

## ПРОБЛЕМА ЗАХИСТУ ПОБУТОВИХ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ В СУЧАСНИХ МЕРЕЖАХ TN-S ТА TN-C-S

Жарков В.Я., Мунтян В.О., Кізім І.В.

Таврійський державний агротехнологічний університет  
office@tsaa.org.ua

*In the article the principal reasons of appearance of tension on the corps of the earthed electrical equipment in an existent network are considered. The lacks of the applied system of grounding are indicated.*

**Постановка проблеми.** У 2001 р. наказом Міністерства праці та соціальної політики України №272 затверджено Державний нормативний акт про охорону праці (ДНАОП 0.00-1.32-01) „Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок” (далі ПУЕ СУ) [1]. Із введенням в дію цих Правил відмінюється дія на території України 7 із 35 глав ПУЕ-86 [2]. А з 1 січня 2007 р. наказом Мінпаливенерго України введена в дію також нова редакція глави 1.7 „Заземлення і захисні заходи електробезпеки” Правил улаштування електроустановок (далі ПУЕ-2006) [3]. Подібні системи заземлення, поряд з деякими іншими, передбачені також і в Росії 7-ю редакцією ПУЕ, що почали виходити з 1999 року. Названими документами [1,3] необхідно керуватися при проектуванні нових чи реконструкції діючих об'єктів електрифікації напругою до 1000 В.

**Аналіз останніх досліджень.** У попередніх редакціях ПУЕ [2] основний упор у системі електропостачання був зроблений на створення металоемних повторних заземлень у споживачів і пасивні заходи пожежо- і електробезпечності. При цьому час відключення аварії нормувався тільки за термічною стійкістю устаткування у високовольтній мережі. Захист від надструмів у мережі до 1 кВ забезпечувався за допомогою простих струмових захистів.

Результатом з'явився неухильне зростання числа смертельних випадків при електротравматизмі (до 12 на один млн. населення в 1982 р.). Для порівняння: у цьому ж році в країнах, що застосовували норми МЕК, даний показник складав у середньому 2,85, і спостерігалася подальша тенденція до наступного його зниження [4].

Відповідно до нових Правил “при реконструкції житлових і громадських будинків ... варто передбачити переведення мережі на напругу 380/220 В з системою заземлення TN-S або TN-C-S” [1, п. 2.3.1]. Такі мережі використовуються для електропостачання споживачів напругою до 1 кВ, наприклад, у країнах Центральної Європи і США [4], а останнім часом і в Росії. Ці мережі відрізняються режимом роботи нульового робочого N і нульового захисного PE провідників, що можуть бути розділені або об'єднані у всій або в частині мережі. В усіх цих мережах нейтраль джерела живлення глухо заземлена, а в споживачів є повторні заземлення.

**Мета статті** – проаналізувати системи заземлення за стандартом МЕК.

**Система TN-S** передбачає, що від споживчої ТП 10/0,4 кВ замість чотирьох, йде п'ять проводів: три фазних L1, L2, L3, нульовий робочий (нейтраль) N-провідник і захисний PE-провідник [1,3]. У такій мережі N-провідник розділяється з захисним PE-провідником на шинах PEN підстанції і далі йдуть роздільно на всьому протязі мережі. Нульовий робочий N-провідник використовується для живлення однофазних електроприймачів (по ньому протікають робочі струми), а нульовий захисний PE-провідник – для з'єднання металевих корпусів електроустаткування з заземленою нейтраллю джерела живлення (струм у ньому в нормальному режимі відсутній і з'являється тільки при аварії). Це створює сприятливі умови для застосування ПЗВ. У такій мережі струми нульової послідовності в нормальному режимі не протікають по заземлювальному пристрою і PE-провідникам. При обриві робочого N-провідника порушується робота однофазних електроприймачів, виникає великий перекид фазних напруг, але умови електробезпечності не порушуються. При обриві N-провідника в поєднанні з к.з. на корпус устаткування аварійний струм досягає уставок спрацьовування струмових захистів (запобіжників, чи автоматичних вимикачів) фазних провідників. При обриві PE-провідника живильної лінії зберігається нормальна робота всіх споживачів, але устаткування залишається заземленим тільки на своєму заземлювачі (якщо такий є). У мережі TN-S у порівнянні з мережею TN-C витрата провідникових матеріалів зростає на 20-30% [4].

