Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___“ _____2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

“ Дослідження метрологічних характеристик електронних лічильників в системі електропостачання з тяговими навантаженнями ”

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕЕ-20М3
ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
_____Галицька О.С.
«____»_____2021р.
Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Іван САВЕЛЕНКО
«_____»_____2021р.
Рецензент _____
_____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *центр заочної та дистанційної освіти*
Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Галузь знань *14 Електрична інженерія*
Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Освітньо-професійна програма *Електротехнічні системи електроспоживання*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
_____ *Плєшков П.Г.*
«_____»_____2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Галицької Оксани Сергіївни
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Дослідження метрологічних характеристик електронних лічильників в системі електропостачання з тяговими навантаженнями.*

Research of metrological characteristics of electronic meters in power supply system with traction loads.

2. Керівник роботи (проекту) *Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту *12.12.2021 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

1.Вступ; 2. Аналіз енергоефективності електропостачання залізничного транспорту; 3.Методи розрахунку режимів електропостачання в системах електричної тяги; 4.Експериментальні дослідження системи обліку в несиметричних системах тягового електропостачання; 5.Охорона праці; 6.Економіка; Висновки;Список літератури

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна частина	*к.е.н.,доц. Журило І.В.*		
Охорона праці	*к.т.н, доц. Савеленко І.В.*		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ..*	*4.10.21*	
2	*Аналіз енергоефективності електропостачання залізничної галузі.*	*11.10.21*	
3	*Методи розрахунку режимів електропостачання в системах електричної тяги.*	*14.10.21*	
4	*Експериментальні дослідження режимів споживання електричної енергії в системах тягового електропостачання.*	*21.10.21*	
5	*Дослідження особливостей режимів напруги в системі обліку.*	*28.10.21*	
6	*Охорона праці*	*5.11.21*	
7	*Економіка*	*15.11.21*	
8	*Висновки*	*21.11.21*	
9	*Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи*	*25.11.21*	
10	*Вступ.*	*29.11.21*	

Дата видачі завдання
«____» _____2021 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2021 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Галицька О.С. **Дослідження метрологічних характеристик електронних лічильників в системі електропостачання з тяговими навантаженнями**.

Research of metrological characteristics of electronic meters in power supply system with traction loads.

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м.Кропивницький, 2021р.

Мета роботи є дослідження режимів електропо¬стачання електрифікованого залізничного транспорту для визначення споказників якості електричної енергії. Вивчення впливу несиметричних режимів в системі електропостачання, що викликані тяговими навантаженнями, на роботу приладів якості.

Аналіз стану проблеми енергоефективності режимів елект-ропостачання залізничного транспорту дозволив, дослідити механізми ефективного використання електроенергії.

На основі експериментальних даних системно проаналізовані режи¬ми роботи систем тягового електропостачання змінного струму та досліджений вплив спотворень якості електроенергії на енергетичні характе¬ристики і точність систем обліку.

Результати досліджень, проведених в кваліфікаційній роботі, можуть бути використані у практиці проектування електричних мереж систем електропостачання залізничного транспорту.

ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ, СИСТЕМИ ОБЛІКУ, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ABSTRACT

Halytska O. **Research of metrological characteristics of electronic meters in the power supply system with traction loads**.

Дослідження метрологічних характеристик електронних лічильників в системі електропостачання з тяговими навантаженнями.

Specialty 141 - "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - EPP "Electrical systems of electricity consumption". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2021

The aim of the work is to study the modes of electricity supply of electrified railway transport to determine indicators of electricity quality. Study of the influence of asymmetric modes in the power supply system caused by traction loads on the operation of quality devices.

The analysis of the state of the problem of energy efficiency of the modes of electricity supply of railway transport allowed to investigate the mechanisms of efficient use of electricity.

On the basis of experimental data the modes of operation of traction power supply systems of direct and alternating current are systematically analyzed and the influence of distortions of quality of the electric power on power characteristics and accuracy of accounting systems is investigated.

The results of research conducted in the qualification work can be used in the practice of designing electrical networks of railway power supply systems.

TRACTION ELECTRIC TRANSPORT, ACCOUNTING SYSTEMS, ELECTRICITY QUALITY, ENERGY EFFICIENCY

Зміст

ВСТУП 8

1. АНАЛІЗ ЗАДАЧ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ 11

1.1 Аналіз проблем діяльності тягових мереж в Україні 11

1.2 Аналіз ефективності роботи електроенергетичних систем..... 15

1.3 Вплив інтелектуальних технологій на зниження втрат електроенергії в мережах 16

1.4 Аналіз методів розрахунку режимів в мережах електричної тяги .. 17

Висновки до розділу 1 19

2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ В ТЯГОВИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 20

2.1 Фізичні процеси споживання електричної енергії в системах електропостачання тягових мереж 20

2.2 Обґрунтування моделі системи електропостачання тягової мережі21

2.3 Аналіз методів розрахунку параметрів систем підтримання постійної потужності 23

2.4 Розрахунок систем тягового електропостачання методом просторово-часового представлення..... 28

2.5 Аналіз методів розрахунку схем в системах тягового електропостачання 35

2.6 Розрахунок багатосекційних систем електропостачання тягових мереж 42

Висновки до розділу 2..... 46

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ В МЕРЕЖАХ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ 47

3.1 Постановка задачі проведення експериментальних досліджень 47

3.2 Оцінка показників якості електроенергії в тягових мережах 50

3.3 Дослідження впливу перетікань потужності на режими роботи тягових мереж 53

3.4 Оцінка точності розрахунку параметрів тягової мережі 57

3.5 Аналіз параметрів тягової мережі в несинусоїдальних режимах 59

Висновки до розділу 3 61

4. ВПЛИВ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ НА СИСТЕМУ ОБЛІКУ 62

4.1 Робота тягових підстанцій постійного струму за несиметричної первинної напруги 62

4.2 Дослідження роботи електронних лічильників при порушенні якості електроенергії 67

Висновки до розділу 4 72

5. ОХОРОНА ПРАЦІ 73

5.1 Посадові інструкції з охорони праці до працівників локомотивних бригад 73

5.2 Інструкції по позачергових предрейсових медицинських оглядів залізничних бригад. 74

Висновки до розділу 5 76

6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ 77

6.1 Визначення інвестиційних витрат 78

6.2 Розрахунок експлуатаційних витрат 81

Загальні висновки..... 83

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 85

Додатки..... 94

ВСТУП

Ефективна робота автоматизованих систем контролю в сучасних умовах вимагає достовірну інформацію про процеси, що протікають в системах електропостачання в реальному часі. Такий підхід, дає можливість своєчасно реагувати на зміни, шо динамічно протікають в електричних мережах.

На достовірність отриманої інформації впливає коректна робота пристроїв, що входять до складу вимірювального каналу. Основними елементами вимірювального каналу є вимірювальні трансформатори струму і напруги, розрахункові лічильники електричної енергії та лінії зв’язку. На точність вимірювання значно впливають поточні навантаження в точці обліку та параметри якості електричної енергії в мережі.

Більшість сучасного виробничого обладнання характеризується наявністю нелінійними вольт-амперними характеристиками, що призводить до насичення системи електропостачання вищими гармоніками, а також зворотною та нульовою складовими робочого струму. Наявність споживачів з нелінійними навантаженнями впливає на параметри якості електричної в мережі та роботу інших споживачів. Генерування вищих гармонік приводить до зростання струмів в мережах та погіршує синусоїдальну форму кривої напруги, що в кінечному результаті призводить до значного старіння ізоляції та порушення нормальної роботи електрообладнання. Присутність в електричних мережах зворотної та нульової послідовності струмів викликає додаткові втрати від несиметрії напруги в мережі через протікання їх струмів та відхилення напруги за межі нормативних значень, згідно ГОСТ 13109-97.

Зважаючи на таку ситуацію, результуючі похибки вимірювання параметрів режиму лишаються значними через роботу трансформаторів

струму (ТС) та напруги (ТН), лічильників. Розробка методів корекції похибок вимірювальних трансформаторів, є основним напрямком підвищення точності вимірювання, який потребує вивчення впливу вимірювальних трансформаторів на точність системи обліку.

Векторні перетворення струму і напруги в приладах вимірювального каналу розраховані на низький рівень гармонік мережі, тому їх наявність впливає на точність вимірювань ТС та ТН. Вплив несиметрії навантаження викликає додаткові похибки додаткові похибки в ТН та ТС та залежить від сумарного активного опору ліній зв'язку.

Тягові мережі, що є джерелом електропостачання електрифікованого залізничного транспорту становлять близько 4% від загального обсягу електроенергії на оптовому енергетичному ринку України. На межі експлуатаційної розподілу між контактною мережею та мережами енергосистеми виникають спірні питання, які залежать від характеру споживання електричної енергії тяговими навантаженнями. Недосконаліть системи обліку електричної енергії призводить до зростання похибки вимірювання в точках розподілу мереж.

Відхилення напруги в контактній мережі постійного струму викликає обмеження для електротяги шляхом зниження пропускної спроможності цих мереж, що призводить до збільшення втрати електроенергії в тягових мережах. В контактним мережах змінного струму наявність відносного зсуву фазних напруг обумовлює появу додаткових перетікань потужності.

Енергоефективність діяльності електрифікованих залізниць можна оцінити значенням технологічних втрат в пристроях в елементах системи електропостачання.

Низька якість роботи автоматизованої підсистеми обліку електроенергії у рухомому складі залізниць впливає на визначення реальних затрат в контактних мережах. Оскільки втрати в таких мережах

значно перевищують нормативний показник технологічних втрат, який орієнтовно лежить в межах 5 – 10 %, тому необхідно зменшити рівнем втрат в контактних мережах за рахунок вдосконалення системи обліку та зменшення впливу несиметричних та несинусоїдальних режимів на її роботу.

Проблемі рівня відносних втрат електроенергії присвячено багато робіт, про на сьогодні ще повністю не вирішені питання впливу несиметричних режимів мережі на якість роботи системи обліку.

До відносних втрат в системі електропостачання залізниць відносяться втрати в контактних мережах, лініях живлення контактної мережі, тягових агрегатах та підстанціях тощо.

В системі обліку електроенергії, часто зустрічаються лічильники з від’ємною частотною похибкою при наявності напруги з частотою 250-450 Гц характерних для 5-9 вищих гармонік.

Сезонні коливання навантажень характерні для залізничного транспорту обумовлюють широкі межі коливання робочих струмів в мережі, що приводить до підвищення основної похибки вимірювання в трансформаторах струму.

Таким чином впровадження сучасних автоматизованих систем обліку та підвищення енергетичної ефективності режимів за рахунок покращення показників якості, узгодження навантажувальних режимів контактних мереж дозволить зменшити їх технологічні втрати та підвищить конкурентоспроможність.

1. АНАЛІЗ ЗАДАЧ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Аналіз проблем діяльності тягових мереж в Україні

Сучасний стан тягових мереж України знаходиться в тяжкому кризисному становищі. Насамперед абсолютно застаріла технічна база, неефективні підходи до організації перевезень, низький рівень тарифів в порівнянні з країнами-сусідами, низька якість транспортних послуг, не дозволяє покращити ефективності роботи тягових мереж та її складу. Ситуація, що склалася вимагає поетапного впровадження реконструкції, модернізації енергообладнання та підвищення конкурентоспроможності залізничної галузі.

Обсяги споживання електроенергії в електрифікованих залізних мережах (рис. 1.1) та характерна вартість спожитої електроенергії має тенденцію до перманентного зростання (рис. 1.2).



Рис. 1.1. Обсяги споживання електроенергії в мережах Укрзалізниці

Електрифікація залізної дороги відбувається передусім через значне зношення тепловозного рухомого складу, більше 80 %, а також більші ніж в 2 рази витрати на її використання у порівнянні з електричної тягою.

Питомі енерговитрати електричної тяги становлять орієнтовно 80 %. Енергетична складова загальної собівартості залізничних перевезень має тенденцію до зростання і становить близько 25 %.



Рис. 1.2. Плата за спожиту активну і реактивну електроенергію

Однією з причин зростання вартості спожитої електроенергії на загальному фоні Через підвищення тарифів на електроенергію при тенденції зниження обсягів перевезень є головною причиною збільшення плати за спожиту електричну енергії в тягових мережах Укрзалізниці (рис. 1.8). Аналіз тарифів на електроенергію показує їх динаміку до зростання за останні десять років тариф на електроенергію для споживачів 1-го класу збільшився в п’ять разів.

Значний рівень технологічних втрат в тягових мережах, що викликаний їх низькою ефективністю, відсутність точних даних про реальне споживання обумовлює значну складову частку втрат до 3% в

енергетичному балансі країни.

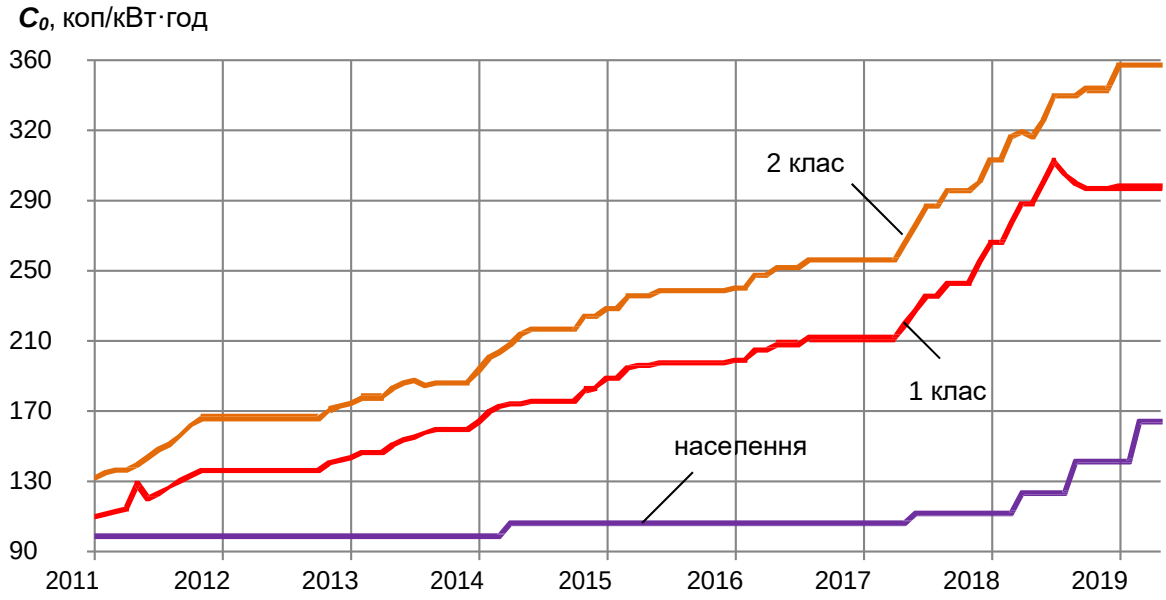


Рис. 1.3. Динаміка зміни тарифів на електроенергію в тягових мережах

Якщо розкласти енергетичні втрати за видами енергоносіїв, то втрати електроенергії становлять більше 50 % від загальних втрат тягових мереж.

Відносні втрати електроенергії в електричних мережах становлять орієнтовно 10,7..11,9 % в порівнянні з технологічними втратами тягових мереж 5 до 24 % мають середні показники (рис 1.4). Електрифіковані ділянки тягових мереж, що використовують змінний струм мають досить низький рівень втрат до 8 %. Частина мереж, що використовує постійний струм має високі значення втрат в мережі до 24 %. Так як, оптимальним рівнем втрат електроенергії в розвинених країнах приймається частка втрат на рівні 6-8 %, то необхідне нагальне впровадження заходів направлених на підвищення енергетичної ефективності експлуатації мереж.

Отримання достовірного і точного обліку електроенергії в тягових мережах ускладнене через низьку достовірність обліку втрат

електроенергії в пристроях рухомого складу. Як правило, облік на тягових підстанціях виконаний на належному рівні і має проблеми лише при виникненні несинусоїдальних режимів роботи мереж, ситуація електрорухомого складу тягових мереж не витримує ніякої критики.

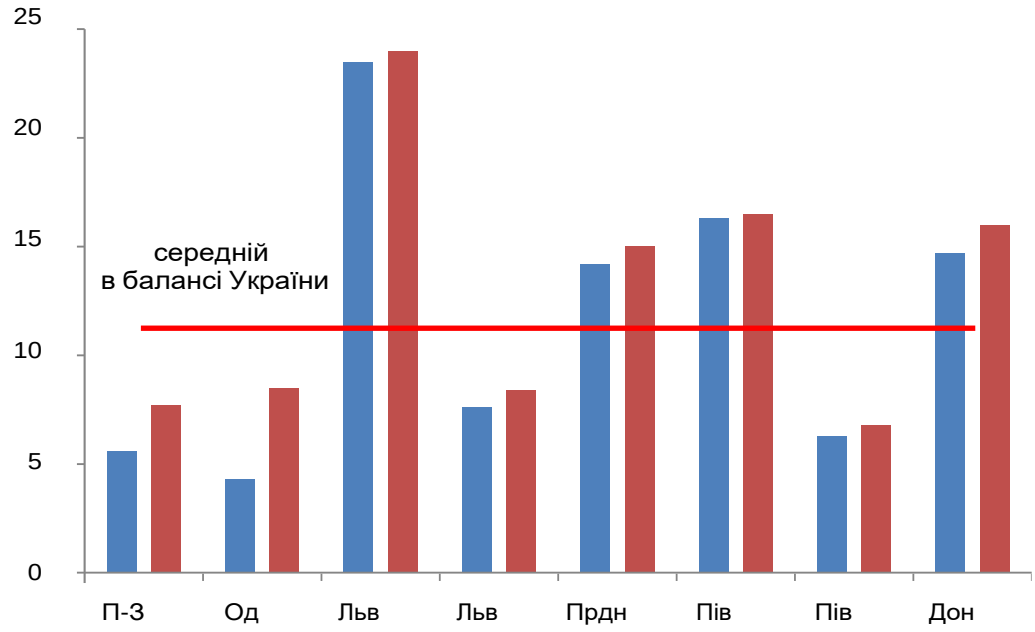


Рис. 1.4. Витрати по залізничним дистанціям Україні

Основними чинниками, що призводять до такої ситуації в електрорухомому складі є застосування архаїчних схем вимірювання, низька точність вимірювання приладів обліку, відсутність систем дистанційного контролю інформації ускладнюють оперативне керування режимами та аналіз неефективного використання електроенергії тягових мережах.

Аналіз ефективності роботи залізничної галузі за рівнем втрат показав, що вона вдвіччі нижча ніж у європейських країнах і тому потребує докорінних змін. Середній рівень втрат в мережах західних країн становить близько 8 %, але потрібно враховувати, що в цих країнах використовується інша топологія схем та переважно використовуються повітряні лінії.

1.2 Аналіз ефективності роботи електроенергетичних систем

Виконання вимог світової енергетичної політики та державної енергетичної стратегії, щодо інформатизації технологічних процесів обумовлює впровадження на всіх рівнях електроенергетичної системи інтелектуальних інформаційних систем типу Smart Grid.

Вихід на Європейський рівень обумовлює зміну у ринкових відносинах залізничної галузі, що склалися на теперішній час і вимагає впровадження нових положень у програмі розвитку електроенергетики.

Збільшення питомих навантажень у залізничному транспорті характеризується зростанням попиту на електроенергію, тому диспетчеризація в енергосистемі вимагає обмеження у часі для вирішення оперативних ситуацій, що збільшує залежність від інформатизації процесів в системі.

Структура інтелектуальної системи представляє підсистему з власними внутрішніми зв’язками, взаємодія яких залежить від ієрархічної топології схеми електропостачання.

Координатор оптового ринку при роботі з інтелектуальною системою приймає рішення про керуючі впливи та оцінює їх ризики в системі (рис. 1.5).

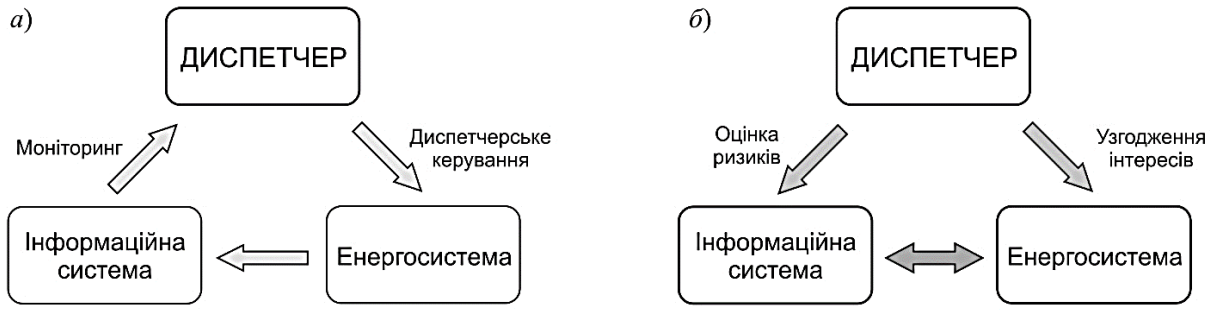


Рис. 1.5. Принципи керування в енергосистемі:
а – ієрархічне керування; б – комбіноване керування

Наявність системи моніторингу за станом об’єктів тягових мереж з можливістю корекції режиму дозволить зробити крок до підвищення енергоефективності мереж за рахунок розвитку інтелектуальних мереж. Зменшення рівня втрат та оптимальне керування режимами роботи дасть можливість підвищити пропускну здатність систем в цілому.

1.3 Вплив інтелектуальних технологій на зниження втрат електроенергії в мережах

Сьогодення енергетики характеризується зростанням навантажень, гуртуванням електричних мереж, ненайкращим розподілом потужності в різнорідних мережах, ринковими відносинами в енергетиці, застосуванням найбільш ефективних джерел електроенергії, жорсткими екологічними вимогами при будівництві нових генеруючих потужностей, широким використанням засобів перетворювальних пристроїв зі збільшенням їх питомої потужності, підвищенням вимог до якості електроенергії в тягових мережах.

Задачі перед енергетичними підрозділами полягають у зростанні пропускної здатності мереж, управлінні потоками потужності, стабілізації вузлової напруги в мережах, усуненні спотворень якості електроенергії.

Для рішення перелічених задач необхідне впровадження системи моніторингу на всіх рівнях розподілення енергії з послідуючою обробкою та аналізом, для виявлення оптимальних керуючих впливів на енергосистему.

Системи моніторингу параметрів WAMS (Територіально розподілені вимірювальні системи), з векторами напруги PMU (Phasor Measurement Units), мають можливості для керування режимами електроенергетичних систем. Підвищення можливосте за рахунок

програмованих спостерігачів полегшує рішення задач оцінки стану електроенергетичної системи.

1.4 Аналіз методів розрахунку режимів в мережах електричної тяги

Специфіка роботи системи тягового електропостачання обумовлює складності проведення розрахунках систем електричної тяги. Навіть у нормальних режимах роботи потужність навантаження досягає значень 10 МВт, розподілення у просторі тягових мереж обумовлює підвищена складність схем живлення, що впливає на розрахунок режимів напруги в залежності від розташування рухомого складу. Такі специфічні умови роботи тягових мереж ускладнюють використання в розрахунках традиційних узагальнених методик.

Наявність пристроїв силової електроніки обумовлює протікання електромагнітних процесів в колах навантаження систем електроспоживання електричного транспорту.

Наявність потужності навантажень, що ведуть до спотворення живлячої напруги, що виконувати обґрунтування пульсуючої потужності, визначення якої залишається не має традиційного рішення і вимагає додаткових досліджень.

Широко відомий інтегральний підхід при визначені складових повної потужності, проте невизначеність всередині смузі основної частоти робить неможливим застосування його в системах керування реального часу. Метод еквівалентної синусоїди є найпростішим рішенням при розрахунку втрат потужності для окремих гармонійних складових.

