

**Підвищення ефективності електропостачання лініями
спеціального призначення ДПР-27,5 кВ**

Секція «РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»
Галузь «ЕНЕРГЕТИКА»

АНОТАЦІЯ

наукової роботи під шифром «знову двійка»

Актуальність роботи обумовлена зростанням вимог до якості електричної енергії та надійності електроспоживання тягових підстанцій електрифікованих залізниць, які за певних умов створюють широкий спектр перешкод, що в свою чергу перешкоджають роботі як об'єктам енергетичної інфраструктури так і споживачам, що живлять від розгалужених електричних мереж. Вищесказане набуває більшої актуальності в умовах розвитку

Мета – поліпшення якості та підвищення ефективності електропостачання ліній спеціального призначення

Завдання – дослідити характерні показники якості електричної енергії для ліній ДПР, на підставі експериментальних досліджень проаналізувати режими споживання електричної енергії; розробити способи підвищення якості електричної енергії та зниження втрат в лініях спеціального призначення.

Використана методика дослідження

При виконання роботи застосовувались методи статистичного, спектрального аналізу. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана на ЕОМ з використанням програмних засобів Excel, MathCAD. Експериментальний розрахунок втрат енергії в лінії ДПР реальної ділянки

Загальна характеристика роботи

Робота складається з 35 сторінок, 10 рисунків, 5 таблиць, 14 використаних джерел.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЗМІННИЙ СТРУМ, ФАЗОПОВОРОТНИЙ ТРАНСФОРМАТОР, ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, АВТОБЛОКУВАННЯ, НЕСИМЕТРІЯ НАПРУГ, НЕТЯГОВІ СПОЖИВАЧІ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІНІЙ ДПР	7
1.1. Причини зниження якості електроенергії в лініях ДПР.....	7
1.2. Вплив відхилення напруги.....	10
1.3. Вплив несиметрії напруг.....	10
1.4. Вплив показників якості електроенергії в лінії ДПР на роботу пристроїв залізничної автоматики та електромагнітна сумісність ліній ДПР і рейкових ланцюгів автоблокування.....	13
2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	18
2.1. Аналіз існуючих способів підвищення ЯЕ в лініях ДПР.....	18
2.2. Заміна конфігурації лінії та прокладання третього проводу на опорах контактної мережі	20
2.3. Заземлювач із регульованим індуктивним елементом	22
2.4. Актуальність задачі щодо модернізації лінії ДПР.....	23
3. ЗМІНА ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЇ НА ВСТАНОВЛЕННЯ ФАЗОПОВОРОТНОГО ПРИСТРОЮ ПРИЄНАНОГО ДО ШИН 27,5 кВ.....	25
3.1 Встановлення фазоповоротного пристрою.....	25
3.2 Розрахунок втрат енергії в лінії ДПР реальної ділянки	27
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	34

ВСТУП

Актуальність роботи. До якості електричної енергії останнім часом приділяють велику увагу широке коло науковців-дослідників у галузі електропостачання. Цьому посприяло впровадження чутливих до неякісної енергії електроприймачів, підвищення вимог щодо неперервності технологічних процесів. Через це необхідно звернути увагу на рівень якості електричної енергії, який впливає на втрати електроенергії, надійність електропостачання, термін служби обладнання та інше.

У минулому на стадії проектування системи тягового електропостачання залізниць була передбачена можливість приєднання до неї об'єктів залізничної інфраструктури (залізничних станцій, вагонних та локомотивних депо, пристрої автоматики), електричних приймачів сторонніх (незалізничних) та побутових споживачів.. З метою зменшення витрат на будівництво лінії електропостачання для нетягових споживачів, що розташовані у близькості до залізниці, її, зазвичай, монтують на опорах контактної мережі. На залізницях змінного струму, де контактна мережа та рейкова колія перебувають, безпосередньо, під фазною напругою трансформатора, функцію третього проводу лінії нетягового електропостачання виконую рейки, що спрощує конструкцію та зменшує витрати на будівництво лінії та отримало відображення у її назві – «два проводи-рейка» або ДПР.

Таким чином, проведенні дослідження дозволяють поглибити наукові знання у проблемному питанні якості електроенергії, сприятиме розробці методів підвищення ефективності процесу енергетичного обміну між тяговою мережею та енергосистемою, тим самим передбачає зменшення витрат на електроенергію та економію матеріальних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими напрямками діяльності кафедри. Обране дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, зокрема за наступною темою: «Підвищення якості електроенергії у лініях «два проводи-рейка»», № держреєстрації 0115U003922.

Мета дослідження. Підвищення якості та ефективності процесу передачі електричної енергії лініями спеціального призначення.

Об'єкт дослідження. Процес передачі електричної енергії лініями спеціального призначення.

Предмет дослідження. Показники якості напруги та режиму електропостачання.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувались методи статистичного аналізу. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана на ЕОМ з використанням програмних засобів Excel, MathCAD. Експериментальний розрахунок втрат енергії в лінії ДПР виконано для реальної ділянки.

Наукова новизна одержаних результатів.

Дістав подальший розвиток метод визначення втрат електричної енергії у лінії спеціального призначення (два проводи-рейка), в частині врахування додаткових факторів, завдяки чому підвищується точність розрахунку.

Вирішено задачу зменшення втрат при передачі електроенергії та відхилення напруги від номінального значення в лініях спеціального призначення без проведення заміни основного обладнання на тяговій підстанції шляхом встановлення фазоповоротного пристрою, приєднаного до шин 27,5 кВ.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані результати підвищують ефективність електропостачання ліній спеціального призначення залізниць України, знижуючи втрати в них до 50 %.

Результати можна використати при впровадженні нових розробок направлених на підвищення якості електроенергії у системі електропостачання нетягових споживачів залізниць змінного струму.

Публікації.

За результатами роботи опубліковано тези доповідей на конференції: Придаток В.С. Підвищення якості електроенергії у лініях «два проводи-рейка» / І. Ю. Козіна, В. П. Придаток // Електрифікація транспорту. — 2017. — С. 28.

1. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІНІЙ ДПР

1.1 Причини зниження якості електроенергії в лініях ДПР

В даний час для живлення нетягових споживачів на електрифікованих ділянках залізниць змінного струму широкого поширення набули лінії поздовжнього електропостачання, виконані за системою ДПР. З появою цих ліній було вирішено питання про комплексне електропостачання від шин тягових підстанцій (ТП) змінного струму як тягових навантажень, так і навантажень нетягових споживачів [13].

Найбільш поширеним способом живлення нетягових споживачів, які знаходяться поблизу залізниць, електрифікованих на змінному струмі, стали лінії виконані за системою ДПР («два проводи-рейка»), довжина яких приблизно дорівнює протяжності тягової мережі змінного струму.

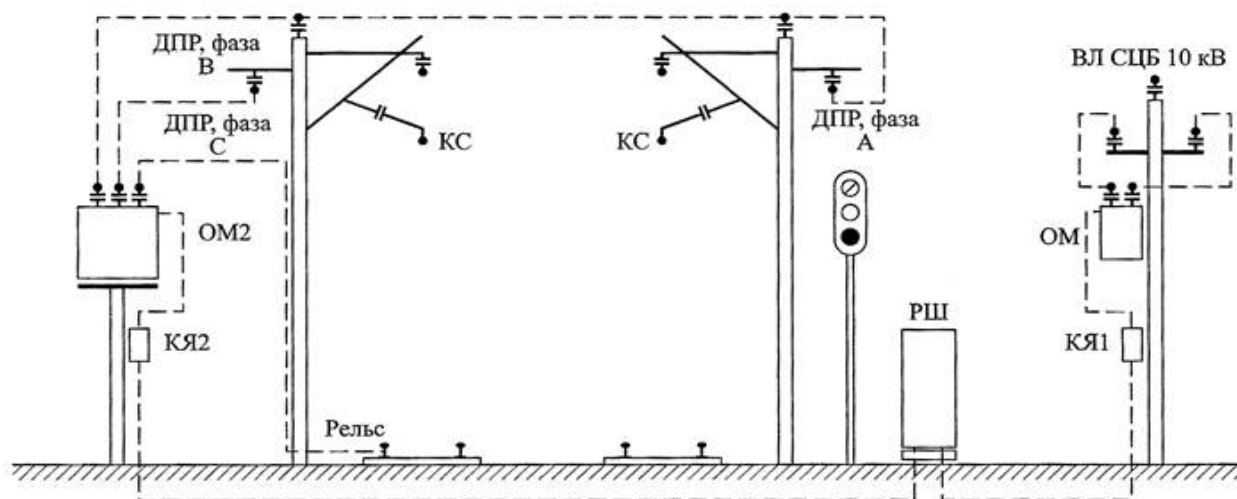


Рис.1 –Схема ліній ДПР на різних опорах

Однак переваги системи ДПР і визначили її основні недоліки, які при детальному розгляді в умовах теперішнього часу зводять весь економічний ефект впровадження ліній ДПР практично до нуля. Як відомо/ якість напруги на шинах ТП змінного струму, від яких отримують живлення і лінії ДПР, під впливом тягового навантаження знижено. Нерівномірний розподіл між фазами тягового трансформатора однофазного тягового навантаження плечей живлення обумовлює наявність несиметрії напруг, а робота випрямних

електровозів змінного струму спотворює криву напруги на шинах ТП . Таким чином, вже на початку лінії ДПР в системі напруг з'являються напруги зворотні послідовності і вищі гармонійні складові (рис.2).