**Система TN-C-S** передбачає, що від споживчої ТП 10/0,4 кВ йде чотири проводи: три фазних L1, L2, L3 і об'єднаний PEN-провідник, а, починаючи з деякого місця (наприклад, при вводі в будівлю), PEN-провідник розділяють на нульовий робочий (нейтральний) N і захисний PE провідники [1,3].

У мережах TN-C-S захист від поразки електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин (тобто до корпусу) електроустановки, що можуть виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції, досягається (разом із застосуванням ПЗВ) так називаною «системою захисних проводів» [1,3]. Захисні проводи дозволяють здійснити зрівнювання потенціалів між доступними одночасному дотикові металевими частинами, що підлягають заземленню, і захисними PE-провідниками, а також PEN провідниками шляхом електричного з'єднання цих частин між собою. При цьому електрично з'єднуються між собою на ввіді в будинок наступні струмоведучі частини: „основний (магістральний) захисний заземлювальний провідник; основний заземлювальний (магістральний) провідник, або основний заземлювальний затиск; сталеві труби комунікацій будинків і між будинками; металеві частини конструкцій, блискавкозахисту, системи центрального опалення, вентиляції і кондиціонування” [1, п. 2.8.19].

«Установка ПЗВ обов'язкова, якщо пристрій захисту від надструму (автоматичний вимикач, запобіжник) не забезпечує заданого часу автоматичного відключення – 0,4 с при номінальній напрузі 220 В і установка не охоплена системою зрівнювання потенціалів...» [1, п. 2.8.5]. Причому «у зоні дії ПЗВ нульовий робочий провідник не повинен мати з'єднання з заземленими елементами і нульовим захисним провідником» [7, п. 2.8.7].

Особливістю систем TN-S і TN-C-S, передбачених новими Правилами [1,3] є те, що металеві корпуси всіх струмоприймачів з'єднані між собою за допомогою окремого РЕ-провідника, по якому струм у нормальному режимі не протікає, а отже і потенціалу на корпусі не виникає. Такі системи заземлення передбачалися ще 5-ю і 6-ю редакцією ПУЕ [2, п. 1.7.100] для переносних та пересувних електроприймачів (наприклад, для електроприладів технічних засобів навчання (ТЗН), пересувних зерноочишувальних машин тощо). Однак масового застосування такі системи не знайшли, зокрема, із-за відсутності п'ятижильних кабелів, а більшість приладів ТЗН вітчизняного виробництва були укомплектовані звичайними двокожильними проводами живлення [5].

**Основні результати.** На яку ж з рекомендованих систем електропостачання (TN-S чи TN-C-S) простіше перейти вітчизняним електроспоживачам? У зв'язку з тим, що в Україні п'ятипровідні мережі дотепер практично не застосовувалися, то при реконструкції живильних мереж для нас більш прийнятною є система TN-C-S, коли до будинку підводиться існуюча чотирипровідна мережа типу TN-C, а в головному розподільному щиті (ГРЩ) роблять поділ PEN-провідника на РЕ і N провідники, які далі ніде не повинні з'єднуватися [8]. „Електричні кола в межах ГРЩ і групових щитків варто виконувати проводами з мідними жилами...” [1, п. 2.4.10]. Металеві корпуси однофазних побутових електроприймачів заземлюються за допомогою третього РЕ-провідника і триштиркових розеток (так званих євророзеток) [52].