Метод визначення ступеню спотворення синусоїдальності напруги дозволить дослідити обмін енергетичними потоками між системою і

тяговою мережею.

Електромагнітний вплив на елемента у несинусоїдних режимах залежить від електричних параметрів мережі та потужності нелінійного джерела, проте при дослідженні доводиться мати справу зі спотвореними величинами мережі, що залежать від роботи досліджуваного об’єкта.

У більшості методів розрахунку тягове навантаження представляють у вигляді джерела ідеального струму. В такому випадку задача зводиться до розрахунку струморозподілу за струмами та напруги на підставі розрахункової ЕРС на шинах тягових підстанцій. Такий метод дозволяє досить просто визначити динаміку струмів фідерів та напруги живлення на струмоприймачах електровозів.

Розрахунок напруги на струмоприймачі електровозу і використовується при використанні рухомого складу з двигунами постійного струму.

Розрахунок в потужності системах електропостачання тягових мереж, виконується, як правило з допущеннями для мережі з номінальними значеннями напруги, а у випадку її несинусоїдальності необхідно виконувати додаткові розрахунки.

Висновки до розділу 1

Значний рівень технологічних втрат в тягових мережах, обумовлений їх низькою ефективністю та відсутністю точних даних про реальне споживання.

Наявність системи моніторингу за станом об’єктів тягових мереж з можливістю керування їх режимами дозволить зробити крок до підвищення енергоефективності мереж за рахунок розвитку інтелектуальних мереж. Зменшення рівня втрат та оптимальне керування режимами роботи дасть можливість підвищити пропускну здатність систем в цілому.

Використання методики розрахунку струморозподілу на шинах тягових підстанцій, дозволяє досить просто визначити динаміку струмів фідерів та напруги живлення на струмоприймачах електровозів.

2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ В ТЯГОВИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розрахунок систем тягового електропостачання має характерні відмінності, що унеможливлює застосування традиційних методик розрахунку параметрів мереж. Через присутність певних допущень в існуючих методиках систем електропостачання тягових мереж використання сучасного математичного апарату врахувати дію неврахованих чинників.

На системами електропостачання тягових мереж впливає значна кількості параметрів детермінованого та стохастичного характеру. Для ефективного планування роботою тягових мереж необхідно враховувати ряд чинників: тип, кількість та вагу електропоїздів, міжстанційна дистанція, робоча схема пропускань тощо.

Електричні розрахунки тягових мереж змінного струму мають особливості, пов’язані індуктивно-залежними колами, що вимагає врахувувати електромагнітні процеси в перетворювачах електрорухомого складу.

2.1 Фізичні процеси споживання електричної енергії в системах електропостачання тягових мереж

В системах електропостачання тягових мереж перетворення електричної енергії супроводжується процесами випрямлення електроенергії на тягових підстанціях та електровозах.

В тягових підстанціях в мережах змінного струму здійснюється трансформацію первинної напруги до напруги, придатної для живлення електроприводів однофазного струму електрорухомого складу.

Мережі змінного однофазного струму через активно-індуктивний характер тягової мережі мають більші втрати напруги в порівнянні з мережами постійного струму при приблизно однаковій втраті напруги на тягових підстанціях.

Нестаціонарний характер тягових електровозів призводять до залежності параметрів мереж від особливостей тягових мереж. Напруга на затискачах струмоприймачів електровозів коливається в досить широких межах, що примушує при розрахунках режимів враховувати тісний зв’язок між розподілом та споживанням електричної енергії в системі тягового електропостачання.

Врахувати електровоз в системі електропостачання тягових мереж досить складно, через постійну зміну лінійної координати переміщення та, швидкість руху електровозу. Крім того, неможливо передбачити всі зміни в русі електровозу на тяговій дистанції Тому визначення струмів електровозу можливо шляхом вирішення системи диференційних рівнянь руху рухомого складу.

2.2 Обґрунтування моделі системи електропостачання тягової мережі

При проектуванні тягових мереж та аналізу їх ефективності або розрахунку аварійних режимів експлуатації необхідне визначення числових характеристик електричних значень тягової мережі

Розрахунки систем електропостачання тягових мереж можуть направлені на оптимізацію режимів їх роботи або аналіз використання нових пристроїв електропостачання тому з повинні враховувати багато різноманітних факторів, які впливають на вибір методики або розрахунку.

Також можливе використання оптимізаційних розрахунків для

визначення параметрів системи електропостачання тягових мереж з метою покращення показників їх роботи.

Головною проблемою при виконанні розрахунку режимів в системах електропостачання тягових мереж є особливості у використанні методів розрахунку миттєвих параметрів, що потребують значних математичних потужностей та застосування досить складаного математичного апарату для рішення задач з теорії графів, або визначення фазних координат.

Необхідність враховувати в існуючих методиках залежність параметрів тягового навантаження у часі і просторі створює складнощі при їх розрахунках. Використання аналітичних функції, які дозволять врахувати методах розрахунку просторово-часові стани тягового навантаження дозволить застосувати сучасні засоби математичного моделювання.

Розрахунки режимів тягових мереж в просторово-часових координатах направлені не тільки на відхилення напруги та втрат потужності в тягових мережах, а також повинні закони управління пристроями компенсації реактивної потужності; визначати рівень напруги на шинах тягових підстанцій, параметри якості електричної енергії, тощо.

Запропонована модель для розрахунку режимних параметрів з метою підвищення ефективності режиму роботи системи тягового електропостачання може бути розрахована лише програмними засобами шляхом визначення значень струмів, їх розподілу в контактній мережі, втрат напруги, витрат електричної енергії та показників якості електроенергії.

Попередньо необхідно прийняти певні спрощення у методиці розрахунку для протікаючих в системах електропостачання тягових мереж процесів.

2.3 Аналіз методів розрахунку параметрів систем підтримання постійної потужності

Проведемо дослідження залежностей зміни параметрів електроенергетичних процесів в схем живлення контактної мережі для формування методики розрахунку миттєвих схем Приймемо, що тягове навантаження задане потужністю, взявши за основу баланс потужностей для кожної миттєвої схеми.

Необхідно розглянути баланс для схеми з двостороннім живленням про роботі однієї одиниці рухомого складу на даній дільниці з незмінною потужністю навантаження P, схема дільниці наведена на рис. 2.1.

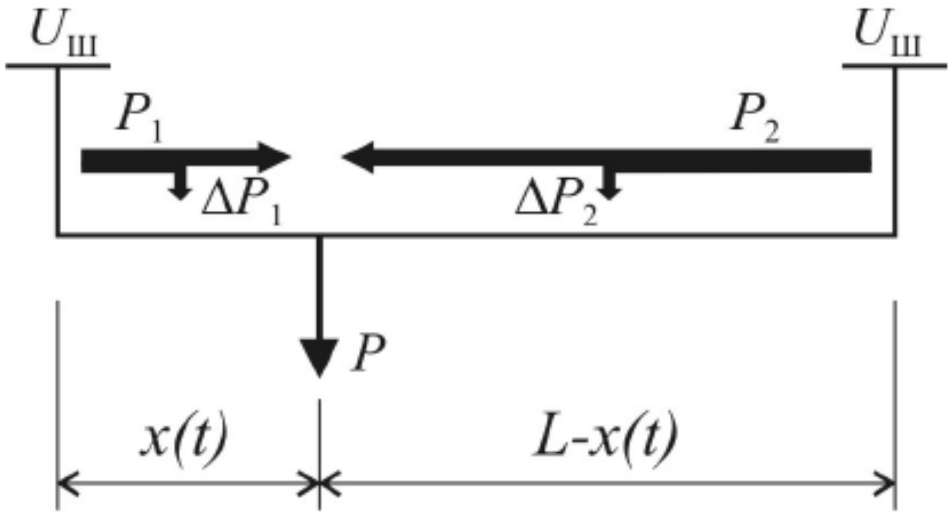


Рис. 2.1. Загальний вид схема дільниці з двостороннім живленням

Напругу на шинах двох суміжних тягових підстанцій незмінна. Тоді баланс потужностей для схеми 2.1 можна записати у вигляді:

$$P = P_1 - \Delta P_1 + P_2 - \Delta P_2 \qquad (2.1)$$

де Р1, Р2– потужності, що відходять від підстанцій;

ΔР1, ΔР2 – втрати потужності в мережі при передачі потужностей Р1 та Р2.

Для будь-якого моменту часу струм електровозу визначається за формулою:

$$P = U_{ш} I_1 - r_0 \cdot x \cdot I_1^2 + U_{ш} I_2 - r_0 \cdot (L - x) \cdot I_2^2. \qquad (2.2)$$

де I_1, I_2 – струм фідерів на шинах першої і другої підстанції;

$U_ш$ – напруга на шинах, В;

r_0 – питомий опір мережі, Ом/км;

х – координата розташування навантаження на схемі, км;

L – довжина ділянки, км.

Визначимо спожиту потужність Р через формули струморозподілу за формулою:

$$P = U_{ш} I \frac{L - x}{L} - r_0 \cdot x \cdot I^2 \frac{(L - x)^2}{L^2} + U_{ш} I \frac{x}{L} - r_0 \cdot (L - x) \cdot I^2 \frac{x^2}{L^2}. \qquad (2.3)$$

Після спрощення відносно струму I формула 2.3 прийме вид:

$$P = U_{ш} I - r_0 \left(x - \frac{x^2}{L} \right) I^2. \qquad (2.4)$$

З виразу (2.4) видно, що спожита електровозом потужність залежить від добутку струму та номінальної напруги, а відповідає втратам в мережі на ділянці від тягової підстанції до розрахункової точки Представимо (2.4) у вигляді цільової функції, яка прийме вид:

$$f(x) = r_0 \left(x - \frac{x^2}{L} \right) \qquad (2.5)$$

Вирішемо рівняння (2.5) відносно струму використавши для цього рівняння (2.4) форма матиме вид:

$$I(x)=\frac{U_{\text{ш}}-\sqrt{U_{\text{ш}}^2-4f(x)P(x)}}{2f(x)}. \tag{2.6}$$

Вирішення рівняння (2.7) відносно реальних параметрів мережі можна встановити залежність між втратою напруги та спожитою потужністю для будь-якої точки мережі. В якості прикладу розрахунки виконуватиму для характерного фрагменту тягової мережі довжиною 20 км з напругою 3,3 кВ, для рухомого складу з швидкістю 60 км за годину.

Структура балансу потужностей в мережі для вузлової схеми з точною секціонування мережі наведена на рис. 2.4.

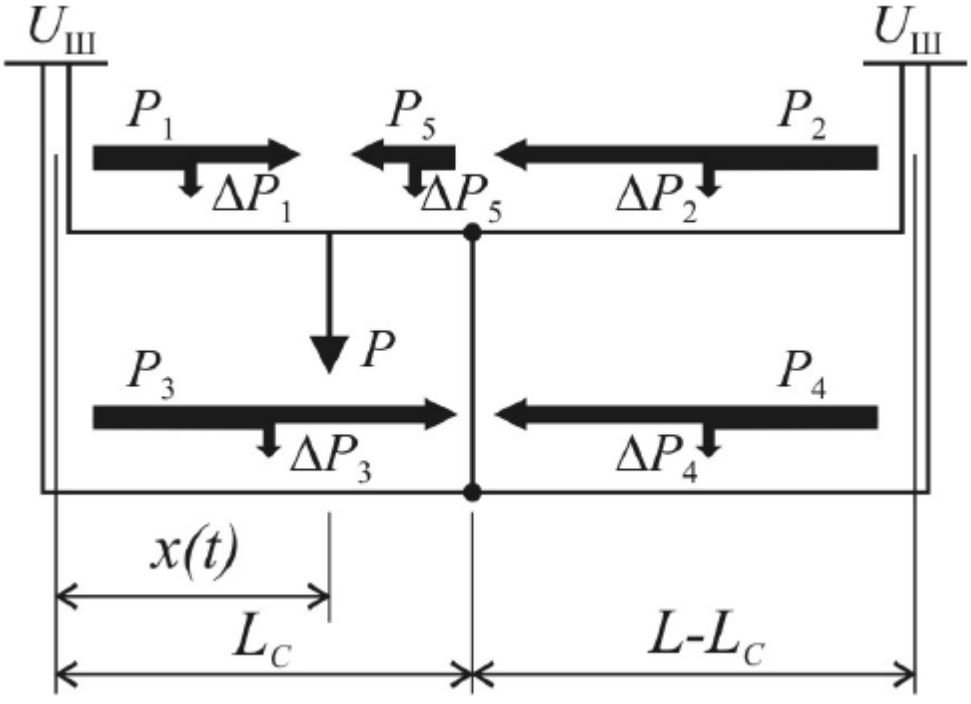


Рис. 2.2 Схема тягової мережі з секціонуванням

Для всякого моменту часу потужність електровозу визначається за формулою:

$$P = P_1 - \Delta P_1 + P_5 - \Delta P_5 \qquad (2.8)$$

Звідки:

$$P_5 = P_2 - \Delta P_2 + P_3 - \Delta P_3 + P_4 - \Delta P_4 \qquad (2.9)$$

Визначимо спожиту потужність для інших складових Р за формулами:

$$P_1 - \Delta P_1 = U_{ш} I_1 - r_0 \cdot x \cdot I_1^2;\ P_2 - \Delta P_2 = U_{ш} I_2 - r_0 \cdot (L - L_C) \cdot I_2^2$$

$$P_3 - \Delta P_3 = U_{ш} I_3 - r_0 \cdot L_C \cdot I_3^2;\ P_4 - \Delta P_4 = U_{ш} I_4 - r_0 \cdot (L - L_C) \cdot I_4^2$$

$$\Delta P_5 = r_0 \cdot (L_C - x) \cdot (I_2 + I_3 + I_4)^2$$

де I_1, I_3 та I_2, I_4 – струми фідерів на шинах першої та другої підстанцій відповідно.

Розрахуємо складові рівняння 2.9. формули струморозподілу:

$$P_1 - \Delta P_1 = U_{ш} I \left(1 - \frac{L + L_C}{2LL_C} \cdot x\right) - r_0 \cdot x \cdot I^2 \cdot \left(1 - \frac{L + L_C}{2LL_C} \cdot x\right)^2;$$

$$P_2 - \Delta P_2 = U_{ш} I \frac{x}{2L} - r_0 \cdot (L - L_C) \cdot I^2 \left(\frac{x}{2L}\right)^2;$$

$$P_3 - \Delta P_3 = U_{ш} I \left(\frac{L - L_C}{2LL_C} \cdot x\right) - r_0 \cdot L_C \cdot I^2 \left(\frac{L - L_C}{2LL_C} \cdot x\right)^2;$$

$$P_4 - \Delta P_4 = U_{ш} I \frac{x}{2L} - r_0 \cdot (L - L_C) \cdot I^2 \left(\frac{x}{2L}\right)^2;$$

$$\Delta P_5 = r_0 \cdot (L_C - x) \cdot I^2 \left(\frac{x}{2L} + \frac{x}{2L_C} \right)^2 .$$

Підставимо отримані значення до формули 2.8:

$$P_1 + P_5 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = U_{\text{ш}} I \left(1 - \frac{L + L_C}{2LL_C} x + \frac{x}{2L} + \frac{L - L_C}{2LL_C} x + \frac{x}{2L} \right) = U_{\text{ш}} I;$$

$$\Delta P_1 + \Delta P_5' = r_0 I^2 \left[x \left(1 - \frac{L + L_C}{2LL_C} x \right)^2 + (L - L_C) \left(\frac{x}{2L} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + L_C \left(\frac{L - L_C}{2LL_C} x \right)^2 + (L - L_C) \left(\frac{x}{2L} \right)^2 + (L_C - x) \left(\frac{x}{2L} + \frac{x}{2L_C} \right)^2 \right].$$

Виконаємо математичні спрощення:

$$\Delta P_1 + \Delta P_5' = r_0 I^2 \left[x - \left(\frac{L + L_C}{2LL_C} \right) x^2 \right]$$

Вирішимо це рівняння відносно формули 2.6 отримаємо цільову функцію позиціювання електровозу в мережі:

$$f(x) = r_0 \times \begin{cases} x - \left(\dfrac{L + L_C}{2LL_C} \right) x^2, 0 \le x \le L_C; \\ \dfrac{L \left(x - \dfrac{L_C}{2} \right)}{L - L_C} - \dfrac{\left(L - \dfrac{L_C}{2} \right) x^2}{L \left(L - L_C \right)}, L_C \le x \le L. \end{cases} \qquad (2.10)$$

Використовуючи формулу 2.10 можна отримати вузлові струми на шинах приєднань підстанції.

2.4 Розрахунок систем тягового електропостачання методом просторово-часового представлення

Для проведення оптимізаційних розрахунків системи електропостачання тягової мережі необхідно вирішення задачі з використанням методу просторово-часового представлення величини. Використання цього методу дозволить отримати вихідну інформацію для керування режимами в системах електропостачання тягових мереж за рахунок підвищення їх енергоефективності функціонування.

Просторово-часова модель системи тягового електропостачання ґрунтується на аналітичному описі основних електричних процесів функціями двох змінних, взаємозв'язок між якими визначається графіком

Представляємо параметри системи тягового електропостачання у вигляді профілю потужності електровозу за яким визначаються залежності розподілу струмів та втрат напруги в контактній мережі.

Використаємо метод функцій струморозподілу для аналітичного розрахунку значень функції струморозподілу в кожній точці тягової мережі. Визначення значення струморозподілу характеризує, яка частка струму електровозу I_e складає у струмі I_f шин фідеру тягової підстанції.

Таким чином струм фідеру тягової підстанції є добутком значення струморозподілу за місцезнаходженням електровозу на його струм:

$$\varphi_x = \frac{I_f}{I_e}. \qquad (2.11)$$

При виконання розрахунку для декількох електровозів, що працюють у фідерній зоні використовується метод суперпозиції.

Розрахунок струму фідера для двохсторонньої схеми живлення можливий без використання вирівнювального струму, формула для його

визначення на лінії довжиною L має вид:

$$I_{\Phi 1}(x) = I\frac{L-x}{L};\ I_{\Phi 2}(x) = I\frac{x}{L}.$$

Струм фідеру для вузлової схеми визначається:

$$I_{\Phi 1}(x) = I \times \begin{cases} 1 - \dfrac{L + l_C}{2Ll_C}x,\ 0 \le x \le l_C; \\ \dfrac{1}{2}\left(1 - \dfrac{x}{L}\right),\ l_C \le x \le L; \end{cases} \quad I_{\Phi 2}(x) = I \times \begin{cases} \dfrac{L - l_C}{2Ll_C}x,\ 0 \le x \le l_C; \\ \dfrac{1}{2}\left(1 - \dfrac{x}{L}\right),\ l_C \le x \le L; \end{cases}$$

де l_C – точка встановлення секціонування, на відстані від першої підстанції, км.

$$I_{\Phi 3}(x) = I \times \begin{cases} \dfrac{x}{2L},\ 0 \le x \le l_C; \\ 1 - \dfrac{(2L - l_C)(L - x)}{2L(L - l_C)}, \\ l_C \le x \le L; \end{cases} \quad I_{\Phi 4}(x) = I \times \begin{cases} \dfrac{x}{2L},\ 0 \le x \le l_C; \\ \dfrac{l_C(L - x)}{2L(L - l_C)},\ l_C \le x \le L; \end{cases}$$

Струми фідерів при використанні паралельної схеми живлення визначаються за формулами:

Для ділянки першого і другого фідерів:

$$I_{\Phi 1}(x) = I \times \begin{cases} 1 - \dfrac{L + l_{\Pi 1}}{2Ll_{\Pi 1}}x, \\ 0 \le x \le l_{\Pi 1}; \\ \dfrac{1}{2}\left(1 - \dfrac{x}{L}\right), \\ l_{\Pi 1} \le x \le L; \end{cases} \quad I_{\Phi 2}(x) = I \times \begin{cases} \dfrac{L - l_{\Pi 1}}{2Ll_{\Pi 1}}x, \\ 0 \le x \le l_{\Pi 1}; \\ \dfrac{1}{2}\left(1 - \dfrac{x}{L}\right), \\ l_{\Pi 1} \le x \le L; \end{cases}$$

Для ділянок 3 та 4 фідерів:

$$I_{Ф3}(x) = I \times \begin{cases} \dfrac{x}{2L}, 0 \le x \le l_{П2}; \\ 1 - \dfrac{(2L - l_{П2})(L - x)}{2L(L - l_{П2})}, \\ l_{П2} \le x \le L; \end{cases} \quad I_{Ф4}(x) = I \times \begin{cases} \dfrac{x}{2L}, 0 \le x \le l_{П2}; \\ \dfrac{l_{П2}(L - x)}{2L(L - l_{П2})}, \\ l_{П2} \le x \le L; \end{cases}$$

де $l_{Пi}$ – координата точки паралельного з'єднання підвісок на відстані від першої підстанції, км.

Використовуючи метод суперпозиції визначимо частку струму від кожного електровозу в струмі фідеру, враховуючи протікання вирівнюючого струму в мережі за формулою:

$$I_{Ф1}(t) = \sum_{i=1}^{n_1} \varphi_1\left(x_Г(2i-1,t)\right) I_П(2i-1,t) + \sum_{i=1}^{n_2} \varphi_2\left(x_Г(2i,t)\right) I_П(2i,t) + I_{вир}(t); \quad (2.12)$$

$$I_{Ф4}(t) = \sum_{i=1}^{n_1} \varphi_4\left(x_Г(2i-1,t)\right) I_П(2i-1,t) + \sum_{i=1}^{n_2} \varphi_3\left(x_Г(2i,t)\right) I_П(2i,t) - I_{вир}(t),$$

де φ_1 - φ_4 – значення функції струморозподілу фідеру 1-4 тягової підстанції;

$I_П$ – функція результатів тягових розрахунків для електровозу;

n – номер електровозу

t – час або момент проведення заміру;

i, $(i - 1)$ – номери непарного та парного електровозу на дистанції;

n_i – кількість поїздів на колії.

Динаміка зміни струмів фідеру наведена на рис. 2.3.