Існує ще кілька аспектів зниження ЯЕ в лінії. Розміщення лінії ДПР на опорах КМ обумовлює її роботу в потужному електромагнітному полі, створеним тяговою мережею змінного струму. При цьому в лінію ДПР індукуються додаткові напруги і струми, що значно впливають на режим її роботи . Крім того, різні параметри проводів і рейок роблять лінію ДПР несиметричною. Якщо під дією тягових струмів в контурах «провід – земля» ДПР індукується поздовжня електрорушійна сила (ЕРС), досягає величини до 5,5 кВ , то в контурі «рейки – земля» лінії ДПР як в провідному середовищі ця ЕРС скомпенсована створеним нею падінням напруги. Тому потенціал рейкового кола по відношенню до землі при магнітному впливі тягової мережі, на відміну від потенціалів проводів системи ДПР, не зміниться [4].

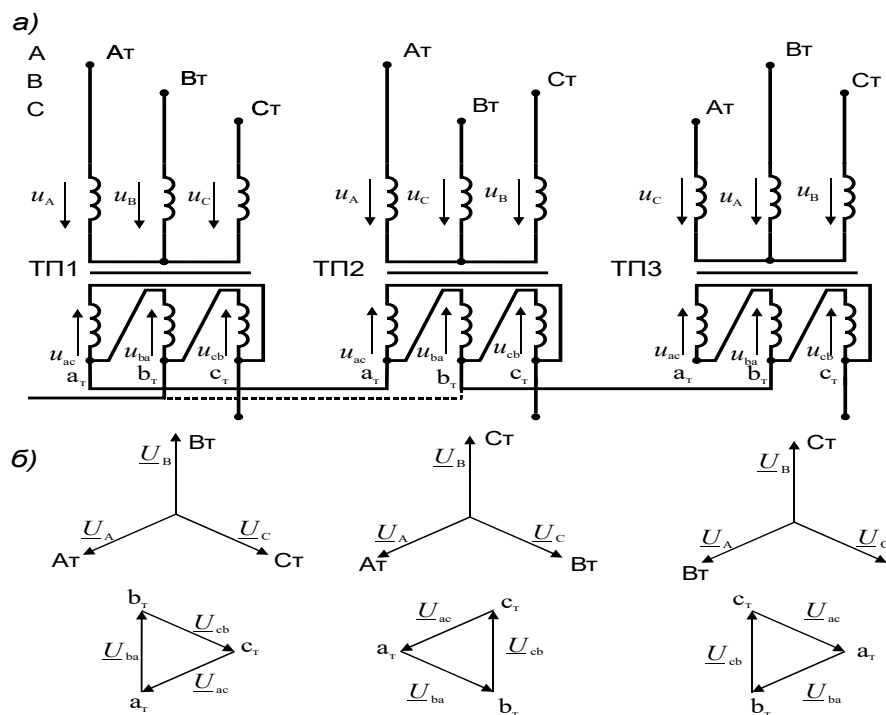


Рис. 2 –Схема живлення ділянки однофазним змінним струмом: а – схема живлення; б – векторні діаграми напруг тягових обмоток; Ат, Вт, Ст – виводи первинної обмотки; ат, вт,ст – виводи тягових обмоток

У сукупності два фактора – вплив електромагнітного поля тягової мережі і використання в якості третьої фази рейок – є основними причинами різкої несиметрії напруги в місці підключення комплектної трансформаторної підстанції (КТП) споживачів до лінії ДПР. Особливо схильні до такого впливу споживачі, найбільш віддалені від ТП. Під впливом тягових струмів коефіцієнт несиметрії системи напруг за зворотною послідовністю на приймальному кінці лінії ДПР без урахування зниження ЯЕ на шинах ТП досягає значних величин (до 10,9%) і не відповідає нормам ГОСТ 13109-97. Наявність напруги зворотної послідовності значно знижує рівень напруги в ДПР. При цьому показники ЯЕ по відхиленню напруги в деяких фазах перевищують гранично допустимі норми зазначеного стандарту. Форма кривої напруги системи ДПР в місці підключення споживачів значно відрізняється від форми кривої напруги на шинах ТП. Це пов'язано з тим, що індукуючись в лінію ДПР поздовжня ЕРС магнітного впливу тягової мережі містить вищі гармонійні складові тягового струму. Індукуючи в лінію ДПР з амплітудою, пропорційної порядку гармоніки, вищі гармонійні складові тягового струму значно спотворюють синусоїду напруги у споживачів. При цьому коефіцієнт спотворення форми кривої напруги в кінці лінії ДПР при магнітному впливі тягової мережі може досягати до 12%, що в кілька разів перевищує гранично допустиму норму .

Крім того, зниження ЯЕ в місці підключення споживачів ДПР відбувається при гальванічному впливі тягових струмів. При проходженні поїзда в місці підключення споживачів ДПР потенціал рейок по відношенню до землі може досягати значень до 600 В і більше, що вносить додаткову несиметрію в систему напруг ДПР.

Таким чином, якість напруги у споживачів в місці підключення до лінії ДПР по несиметрії, відхиленню і несинусоїдальності напруги, зважаючи на вказані раніше причини, не відповідає сучасним вимогам.

1.2. Вплив відхилення напруги

Одним з основних показників ЯЕ є усталене відхилення напруги від номінальної напруги електричної мережі. Саме цей показник ЯЕ має найбільший вплив на величину втрат електроенергії в мережі і електрообладнанні.

Згідно ГОСТ 13109-97 ЯЕ відповідає вимогам стандарту, якщо всі виміряні за кожну хвилину протягом доби значення усталеного відхилення напруги в мережі знаходяться в інтервалі, обмеженому гранично допустимим значенням в $\pm 10\%$, а не менше 95% виміряних значень не перевищують нормально допустиме значення в $\pm 5\%$. Стале значення відхилення напруги на приймальному кінці лінії ДПР в деяких фазах внаслідок електромагнітного впливу тягової мережі значно перевищує гранично допустиме значення і не відповідає нормам стандарту.

Відхилення напруги значно впливають на роботу асинхронних двигунів, які є найбільш поширеними приймачами електроенергії не тільки на залізничному транспорті, а й в промисловості [3].

1.3 Вплив несиметрії напруги

Як зазначалося раніше, поява напруг і струмів зворотної послідовності призводить до додаткових втрат потужності і енергії, а також втрат напруги в лініях ДПР, що погіршує режими і техніко-економічні показники їх роботи. Накладення напруги зворотної послідовності призводить до різних додатковим відхилень напруги в різних фазах ДПР. В результаті напруга може вийти за допустимі межі. При несиметричному режимі істотно погіршуються умови роботи як самих електроприймачів, так і всіх елементів мережі, знижується надійність роботи електрообладнання та системи електропостачання в цілому .