Система заземлення TN-C-S у поєднанні з ПЗВ має дуже високий рівень електробезпечності в нормальному (але не в аварійному) режимі роботи [6,7]. Для цього вона повинна бути виконана зі строгим дотриманням пропонованих до неї нормативних вимог [1,3]. Підвищені вимоги нові Правила пред'являють до нульових робочих (нейтральних - за стандартом МЕК-364) N-провідників і об'єднаних PEN-провідників: «...лінії, що живлять однофазні електроприймачі повинні мати перерізи нульових робочих N провідників, рівні перерізові фазних провідників... до 16 мм<sup>2</sup> по міді і 25 мм<sup>2</sup> по алюмінію, а при більших перерізах – не менш 50% перерізу фазних провідників. Переріз PEN-провідників повинен бути не менш 10 мм<sup>2</sup> по міді 16 мм<sup>2</sup> по алюмінію, незалежно від перерізу фазних провідників. Переріз РЕ-провідників повинен дорівнювати перерізові фазних до 16 мм<sup>2</sup> і 16 мм<sup>2</sup> – при перерізі фазних провідників від 16 до 35 мм<sup>2</sup> і 50% перерізу фазних провідників при більших перерізах» [1, п. 2.5.15].

„У будинках слід застосовувати кабелі і проводи з мідними жилами .... Мережі живлення та розподільні мережі допускається виконувати кабелями і проводами з алюмінієвими жилами, якщо їх розрахунковий переріз дорівнює 16 мм<sup>2</sup> і більше. Живлення окремих електроприймачів, які належать до інженерного устаткування будинків (насоси, вентилятори, калорифери, установки кондиціонування повітря та ін.), можуть виконуватися кабелем з алюмінієвими жилами перерізом не менше 2,5 мм<sup>2</sup> „, [1, п. 2.5.3]. „...Нульовий робочий і нульовий захисний провідники не дозволяється підключати під спільний контактний затиск [1, п. 2.5.5].

Про високу надійність системи заземлення TN-C-S у поєднанні з ПЗВ переконливо говорить закордонний досвід. Так, в Австрії кількість смертельних електротравм на початку 60-х років минулого століття (до застосування ПЗВ) була більш 50, а наприкінці 80-х років вона скоротилася до 7. У Швейцарії після прийняття в 1976 році закону про обов'язкове використання ПЗВ кількість нещасних випадків зі смертельним результатом скоротилася в чотири рази – з 10,2 до 2,6 [8]. У США в 1988 р. було зареєстровано 714 смертельних випадків електротравматизму в житлових і громадських будинках, а в колишньому Радянському Союзі в тому ж році – 5435 [4].

Однак в аварійному режимі у випадку обриву PEN-провідника на магістральній лінії або відгалуженні система заземлення TN-C-S утрачає свою працездатність і навіть стає електронезбезпечною [6,7].

Особливо небезпечною стає система TN-C-S для сільських побутових електроспоживачів з повітряними живильними лініями 380/220 В, оскільки сільські ПЛ-0,38 кВ відрізняються своєю великою довжиною і розгалуженістю. При обриві PEN-провідника (що в сільських електромережах, при їхній великій розгалуженості, має високу імовірність) на всіх металевих корпусах електроприймачів, приєднаних до захисного РЕ-провідника (тобто включених в євророзетки), з'являється смертельно небезпечний потенціал фази (рис.1). Наявність повторного заземлення за місцем обриву знизить цей потенціал, але не усуне цілком [9].

В такій ситуації допомогли б енергозалежні ПЗВ. Але вітчизняні ПЗВ, що згідно [1] не є енергозалежними, у таких випадках не зможуть виконувати свої функції відключення [6,7], тому що «у житлових будинках не допускається використання ПЗВ, що автоматично відключають споживача від мережі у випадку зникнення або неприпустимого зниження напруги в мережі [1, п.2.8.10]. Проте, на щастя, в ПУЕ СУ відсутній пункт, що заперечує використання автоматичних вимикачів з розчіплювачем мінімальної напруги. „Вітчизняна промисловість такі апарати поки що не освоїла, а закордонні фірми уже випускають” [10].

