2005. – №1. – С. 14-19.
5. *Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Изд. шестое, перераб. и доп.*
6. *IEC 60364 Electrical installation of buildings.*
7. *ДБН В.2.5-23-2003 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.*
8. *Магнітні поля невиробничого походження і засоби зменшення їх впливу на людей при експлуатації автоматизованих систем* / В.А. Глива, О.Г. Вільсон, У.О. Азнаурян, Л.О. Левченко // *Гігієна населених місць*. – К.: ІГМЕ АМН, 2007. – Вип. 50. – С. 186-189.

Надійшла до редколегії 2.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТАЮЩИХ
ПУТЕМ СОЗДАНИЯ БАЗЫ РЕОРГАНИЗАЦИИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

Э.А. Дармофал, Н.И. Адаменко, Л.А. Левченко

Проведен анализ конструктивных особенностей современных систем электропитания. Даны практические, научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных с точки зрения электромагнитной безопасности и стабильности функционирования технических средств способов организации электропитания с учетом характера используемого оборудования.

Ключевые слова: электромагнитная безопасность, заземление систем электропитания.

**INCREASE OF ELECTROMAGNETIC SAFETY WORKINGS
BY CREATION OF BASE OF REORGANIZATION OF GROUNDING OF SYSTEMS OF POWER SUPPLY**

E.A. Darmofal, N.I. Adamenko, L.A. Levchenko

The analysis of structural features of the modern systems of power supply is conducted. Given practical, scientifically grounded recommendations on the choice optimum from point of electromagnetic safety and stability of functioning of hardwares of methods of organization of power supply taking into account character of in-use equipment.

Keywords: electromagnetic safety, grounding of the systems of power supply.