Несиметрія негативно позначається на робочих і техніко-економічних характеристиках обертових електричних машин. Якісно відрізняється дія несиметричного режиму в порівнянні з симетричним на асинхронні двигуни. Особливе значення для них має напруга зворотної послідовності. Опір зворотної послідовності електродвигунів приблизно дорівнює опору

загальмованого двигуна і, отже, в 5...8 разів менше опору прямої послідовності. Тому навіть невелика несиметрія напруги викликає значні струми зворотної послідовності. Струм прямої послідовності в статорі створює магнітне поле, що обертається з синхронною частотою в напрямку обертання ротора. Токи зворотній послідовності в статорі створюють магнітне поле, що обертається щодо ротора з подвійною синхронною частотою в напрямку, протилежному обертанню. Через ці струми подвійної частоти в електричній машині виникає гальмівний електромагнітний момент. Токи зворотній послідовності накладаються на струми прямої послідовності і викликають додатковий нагрів статора і ротора (особливо масивних частин ротора), що призводить до прискореного старіння ізоляції і зменшення заданої потужності двигуна (зменшення ККД двигуна). Так, термін служби повністю завантаженого асинхронного двигуна, що працює при несиметричній нарузі 4%, скорочується в 2 рази [6].

Найбільш значний вплив несиметрія напруги надає не на максимальний обертовий момент асинхронного двигуна, а на нагрівання машин. Так, при коефіцієнті несиметрії напруги за зворотною послідовністю в 10% зміна обертового моменту складе не більше 1%. У дослідженнях, проведених в яких ґрунтується перший проект ГОСТ «Норми якості електричної енергії» запропонована формула для визначення коефіцієнта збільшення нагріву асинхронних двигунів b в залежності від рівня несиметрії і несинусоїдальності напруги, що підводиться. Якщо взяти до уваги тільки несиметрію напруги, яка визначається коефіцієнтом несиметрії по зворотній послідовності K_{2u} , то дана формула має вигляд:

$$b = 1,54 \cdot K_{2u}$$

Виходячи з вимог гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотною послідовністю в точках загального приєднання до електричних мереж дорівнює 4%, що відповідає допустимому коефіцієнту збільшення нагріву двигуна в 6%. Значення несиметрії напруги на

приймальному кінці лінії ДПР можуть досягати величин в 7,5...10,9%, що відповідає значенням коефіцієнта збільшення нагріву двигунів в 11,6...16,8%. Такий стан може призвести до скорочення терміну служби ізоляції та виходу двигунів з ладу. Несиметрія напруги призводить до зниження ККД асинхронних двигунів. Так, при $K_{2u} = 5\%$ ККД двигунів знижується на 1,5...2,0%.

При несиметричній напрузі мережі в синхронних машинах, поряд з виникненням додаткових втрат активної потужності і нагріву статора і ротора, можуть виникнути небезпечні вібрації в результаті появи знакозмінних обертаючих моментів і тангенціальних сил, пульсуючих з подвійною частотою мережі. При значній несиметрії вібрація може виявитися небезпечною, а особливо при недостатній міцності і наявності дефектів зварних з'єднань.

Несиметрична напруга значно погіршує режими роботи багатозначних вентильних випрямлячів: збільшується пульсація випрямленої напруги, погіршуються умови роботи системи імпульсно-фазового управління тиристорних перетворювачів. Дійсно, при симетричній трифазній напрузі струми, що протікають по анодам вентилів, рівні за величиною і за часом протікання. При несиметричній напрузі час горіння і величина струму, що протікає по анодам вентилів, різні. Це призводить до того, що наявна потужність випрямляча знижується, так як частина вентилів виявляється недовантаженою, в той час як інші навантажені повністю.

Конденсаторні установки при несиметрії напруги нерівномірно завантажуються реактивною потужністю по фазах, що робить неможливим повне використання встановленої конденсаторної потужності. Крім того, конденсаторні установки в цьому випадку підсилюють вже існуючу несиметрію, так як подача реактивної потужності в мережу в фазі з найменшою напругою буде менше, ніж в інших фазах (пропорційна квадрату напруги на конденсаторній установці) [14].

Несиметрія напруги значно впливає і на однофазні електроприймачі, якщо фазні напруги не рівні, то, наприклад, лампи розжарювання, підключені до фази з більш високою напругою, мають більший світловий потік, але значно менший термін служби в порівнянні з лампами, підключеними до фази з меншим напругою. Навпаки, при низькій напрузі термін служби ламп збільшується, а світловий потік зменшується. Так, при збільшенні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання збільшується на 20%, а термін служби зменшується в два рази. При зниженні напруги на 5% світловий потік зменшується на 18%, а термін служби збільшується в 2,4 рази. Зниження напруги на 5% призводить до того, що люмінесцентні (флуоресцентні) лампи починають працювати нестабільно. Недостатній світловий потік ламп може призвести до зниження продуктивності праці і навіть до травматизму .

Несиметрія напруги ускладнює роботу релейного захисту, веде до помилок при роботі лічильників електроенергії і т.д. Через несиметрію скорочується термін служби ізоляції трансформаторів.

1.4 Вплив показників якості електроенергії в лінії ДПР на роботу пристроїв залізничної автоматики та електромагнітна сумісність ліній ДПР і рейкових ланцюгів автоблокування

Як відомо, пристрої СЦБ і зв'язку на залізничному транспорті відносяться до першої категорії електроприймачів щодо забезпечення надійності їх електропостачання і вимагають наявності двох незалежних джерел живлення. Тимчасове припинення електропостачання даних пристроїв несе за собою небезпеку для життя людей, зрив графіка руху поїздів і принести значної шкоди залізниці. Тому в системі електропостачання залізничного транспорту на змінному струмі лінії ДПР виконують функцію резервного джерела для живлення сигнальних точок та різних пристроїв СЦБ і автоблокування. Основне живлення пристроїв автоблокування і СЦБ передбачено від спеціально призначених для них ліній 6,10 кВ СЦБ.

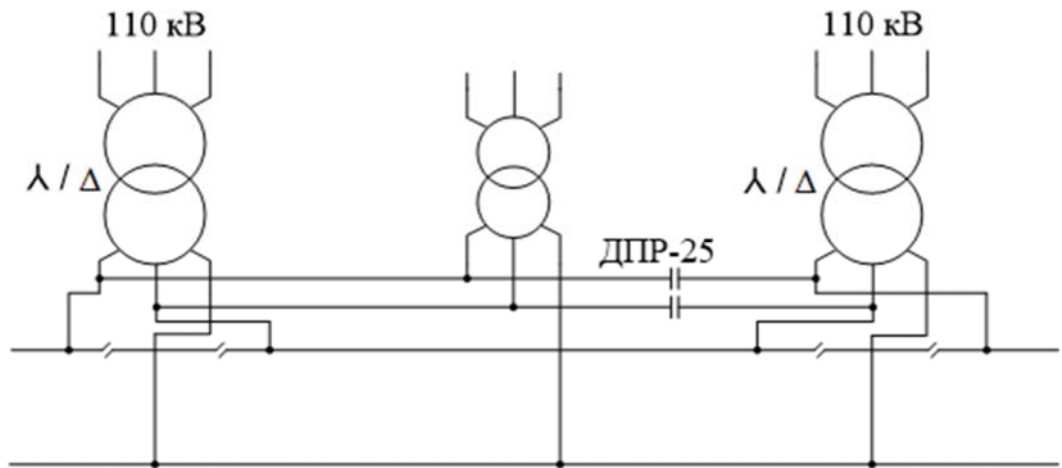


Рис. 3 –Схематичне зображення лінії ДПР

Для нормальної роботи даних пристроїв «Правилами технічної експлуатації залізниць» (ПТЕ) встановлені допустимі відхилення напруги в + 5% і -10% і допустима тривалість провалу напруги в 1,3 секунди. Однофазні трансформатори ЗНОМ-35, ОМ-35, що застосовуються для резервного живлення сигнальних точок, на вторинній обмотці мають номінальну напругу 220 В. Відхилення напруги в лінії ДПР [4], викликані електромагнітним впливом тягової мережі, призводять до відхилень напруги на вторинній стороні даних трансформаторів. Дані відхилення у вимушених режимах системи тягового електропостачання в деяких фазах системи ДПР можуть досягати величин в +5 ... + 7,5% і до -13 ...- 18,5%. Напруги на вторинній стороні трансформаторів сигнальних точок при переході на резерв від лінії ДПР матимуть такі ж відхилення. Тому рівень напруги на пристроях СЦБ і зв'язку при живленні їх від лінії ДПР не відповідає допустимим ПТЕ нормам і неприйнятний для нормальної роботи даних пристроїв.