На жаль, у [1] передбачений лише досить надійний захист електроустаткування (а не людей!) від обриву PEN-провідника на відгалуженні від трифазних ПЛ до однофазних споживачів.

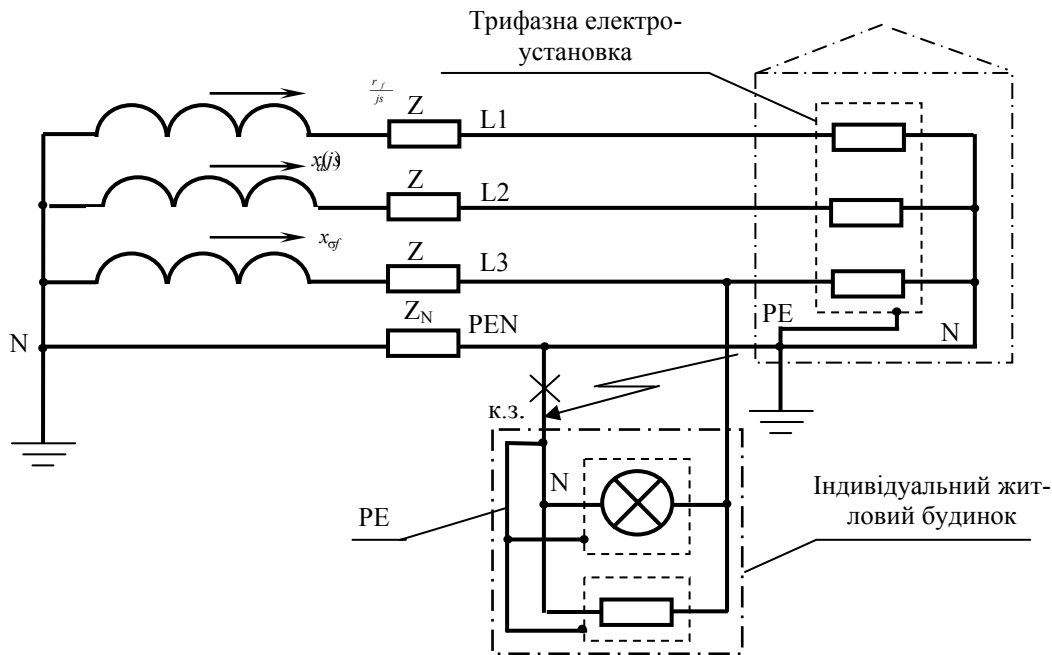


Рисунок 1 - Система заземлення TN-C-S в аварійному режимі: обрив PEN-провідника на відпайці до житлового будинку з однофазним вводом.

При К.З. на корпус та обірваному РЕ-провіднику (наприклад, відгорів при неповному к.з.) наведена напруга „... буде залишатися на корпусах усіх електроприймачів за місцем порушення невизначено довго, що може призвести до групової поразки людей електричним струмом” [11]. Тому д.т.н. С. Коструба пропонує «для страхівки нульового захисного проводу на випадок його обриву роботи повторно з’єднання цього проводу з нульовим робочим проводом» [11]. Але тоді останній буде виконувати функцію PEN-провідника, а це вже на, наш погляд, - повернення до забороненої системи TN-C з усіма її недоліками [6,9].

А як же забезпечують високу електробезпеку за рубежом? Там від окремого понижуючого трансформатора потужністю 10-20 кВА короткою лінією, а частіше кабелем, живлять усього лише 2-3 будинки, і проблеми обриву PEN-провідника практично не існує [7].