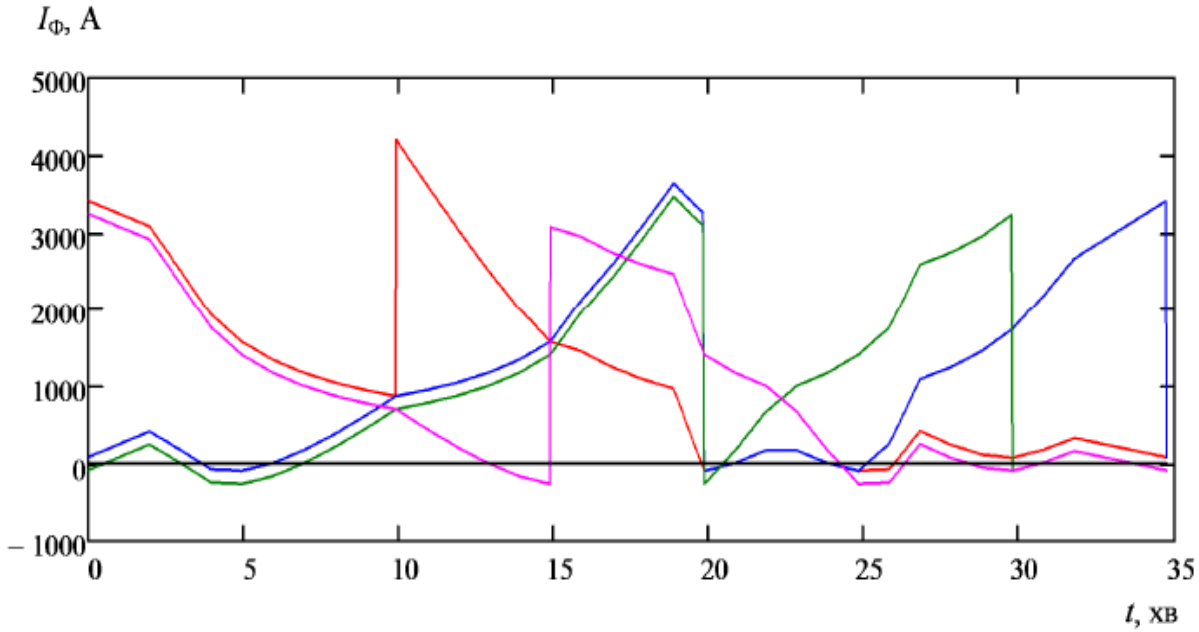


Рис. 2.3. Струми фідерів на дистанції тягових мереж

Знаючи струми фідерів та графіку руху електровозу визначаємо струморозподіл на першій колії за формулою:

$$I_{К1}(n,t,x)=\begin{cases}\begin{cases}\begin{cases}I_{Ф1}(n,t),\ x\in[0;x_Г(n,t)];\\ -\left[I_{Ф2}(n,t)+I_{Ф3}(n,t)+I_{Ф4}(n,t)\right],\ x\in(x_Г(n,t);l_С];\\ -I_{Ф3}(n,t),\ x\in(l_С;L];\end{cases}\\ x_Г(n,t)\in[0;l_С];\end{cases}\\ \begin{cases}\begin{cases}I_{Ф1}(n,t),\ x\in[0;l_С];\\ I_{Ф1}(n,t)+I_{Ф2}(n,t)+I_{Ф4}(n,t),\ x\in(l_С;x_Г(n,t)];\\ -I_{Ф3}(n,t),\ x\in(x_Г(n,t);L];\end{cases}\\ x_Г(n,t)\in(l_С;L];\end{cases}\\ n=2i-1;\end{cases}\\ \begin{cases}I_{Ф1}(n,t),\ x\in[0;l_С];\\ -I_{Ф3}(n,t),\ x\in(l_С;L];\end{cases}\\ n=2i.\end{cases}\qquad(2.13)$$

Використовуючи метод суперпозиції отримаємо функцію струморозподілу в першій колії тягової мережі з урахування руху всіх електровозів:

$$I_{К1}(t,x)=\sum_{i=1}^{n_1} I_{К1}(2i-1,t,x)+\sum_{i=1}^{n_2} I_{К1}(2i,t,x)+I_{вир}(t). \qquad (2.14)$$

Підставивши у формулу (2.14) номер електровозу та тривалість його руху побудуємо графіки струморозподілу (рис. 2.4, рис. 2.5), наприклад для першої колії.

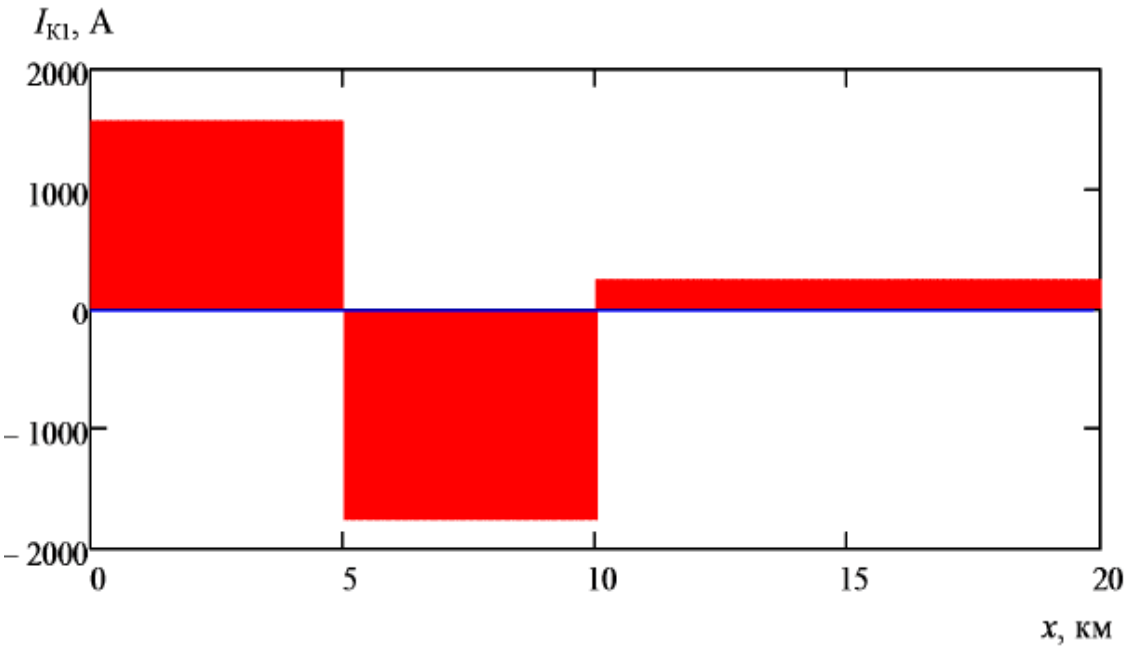


Рис. 2.4. Розподіл струмів для моменту руху електровозу впродовж пяти хвилин.

Для визначення функції розподілу втрат напруги необхідно значення струморозподілу (2.14) помножити на розрахункову відстань та питомий опір тягової мережі.

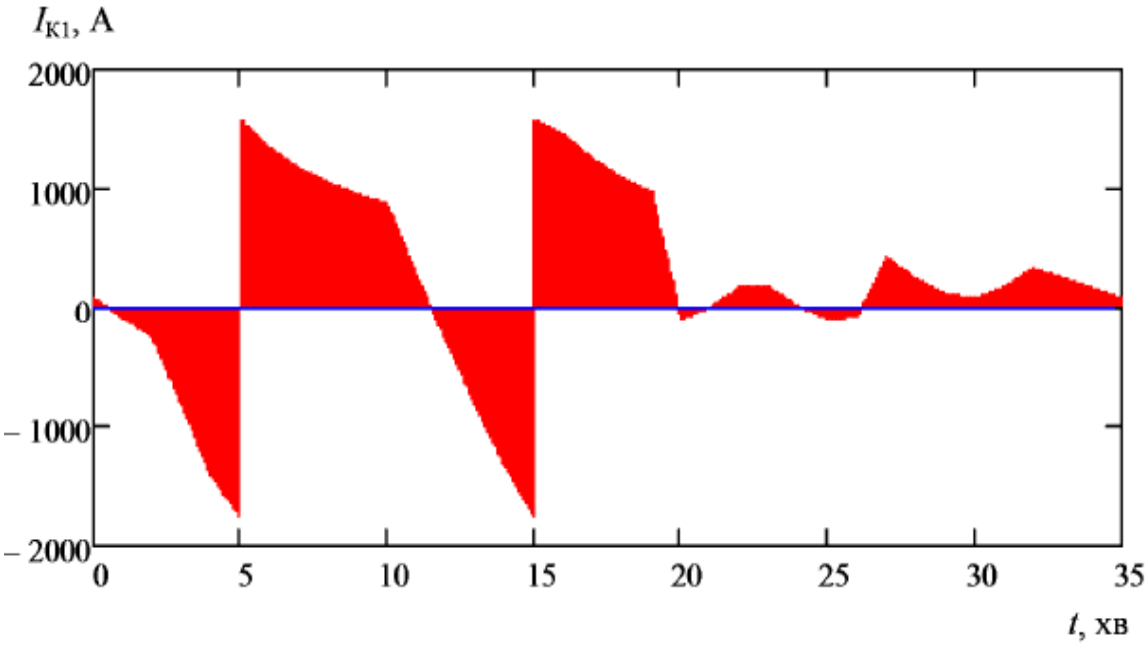


Рис. 2.5. Струм в тяговій мережі визначений на дистанції п’ять кілометрів

Розподіл втрат напруги в тяговій мережі з врахуванням перетікань вирівнюючих струмів та руху електровозів визначається за формулою:

$$\Delta U_{К1}(t,x)=\sum_{i=1}^{n_1}\Delta U_{К1}(2i-1,t,x)+\sum_{i=1}^{n_2}\Delta U_{К1}(2i,t,x)+I_{вир}(t)\cdot r_0\cdot x\,.$$

(2.15)

Домноживши втрати напруги у формулі 2.15 на струморозподів у відповідній й колії отримаємо значення втрат потужності в тяговій мережі для часу t та відстані x.

$$\Delta P_К(t,x)=\left|I_{К1}(t,x)\cdot\Delta U_{К1}(t,x)\right|+\left|I_{К2}(t,x)\cdot\Delta U_{К2}(t,x)\right| \quad (2.16)$$

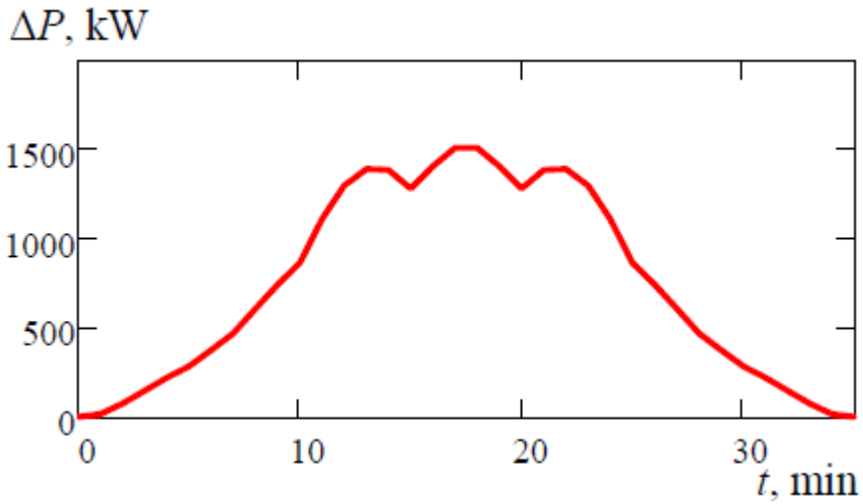
Проінтегрувавши вираз 2.16. відносно тривалості руху електровозу t можна визначити розподіл втрат електроенергії в будь-якій точці розрахункової ділянки.

Виконавши інтегрування функції розподілу втрат потужності (2.16)

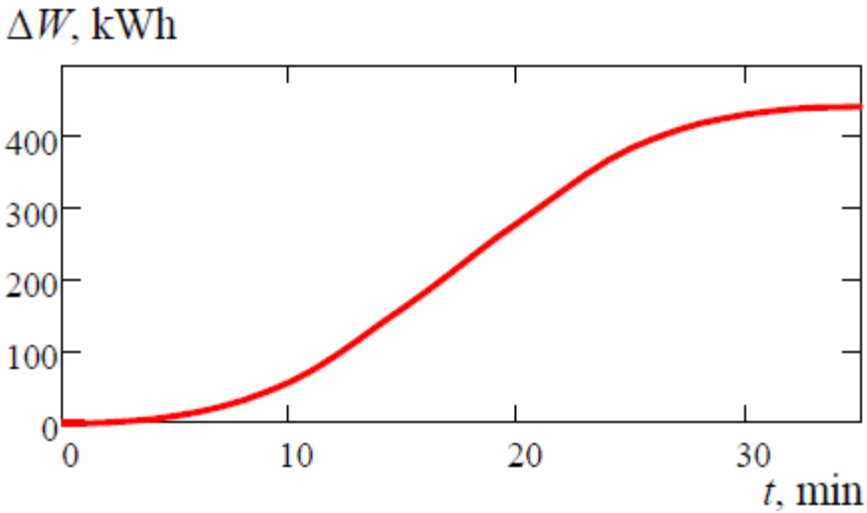
відносно часу руху та відстані, що пройшов електровоз визначимо втрати електроенергії в мережі за розрахунковий період:

$$\Delta W = \frac{1}{L \cdot T} \int_0^T \int_0^L \Delta P_K(t,x)\, dxdt \qquad (2.17)$$

Графіки втрати потужності та енергії в тяговій мережі наведені на рис. 2.6.



а)



б)

Рис. 2.7. Графіки втрати в тяговій мережі
втрати потужності (а); втрати електроенергії (б).

2.5 Аналіз методів розрахунку схем в системах тягового електропостачання

Параболічна форма функція напруги електровозу на шинах тягової підстанції при розташуванні його біля підстанції обумовлює її зниження напруги знижуватись. Для спрощення розрахунків моделі приймаємо, що електровоз рухається прямолінійною ділянкою без прискорення швидкості.

Для схеми тягової мережі з двостороннім живленням значення напруги на струмоприймачі згідно цільової функції (2.5) залежність зміни опору в мережі буде мати також параболічну форму.

$$f(x)=\frac{r_0 x\cdot r_0(L-x)}{r_0 x+r_0(L-x)}=r_0\left(x-\frac{x^2}{L}\right), \qquad (2.18)$$

де r_0 – питомий опір, Ом/км;

L – довжина дистанції тягової мережі, км;

x – точка розташування електровозу, км.

Для розрахункової схеми зображеної на рис. 2.8 визначимо цільову функцію зміни опору в тяговій мережі для найпоширеніших схем в симетричному режиму навантаження.

Визначення цих функцій дозволяє виразити частки струму фідера відносно струму навантаження, приймаючи до уваги його розташування. Проведемо аналітичне дослідження узагальненої схеми (рис. 2.8).

Для двосторонньої вузлової схеми тягових мереж функція (2.18) для кожного фідеру визначається за формулою:

$$\varphi_1(x)=1-\frac{x}{L};\ \varphi_2(x)=0;\ \varphi_3(x)=\frac{x}{L};\ \varphi_4(x)=0.$$

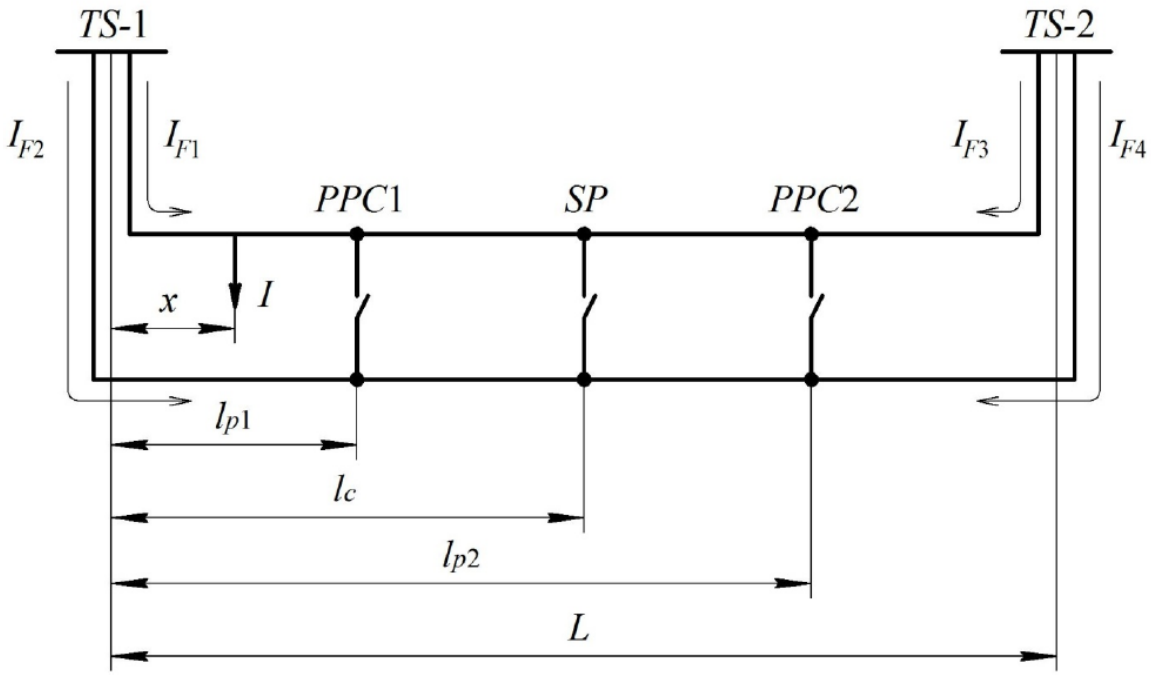


Рис. 2.8. Розрахункова схема тягової мережі для симетричного режиму

Графічний вид отриманих функцій представлений на рис. 2.9

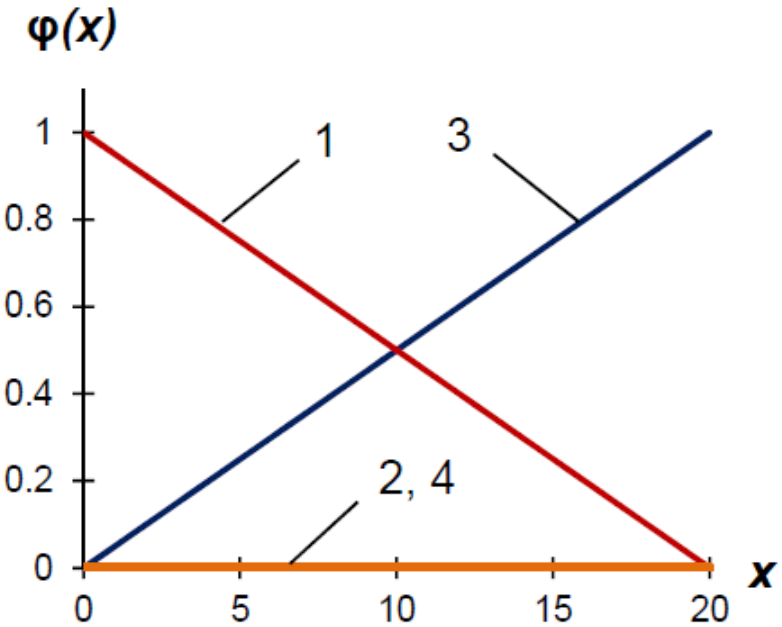


Рис. 2.9. Значення функції струморозподілу для двосторонньої схеми живлення тягової мережі.

Для вузлової схеми живлення тягових мереж функція (2.18) для кожного фідеру визначається за формулою:

$$\varphi_1(x)=\begin{cases}1-\dfrac{L+l_c}{2Ll_c}\cdot x, & 0\le x\le l_c;\\ \dfrac{1}{2}\left(1-\dfrac{x}{L}\right), & l_c<x\le L;\end{cases}\qquad \varphi_2(x)=\begin{cases}\dfrac{L-l_c}{2Ll_c}\cdot x, & 0\le x\le l_c;\\ \dfrac{1}{2}\left(1-\dfrac{x}{L}\right), & l_c<x\le L;\end{cases}$$

$$\varphi_3(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{2L}, & 0\le x\le l_c;\\ 1-\dfrac{(2L-l_c)(L-x)}{2L(L-l_c)}, & l_c<x\le L;\end{cases}\qquad \varphi_4(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{2L}, & 0\le x\le l_c;\\ \dfrac{l_c(L-x)}{2L(L-l_c)}, & l_c<x\le L.\end{cases}$$

Графічний вид отриманих функцій представлений на рис. 2.10

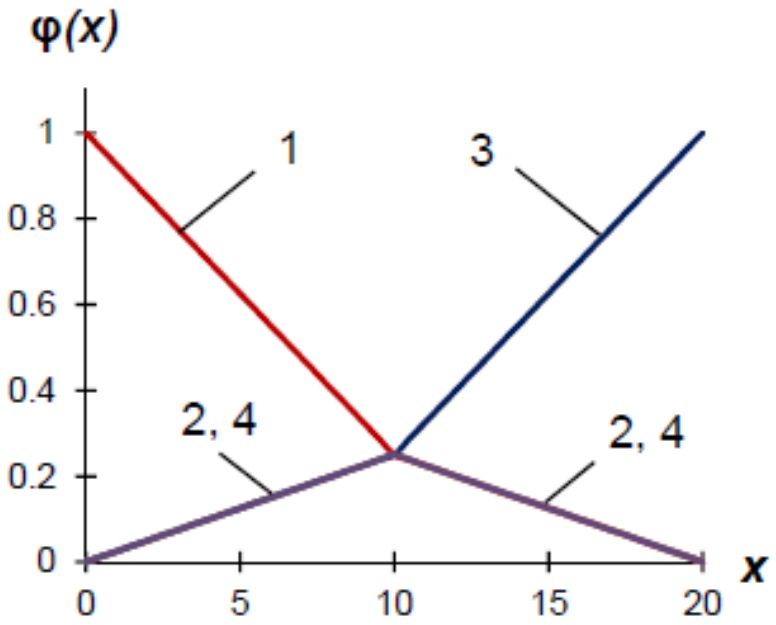


Рис. 2.10. Значення функції струморозподілу для вузлової симетричної схеми живлення тягової мережі.

Для паралельної схеми живлення тягових мереж функція (2.18) для кожного фідеру визначається за формулою:

$$\varphi_1(x)=\begin{cases}1-\dfrac{L+l_{p1}}{2Ll_{p1}}\cdot x, & 0\le x\le l_{p1};\\ \dfrac{1}{2}\left(1-\dfrac{x}{L}\right), & l_{p1}<x\le L;\end{cases}\qquad \varphi_2(x)=\begin{cases}\dfrac{L-l_{p1}}{2Ll_{p1}}\cdot x, & 0\le x\le l_{p1};\\ \dfrac{1}{2}\left(1-\dfrac{x}{L}\right), & l_{p1}<x\le L;\end{cases}$$

$$\varphi_3(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{2L}, & 0\le x\le l_{p2};\\ 1-\dfrac{(2L-l_{p2})(L-x)}{2L(L-l_{p2})}, & l_{p2}<x\le L;\end{cases}\qquad \varphi_4(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{2L}, & 0\le x\le l_{p2};\\ \dfrac{l_{p2}(L-x)}{2L(L-l_{p2})}, & l_{p2}<x\le L.\end{cases}$$

Графічний вид отриманих функцій представлений на рис. 2.11

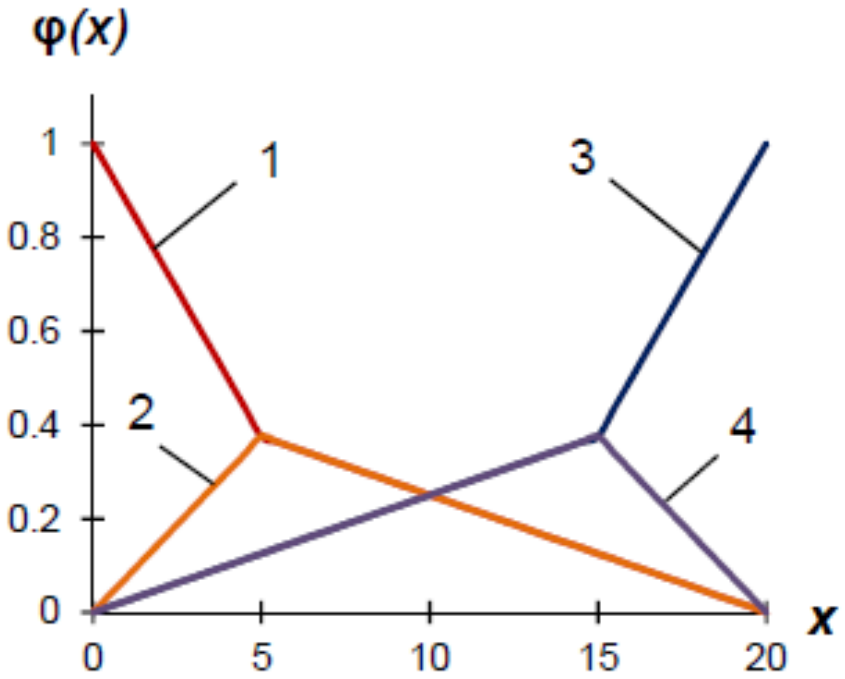


Рис. 2.11. Значення функції струморозподілу для паралельної схеми живлення тягової мережі.