Несиметрія напруги, притаманна лініям ДПР, також негативно відбивається на роботі трифазних електроустановок залізничної автоматики. Наприклад, під дією несиметрії напруги відбувається значне зниження потужності асинхронних двигунів, що застосовуються в якості електроприводів стрілочних переводів.

Слід зазначити, що проблема спільної роботи ліній ДПР і пристроїв залізничної автоматики не обмежена впливом низької якості напруги лінії ДПР. Ще одним, і не менш вагомим аспектом, є їх електромагнітна сумісність. Як відомо, під електромагнітною сумісністю розуміють здатність електротехнічного обладнання працювати задовільно в електромагнітному середовищі, не створюючи неприпустимого впливу на навколишнє середовище, а також на інше технічне обладнання. У зв'язку з цим виникають два фактори, які відносяться до області електромагнітної сумісності даних об'єктів.

З одного боку, лінії ДПР, як і тягова мережа змінного струму, роблять значний електромагнітний вплив на суміжні лінії зв'язку. Цей вплив полягає у виникненні в лініях зв'язку несинусоїдальної індуктивної напруги, яка може не тільки спотворювати електричні сигнали, але і бути небезпечною для обслуговуючого персоналу і цілісності апаратів і приладів, підключених до них. Це питання в даний час є достатньо опрацьованим і для захисту ліній зв'язку від електромагнітного впливу тягової мережі змінного струму розроблені спеціальні заходи, викладені в «Правилах защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети переменного тока».

З іншого боку, залишається відкритим питання впливу ліній ДПР на рейкові кола автоблокування. Вважається, що для стійкої роботи рейкових кіл автоблокування необхідно, щоб рівень перешкоди, створюваний гармоніками тягового струму в рейках, не перевищував допустимих значень. При цьому практично ніколи не береться до уваги той факт, що і струми третьої фази лінії ДПР, в якості якої використовуються рейки, також беруть участь в утворенні перешкоди в дорожньому дросель-трансформаторі.

Розглянемо схему утворення перешкоди від тягового струму. Тяговий струм I_k , споживаний електровозом, розгалужуючись на струми I_1 і I_2 , має однаковий напрямок в рейкових нитках кожного рейкового кола (рис. 1.2, а). Протікаючи по колійному дроселю ДТ, змінна складова тягового струму створює на його обмотці напругу перешкоди. Подорожній дросель має вивід від

середини обмотки для пропуску тягового струму в сусіднє рейкове коло в обхід ізолюючих стиків. Внаслідок цього магнітні потоки, що виникають в осерді дроселя від струму кожної рейки, протилежні за напрямком. З цієї причини в створенні перешкоди бере участь магнітний потік. Він створюється різницею струмів в першій та другій рейках, який проходить по половині обмотки дроселя, тоді струм перешкоди у відповідному місці рейкового кола x визначиться як :

$$I_n = \frac{I_2 - I_1}{2}$$

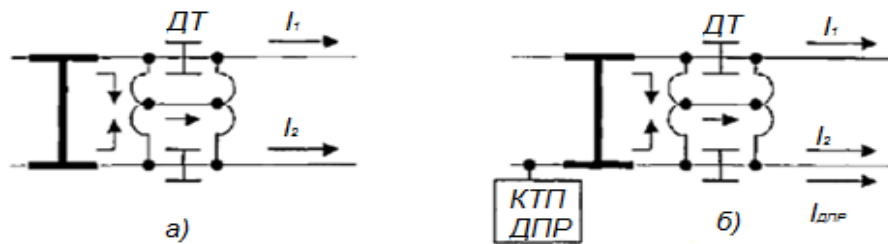


Рис. 4 –Вплив ліній ДПР на рейкові кола СЦБ а - вплив тягових струмів; б - вплив тягових струмів і струмів ДПР

Якщо у випадку з тяговим навантаженням струми в рейковому колі, що стікають з обох колісної пари в кожній з рейкових ниток практично однакові, то струми навантаження третьої фази ДПР розподілені між рейковими нитками нерівномірно (рис. 1.2, б). При цьому струм перешкоди буде залежати не тільки від тягових струмів, а й від струму навантаження третьої фази ДПР:

$$I_{II} = \frac{(I_2 + I_{ДПР}) - I_1}{2}$$

Аналізуючи (1.10) і (1.11), можна відзначити, що струм ДПР, що протікає по рейкових нитках, вносить додаткову перешкоду в роботу рейкових кіл автоблокування, а при відсутності тягового навантаження є одним з її основних джерел. Наслідками такої перешкоди може стати відмова пристроїв автоблокування, підключених до рейкових ланцюгів. У свою чергу в такій ситуації може виникнути перекриття сигналів, що суттєво погіршує умови безпеки руху поїздів, що може привести до катастроф, зриву графіка руху,

значних матеріальних збитків. Таким чином, застосування рейкового кола в якості третьої фази лінії ДПР істотно впливає на роботу рейкових кіл. Тому в даний час існує необхідність у відмові від використання рейкового кола в системі ДПР, що дозволить виключити цей вплив.

2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛІНІЯХ ДПР

2.1 Аналіз існуючих способів підвищення ЯЕ в лініях ДПР

Напруга лінії ДПР, внаслідок електромагнітного впливу КС, повністю не відповідає сучасним вимогам, що встановлена для ЯЕ. В даний час існує декілька підходів, спрямованих на вирішення проблеми підвищення ЯЕ в лініях ДПР.

Трифазні споживачі, приєднані до ліній ДПР, отримують несиметричну і несинусоїдальну напругу. Ця обставина накладає відбиток на способи симетрування, які можуть бути застосовані в даному випадку. Дійсно, необхідно створити таку ЕРС зворотної послідовності, яка компенсувала б несиметрію напруги живлення. Така ЕРС може бути створена двома способами: за допомогою пофазного регулювання напруг або шляхом створення в опорі мережі живлення компенсуючих падінь напруги від струму зворотної послідовності, створюваного за допомогою підключаючих активних, індуктивних або ємнісних опорів .

У першому випадку в якості пристроїв, застосовуваних в даний час для пофазного регулювання, використовуються бустер – трансформатори з підмагнічуючим шунтом. Іншим способом стабілізації і регулювання напруг фаз є перерозподіл напруги між двома послідовно включеними трансформаторами. Цей спосіб забезпечує симетрування напруг і має кращі вагові показники в порівнянні з трансформаторами з підмагнічуючим шунтом. Можливо також пофазні регулювання напруги за допомогою відпайок при живленні від групи однофазних трансформаторів, а також в трьохстержневом трансформаторі зі схемою відкритого трикутника.

Затискачі трифазних споживачів відокремлені від мережі живлення тягового навантаження ланцюжком, що складається з трансформаторів і лінії електропередачі. Принцип симетрування в другому випадку спрямований на погашення всіх напруг зворотної послідовності в цьому ланцюжку. Щоб це

зробити, необхідно приєднати до затискачів споживачів опір зворотній послідовності, рівний нулю, або створити в цьому ланцюзі ЕРС, що компенсує U_2 в одній з точок ланцюга.

Так як опір зворотній послідовності, рівний нулю впливає на струми прямої послідовності, то найбільш простим представляється другий шлях. При цьому компенсуюча ЕРС створюється як за рахунок пофазного регулювання напруги на трансформаторі, так і за рахунок появи в живильючому ланцюзі падіння напруги від штучно створюваних струмів зворотній послідовності. В останньому випадку використовуються різні симетричні пристрої. В якості симетричних пристроїв застосовуються елементи з взаємною індуктивністю, з обертовим полем і трансформатори.

Однак для роботи симетричних пристроїв необхідно кілька додаткових умов: можливість регулювання його параметрів відповідно до зміни струму зворотної послідовності, незмінність струму прямої послідовності, мінімум споживаної потужності. Дані умови вимагають включення елементів ступеневого регулювання, що значно ускладнюють схему симетричних пристроїв. Крім того, з метою підвищення $\cos \varphi$ як реактивних елементів в цих пристроях використовуються ємності, що робить їх дуже дорогими. При підключенні симетричних пристроїв виникає проблема знаходження їх найбільш доцільного місця розташування, яка не завжди вирішується однозначно.