У практиці експлуатації повітряних електромереж 0,38 кВ часті випадки нахльостування проводів, з наступним перегоранням об’єднаного PEN-провідника, у результаті чого у 2/3 однофазних електроспоживачів за місцем аварії замість фазної напруги 220 В з’являється лінійна напруга 380 В. Це приводить до пошкодження електроприймачів і пожеж із-за перегріву проводів збільшеним струмом. При новій системі TN-C-S фазна напруга 220 В з’явиться на корпусах усіх електроприладів, увімкнених у євророзетки з захисним РЕ-провідником, що може призвести до поразки людей при дотику їх до корпусу справних електроприладів [6,9].

Описана аварійна ситуація характерна і для колишніх електромереж з системою заземлення TN-C, але раніше в житлових приміщеннях ніхто корпусу не зануляв (хоча ПУЕ-86 і вимагали виконувати занулення. Це нас і спасало. Якщо когось і „сіпало” струмом, то в результаті пробою ізоляції ...” [10]. Фазна ж напруга з’являлася лише на окремих занулених електроприладах.

Можна було б і далі не звертати уваги на стандарт МЕК, але постачальники дорогої імпортової побутової техніки (холодильників, пральних машин, мікрохвильових печей, персональних комп’ютерів тощо) не дають гарантії без її підключення через євророзетки з захисним РЕ-провідником. Тому власники імпортової побутової техніки для отримання на неї гарантії вимушені самотужки тягнути третій РЕ-провідник від поверхового щитка до нової євророзетки, впроваджуючи тим самим систему TN-C-S. Ось тільки випадки відгорання PEN-провідника на поверховому щитку останнім часом почастишали (див. публікації місцевих ЗМІ), зокрема, із-за збільшення потужностей побутових приладів та відсутності профілактичного обслуговування внутрішніх електромереж. І ніхто цілостності PEN-провідника нам не гарантує.

Необхідно відзначити, що стандарт МЕК рекомендує ще одну систему - **Систему заземлення TT**, не передбачену ПУЕ СУ [1]. Система TT істотно відрізняється від системи TN. У ній PEN-провідник не розділяється на N і PE провідники і, крім того, відсутнє занулення корпусу електроустановки. Це трифазна мережа, у якій нульові провідники живильної лінії використовуються лише для протікання робочих і аварійних струмів і не застосовуються в системі заземлення [10]. Система TT може виконуватися з заземленою нейтраллю у чотирипровідній мережі або з заземленою фазою у трипровідній мережі. Корпуса не зануляються. Деяким недоліком

системи ТТ є необхідність мати окреме заземлення, електрично незалежне від заземлення джерела живлення [10].

У режимі ТТ в поєднанні з ПЗВ працюють електроустановки в Південній Європі і Японії [4]. При цьому опір повторних заземлень на два порядки вище чим за ПУЭ-86 [3]. На ГРЩ будинків опір заземлення в цих країнах допускається до 500 Ом, якщо ПЗВ здатний відключити коло за час не більш 0,5 с. Число смертельних випадків на 1 млн. населення в будинках Японії в 1998 р. склало 0,63 [4]. Це підтверджує, що безпека в більшій мірі забезпечується застосуванням ПЗВ, а не кількістю “заритого металу”.

Система ТТ у поєднанні з ПЗВ широко використовується й у деяких інших європейських країнах (у тому числі й у Росії) як ефективний засіб електрозахисту в електроустановках мобільних будинків з металевим каркасом (кіоски, боксові гаражі і т.п.), а в сільській місцевості – в індивідуальних житлових будинках, котеджах, садових будиночках тощо [6]. В Україні система ТТ в мережах електропостачання житлових та громадських будинків існуючими ПУЕ СУ [1] не передбачена. В пізнішому виданні глави 1.7 ПУЕ-2006 сказано: „Живлення електроустановок напругою до 1 кВ з використанням системи заземлення ТТ слід виконувати за вимогами і рекомендаціями чинних нормативних документів” [3, п.1.7.62], правда, не сказано - яких документів.

Значимо, що іноді системи заземлення TN-S, TN-C-S, TN-C об’єднують загальним терміном «мережі TN» [5,6].