Виведена функція представляє опір мережі, через який виникає спад напруги в розрахунковій точці, в узагальненому виді її можна представити:

$$f_F(x) = \frac{\Delta U^{(F)}(x)}{I_F(x)}, \tag{2.19}$$

При односторонньому живлені схеми загальна функцію опору розрахункового фідеру:

$$f_{Fi}(x) = \frac{f(x)}{\varphi_i(x)}. \tag{2.20}$$

Результатом розрахунку систем електропостачання тягових мереж є струми фідерів, втрати потужності і напруга на затискачах струмоприймачів.

Струми фідерів, як вже наголошувалося вище є добутком струму електровозу на його функцію струморозподілу, звідки:

$$I_{Fi}(x) = I(x) \cdot \varphi_i(x).$$

Якщо на на міжпідстанційній дистанції присутні декілька електровозів, то використовуємо метод суперпозиція струмів кожного навантаження:

$$I_{Fi}(x) = \sum_{j=1}^{n} I_j(x) \cdot \varphi_{i_j}(x),$$

де j – номер електровозу на міжпідстанційній дистанції;

n – кількість електровозів у схемі живлення.

Значення напруги на струмоприймачі навантаження виходячи з виразу (2.19) визначається:

$$U(x) = U_{Ш} - I(x) \cdot f(x).$$

Для мережі в якій використовується більше ніж одна колія значення напруги на струмоприймачі електровозу визначається:

$$U_j(x) = U_{Ш} - I_j(x) \cdot f(x) - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{n_1} \Delta U'_k(x, x_k) - \sum_{k=n_1}^{n_1+n_2} \Delta U''_k(x, x_k) \qquad (2.21)$$

де $U_{Ш}$ – напруга на шинах підстанції, В

k – номер навантаження на розрахунковій колії

$\Delta U'_k$ та $\Delta U''_k$ – функція просторового спаду напруги на розрахунковій та суміжній коліях.

Графічний вид отриманої функції (2.21) представлений на рис. 2.12

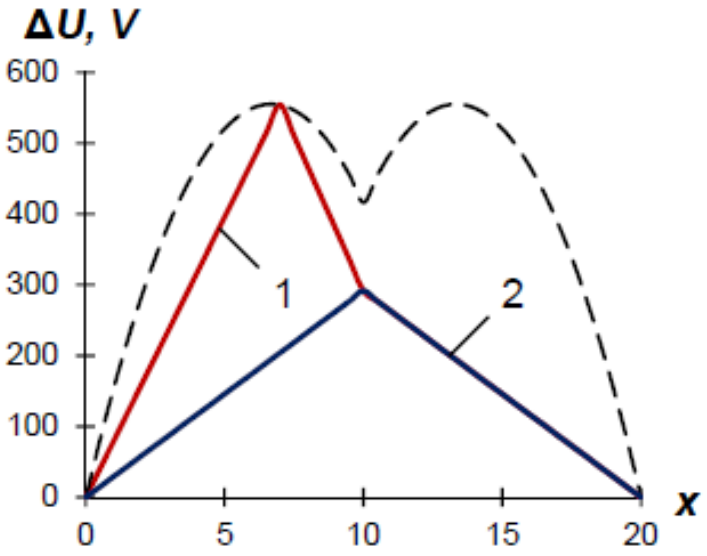


Рис. 2.12. Функції розподілу падіння напруги для симетричної вузлової схеми

Втрати потужності в контактній мережі можна визначити використовуючи струми фідерів та функції їх опору:

$$\Delta P(x) = \sum_{i=1}^{N_F} I_{F_i}^2(x) \cdot f_{F_i}(x), \qquad (2.22)$$

Втрати потужності в контактній мережі в загальному виді можна визначити за формулою:

$$\Delta P(x) = I^2(x) \cdot f(x). \tag{2.23}$$

Графіки отриманих функціональних залежностей за формулами (2.34), (2.35) приведені на рис. 2.35 на прикладі симетричної вузлової схеми живлення.

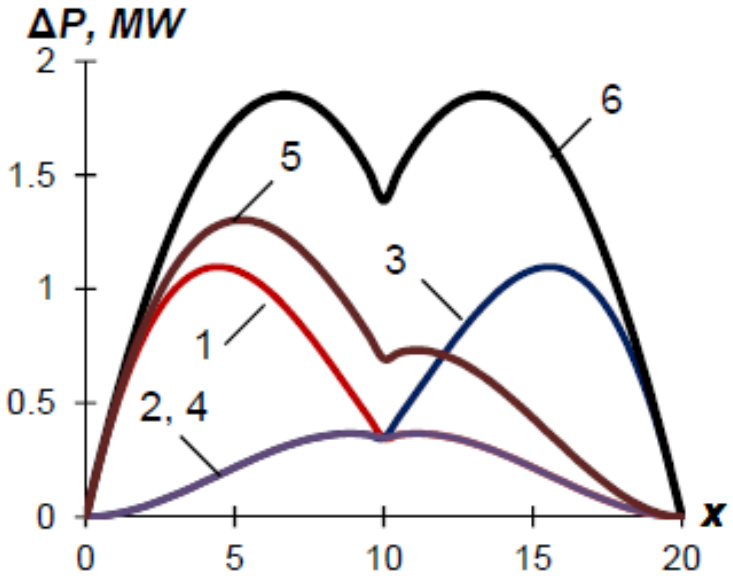


Рис. 2.13. Розподіл втрат потужності для симетричної вузлової схеми живлення:

1-4 – розподіл втрат на фідерах тягових підстанцій; 5 – втрати потужності для одної підстанції; 6 – сумарні втрати в контактній мережі

Використовуючи комплексну форму представлення електричних величин схеми, виконуючі алгебраїчні перетворення над комплексними числами, дану методику можна використати і для тягових мереж змінного струму.

2.6 Розрахунок багатосекційних систем електропостачання тягових мереж

В практиці система електропостачання тягових мереж, як правило багатопідстанційна. Проведемо розрахунок функцій струморозподілу для такої мережі. Розрахункова схема багатопідстанційної мережі наведена на рис. 2.14, відповідна їй схема заміщення на рис. 2.15.

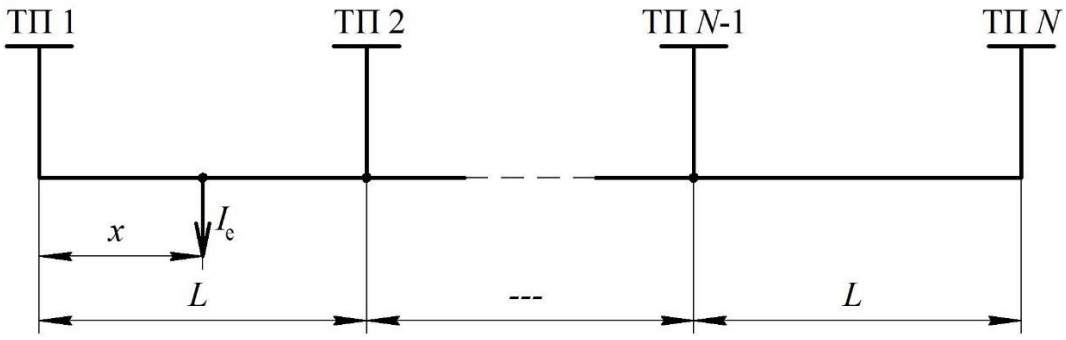


Рис.2.14. Розрахункова схема багатопідстанційної мережі

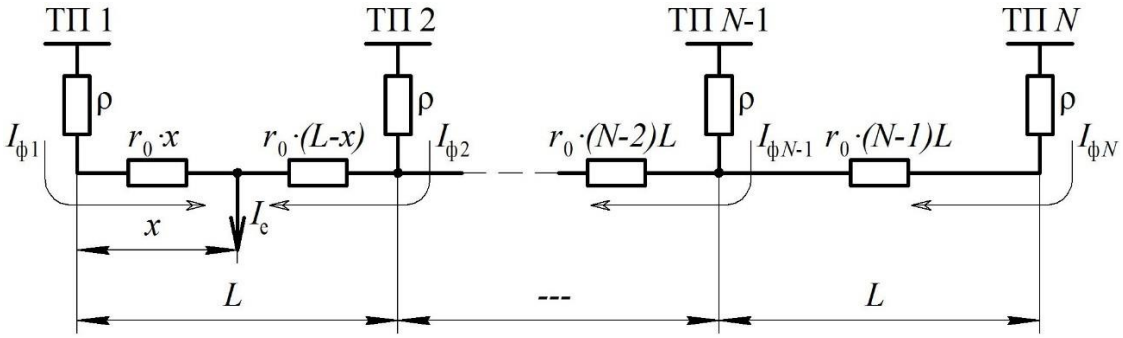


Рис. 2.15 Схема заміщення

Струми фідера тягової підстанцій відносно положення електровозу ***x*** визначається за формулою:

$$I_{\phi i} = \frac{\Delta U}{R_{\phi i}}, \qquad (2.24)$$

де ΔU – падіння напруги відносно загального опору дистанції, В;

$R_{\text{ф}i}$ – опір дистанції еквівалентної схеми.

На рис. 2.16. наведена еквівалентна схема заміщення

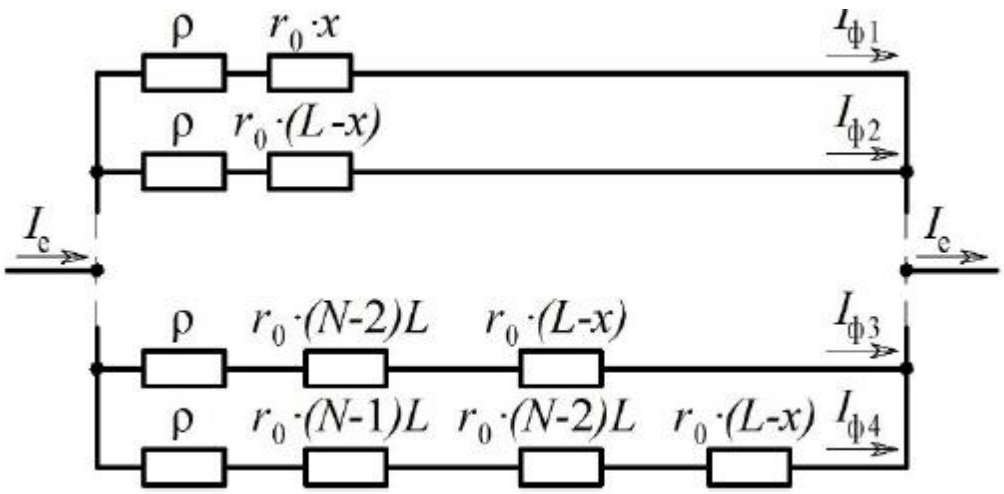


Рис. 2.16. Еквівалентна схема заміщення дистанції

Падіння напруги можна визначається за формулою:

$$\Delta U = I_{\text{e}} \cdot R_{\Sigma}, \tag{2.25}$$

де I_{e} – еквівалентний струм навантаження, А;

R_{Σ} –загальний опір системи, Ом.

Для схеми на рис. 2.16. загальне значення опору визначається:

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_{\text{ф}1}} + \frac{1}{R_{\text{ф}2}} + \ldots + \frac{1}{R_{\text{ф}(N-1)}} + \frac{1}{R_{\text{ф}N}},$$

Враховуючи вираз (2.25) виразимо функцію струморозподілу (2.5), що після підстановок і спрощень прийме вид:

$$\varphi_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N} \frac{R_i}{R_j}}, \text{ або } \varphi_i = \frac{1}{R_i \sum_{j=1}^{N} \frac{1}{R_j}}. \tag{2.26}$$

Результати розрахунків наведені на графіках струмів дистанцій тягових підстанцій, напруги електровозу та втрат потужності в мережі для розрахункової схеми.

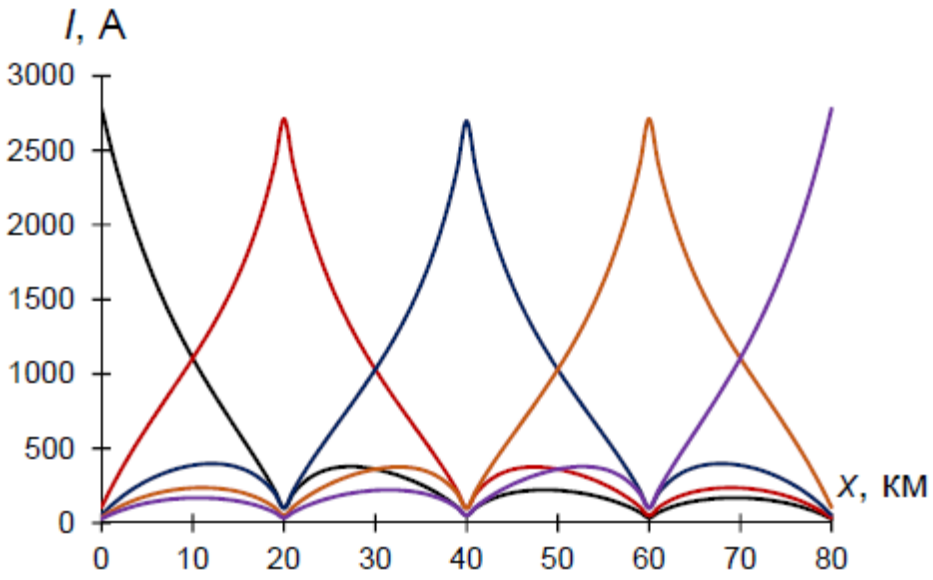


Рис. 2.17. Розподіл струмів на дистанції тягових мереж без контролю потужності.

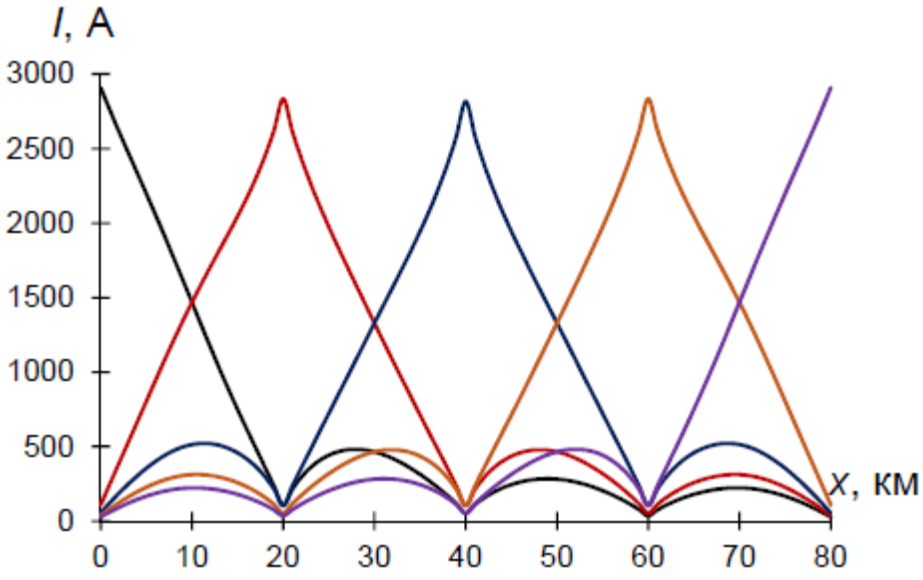


Рис. 2.18. Розподіл струмів на дистанції тягових мереж з контролем потужності електровозу.

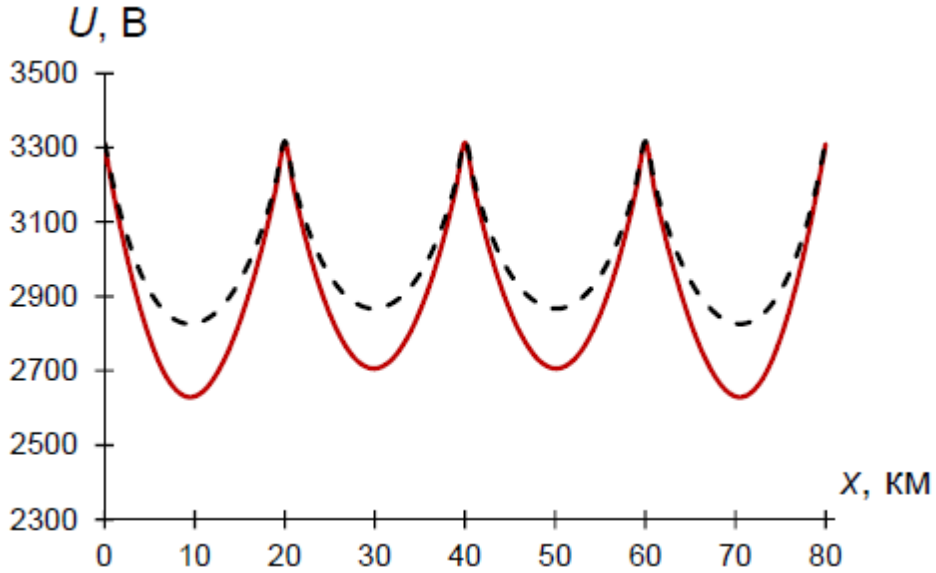


Рис. 2.19. Напруга на шинах електровозу з контролем потужності електровозу потужності (суцільна) та без контролю потужності (пунктирна).

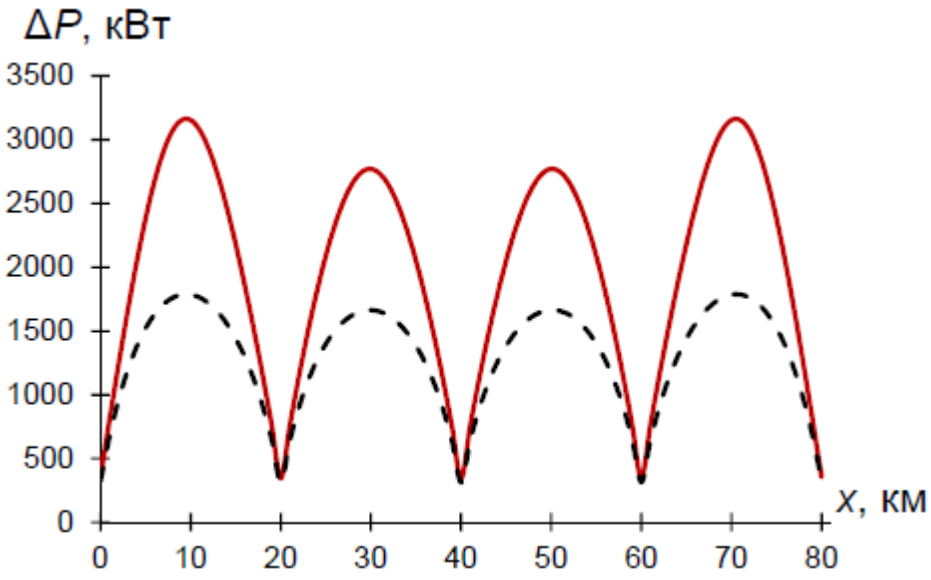


Рис. 2.20. Втрати потужності мережі при контролі потужності (суцільна) та без контролю потужності електровозу (пунктирна)

Висновки до розділу 2

Розрахунки систем електропостачання тягових мереж потребують врахування факту, що параметри в цій системі електропостачання залежать навантаження та його місцезнаходження.

В розрахунках навантаження представлено джерелом ідеального струму, що ускладнює розрахунки струмів, напруги на шинах електровозу та втрати потужності в мережі. Без контролю потужності в мережі похибка значно збільшується.

Враховуючи баланс та розподіл потужностей в схемах живлення контактної мережі визначені функції опору, що дозволили встановити залежність зміни опору тягової мережі від навантаження електровозу. Використана методика розрахунку дозволяє провести електричні розрахунки системи для заданої потужності та реального рівня напруги на шинах електровозу.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ В МЕРЕЖАХ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРО- ПОСТАЧАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ

3.1 Постановка задачі проведення експериментальних досліджень

Проведення вимірювань в системах електропостачання тягових мереж характеризується таким же підходом, як і до вирішення багатокритеріальної задачі.

При проведенні вимірювань в електричних мережах необхідно виконати підготовку та налаштування вимірювальної техніки.

Мінімальний інтервал вимірювань становить 24 год, антервал вимірювань може бути збільшено до 3 діб.

Отримані результати після первинної обробки піддаються статистичній обробці та порівнюються з даними отриманими від інших систем.

Тягові мережі змінного струму вимагають визначення значень перетоків потужності між підстанціями; перевірка режиму напруги на шинах електровозів; оцінка показників якості електроенергії.

Для вимірювань режимних параметрів необхідно використовувати аналізатори якості електричної енергії.

Для вимірювань на тяговій підстанції використовувалася схема наведена на рис. 3.1, що дозволяє розрахувати баланс та втрати електроенергії на тяговій підстанції.

Так як тягові підстанції часто отримують живлення різних енергосистем, то необхідно враховувати кут зсуву фаз між векторами напруги, від джерел живлення дистанції. Для вимірювання кута зсуву фаз, використовувалася схема наведена на рис. 3.3.

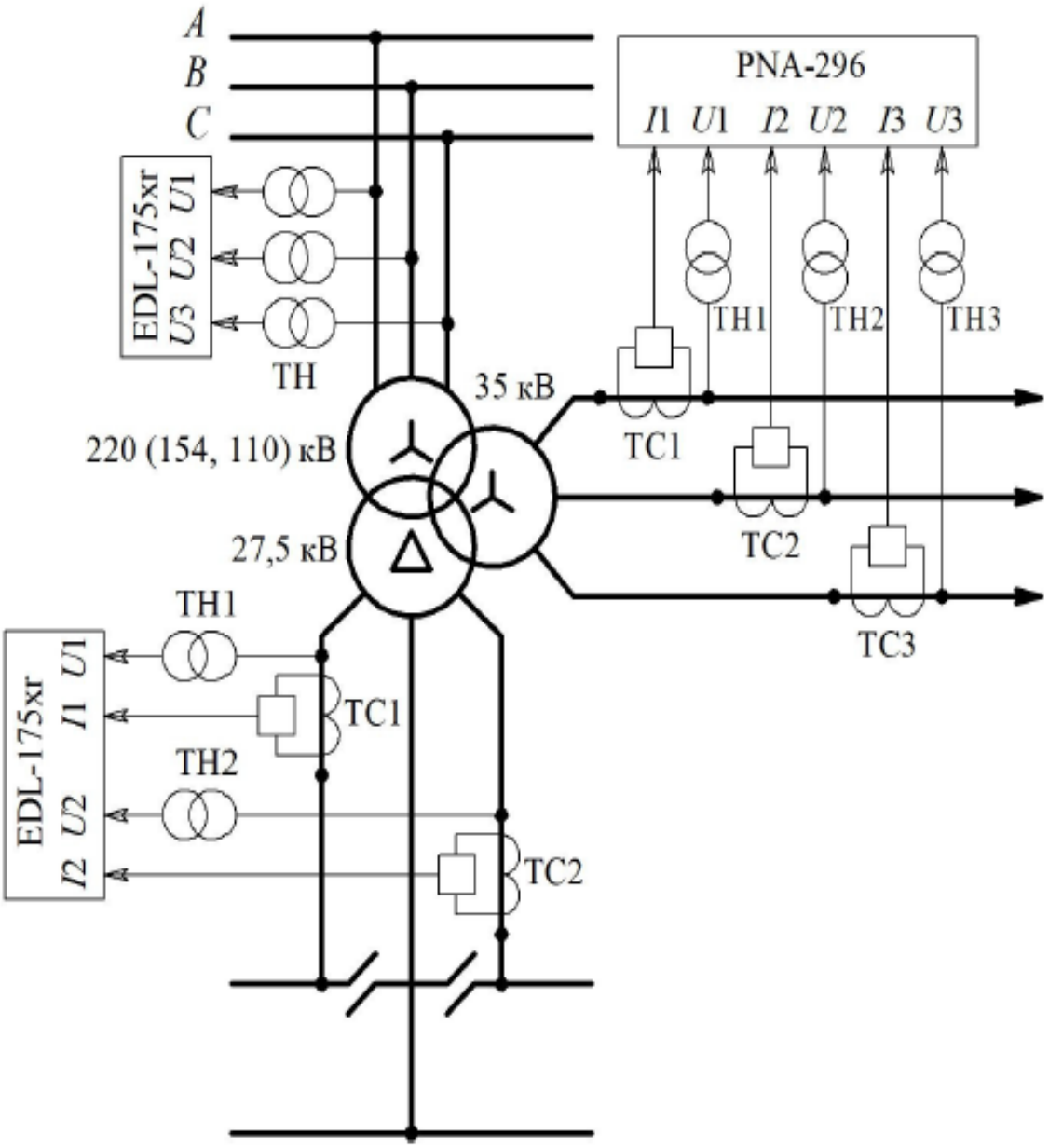


Рис. 3.1. Схема організації вимірюваньрежимних параметрів та показників якості електроенергії на тяговій підстанції.