Дуже часто завдання підвищення ЯЕ в лініях ДПР вирішується в сукупності з проблемою підвищення ЯЕ в системі тягового електропостачання змінного струму. Одним із способів вирішення зазначеного завдання є застосування пристроїв поздовжньої ємнісної компенсації (ПЄК). Найбільш простою схемою, що дозволяє підвищити рівень напруги і знизити несиметрію напруг в системі ДПР, а також підвищити такі показники якості тягового навантаження, як коефіцієнт потужності і рівень напруги, є схема трифазної симетричної ПЄК на стороні тягової обмотки трансформатора ТП. Однак її

установка пов'язана зі значними капітальними витратами, так як вимагає установки конденсаторів у всіх трьох фазах. Тому така схема досі не знайшла застосування в тягових мережах.

Більш доцільними уявляються однофазні схеми ПЄК, так як вони пов'язані з меншими витратами і дозволяють при правильному виборі місця установки і потужності вирішувати два завдання - підвищення якості тягового навантаження і симетрування напруг в мережах ДПР. В даний час запропоновано два варіанти розміщення однофазних ПЄК: в відсмоктуючому фідері, і в фазі, що відстає. Великою симетричною дією по напрузі володіє схема ПЄК в відсмоктуючому дроті. Однак обидва ці варіанти також є капіталомісткими.

Ще одним технічним рішенням, які зачіпають проблему ЯЕ в лініях ДПР, запропонованим останнім часом, є система електропостачання нетягових споживачів (СЕНС). Істотним недоліком лінії ДПР є її вплив на роботу пристроїв рейкових кіл автоблокування. Можливим шляхом вирішення даної проблеми, є думку, відмова від використання рейкового шляху в якості третьої фази ДПР. У СЕНС запропоновано замість рейок використовувати заземлення трансформаторів КТП ДПР на природний заземлювач. Оцінюючи ЯЕ в СЕНС, слід зазначити, що відмова від використання рейкового кола в СЕНС дозволяє знизити гальванічну складову впливу тягової мережі. Однак використання землі в якості третьої фази робить СЕНС несиметричною, а проблема зниження ЯЕ внаслідок магнітного впливу КС в даній системі залишається такою ж актуальною, як і для звичайної системи ДПР.

2.2 Зміна конфігурації ліній та прокладення третього проводу на опорах контактної мережі

Є пропозиції щодо зміни конфігурації лінії у напрямку відмови від використання рейок та прокладання третього фазного проводу на опорах контактної мережі(рис.5)[8,11].

При її реалізації усувається гальванічний зв'язок із тяговою мережею, а також, за рахунок зближення проводів наведен у тяговим струмом ЕРС

Можна вважати рівною у всіх трьох фазах .

Індукована ЕРС, змінює значення напруги у кожній фазі відносно землі однаково, а система векторів лінійних напруг при цьому залишається симетричною. На противагу , у лінії ДПР під магнітним впливом контактної мережі потенціал рейок практично не змінюється, що призводить до несиметрії лінійних напруг[8].

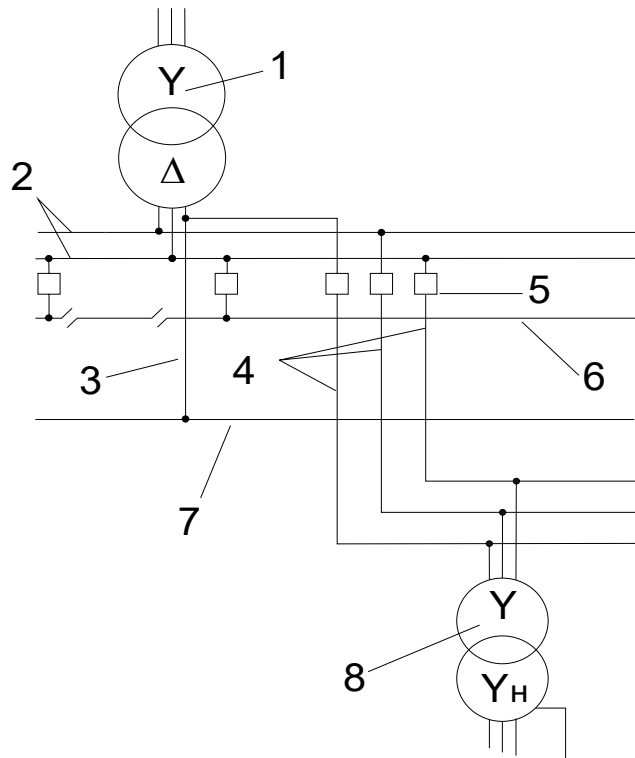


Рис. 5 –Схема підключення ЛЗФ-27,5 кВ до шин тягової підстанції: 1 -тяговий трансформатор; 2 –шини; 3 – рейковий фідер; 4 – проводи ЛЗФ-27,5 кВ 5 – вимикач 6 – контактна мережа;7 – рейка; 8 –трансформатор КТП.

Модернізовану лінію ДПР автори називають лінією з заземленою фазою (ЛЗФ -27,5 кВ) оскільки третій провід приєднаний до фідеру живлення рейок. Таким чином , дане рішення дозволяє зменшити несиметрію напруг у споживачів за рахунок зрівняння електромагнітного впливу на трифазну лінію тягової мережі та дає можливість попередити виникнення резонансних явищ за рахунок посилення взаємного екрануючого ефекту.

2.3 Заземлювач із регульованим індуктивним елементом

Інше технічне рішення запропоноване дослідниками МІТУ [9] передбачає від'єднання фази трансформатора КТП -25 кВ від рейки та підключення її до заземлювача з регульованим індуктивним елементом (рис.6).

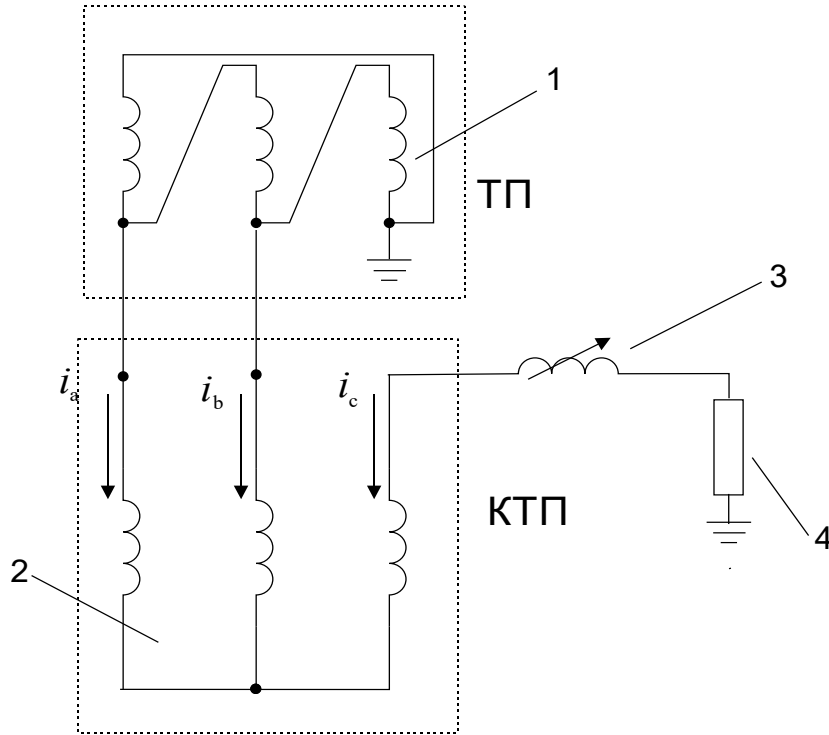


Рис. 6 –Схема електропостачання нетягових споживачів змінного струму із вдосконаленим заземлювачем КТП: 1 – вторинна обмотка тягового трансформатора; 2 – первинна обмотка трансформатора КТП; 3 – регульована індуктивність; 4– штучний заземлювач

Величина індуктивності L_p визначається із виразу:

$$pL = \iota(L - 2M),$$

де L – індуктивність 1 км контуру провід – земля;

M – взаємна індуктивність 1 км між контурами повітряний провід фази; а – земля і провід фази б – земля ;

ι – відстань від тягової підстанції до місця підключення комплектної трансформаторної підстанції до проводах .