За минулу більш ніж чверть століття (з часу прийняття попередньої редакції глави 1.7 ПУЭ-86 [2]) в електротехнічній та електроенергетичній галузях відбулися суттєві зміни щодо вимог до заземлення, переосмислена його роль в системі електробезпеки, особливо в низьковольтних електромережах. В багатьох країнах світу на міжнародному та національному рівнях запроваджена стандартизація систем заземлення та тривірнева система захисту людини від дії електричного струму. Основу цієї системи складає [1,3]:

- захист від безпосереднього дотику до струмовідних частин електроустановки (основний захист);
- захист у випадку пошкодження ізоляції;
- додатковий захист, який спрацьовує і тим самим здатен захистити людину у випадку вірогідного безпосереднього дотику або недостатності захисту від пошкодження ізоляції.

Наявність в багатьох країнах світу тривірневої системи захисту дозволила суттєво знизити рівень електротравматизму і значною мірою покращити умови експлуатації електроустановок.

На жаль, в колишньому Радянському Союзі нормативна база з електробезпеки базувалася не на тривірневій системі захисту, а на концепції «достатності» лише одного ступеня захисту – від пошкодження ізоляції. Саме тому в попередній редакції глави 1.7 ПУЭ [2] навіть не згадувалися такі системи заземлення, як система TN, система ТТ, система IT, були відсутні посилання на пристрої захисту від надструму чи ПЗВ тощо.

**Висновки.** Поки ПЛ-0,38 не будуть замінені на більш надійні кабельні або із самоутримними ізольованими проводами (СПП), впроваджувати системи TN-C-S, особливо в сільській місцевості, передчасно. Для підвищення надійності електробезпеки побутових електроспоживачів в ТДАТУ запатентовані ПЗВ з індикацією обриву PEN (PE) провідника [12,13].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.-К.: Укрархбудінформ, 2001.- 117 с.
2. Правила устройства электроустановок: ПУЭ-85.-6-е изд. перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-648 с.
3. Правила улаштування електроустановок. Глава 1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки.-К.: ОЕП «ГРІФЕ».-71 с.
4. Ожиганов С.Н. Сравнительный анализ безопасности электрических сетей TN и TT// Промышленная энергетика.-2003.-№2.-С.46-51.
5. Жаркова О.Г., Жарков В.Я. Проблема электробезопасности существующих технических средств обучения// Профессиональное образование в сельскохозяйственных вузах: Сб. науч. тр. МГАУ, 2001.-С. 46-51.
6. Жарков В.Я. Новая система заземления в сети 380 В: за и против // Электрические сети и системы.-2005.-№3.- С.13-18.
7. Кравченко А.Н. Электробезопасность жилищ// Электропанорама.-2002.-№12.- С.36-38.
8. Застосування ПЗВ у системах з різними типами заземлення// Електроінформ.-2004.-№2.-С.26-28.
9. Жарков В.Я., Про недоцільність приведення сільських електромереж побутового призначення у відповідність до нових ПБЕ//Електрифікація та автоматизація сільського господарства.-2005.-№1.- С.25-27.
10. Клименко Б.В. Система ТТ: Заграничная экзотика или реальная необходимость?// Проблемы энергетики.-2003.-№4.-С.
11. Коструба С. И. Новые правила устройства электроустановок// Механизация и электрификация сельского хозяйства.-2003.-№3.- С. 18-19.
12. Пат. 20813, Україна, МПК (2006) H02H3/14, H02H5/00. Пристрій для захисту від обриву нульового провідника на відгалуженні до споживача / Кізім І.В. Опубл. 15.02.2007. – Бюл. Пром. власність №2.
13. Пат. 22898, Україна, МПК (2006) H02H3/14, H02H3/20, H02H3/24, H02H3/32. Пристрій комбінованого захисту однофазних споживачів / Кізім І.В. Опубл. 25.04.2007.- Бюл. Пром. власність №5.

*Рекомендовано д.т.н. Курінним Е.Г.*