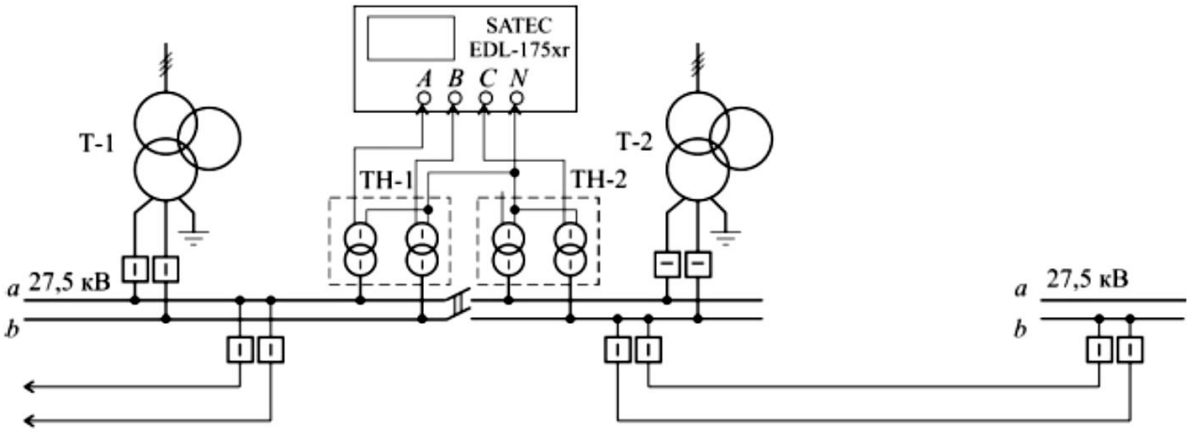


Рис 3.2. Схема вимірювань кута зсуву фаз між фазами напруги на тяговій підстанції

Для отримання повної інформація про спожиту електроенергію, необхідно також провести вимірювання струмів та напруг в колах змінного струму електровозу. Вимірювання в силових колах проводять для отримання інформації про рівень напруги на шинах електровозу під час руху. Схема контролю режимних параметрів наведена на рис. 3.3.

Схема для проведення досліджень тягових мережах з постійним струмом наведена на рис. 3.4.

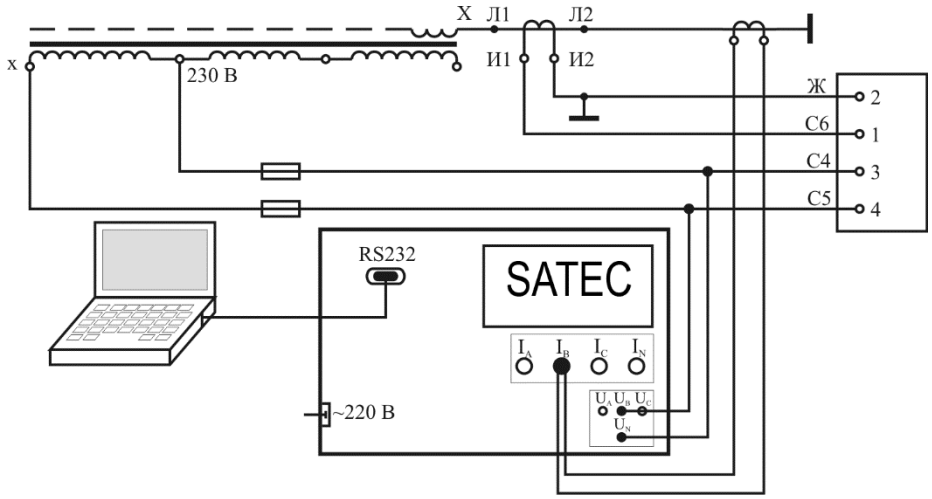


Рис. 3.3. Підключення мультиметра- аналізатора у вимірювальні кола електровозу

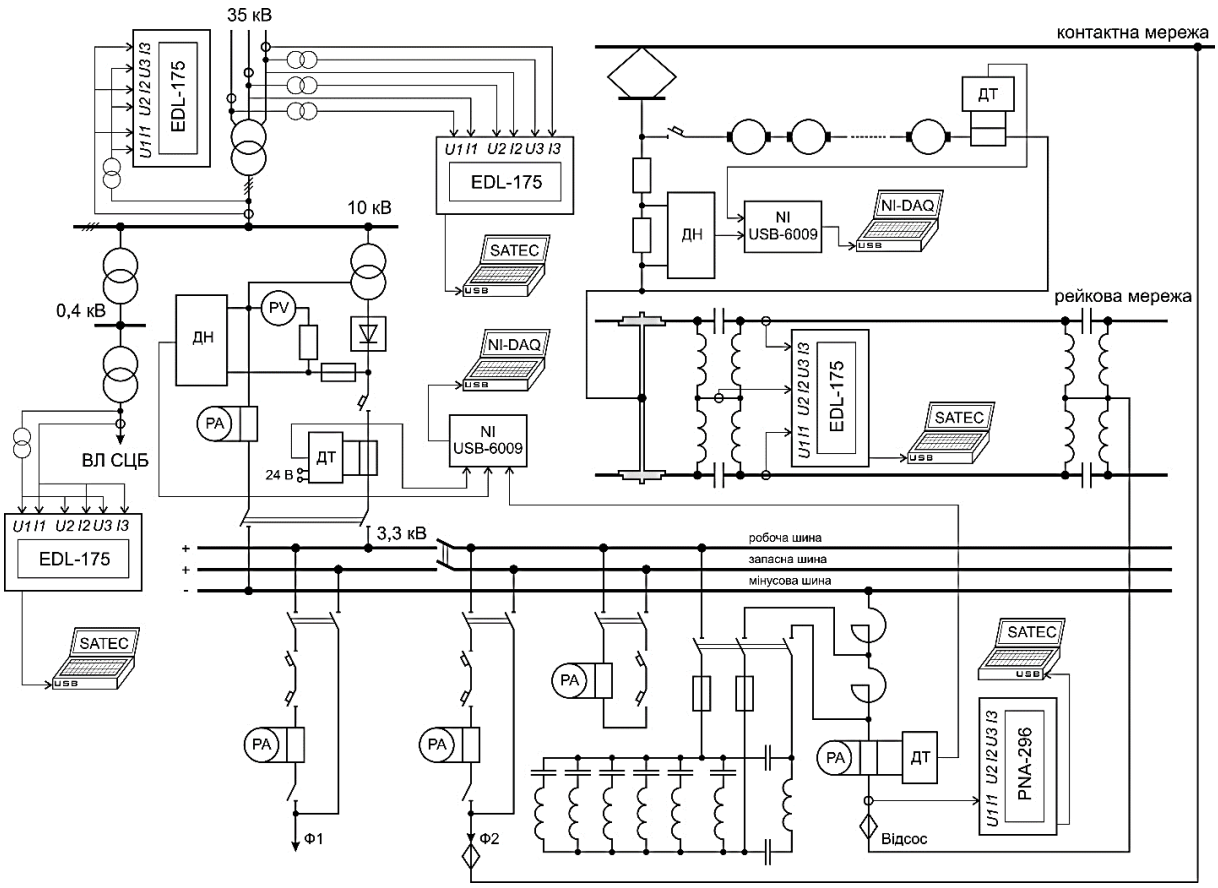


Рис. 3.4. Організація вимірювань в тягових мережах з постійним струмом

3.2 Оцінка показників якості електроенергії в тягових мережах

Параметри систем електропостачання тягових мереж на постійному або змінного струму мають відповідати нормованим показникам якості електричної енергії, за стандартом ГОСТ 13109-97.

Для проведеня досліджень обрана група тягових підстанцій та відповідні ділянки контактної мережі що наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Об’єкти досліджень «тягові підстанції»

№ ТП	Назва	Первинна напруга
змінний струм		
I	ЕЧЕ-Знам’янка	154 кВ
II	ЕЧЕ-Олександрія	154 кВ
III	ЕЧЕ-Шевченка	154/110 кВ
IV	ЕЧЕ-Чубівка	110 кВ
V	ЕЧЕ-Полтава	110 кВ
VI	ЕЧЕ-Курилівка	110 кВ

Таблиця 3.2 – Об’єкти досліджень «електрифіковані ділянки»

Назва	Тип електровозу
змінний струм	
Користівка – Кременчук	ВЛ-80Т
Котовськ – Одеса	2ЕС5К
Знам’янка – П’ятихатки	ВЛ-80Т

Для обраних підстанцій досліджені відхилення напруги усталеному режимі шинах на тягових підстанціях змінного струму результети досліджень наведені в таблиці 3.3. За отриманими данними були визначені числові характеристики відхилення напруги: розкид, мінімальні/максимальні значення.

Таблиця 3.3 – Числові характеристики усталеного відхилення напруги тягових підстанцій змінного струму

№ ТП	*M(δU)*	*Me(δU)*	*Mo(δU)*	*D(δU)*	*σ(δU)*	min*(δU)*	max*(δU)*
II	0.214	0.145	0.372	0.537	0.733	-1.335	1.877
I	7.673	7.588	7.387	0.496	0.704	5.191	9.538
VI	7.985	8.137	8.417	0.361	0.601	6.326	9.103
IV	8.942	8.851	8.549	0.794	0.891	0.000	10.964
III	7.563	7.554	7.579	0.087	0.295	6.626	8.603

Результати досліджень коефіцієнту спотворення синусоїдності напруги на шинах тягових підстанціях з і змінним струмумом наведені в таблиці 3.4. Мінімальне значення характеристики несинусоїдності напруги припадає на моду (для тягової підстанції ІІІ).

Таблиця 3.8 – Числові характеристики спотворення синусоїдності напруги тягових підстанцій змінного струму

№ ТП	*M(KU)*	*Me(KU)*	*Mo(KU)*	*D(KU)*	*σ(KU)*	min*(KU)*	max*(KU)*
II	1.700	1.700	1.700	0.036	0.190	1.183	2.383
I	1.968	1.967	1.867	0.095	0.308	1.150	3.217
VI	2.134	2.040	1.720	0.322	0.567	1.160	4.640
IV	3.367	3.300	2.800	0.845	0.919	0.000	6.850
III	1.316	1.300	1.300	0.024	0.156	0.917	1.833

Результати досліджень коефіцієнту несиметрії напруги на шинах тягових підстанцій з і змінним струмумом наведені в таблиці 3.5. Мінімальне значення характеристики несинусоїдності напруги припадає на медіану тягової підстанції ІІІ.

Таблиця 3.5 – Числові характеристики несиметрії напруги тягових підстанцій змінного струму

№	*M(K2U)*	*Me(K2U)*	*Mo(K2U)*	*D(K2U)*	*σ(K2U)*	min*(K2U)*	max*(K2U)*
II	0.880	0.868	0.823	0.018	0.134	0.561	1.411
I	2.352	2.352	2.300	0.022	0.149	1.659	2.818
VI	1.998	1.985	1.986	0.068	0.261	1.257	2.927
IV	1.197	1.144	1.207	0.111	0.333	0.000	2.743
III	0.787	0.785	0.810	0.021	0.146	0.378	1.302

Результати досліджень коефіцієнту спотворення струму на шинах

тягових підстанцій з і змінним струмумом наведені в таблиці 3.6. Мінімальне значення характеристики несинусоїдності напруги припадає на медіану тягової підстанції II, а максимальне – на моду тягової підстанції VI.

Таблиця 3.6 – Показники несиметрії напруги на тягових підстанціях змінного струму

№ ТП	*M(KI)*	*Me(KI)*	*Mo(KI)*	*D(KI)*	*σ(KI)*	min*(KI)*	max*(KI)*
II	8.030	7.562	7.304	4.152	2.038	3.966	17.165
I	11.045	11.126	11.022	2.654	1.629	5.441	16.491
VI	22.443	22.669	22.907	21.899	4.680	9.776	40.312
IV	24.312	24.016	20.000	47.546	6.895	2.774	49.926

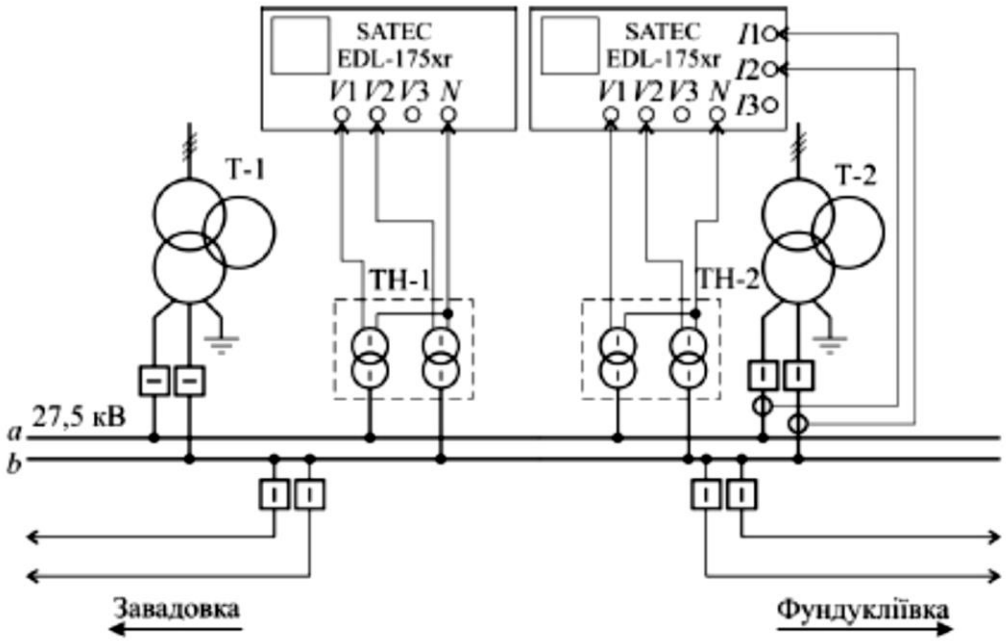
В табл. 3.7 наведені значення показників якості електроенергії для систем електропостачання тягових мереж та змінного струму.

Таблиця 3.7 – Показники якості електроенергії в системах електропостачання тягових мереж

Показник	Приєднання	Нормоване значення	Змінний струм
KU	35 кВ	4 %	5,84 % (–)
KI		–	9,4 %
K2U		2 %	2,95 % (–)
ΔU		± 5 %, ± 10 %	5,4 (–)
ΔU	3,3 кВ (=) 27,5 кВ (~)	± 5 %, ± 10 %	6,93% (–)

3.3 Дослідження впливу перетікань потужності на режими роботи тягових мереж

Для оцінки режимних перетікань потужності в тяговій мережі від підстанції станції Шевченко отримані параметри електроспоживання у вторинних колах трансформатора напруги та струму на вводах силових трансформаторів підстанції. Схема підключення приладів на підстанції



наведена на рис. 3.5.

Рис. 3.5. Схема підключення контрольних приладів на підстанції Ш

На добовому проміжку часу графіки навантажень активної та реактивної потужностей. Графіки отриманих значень наведені на рис. 3.6-3.10

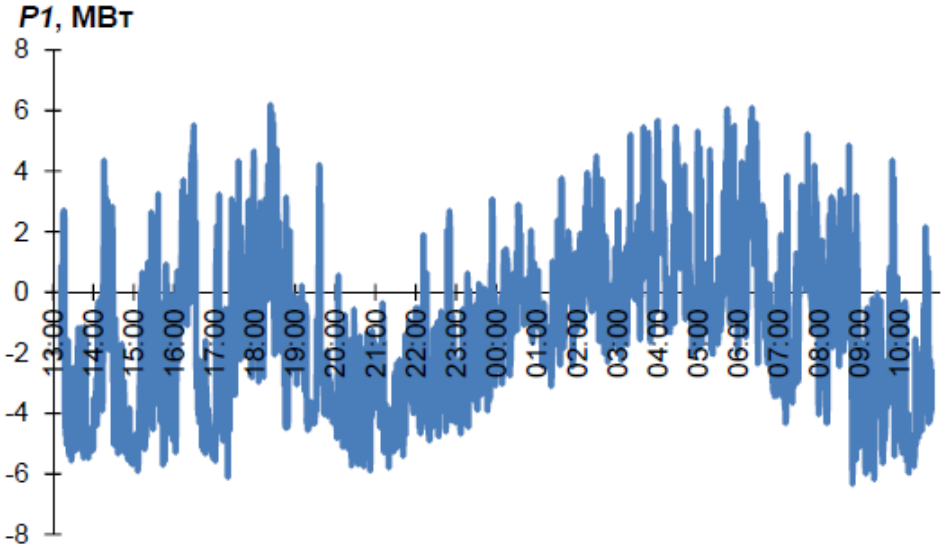


Рис. 3.6. Графік активної потужності фази у напрямку станції Фундаклеївка

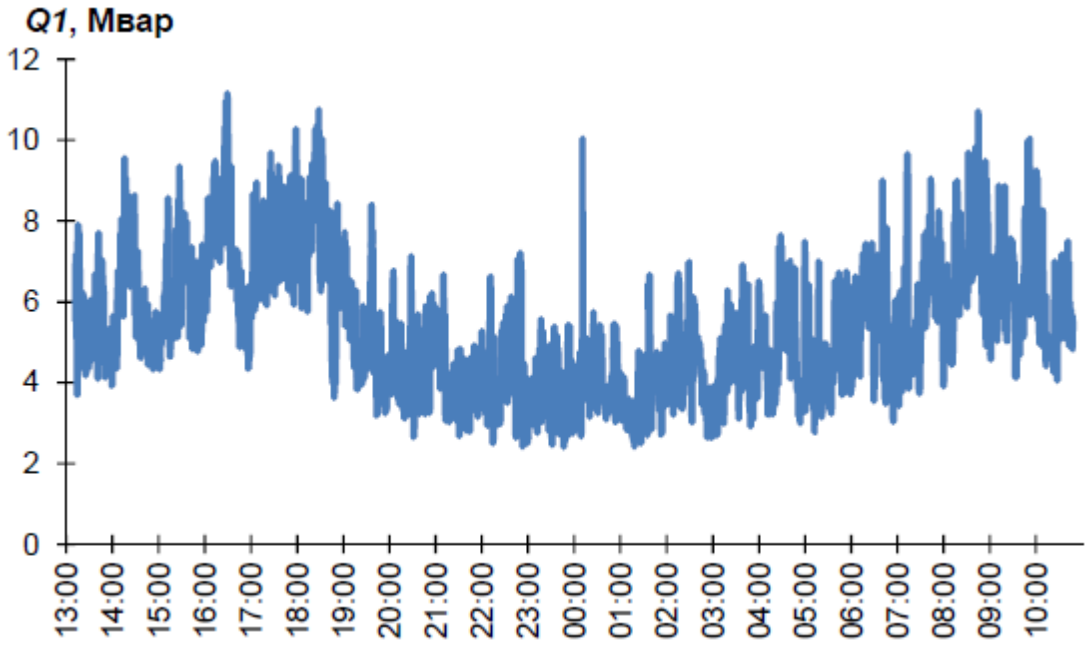


Рис. 3.7. Графік реактивної потужності фази у напрямку станції Фундаклеївка

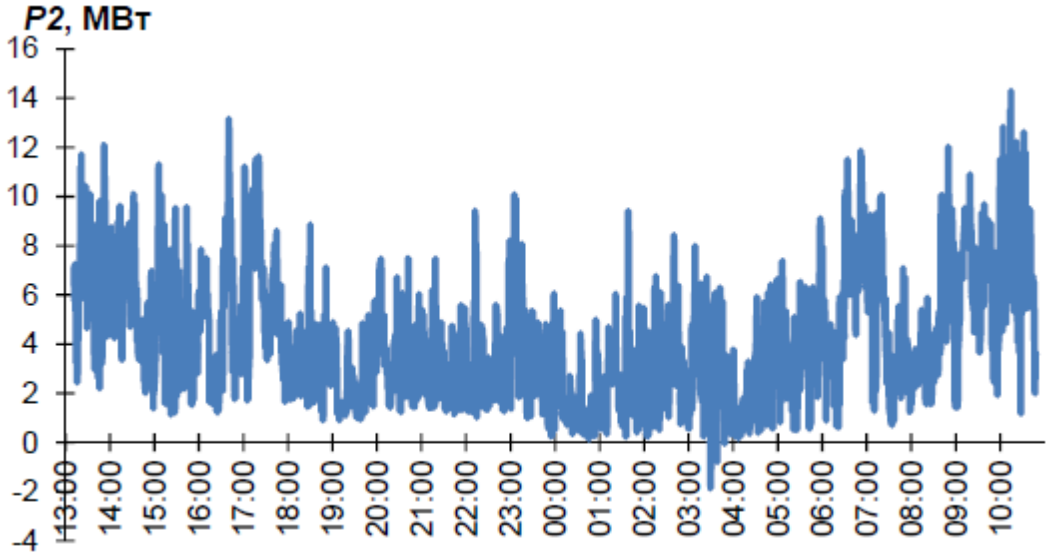


Рис. 3.8. Графік активної потужності фази у напрямку станції Завадовка

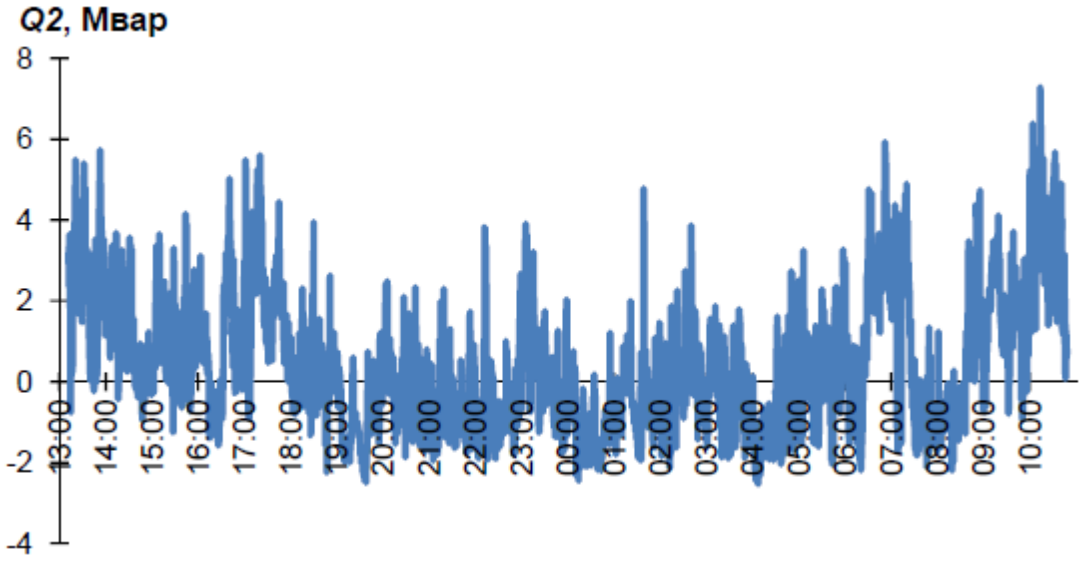


Рис. 3.9. Графік реактивної потужності фази у напрямку станції Завадовка

Зафіксовані мультиметрами-аналізаторами осцилограми вирівнюючого та тягового струмів на шинах 27,5 кВ підстанції наведені на рис. 3.10.