У цій системі напруга на первинній стороні трансформатора КТП практично не залежить від струму, що протікає у рейках. Крім того, не порушується робота рейкових кіл, що призводить до підвищення безпеки руху

поїздів на магістральних залізницях. Падіння напруги у проводах та заземлювачі за величиною практично рівні та зміщенні один від одного на 120° . У результаті це призводить до зниження до допустимого рівня коефіцієнта несиметрії за струмом і напругою на шинах комплектної трансформаторної підстанції.

2.4 Актуальність задачі щодо модернізації ліній ДПР

Відомі способи підвищення ЯЕ в системі ДПР є матеріаломісткими, дорогими і не завжди в повній мірі можуть вирішити дану проблему. Низька якість напруги в системі ДПР обумовлює додаткові витрати залізниці і робить роботу нетягових споживачів неефективною. Крім того, в даний час готується ряд нормативних документів, що регламентують застосування штрафних санкцій за погіршення ЯЕ. Введення в дію цих документів призведе до значних матеріальних витрат.

Існує думка, що найбільш перспективним напрямком вирішення проблеми електропостачання нетягових споживачів від ТП змінного струму є відмова від ліній ДПР і переобладнання їх в повітряні лінії (ПЛ) 35 кВ. Дійсно, лінії поздовжнього електропостачання 35 кВ є симетричними, виконуються з ізолюваною нейтралю і зміни ЯЕ в таких лініях під дією електромагнітного поля КС практично не відбувається.

Але використання цих ліній має ряд істотних недоліків. В першу чергу, для живлення ВЛ 35 кВ необхідна додаткова обмотка тягового трансформатора яка присутня не на всіх ТП. Крім того, в умовах обмеженої несучої здатності опор КС, розташування додаткових проводів ВЛ 35 кВ на необхідних за умовами ізоляції відстанях на опорах КС ускладнене. При заміні ліній ДПР на лінії поздовжнього електропостачання 35 кВ виникає необхідність заміни трансформаторів КТП 27,5 кВ на трансформатори іншого класу напруги та установки додаткових комутаційних апаратів на третьому дроті ПЛ 35 кВ, що пов'язано з великими капітальними інвестиціями.

Існуючі ж лінії ДПР позбавлені деяких недоліків, властивих ВЛ 35 кВ. Використання шин 27,5 кВ ТП як для потреб тяги, так і для потреб нетягових

споживачів і розміщення проводів ДПР на опорах КС робить лінії ДПР дуже зручними для електропостачання нетягових споживачів, розташованих вздовж траси залізниці. А широка поширеність ліній ДПР, їх велика протяжність і численні споживачі, підключені до них, не дозволяють ставити питання про їхню ліквідацію або заміну лініями поздовжнього електропостачання 35 кВ.

Ситуація, що склалася робить актуальним завдання з модернізації ліній ДПР. При цьому необхідно залишити незмінним рівень напруги модернізованої лінії, що дозволить зберегти в якості джерела живлення шини ТП і значно спростити умови підключення до неї споживачів. При модернізації необхідно врахувати і ряд додаткових факторів: максимальне збереження переваг системи ДПР, мінімізацію витрат на модернізацію і мінімізацію її впливу на роботу пристроїв системи тягового електропостачання і рейкові кола автоблокування.

В ході проведеного аналізу встановлено, що входить в систему ДПР рейкове коло є одним з основних джерел несприятливих процесів, що впливають на ЯЕ даної лінії. Саме присутність рейок, з'єднаних з землею, обумовлює наявність різкої несиметрії в ДПР при магнітному впливі КС і є джерелом гальванічного впливу. Крім того, використання рейок в системі ДПР негативно відбивається на роботі пристроїв рейкових кіл автоблокування. Таким чином, основним напрямом модернізації лінії ДПР повинен з'явитися відмову від використання рейкового кола в якості третьої фази. З іншого боку, необхідно симетрувати режим роботи модернізованої лінії, тобто знизити напруги зворотної послідовності, що виникають при впливі КС. Ефекту симетрування модернізованої лінії в умовах електромагнітного впливу КС можна домогтися за умови рівності параметрів кожної з фаз модернізованої лінії між собою і по відношенню до спливаючої КС.

Запропоновані принципи стратегії з модернізації ліній ДПР дозволять значно підвищити в них ЯЕ і виключити їх негативний вплив на роботу пристроїв рейкових кіл автоблокування при мінімальних капітальних вкладеннях.

3. ЗАМІНА ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЇ НА ВСТАНОВЛЕННЯ ФАЗОПОВОРОТНОГО ПРИСТРОЮ ПРИЄДНАНОГО ДО ШИН 27,5 кВ

3.1 Встановлення фазоповоротного пристрою

Запропоновані способи у повній мірі не здатні вирішити окреслені проблеми пов'язані із якістю електроенергії у лініях поздовжнього електропостачання і залишають відкритим питання організації системи нетягового електропостачання від ліній ДПР із двостороннім живленням[10]. Розробки у цьому напрямку можуть дозволити суттєво (до 50%) зменшити втрати при передачі електроенергії, та зменшити відхилення напруги від номінального значення. Можливим вирішенням проблеми без проведення заміни обладнання на підстанції може бути встановлення фазоповоротного пристрою приєданого до шин 27,5 кВ. Такий пристрій представляє собою трансформатор принцип роботи якого подібний до трансформатора зібраного за схемою Скотта, але на виході якого утворюється трифазна система напруг (рис.7).

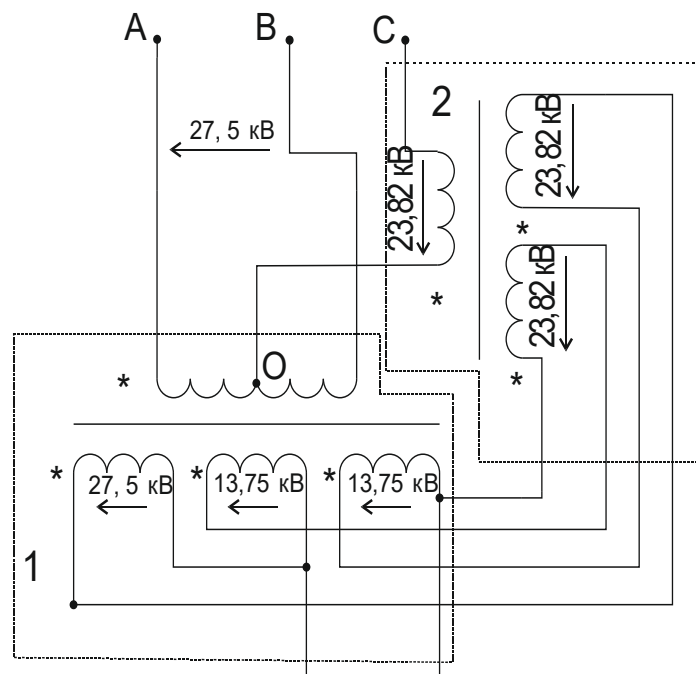


Рис. 7 – Схема фазоповоротного трансформатора ДПР: 1, 2 – перший та другий однофазний трансформатор відповідно

Механізм роботи пояснимо на прикладі перетворення системи вторинних напруг трансформатора ТП1 у систему, що ідентична системі векторів напруги на виході із ТП2. Нехай пристрій підключений до шин трансформатора ТП1 (найменування виводів трансформатора та пристрою співпадають). Тоді первинна обмотка фазоперетворювача формує систему із двох взаємоперпендикулярних векторів напруги (рис. 8, а).