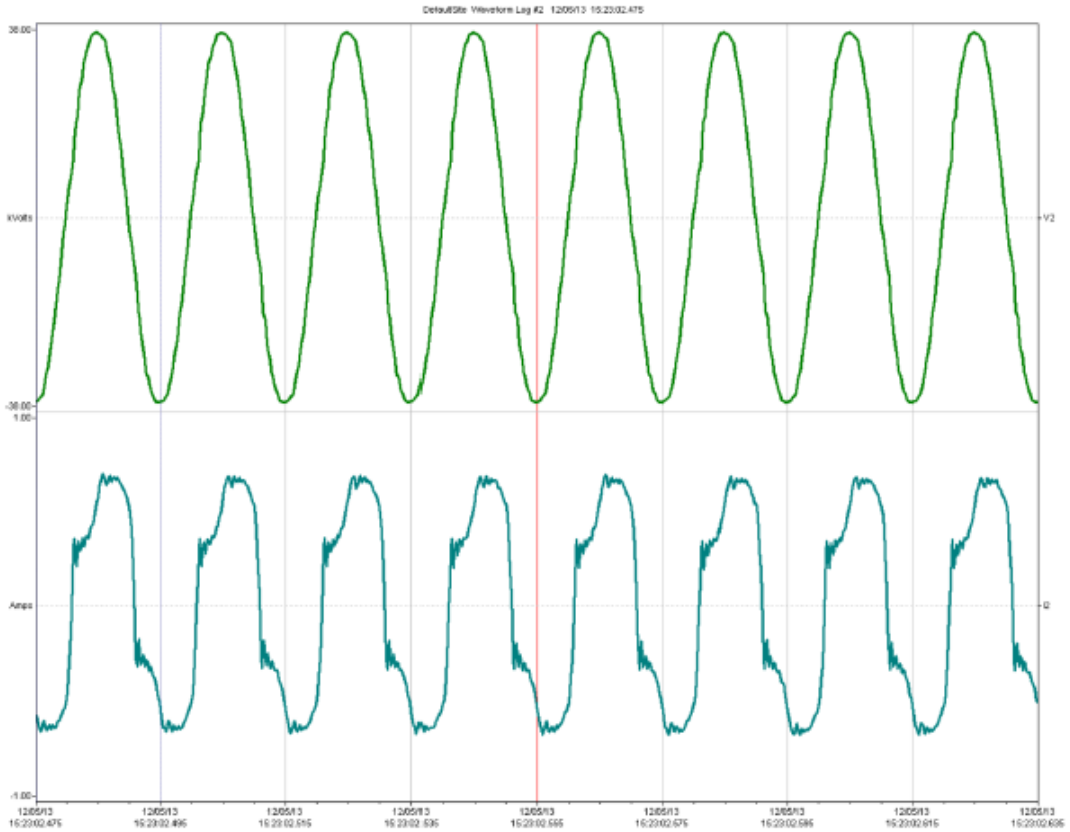


Рис. 3.10. Осцилограми напруги і струму з урахуванням

перетікаючих вирівнювального струму і струму навантаження електровозу

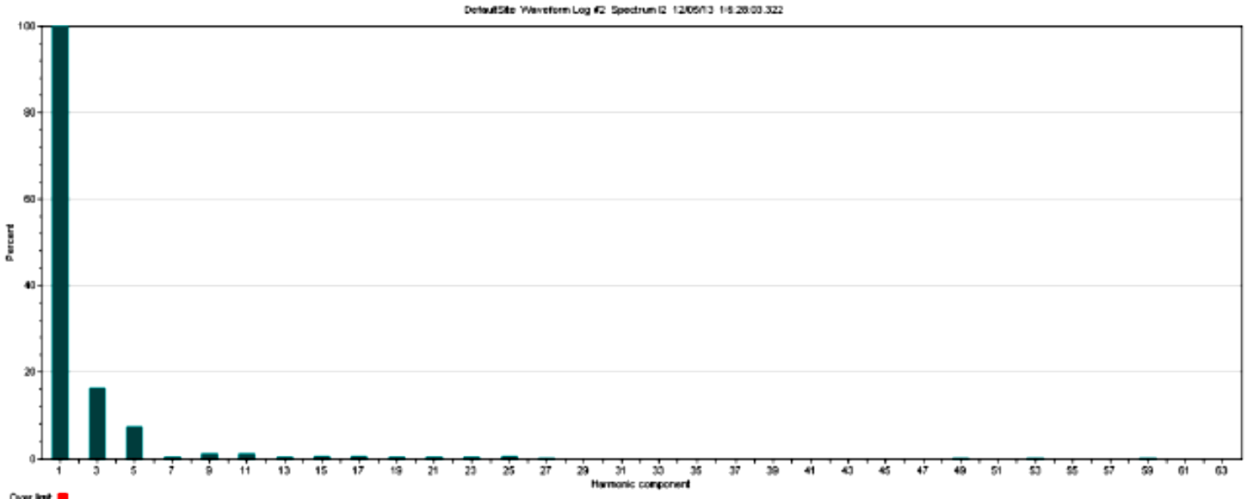


Рис. 3.11. Гістограма струмів в тяговій мережі

3.4 Оцінка точності розрахунку параметрів тягової мережі

Оцінка точності експериментальних даних, отриманих за данимим АСКОЕ на тяговій підстанції Шевченко та електровозу для ділянки Фундуклеївка-Завадовка, за методикою наведеною у розділі 2 визначено функцію опору, що наведена на рисунку 3.12.

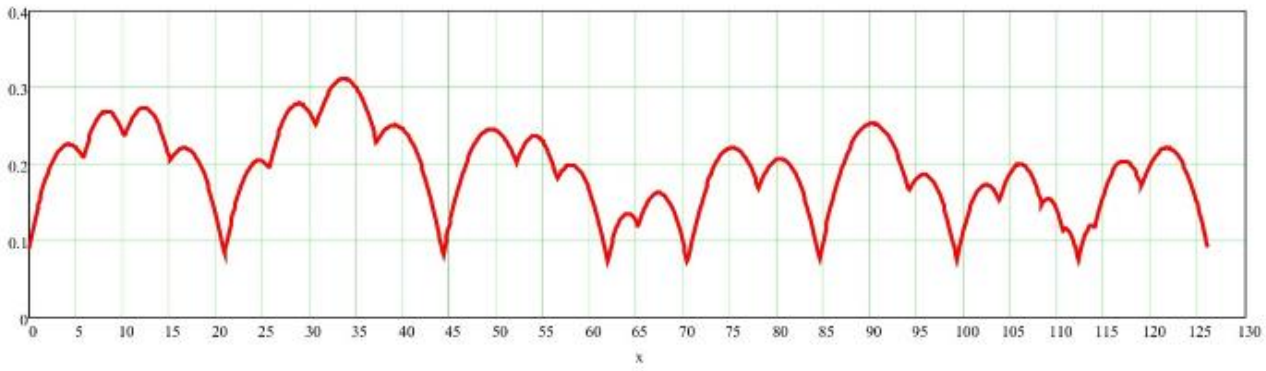


Рис. 3.12. Розрахункова функція опору для ділянки Фундуклеївка-Завадівка

Результати розрахунку зміни напруги на шинах електровозу, за якими оцінювалась достовірність вимірювань наведені на рис. 3.13.

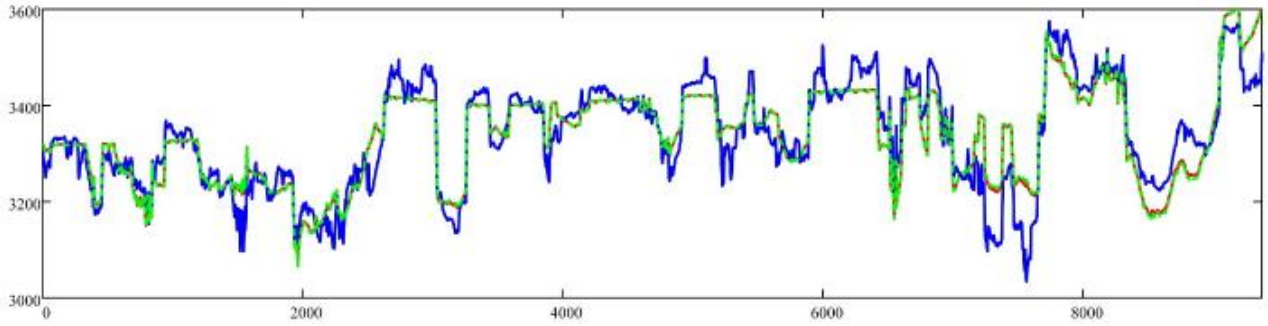


Рис. 3.13. Результати експериментальних даних напруги на шинах електровозу в порівнянні з розрахунковими

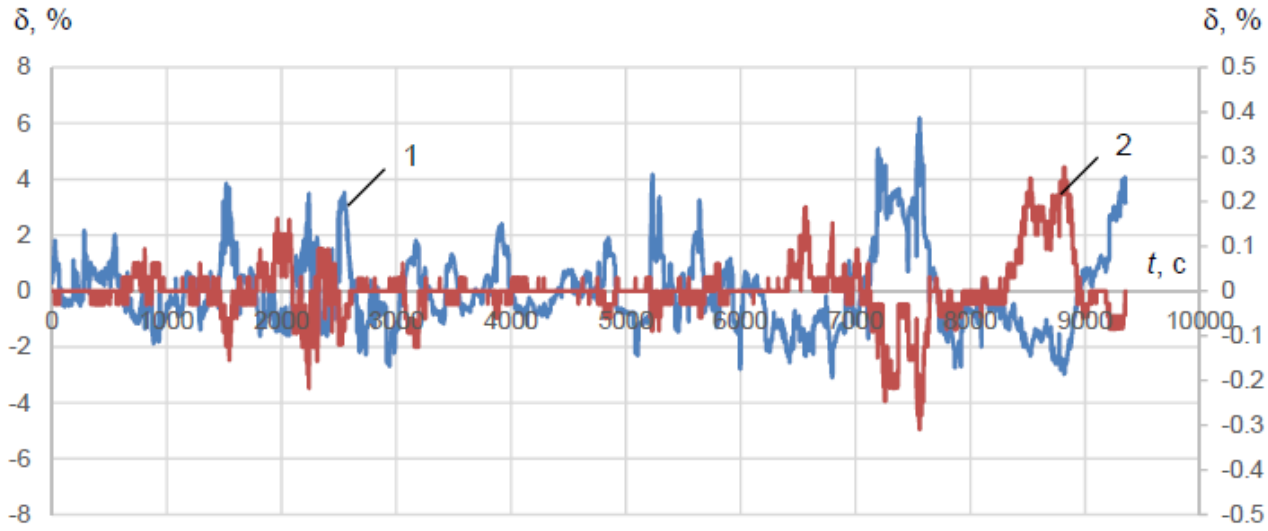


Рис. 3.14. Результати обрахування похибки вимірювання

На рисунку 3.15 наведено графік щільності розподілу імовірностей. Для перевірки правильності розрахунку за обраними вибірками застосовано F-критерій Фішера, розрахункове значення якого визначається відношенням дисперсій виміряної напруги на шинах електровозу та розрахункових значень.

Аналіз показав, що критичне значення критерію становить $F_{кр}$ = 0,514 за рівнем значимості 0,05 більше розрахункового значення 0,275, що

підтверджує працездатність моделі.

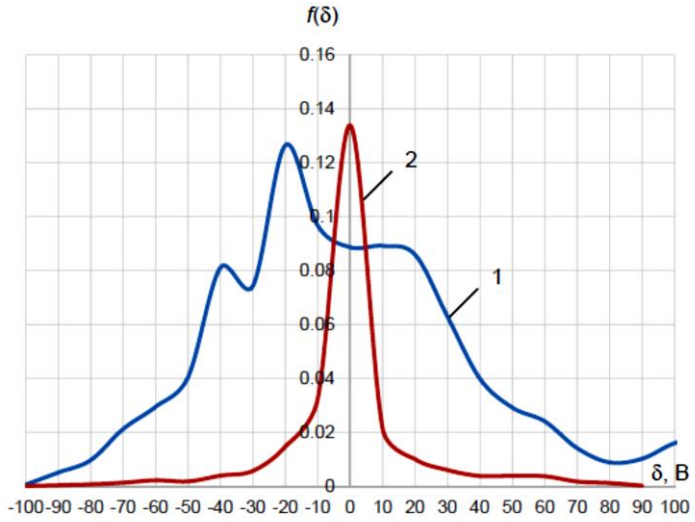
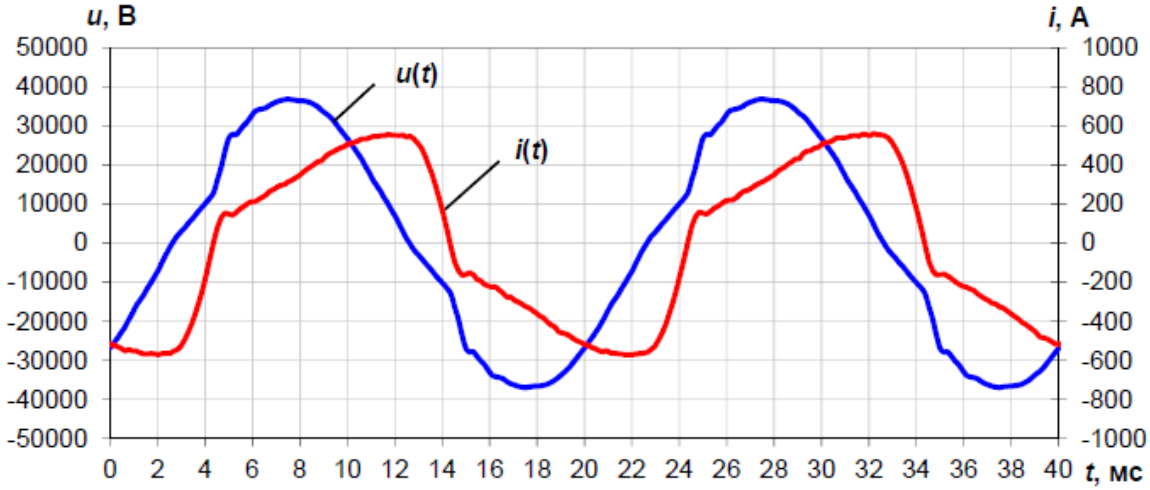


Рис. 3.15. Щільність розподілу похибки при розрахунку рівня напруги.

3.5 Аналіз параметрів тягової мережі в несинусоїдальних режимах

Аналіз даних проводився для тягової підстанції станції Ім. Т. Шевченка з мережами на змінному струмі.

В процесі експерименту були зняті осцилограми струму і напруг в номінальному режиму. Аналіз осцилограм дав можливість визначити коефіцієнти n-ї гармонійної складової.



Осцилограми струму і напруги

На рис. 3.16 – 3.18 наведено результати аналізу для тягової підстанції.

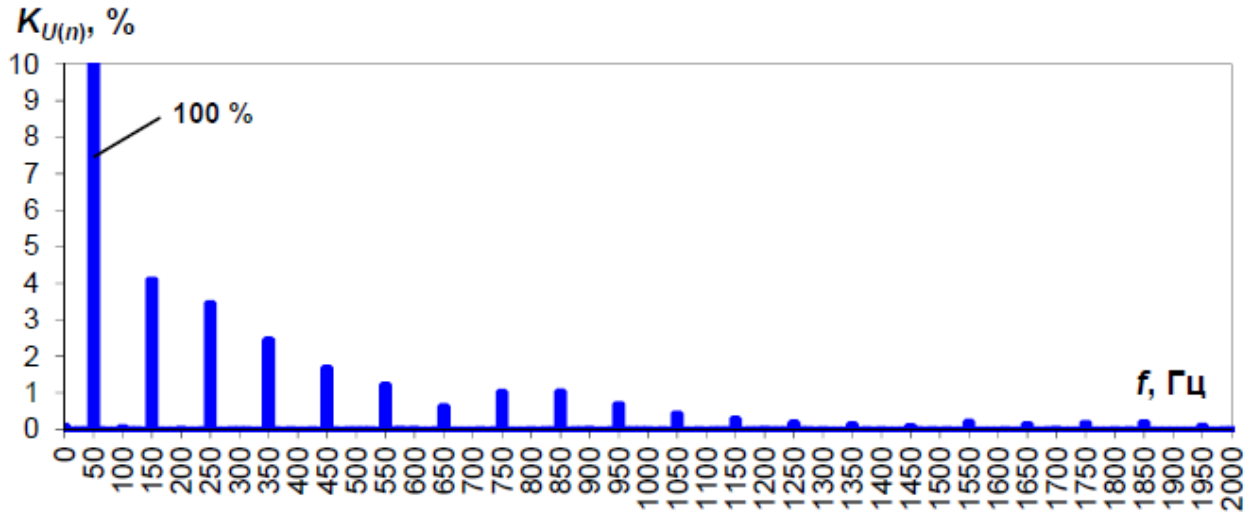


Рис. 3.17. Гістграма гармонійного складу напруг

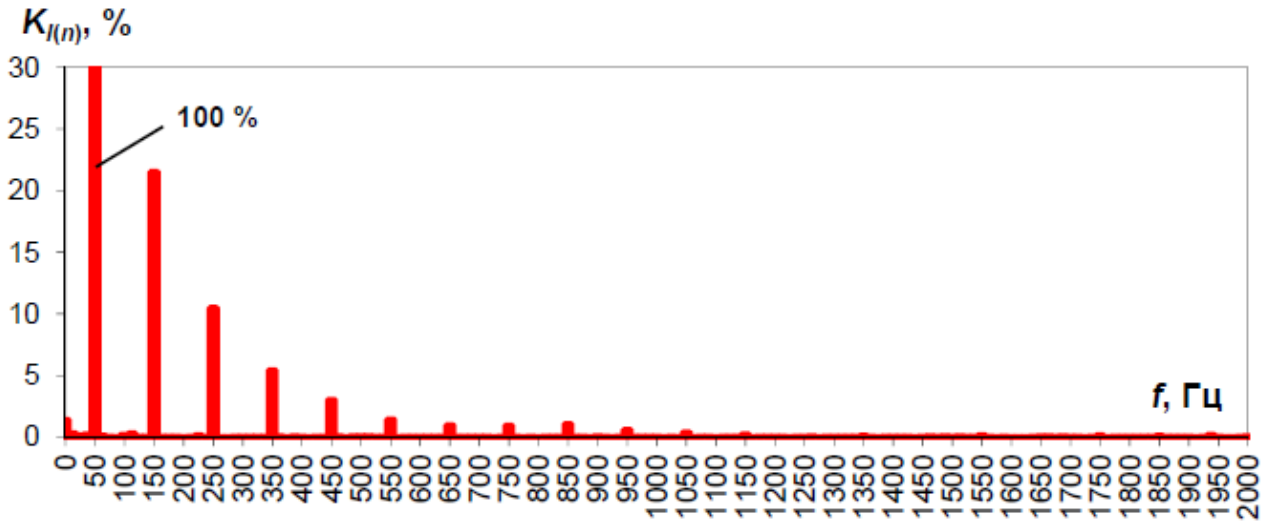


Рис. 3.18. Гістограма гармонійного складу струмів

Висновки до розділу 3

Результати аналізу показників якості електроенергії показали, що за рівнем втрат електроенергії тягові мережі змінного струмому мають кращі показники ніж мережі з постійним струмом.

Недоліком використання тягових мереж змінного струму є наявність перетікань змінного струму, що залежать від кута зсуву фаз напруги.

В тягових мережах змінного струму наявні спотворення якості електроенергії, що характеризуються несинусоїдностю напруги – до 5,84 % ; несиметрією напруги – до 2,95%.

4. ВПЛИВ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ НА СИСТЕМУ ОБЛІКУ

У попередньому розділі для системи електропостачання тягових мереж виконувалася статистична обробка робочих параметрів мережі в уталеному режимі. Дослідження показників якості в несиметричних режимах тягових мереж виявили перетікання змінного струму, за рахунок зміни кута зсуву між фазами напруги.

Виконаємо оцінку впливу спотворення показників якості електроенергії, що характеризуються несинусоїдностю та несиметрією напруги на точність вимірювань в системі обліку електроенергії.

4.1 Робота тягових підстанцій постійного струму за несиметричної первинної напруги

За рахунок несиметричної напруги випрямляча встановимо зв’язку між традиційними та тяговими мережами на постійному струмі для чого скоритсаємося діапозоном частотного спектру випрямленої напруги випрямляча.

При симетричній напрузі на виході випрямляча будуть присутні незмінна складова та ряд гармонік, чатота яких залежить від кратності схеми випрямлення. При несиметричній напрузі виникають парні гармоніки в схемах випрямлення, наявність яких збільшує спотворення кривої напруги

При використанні найпоширеніших шестивентильної схеми випрямляча найбільш небезпечними будуть гармоніки з частотами 300, 600, 900, 1200 Гц та парні гармоніки з частотами – 100, 200, 400, 800 Гц.

В більшості робіт використовується коефіцієнт співвідношення вищих гармонік математичний вираз якого наведено у формулі (4.1),

показує рівеньякості напруги на стороні постійного струму випрямляча, що дозволяє визначити ефективність перетворення енергії в установці:

$$K_{\text{свг}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1,3,5,\ldots} \left[U^2_{(3\cdot i-1)} + U^2_{(3\cdot i+1)} \right]}}{\sqrt{\sum_{i=1,2,3,\ldots} U^2_{(6\cdot i)}}}. \qquad (4.1)$$

Коефіцієнт несиметрії напруги зворотній та нульової послідовності характеризують рівень несиметрії в мережі. Коефіцієнт зворотної послідовності визначається за формулою:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100\%. \qquad (4.2)$$

Дослідження параметрів якості електричної енергії виконані на імітаційній комп'ютерній моделі пакету MATLAB/Simulink наведена на рис. 4.1.

Дослідження проводились в двох режимах: холостого ходу та навантаження. Вибір номінальних та граничних значень враховував можливі рівні напруги в мережі та параметри перевантаження трансформаторів струму вимірювальної схеми.

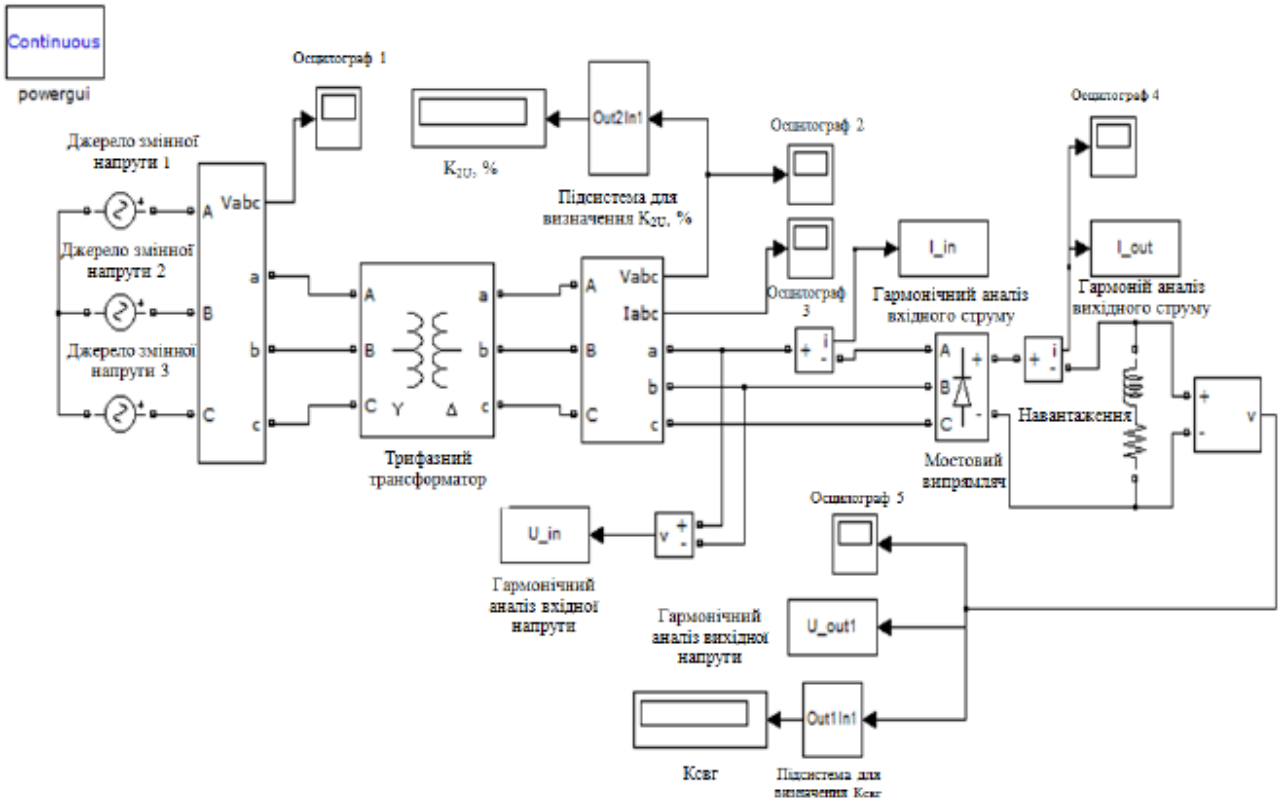


Рис. 4.1. Компютерна імітаціна модель тягової мережі постійного струму

В результаті розрахунків на підставі виміряних величин та їх обробки, отримані зведені результати фізичного моделювання, які приведенні у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 –Співвідношення коефіцєнту вищих гармонік від коефіцієнту зворотної напруги

K_{2U}, %	$K_{СВГ}$, в.о.	
	холостий хід	навантаження
зниження напруги в одній фази		
0	0	0
1,0	0,312429	0,285359
5,0	0,836240	0,727361
10,0	1,461658	1,339860
15,0	2,740708	2,688797
зростання напруги в одній фази		
1,0	0,317751	0,206174
5,0	0,870100	0,765496
8,0	1,232775	1,127256

Графіки випрямленої напруги та її частотний спектр при рівні несиметріїї до 10 % при падінні напруги в одній із фаз наведені на рис. 4.2-4-5

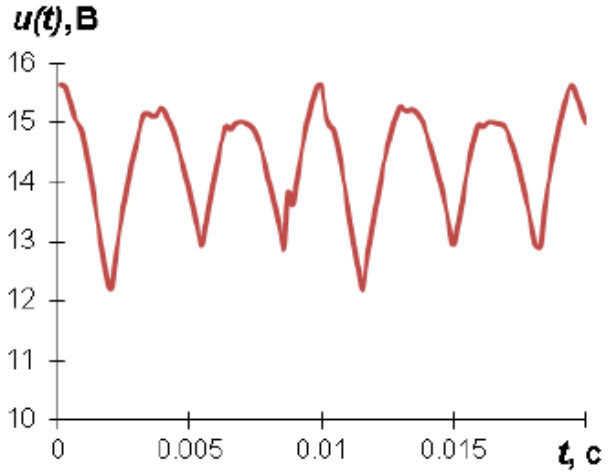


Рис. 4.2. Графік напруги на випрямлячі в симетричному режимі

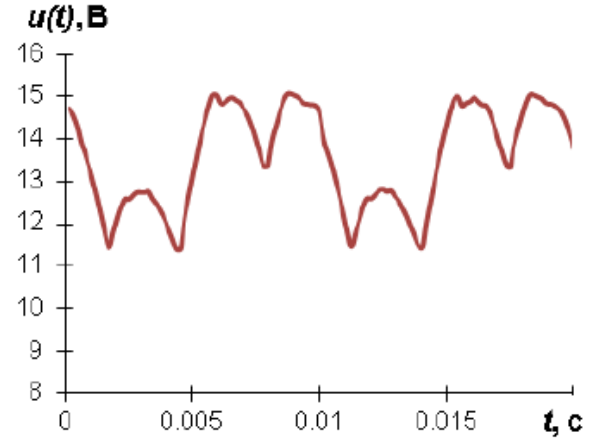


Рис. 4.3. Графік напруги на випрямлячі в несиметричному режимі

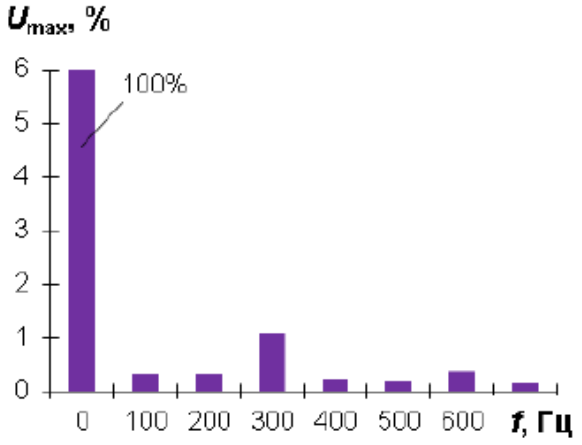


Рис. 4.4. Частотний спектр на випрямлячі в симетричному режимі

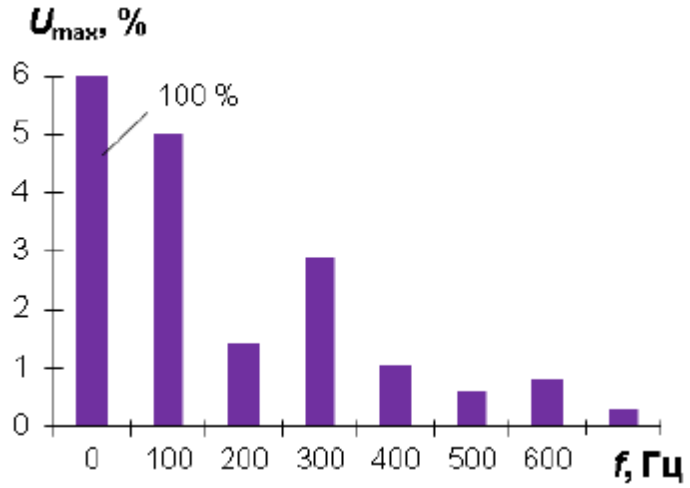


Рис. 4.5. Частотний спектр на випрямлячі в несиметричному режимі

Таблиця 4.2 – Залежність коефіцієнта потужності від співвідношення гармонік

K_{2U}, %	$K_{СВГ}$	cosφ $_A$	cosφ $_B$	cosφ $_C$	cosφ $_{AC}$	cosφ $_{DC}$
0	0	0,850	0,843	0,845	0,840	0,9973
2,0	0,4	0,851	0,841	0,845	0,843	0,9973
4,0	0,7	0,853	0,838	0,837	0,840	0,9972
5,0	0,8	0,855	0,834	0,835	0,840	0,9971
10,0	1,6	0,867	0,822	0,830	0,841	0,9970
15,0	2,6	0,881	0,804	0,820	0,840	0,9970

Таким чином, з результатів досліджень випливає, що зміна ступеню несиметрії практично не впливає на коефіцієнт потужності трифазної мережі та кіл постійного струму. Несиметрія напруги сприяє виникненню перерозподілу потужностей у фазах випрямляча, що приводить до підвищення коефіцієнту потужності у фазі найменшою напругою та зменшення його у інших фазах випрямляча.

4.2 Дослідження роботи електронних лічильників при порушенні якості електроенергії

Дослідження системи обліку електричної енергії проводилися при створенні у несинусоїдного режиму роботи мереж показники якого первищують граничні межі відхилення показників якості згідно ГОСТ 13109-97.

На рисунку 4.6 приведена схема лабораторного стенду для обліку спожитої електроенергії в несиметричних режимах.

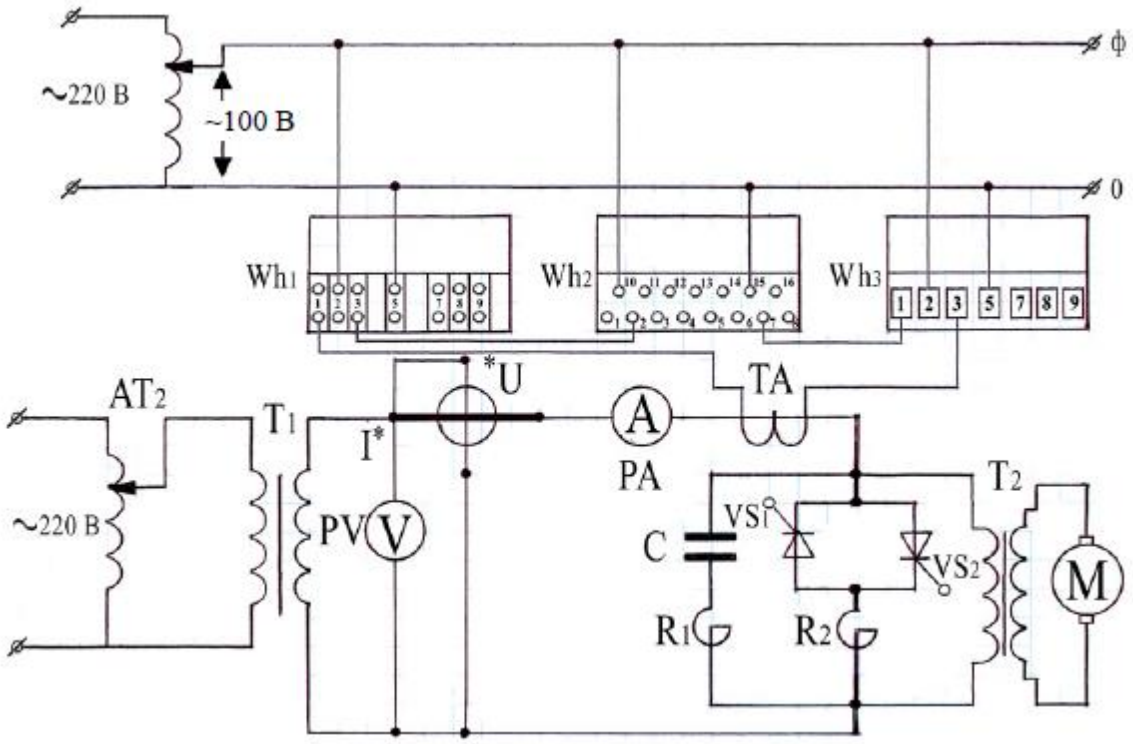


Рис. 4.6. Схема підключення приладів обліку та навантаження

Результати експериментальних вимірювань похибок в системі обліку приведені в таблиці 4.3.

При проведенні експериментальних досліджень вибрані три режими роботи навантаження:

1) режим за відсутності складової реактивної потужності в мережі

2) режим недостатнього оснащення пристроями компенсації реактивної потужності

3) режим перекомпенсації (генерація реактивної потужності в живлячу мережу).

Для дослідження гармонійного складу струмів та напруг визначалися сила робочого струму, коефіцієнт спотворення кривих струму та кути зсуву фаз між струмом і напругою.

Таблиця 4.3 –Результати вимірювань похибок лічильника

Дослідний		Еталонний				
P, Вт	*Q*, вар	I_{THD}, %	*I*, А	*P*, Вт	*Q*, вар	
					1	2
184	-382	2,2	4,35	181	-393	-390
178	-351	5,2	4,06	179	-361	-371
172	-316	10,6	3,7	174	-320	-336
170	-283	14,8	3,47	168	-290	-288
170	-236	20,6	3,09	169	-243	-251
174	-171	31,1	2,68	172	-176	-185
180	-123	37,5	2,47	178	-126	-160
225	-10	53,1	2,59	224	-13	-113
233	9	52,3	2,7	230	8	-106
305	148	40,5	3,72	304	146	216
395	262	30,2	5,07	393	268	297

На рис. 4.7 – 4.15 представлені характерні осцилограми струмів і напруги в окремих режимах навантаження

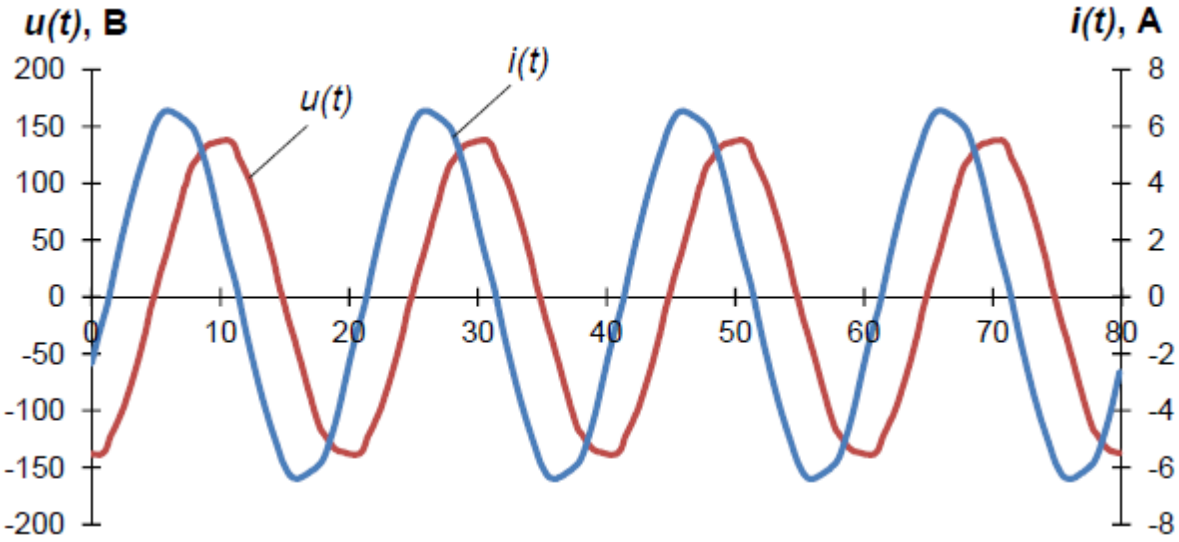


Рис. 4.7. Осцилограми напруги і струму в режимі перекомпенсації реактивної потужності при відсутності регулювання

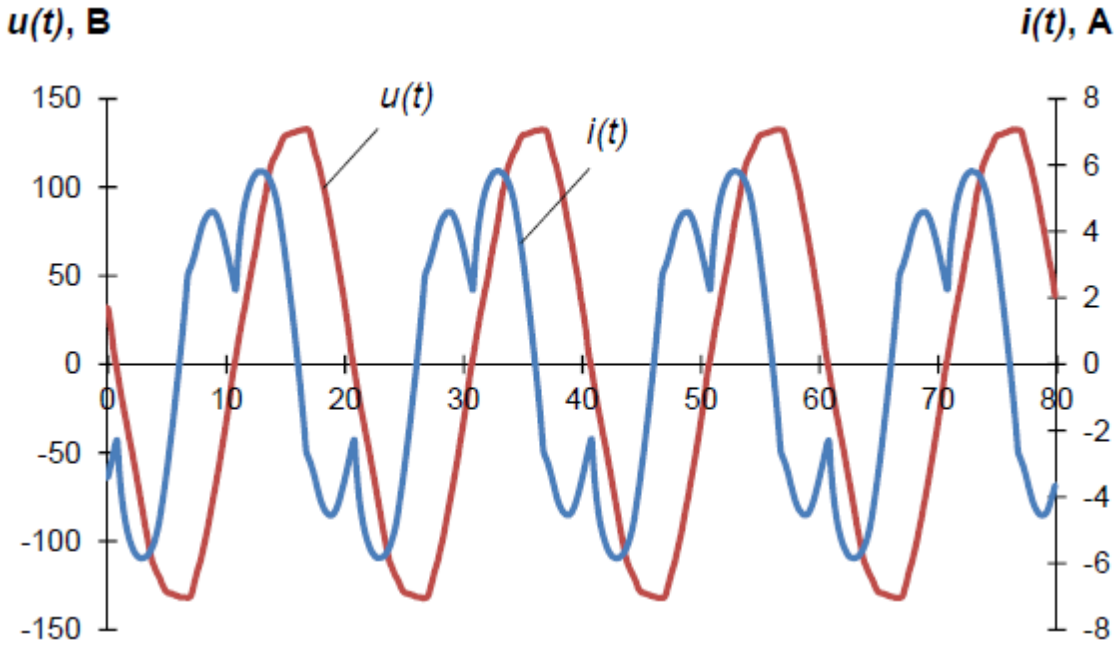


Рис. 4.8. Осцилограми напруги і струму при початку регулювання струму декомпенсації

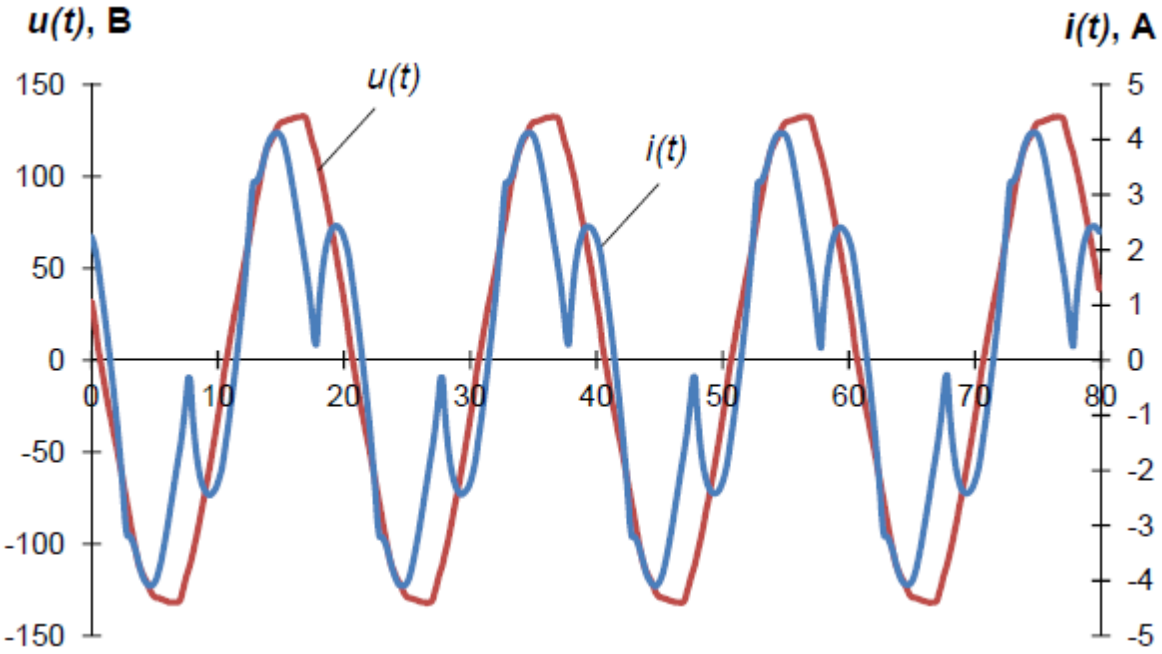


Рис. 4.9. Осцилограми напруги та струму у режимі, при якому відсутня реактивна потужність основної гармоніки

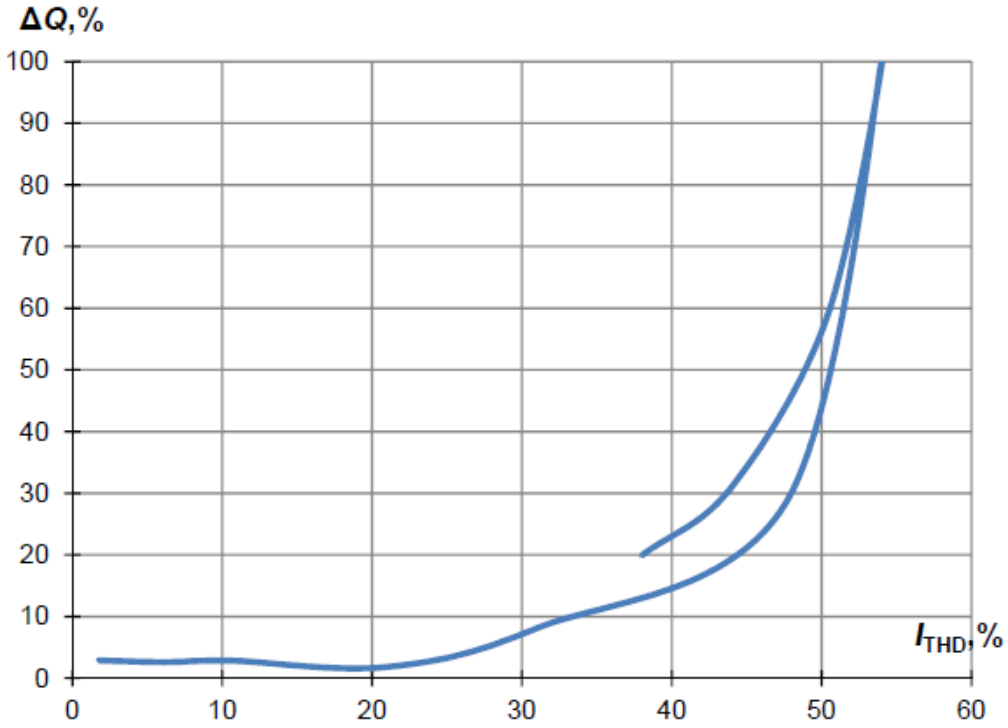


Рис. 4.10. Похибка електронного лічильника в залежності від коефіцієнта спотворення струму

Обробка результатів дослідження, дозволила встановити залежність похибки цифрового лічильника від коефіцієнту спотворення струму (рис. 4.10). Досліди показали, що при значеннях коефіцієнту спотворення струму більше 25 %, похибка вимірювання електронного лічильника виходить за встановлений клас точності.

Таблиця 4.4 – Похибка вимірювання лічильників

Прилад	Похибка δ_c, % за умов		
	$\varphi_1 = 0$	$\varphi > 0$	$\varphi < 0$
Лічильник №1	∞	-0,171	0,26
Лічильник №2	100	-5,151	3,883
Лічильник №3	0	-0,098	-0,123

З табл. 4.4 видно, що лічильники №1 та №3 працюють в допустимих межах заявленого класу точності для активної потужності при зміні кута зсуву фаз, а виміри лічильник № 2 виходять за межі допустимої похибки.

Висновки до розділу 4

Дослідження розподілу потужності в шестивентильній схемі випрямлення при зміні рівня несиметрії напруги живлення через взаємозв'язок між вищими гармонами показали підвищення коефіцієнту потужності при падінні рівня напруги в мережі живлення.

Використання Ксвг для визначення несиметрії напруги дозволяє досить точно визначити ступінь несиметрії в мережі та енергетичні величини в колі постійного струму при заданому спектрі гармонік в мережі.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Посадові інструкції з охорони праці до працівників локомотивних бригад

Локомотивні ланки та працівники підприємств залізничного транспорту, зайняті експлуатацією РС, повинні проходити курси навчання, вступний та поточні інструктажі з обов'язковою перевіркою знань згідно «Положення про навчання, інструктаж та перевірку знань працівників Укрзалізниці з питань охорони праці».