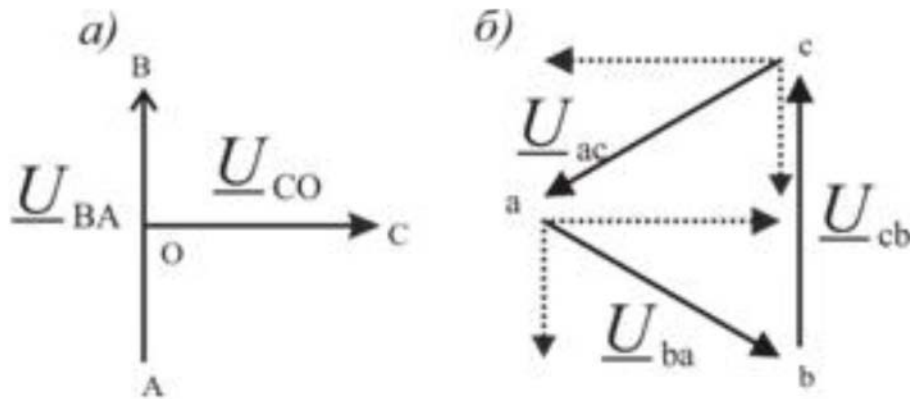


Рис. 8 –Векторна діаграма напруг у первинній (а) та вторинній (б) обмотках фазоповоротного трансформатора ДПР

Всі вторинні обмотки з'єднанні послідовно у схему трикутник, який складається із трьох по-різному скомпонованих фаз. Так вихідна напруга отримується шляхом поєднання п'яти обмоток: по дві обмотки для фази *ba* та *ac* та одна обмотка для *-cb*. Напруга у останній синфазна із вхідною напругою у фазі *BA* із первинної обмотки та одночасно із напругою *Ucb* на ТП2, тому надалі її було взято за базову. Розглянувши векторну діаграму та схему на відповідних рисунках можна визначити, що напруги *Uac* формується через послідовне підключення обмоток першого та другого трансформатора, напруга *Uba* через – зустрічне. Завдяки комбінації витків у цих обмотках можна регулювати фазовий кут та амплітуду напруги на виході із перетворювача.

ФПТ - пристрій, який здійснює навмисне поперечне регулювання напруги, в результаті чого змінюється кут між векторами напруг по кінцях електропередачі (до якого включено ФПТ) і, як наслідок, відбувається бажану зміну потужності, що передається по цій електропередачі, незалежно від параметрів шунтуючих зв'язків.

Зауважимо, що такі трансформатори вже знайшли застосування за кордоном. І входять в сімейство пристроїв, що створюють гнучку (керовану) систему змінного струму (в зарубіжній термінології - FACTS - Flexible AC Transmission Systems).

Впровадження ФПТ дає значний економічний ефект, в порівнянні з застосовуваними раніше пристроями постійного струму. ФПТ дозволяють:

- поліпшити керованість потужністю в мережах;
- поліпшення технічних характеристик всієї енергосистеми.

3.1 Розрахунок втрат енергії в лінії ДПР реальної ділянки

Для розрахунку [7] реальної ділянки обрано лінію ДПР Помічна-Плетений Ташлик, яка містить підключених 30 навантажень параметри яких приведені в таблицях. Для розрахунку використовувались всі навантаження, в таблицях показано розрахунки для перших 10.

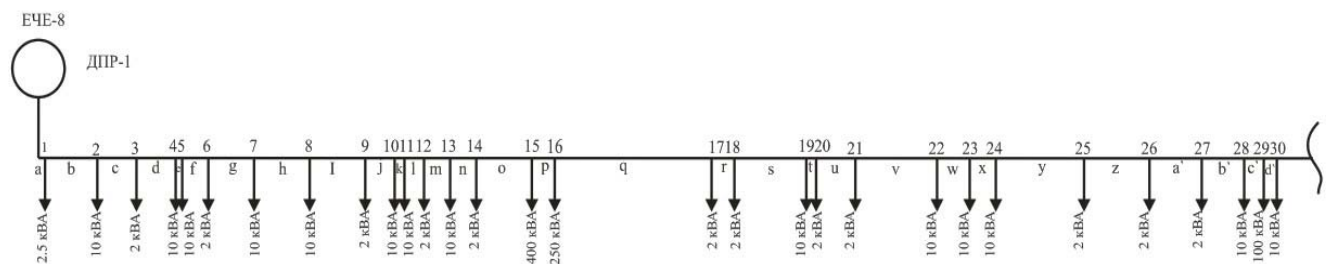


Рис. 9 – Розрахункова схема ДПР Помічна-Плетений Ташлик

Таблиця 1 – Значення відстаней між навантаженнями, км

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
0,2	1,6	1,2	1,2	0,2	0,8	1,4	1,7	1,7	0,9	0,3	0,6	0,8	0,8	1,7
p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	a'	b'	c'	d'
0,7	4,8	0,7	2,2	0,3	1,2	2,5	1	0,8	2,7	2	1,6	1,3	0,6	0,4

Таблиця 2 – Найменування умовних навантажень

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КТПО-2,5 переїзд	КТПО-10 казарма	КТПО-2	КТПО-10 переїзд	КТПО-10 ПОНА Б	КТПО-2	КТПО-10	КТПО-10	КТПО-2	КТПО-10 переїзд
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
КТПО-10 казарма	КТПО-2	КТПО-10 пост ЕЦ	КТПО-2	КТПО-400 Переїзд НУП	КТПО-250 пост ЕЦ	КТПО-2	КТПО-2	КТПО-10 ПОНА Б	КТПО-2
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
КТПО-2	КТПО-10 переїзд	КТПО-10	КТПО-10 ПОНА Б	КТПО-2	КТПО-2	КТПО-2	КТПО-10 переїзд	КТП-100 МТС	КТПО-10 пост

Параметри лінії для 2 АС-50 [15] складають:

$$r_0 = 0,603, \text{ Ом/км}$$

$$x_0 = 0,336, \text{ Ом/км}$$

де r_0 – реактивний опір ділянки;

x_0 – індуктивний опір .

На підставі приладів обліку зафіксовано споживання активної і реактивної енергії [12]. На основі цих даних було обраховано споживання кожного споживача у відповідності зі співвідношенням їх встановленої потужності.

Результати розрахунку за місяць року приведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення активної енергії кожного споживача за кожен місяць року, кВт

№	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
1	0,297	0,238	0,225	0,172	0,103	0,102
2	1,193	0,953	0,902	0,689	0,413	0,407
3	0,241	0,193	0,182	0,139	0,084	0,082
4	1,208	0,966	0,914	0,698	0,419	0,413
5	1,222	0,976	0,925	0,706	0,424	0,417
6	0,247	0,197	0,187	0,143	0,086	0,084
7	1,239	0,99	0,937	0,716	0,429	0,423
8	1,253	1,001	0,948	0,724	0,434	0,428
9	0,253	0,203	0,192	0,147	0,088	0,087
10	1,27	1,015	0,961	0,734	0,44	0,434

Продовження таблиці 3.

№	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
1	0,114	0,11	0,096	0,177	0,171	0,302
2	0,456	0,441	0,383	0,711	0,687	1,211
3	0,092	0,089	0,078	0,144	0,139	0,245
4	0,462	0,447	0,389	0,721	0,696	1,227
5	0,467	0,452	0,393	0,729	0,704	1,241
6	0,095	0,091	0,079	0,147	0,142	0,251
7	0,474	0,458	0,398	0,739	0,713	1,258
8	0,479	0,464	0,403	0,747	0,722	1,272
9	0,097	0,094	0,082	0,151	0,146	0,257
10	0,486	0,47	0,409	0,757	0,732	1,29

Визначаємо втрати напруги:

$$\Delta U = \left(\frac{P \cdot r_0 + Q \cdot x_0}{10} \right) \cdot Li$$

де P – активна потужність, яка протікає по цій ділянці, кВт;

Q – реактивна потужність, квар;

r_0 – реактивний опір ділянки, Ом/км;

x_0 – індуктивний опір з номером i , Ом/км.

Результати приведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Розрахункові дані втрат напруги на ділянці,кВ

№	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
1	0,00261	0,00208	0,00197	0,00151	0,0009	0,00089
2	0,08368	0,06686	0,06332	0,04836	0,02902	0,02858
3	0,01269	0,01014	0,0096	0,00733	0,0044	0,00434
4	0,06359	0,05081	0,04812	0,03675	0,02205	0,02172
5	0,01072	0,00856	0,00811	0,00619	0,00372	0,00366
6	0,00867	0,00693	0,00656	0,00501	0,00301	0,00296
7	0,07605	0,06076	0,05755	0,04395	0,02637	0,02598
8	0,09341	0,07463	0,07068	0,05398	0,03239	0,03191
9	0,0189	0,0151	0,0143	0,01092	0,00655	0,00646
10	0,05014	0,04006	0,03794	0,02898	0,01739	0,01713

Продовження таблиці. 4

№	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
1	0,001	0,00097	0,00084	0,00156	0,00151	0,00265
2	0,03201	0,03098	0,02691	0,04989	0,04833	0,08497
3	0,00486	0,0047	0,00408	0,00757	0,00733	0,01289
4	0,02433	0,02354	0,02045	0,03792	0,03673	0,06458
5	0,0041	0,00397	0,00345	0,00639	0,00619	0,01088
6	0,00332	0,00321	0,00279	0,00517	0,00501	0,00881
7	0,02909	0,02815	0,02445	0,04534	0,04392	0,07723
8	0,03573	0,03458	0,03004	0,05569	0,05395	0,09485
9	0,00723	0,007	0,00608	0,01127	0,01092	0,01919
10	0,01918	0,01856	0,01612	0,0299	0,02896	0,05092

Визначимо струми в лінії:

$$I_{л} = \frac{S_{лінії}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга;

$S_{лінії}$ – втрати в лінії.

Результати приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Розрахунок значення струмів на ділянках, А

№	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
1	0,00624	0,00499	0,00472	0,00361	0,00216	0,00213
2	0,02504	0,02	0,01895	0,01447	0,00868	0,00855
3	0,00506	0,00405	0,00383	0,00293	0,00176	0,00173
4	0,02537	0,02027	0,0192	0,01466	0,0088	0,00867
5	0,02565	0,0205	0,01941	0,01483	0,00889	0,00876
6	0,00519	0,00415	0,00393	0,003	0,0018	0,00177
7	0,026	0,02078	0,01968	0,01503	0,00902	0,00888
8	0,0263	0,02102	0,01991	0,0152	0,00912	0,00899
9	0,00532	0,00425	0,00403	0,00308	0,00185	0,00182
10	0,02667	0,02131	0,02018	0,01542	0,00925	0,00911
11	0,00239	0,00231	0,00201	0,00372	0,0036	0,00634
12	0,00958	0,00927	0,00805	0,01493	0,01442	0,02543
13	0,00194	0,00187	0,00163	0,00302	0,00292	0,00514
14	0,00971	0,00939	0,00816	0,01513	0,01461	0,02576
15	0,00981	0,0095	0,00825	0,0153	0,01478	0,02605
16	0,00199	0,00192	0,00167	0,00309	0,00299	0,00527
17	0,00995	0,00963	0,00836	0,01551	0,01498	0,02641
18	0,01006	0,00974	0,00846	0,01568	0,01515	0,02671
19	0,00204	0,00197	0,00171	0,00317	0,00307	0,0054
20	0,0102	0,00987	0,00858	0,0159	0,01536	0,02708

Визначення втрат електроенергії:

$$\Delta W = \int_0^T \sum \Delta S_i(t)$$

де $T = 720$ – годин в місяці;

$\Delta S_i(t)$ – втрати навантаження на кожній ділянці.

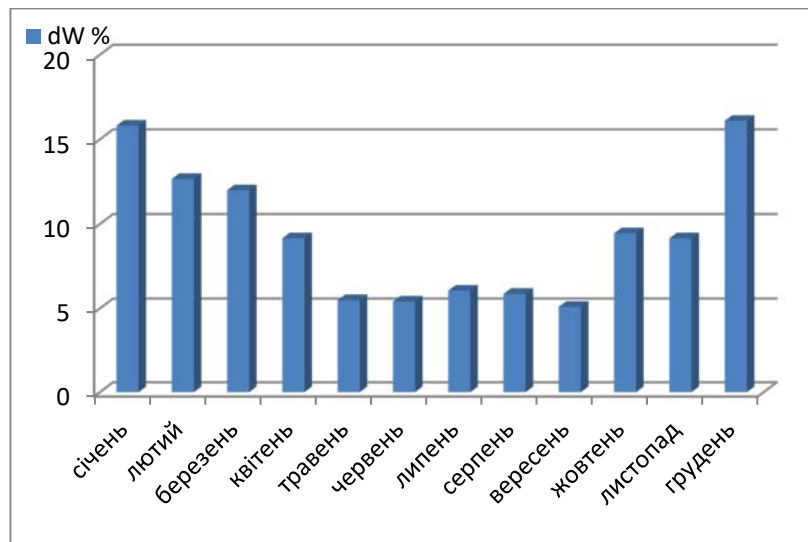


Рис. 10 – Втрати електроенергії в лінії

Втрати енергії розраховано відповідно за розглянутою методикою і показано на графіку.

Розрахункові значення втрат змінюються від 5 % до 16 %, при чому спостерігається, що у зимові місяці втрати більші, ніж у літні. Це можна пояснити збільшеним електроспоживанням, зокрема на обігрів, та специфікою роботи лічильників, особливо індукційних при низьких температурах.

В результаті розрахунків встановлено, що лінії ДПР володіють підвищеними втратами електроенергії, а методику розрахунку треба переглянути та врахувати більшу кількість факторів.

ВИСНОВОК

1. Використання системи поздовжнього електропостачання залізниць змінного струму має свої недоліки, а саме: неоднорідність лінії, електромагнітним впливом близько розташованої тягової мережі та гальванічним зв'язком із нею, що викликають погіршення якості електроенергії.

2. Істотно на роботу системи поздовжнього електропостачання залізниць змінного струму впливає відсутність можливості організації її двостороннього живлення від суміжних підстанцій, що пов'язано із симетруванням тягового навантаження відносно системи зовнішнього електропостачання.

3. Кожний із варіантів вирішення не може забезпечити повної відсутності проблем, а лише частково їх зменшує та потребує значних капіталовкладень.

4. Визначення та пошук шляхів компенсації заважаючого впливу, викликаного дослідженими чинниками, були у минулому предметом низки наукових досліджень. Вирішення цієї проблеми призведе до зниження втрат електричної енергії у лініях «два проводи - рейка» та підвищить надійність електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корниенко, В. В. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы (Аналитический обзор): Монография / В. В. Корниенко, А. В. Котельников, В. Т. Доманский. – К.: Транспорт Украины, 2004. – 196 с.
2. Сиченко, В. Г. Аналіз режимів напруги на приєднаннях тягових підстанцій змінного струму / В. Г. Сиченко, Д. О. Босий // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - Д., 2009. - Вип. 29. - С.82-87.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия и совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 32 с.
4. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць: монографія / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Саєнко, Д. О.Босий ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.— Д. : Стандарт-Сервіс, 2015. — 340 с.
5. Тимофеев Д. В. Режимы в электрических системах с тяговыми нагрузками. Под редакцией Н. А. Мельникова. Изд. 2 – е. – М., «Энергия», 1972. – 296 с.
6. Черемисин В. Т. Совершенствование методов расчета режимов приема и потребления электрической энергии в условиях несимметрии и несинусоидальности электротяговой нагрузки переменного тока [Текст]: дис. докт. техн. наук / - Омск, 1996. – 444 с.
7. Тимофеев Д. В. Режимы в электрических системах с тяговыми нагрузками. Под редакцией Н. А. Мельникова. Изд. 2 – е. – М., «Энергия», 1972. – 296 с.
8. Устройство для электроснабжения нетяговых потребителей на электрифицированных участках железных дорог переменного тока: пат. на полезную модель № 42484 РФ МПК: В60М1/02 / авторы и собственники патента Бочев А.С., Финоченко Т.Э.; начало действия патента: 12.07.2004;
9. Система электроснабжения нетяговых потребителей на электрифицированных участках железных дорог: пат. на полезную модель № 47819 РФ МПК:

В60М3/00 В60М1/12; авторы Журавлев А.Н., Косарев А.Б., Косарев Б.И., Хананов В.В.; правообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) начало действия патента: 23.03.2005; [Электронный ресурс]: <http://www.freepm.ru/Models/47819>.

10. Босий, Д. О. Підвищення якості електроенергії у лініях «два проводи-рейка» / Д. О. Босий, Д. Р. Земський // Електрифікація транспорту. — 2016. — № 12. — С. 76—81.
11. Бей Ю. М., Мамошин Р. Р., Пупынин В. Н. Шалимов М. Г. Тяговые подстанции. - М.: Транспорт, 1986. - 319 с.
12. Методика розрахунку технологічних втрат в пристроях електропостачання. ЦЕ0007: Затв.: Наказ Укрзалізниці 28.09.2003, № 342 [Текст] / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2003. – 37 с.
13. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – К., ДПНТУКЦ «АсЕлЕнерго», 2007. – 304 с.
14. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1990 – 200 с.