Допуск до роботи працівників, що не пройшли у періодичне навчання, поточні інструктажі та перевірку знань з охорони праці та безпечної експлуатації електрообладнання, не дозволяється.

Локомотивні бригади та їх працівники, що виконують роботи, які виконуються при обслуговуванні РС, повинні обов'язково проходити попереднє спеціалізоване навчання з періодичністю один раз на рік, а також щорічну перевірку щодо знань (НПАОП) нормативних актів про охорону праці.

Робота машиністом та\або помічником маневрового локомотиване досволяється особам молодше 18 років

Залізничні бригади та працівники, зайняті на роботах, що обслуговують діючі електроустановки, проходять медичний огляд у порядку, який встановлюється державними нормативними актами з охорони праці.

Існує певний перелік професій працівників, який необхідно складати з узгодженням з службами Держнаглядохоронпраці, а також санітарно-епідеміологичною службою населеного пункту.

Для працівників, що досягли віку 21 рік необхідно проводити періодичні медичні огляди.

Перед початком рейсом або перед початком до роботи локомотівні

бригади мають проходити попередній медичний огляд перед початком руху електровозу.

5.2 Інструкції по позачергових предрейсових медицинських оглядів залізничних бригад.

Залізничні бригади, експлуатують рухомий локомотивний склад, мають проходити перевірку знань з отриманням групи за електробезпекоб згідно до «Положення про навчання, інструктаж та перевірку знань працівників Укрзалізниці з питань охорони праці».

Якщо працівники залізничної бригади не пройшли відповідну перевірку знань та не мають відповідного посвідчення в якому зазначено успішна перевірка знань з охорони праці, то таких працівників заборонено допускати до роботи згідно ДНАОП 0.00-1.21-84.

В локомотивному депо за розпорядженням керівництва призначається інженерно-технічній працівник для виконання обов’язків пов’язаних з контролем за загальним станом електрообладнання а також безпечною експлуатацією електроустаткування депо. Для пристапання до робіт уповноважена особа повинна пройти інструктаж з охорони праці, та здати екзамен з отриманням пятої групи з електробезпеки, згідно ДНАОП 0.00- 1.21-84.

У випадку виробничої необхідності дозволяється призначати на різних дільницях депо допоміжний персонал для контролю за станом та експлуатацією електрообладнання.

У випадку тривалої відсутності відповідального за станом охорони праці на підприємстві, наказом керівництва призначається тимчасова особа для виконання обов’язків інженера з охорони праці, у випадку успішної здачі відповідних перевірок знань з охорони праці та групи з

електробезпеки.

Технічне обслуговування електровозів, рух в депо та з нього, а також спеціальне екіпірування працівників повинно виконуватись згідно вимог наведених в НАОП 5.1.11-1.18-89. Крім того необхідно виконувати вимоги та положення наведені в Правилах та інструкціях з маневрової роботи коліях депо, що розроблене на підприємстві.

Висновки до розділу 5

Встановлені нормативні документи згідно який здійснюється допуск до роботи в локомотивних депо.

Проаналізовані вимоги до персоналу, що має потребу приступити до експлуатації маневрових потужностей депо.

6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ

На сучасному етапі розвитку електроенергетики необхідно використовувати форсований підхід до енергозберігаючих технологій виробництва та різноманітним способам зниження втрат електричної потужності та електроенергії, що скорочують потребу в нових електростанціях.

Найдешевшим та одночасно найбільш ефективним засобом підвищення техніко – економічних показників електричних систем, зменшуючи всі види втрат та капіталовкладення на мережеві об’єкти та електростанції, віддаляючи строки їх спорудження є впровадження систем стабілізації напруги. При цьому додатково створюється підґрунтя для подальшого підвищення якості електроенергії згідно з вимогами стандартів.

Вибір способів підсилення, зокрема, тягових мереж, полягає у визначенні способу реалізації, номінальної потужності та місця встановлення підсилюючих пунктів в електричну мережу при одночасному оптимальному використанні вже наявних джерел потужності. До способів підсилення можна віднести одноагрегатні тягові підстанції, пункти додаткового живлення, застосування накопичувачів та альтернативних джерел електроенергії.

Для рішення поставленої проблеми необхідно застосовувати комплексний підхід як до проблеми підвищення якості електроенергії: необхідно мати відповідні засоби регулювання, впливати на баланси активної та реактивної потужності, і навпаки, на показники якості електроенергії, що залежать від режимів роботи систем тягового

електропостачання.

Оптимальне рішення даного завдання не лише створює можливість існування максимальних режимів роботи електричних систем за рахунок забезпечення балансу потужності в цілому, так і в окремих її вузлах, але й суттєво додатково зменшує всі перераховані втрати, а також приведені затрати на спорудження та експлуатацію мереж. Така оптимізаційна ефективність не потребує додаткових капіталовкладень, досягається за рахунок методичних удосконалень та запровадження раціонального організаційного механізму реалізації теоретичних рішень і тому надзвичайно практична й актуальна, особливо на сучасній стадії розвитку електроенергетики, при все більш відчутних дефіцитах генеруючих потужностей та достатньо низьких рівнях напруги в енергосистемах.

6.1 Визначення інвестиційних витрат

В табл. 6.1 наведені витрати на закупівлю та монтаж пристроїв для впровадження системи стабілізації напруги в контактній мережі.

Таблиця 6.1. – Розрахунок витрат на матеріали та обладнання.

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
Керований пристрій підсилення напруги 2 МВт, 3,3 кВ	шт.	1	10000	10000
Пристрої вимірювання напруги уздовж контактної мережі ділянки	шт.	15	1,6	24
Датчики температури та вологості повітря	шт.	1	2	2
Вольтметри	шт.	5	1	5

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
Міліамперметри	шт.	5	1	5
Шлейфи	шт.	2	1,5	3
Вогнегасники	шт.	2	1	2
Ящик з піском	шт.	1	0,5	0,5
Всього				10041,5

Визначаємо заробітну плату виробників, які виконуватимуть монтаж та налаштування пристрою поздовжньої компенсації.

Таблиця 6.1 – Склад та час виконання робіт з монтажу

Склад робіт	Час виконання, год
Підготування місця монтажу	64
Монтаж пристрою	80
Монтаж датчиків та приладів вимірювання	24
Монтаж шафи та його обладнання	80
Налаштування системи в цілому	20

Для розрахування величини заробітної плати робітника за виконання роботи скористаємось виразом:

$$З_{П} = (T + B) \cdot T_{год},$$

де T – трудомісткість робіт, год;

B – позапланові роботи, год (складає 12 % від T);

$T_{год}$ – погодинна тарифна ставка, грн..

Розрахунок заробітної плати робітникам за виконання встановленого плану робіт приведений в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Штат робітників та величина заробітної плати за виконання плану робіт

Штат робітників та їх категорії	Погодинна тарифна ставка робітника, грн	Заробітна плата, грн
Електромонтер ІІІ розряду	42,62	8456,59
Електромонтер ІІІ розряду	42,62	8456,59
Електромонтер IV розряду	43,54	9237,83
Електромеханік	46,01	1124,42
Інженер-проектувальник	46,45	1411,42
		23886,85

Нарахування на заробітну плату складає 22 % від загальної заробітної плати робітникам за виконаний план роботи.

Розрахуємо нарахування на заробітну плату за формулою:

$$Ес.в. = 0З_{Пзаг} \cdot 22\%,$$

де $З_{Пзаг}$ – загальна заробітна плата, грн.;

$$Ес.в. = 23886,85 \cdot 22\% = 9255,11 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань, вартісної оцінки татерміну окупності

Амортизаційні відрахування розраховуються за формулою:

$$A = \frac{B_n \cdot H_a}{100},$$

де $В_п$ – вартість обладнання, що встановлюється, грн/рік;

$H_а$ – річна норма амортизації, % (складає 15 %);

Розрахуємо амортизаційні відрахування за формулою:

$$A = \frac{10041,5 \cdot 15}{100} = 1506,23 \text{ тис. грн/рік}$$

6.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Розрахунок експлуатаційних витрат проводимо за формулою:

$$E = З_П + E_{с.в.} + A + B_{інш}$$

де $З_П$ – витрати на заробітну плату, грн;

$E_{с.в.}$ – нарахування на заробітну плату, % (становить 22 %);

A – амортизаційні відрахування, грн;

$B_{інш}$ – інші витрати, грн. (становлять 1 % від витрат на матеріали).

Розрахуємо експлуатаційні витрати:

E = 23886,85 + 5255,11 + 1506230 +1004150 = 2539521,96 грн.

Вартісна оцінка на впровадження заходу розраховується за формулою:

$$B_Т = B_м + З_П + E_{с.в.};$$

де $В_м$ – вартість матеріалів для впровадження окремого заходу, грн.;

Розрахуємо вартісну оцінку на впровадження заходу за формулою:

$$В_Т = 10041500 + 23886,85 + 5255,11 = 10070641,96 \text{ грн.}$$

Термін окупності розрахуємо за наступною формулою:

$$T_0 = \frac{B_T}{P_T} \le T_H$$

де $P_Т$ – вартісна оцінка попередженої поломки (становить 60 % від вартості нового пристрою підсилення напруги (6000 тис. грн.), відповідно до оціночних розрахунків).

Розрахунок терміну окупності системи стабілізації проведемо за виразом:

$$T_0 = \frac{B_T}{P_T} = \frac{10070641,9}{6000000} = 1,28$$

Орієнтований термін окупності встановлення системи стабілізації напруги в контактній мережі становить до 3 років, за умови виявлення можливої поломки. Проте, як показує досвід експлуатації, сучасні силові елементи мають достатньо високі показники надійності.

Загальні висновки

Значний рівень технологічних втрат в тягових мережах, обумовлений їх низькою ефективністю та відсутністю точних даних про реальне споживання.

Наявність системи моніторингу за станом об’єктів тягових мереж з можливістю керування їх режимами дозволить зробити крок до підвищення енергоефективності мереж за рахунок розвитку інтелектуальних мереж. Зменшення рівня втрат та оптимальне керування режимами роботи дасть можливість підвищити пропускну здатність систем в цілому.

Використання методики розрахунку струморозподілу на шинах тягових підстанцій, дозволяє досить просто визначити динаміку струмів фідерів та напруги живлення на струмоприймачах електровозів.

Розрахунки систем електропостачання тягових мереж потребують врахування факту, що параметри в цій системі електропостачання залежать навантаження та його місцезнаходження.

В розрахунках навантаження представлено джерелом ідеального струму, що ускладнює розрахунки струмів, напруги на шинах електровозу та втрати потужності в мережі. Без контролю потужності в мережі похибка значно збільшується.

Враховуючи баланс та розподіл потужностей в схемах живлення контактної мережі визначені функції опору, що дозволили встановити залежність зміни опору тягової мережі від навантаження електровозу. Використана методика розрахунку дозволяє провести електричні розрахунки системи для заданої потужності та реального рівня напруги на шинах електровозу.

Результати аналізу показників якості електроенергії показали, що за рівнем втрат електроенергії тягові мережі змінного струмому мають кращі

показники ніж мережі з постійним струмом.

Недоліком використання тягових мереж змінного струму є наявність перетікань змінного струму, що залежать від кута зсуву фаз напруги.

В тягових мережах змінного струму наявні спотворення якості електроенергії, що характеризуються несинусоїдностю напруги – до 5,84 % ; несиметрією напруги – до 2,95%.

Дослідження розподілу потужності в шестивентильній схемі випрямлення при зміні рівня несиметрії напруги живлення через взаємозв'язок між вищими гармонами показали підвищення коефіцієнту потужності при падінні рівня напруги в мережі живлення.

Використання Ксвг для визначення несиметрії напруги дозволяє досить точно визначити ступінь несиметрії в мережі та енергетичні величини в колі постійного струму при заданому спектрі гармонік в мережі.

Орієнтований термін окупності встановлення системи стабілізації напруги в контактній мережі становить до 3 років, за умови виявлення можливої поломки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Босий Д. О. Інтелектуальні системи в керуванні режимами систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць / Д. О. Босий //Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 76-80.

2. Sychenko, V. G. Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current / V. G. Sychenko, D. O. Bosiy, E. M. Kosarev //The archives of transport. – 2015. – Vol. 35, Iss. 3. – P. 63–70.

3. Босый Д. А. Проблемы качества электроснабжения промышленных потребителей от обмотки среднего напряжения тяговых подстанций переменного тока / Д. А. Босый // Problemy Kolejnictwa. – 2014. – Zeszyt 162. – С. 21-32.

4. Сыченко В. Г. Качество использования электроэнергии в системах электрической тяги / В. Г. Сыченко, Д. А. Босый // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 4(48). – С. 143-149.

5. Bosiy D. O. Calculation of the traction power supply systems using the functions of resistance / D. O. Bosiy, E. M. Kosarev // Problemy kolejnictwa. – 2015. – Vol. 59, Issue 168. – P. 7-14.

6. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць: монографія / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Саєнко, Д. О. Босий // Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна / Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс». – Дніпропетровськ, 2015. – 344 с. – ISBN 978-966-97463-8-2.

7. Сиченко В. Г. Дослідження електромагнітних процесів у системі тягового електропостачання постійного струму: проблеми, технічні засоби та реалізація / В. Г. Сиченко, В. А. Зубенко, Д. О. Босий //

Інформаційно- керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 2. – С. 58-63.

8. Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України. – К.: Національний інститут стратегічних досліджень, 2014. – 60 с.

9. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання (за роками 2005-2015) [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2006-2016.

10. Транспорт (1980-2015): Державна служба статистики України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/ operativ2005/tz/tz_rik/tz_u/ts_u.htm

11. Енергетичний баланс України (за роками 2007-2014): Державна служба статистики України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm

12. Зменшення втрат електроенергії в лініях електропередач // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2005. – № 5. – Режим доступу: http://www.journal.esco.co.ua/2005_5/art18.htm

13. Огляд ринку залізничних перевезень / Т. Гулик [Електрон. ресурс]. Режим доступу: http://www.credit-rating.ua/ua/ analytics/ analyticalarticles/ 12826/

14. Босий Д. О. Інтелектуальні системи в керуванні режимами систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць / Д. О. Босий // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 76-80.

15. Sychenko, V. G. Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current / V. G. Sychenko, D. O. Bosiy, E. M. Kosarev // The archives of transport. – 2015. – Vol. 35, Iss. 3. – P. 63–70.

16. Босый Д. А. Проблемы качества электроснабжения промышленных потребителей от обмотки среднего напряжения тяговых подстанций переменного тока / Д. А. Босый // Problemy Kolejnictwa. – 2014. – Zeszyt 162. – С. 21-32.

17. Сыченко В. Г. Качество использования электроэнергии в системах электрической тяги / В. Г. Сыченко, Д. А. Босый // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 4(48). – С. 143-149.

18. Bosiy D. O. Calculation of the traction power supply systems using the functions of resistance / D. O. Bosiy, E. M. Kosarev // Problemy kolejnictwa. – 2015. – Vol. 59, Issue 168. – P. 7-14.

19. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць: монографія / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Саєнко, Д. О. Босий // Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна / Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс». – Дніпропетровськ, 2015. – 344 с. – ISBN 978-966-97463-8-2.

20. Сиченко В. Г. Дослідження електромагнітних процесів у системі тягового електропостачання постійного струму: проблеми, технічні засоби та реалізація / В. Г. Сиченко, В. А. Зубенко, Д. О. Босий // Інформаційно- керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 2. – С. 58-63.

– Босий Д. О. Удосконалення непрямого методу обліку втрат електричної енергії в контактній мережі / Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 5/8 (59). – С. 35-39.

21. Кузнецов В. Г. Уменьшение потерь электроэнергии в контактной сети за счет регулирования графика движения поездов / В. Г. Кузнецов, К.А. Калашников, Д. А. Босый // Технічна електродинаміка.

Темат. вип. – 2012. – С. 107-110.

22. Кузнецов В. Г. Облік втрат електричної енергії в тяговій мережі непрямим способом / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 103-109.

23. Кузнецов В. Г. Оптимизация потерь электроэнергии в контактной сети железнодорожного транспорта / В. Г. Кузнецов, К. А. Калашников, Босый Д. А. // Праці інституту електродинаміки. – 2012. – Вип. 33. – С. 18-22.

24. Босий Д. О. Особливості роботи електронних лічильників у несинусоїдних режимах тягових підстанцій електричного транспорту /Д. О. Босий // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. –№ 9 (115). – С. 29-37.

25. Bosiy D. O. Power quality complex estimation at alternating current tractionsubstations / D. O. Bosiy // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 4 (46). – С. 30-37.

26. Босий Д. О. Баланс електричної енергії тягової підстанції постійного струму за різних рівнів несиметрії напруги системи зовнішнього електропостачання / Д. О. Босий, Д. Р. Земський // Східно-Європейський журнал передових технологій. Энергосберегающие технологии и оборудование. – 2014. – № 2/8 (68). – С. 52-57.

27. Сыченко В. Г. Усовершенствование методологии расчета распределенной системы тягового электроснабжения с усиливающим пунктом/ В. Г. Сыченко, Д. А. Босый, Е. Н. Косарев // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – Сп. вип., том 2. – С. 8-18.

28. Босий Д. О. Облік електроенергії сучасними електронними

лічильниками в умовах гармонійних спотворень / Д. О. Босий, О. М. Синьогіна // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 7. – С. 98-106.

29. Босий Д. О. Методика розрахунку миттєвих схем системи тягового електропостачання для споживання постійної потужності / Д. О. Босий // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 8. – С. 15-25.

30. Босий Д. О. Методика розрахунку оптимальної потужності пристроїв компенсації реактивної потужності тягових підстанцій постійного струму / Д. О. Босий // Гірнича електромеханіка та автоматика. – 2014. – № 93. – С. 33-37.

31. Босий Д. О. Застосування миттєвих характеристик до аналізу електромагнітних процесів в системі тягового електропостачання змінного струму / Д. О. Босий // Гірнича електромеханіка та автоматика. – 2015. – № 94. – С. 37-42.

32. Босий Д. О. Забезпечення паралельної роботи тягових підстанцій змінного струму в умовах транзитних перетікань потужності / Д. О. Босий // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – № 2. – С. 95-103.

33. Босый Д. А. Учет потерь электроэнергии в системах тягового электроснабжения / Д. А. Босый // Вісник НТУ ХПІ. – 2015. – №. 12 (1121). – С. 270273.

34. Сиченко В. Г. Оптимізація керування режимом напруги в тяговіймережі постійного струму з пунктами підсилення / В. Г. Сиченко, Д. О.Босий, Є. М. Косарєв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015.– № 6. – С. 95-103.

35. Саблін О. І. Ефективність рекуперації електроенергії в системі електротранспорту з інверторними тяговими підстанціями постійного струму / О. І. Саблін, Д. О. Босий та ін. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 2. – С. 73-79.

36. Босий Д. О. Стан та перспективи розвитку енергетичної

інфраструктури залізниць України / Д. О. Босий // Українська залізниця. – 2016. – № 9 (39). – С. 58-62.

37. 32. Босий Д. О. Взаємодія систем тягового з системами зовнішнього електропостачання / Д. О. Босий // Гірнича електромеханіка та автоматика. –2015. – № 95. – С. 9-15.

38. Пристрій вимірювання напруги в мережі постійного струму з бездротовою передачею даних: Пат. 95871 Україна, МПК G01R 19/257, H04W 4/20 / Босий Д. О.; заявник та власник патенту Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. ак. В.Лазаряна. – № U201408019; заявл. 16.07.14; опубл. 12.01.15, Бюл. № 1. – 3 с.

39. Спосіб стабілізації напруги в контактній мережі електрифікованої ділянки постійного струму: Пат. 98483 Україна, МПК H02J 1/00, H02J 13/00 / Сиченко В. Г., Босий Д. О., Косарєв Є. М.; заявник та власник патенту Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. ак. В.Лазаряна. – № U201412905; заявл. 02.12.14; опубл. 27.04.15, Бюл. № 8. – 3 с.

40. Логвінова Н. О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів / Н. О. Логвінова, Д. О. Босий, О. М. Полях//Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2012. – Вип. 42. – С. 110-113.

41. Bosiy D. O. Power quality complex estimation at AC traction substations /D. O. Bosiy // XI International Scientific Conference Modern Electric Traction (MET’2013), Warsaw, October 10-12 2013, p. 147-151.

42. Кузнецов В. Г. Управління транспортним потоком для зменшення експлуатаційних витрат електрифікованих залізниць / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, К. О. Калашников // Електрифікація транспорту. – 2013. – № 6. –С. 71- 79.

43. Босий Д. О. Управління графіком руху поїздів для

зменшення експлуатаційних витрат електрифікованих залізниць / Д. О. Босий, К. О. Калашников // Українські залізниці. – 2014. – № 4 (10). – С. 46-51.

44. Гончаров Ю.П. Повышение эффективности функционирования тягового электроснабжения при применении возобновляемых источников электрической энергии / Ю.П. Гончаров, В.Г. Сыченко, Д. А. Босый и др. // Problemy Kolejnictwa. – 2014. – Zeszyt 162. – С. 65-82.

45. Босий Д. О. Інтелектуальні системи в керуванні режимами систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць / Д. О. Босий // Матеріали Четвертої міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи – ESS'15» 09.06-12.06.2015, м. Київ, с. 239-241.

46. Босий Д. О. Оптимізація потужності підсилюючих пунктів для живлення тягової мережі високошвидкісних магістралей / Д. О. Босий, О. А. Запара // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Електрифікація залізничного транспорту «ТРАНСЕЛЕКТРО-2015», 29.09 – 02.10.2015, м. Одеса, с. 29-30.

47. Босий Д. О. Проблеми забезпечення режиму напруги на струмоприймачі електрорухомого складу на ділянках зі складним профілем гірської місцевості / Д. О. Босий, Є. М. Косарєв, А. І. Барна // III Міжнародна науково-технічна конференція «Оптимальне керування електроустановками» ОКЕУ-2015, 14.10 – 15.10.2015, м. Вінниця, с. 11.

48. Bosiy D. O. Control the traction power supply with the intelligent systems /D. O. Bosiy // IV International Conference Advanced Rail Technologies ART-2015, 18.11–19.11.2015, Warszawa, Poland, p. 27.

49. Босый Д. А. Усовершенствование имитационных средствмоделирования систем тягового электроснабжения / Д. А. Босый, Е. Н. Косарев // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Наука, творчество и образование в области электроэнергетики и

электротехники –достижения и перспективы», 19–20.11.2015, г. Хабаровск, ДВГУПС. – С. 64-70.

50. Босый Д. А. Управление режимами систем тягового электроснабжения с помощью интеллектуальных систем / Д. А. Босый // VII Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте», 26.11-27.11.2015, г. Гомель, Беларусь, с. 16.

51. Кирилюк Т. І. Визначення коефіцієнту налаштування лічильника втрат в загальному виді / Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Матеріали VI Міжнародної 310 науково-практичної конференції «Електрифікація транспорту «Транселектро2012», 25-28.09.2012, Дніпропетровськ, 2012. – С. 25-26.

52. Bosiy D. O. The problems of power supply industrial consumers from medium-voltage winding of AC traction substations / D. O. Bosiy //Miedzynarodowa Konferencja Naukowa Niewzawodnosc wtransporcie szynowymi mozliwosci jej zwiekszania, 20-21.11.2013, Warszawa, 2013. – S. 55.

53. Босий Д. О. Дослідження ступінчастої компенсації реактивної потужності на фізичному макетів / Д. О. Босий, А. С. Дем'яненко //Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості», 11-14.06.2013, Дніпропетровськ, 2013. – С. 10.

54. Кузнецов В. Г. Схемна реалізація пристрою для вимірювання втрат електроенергії в контактній мережі / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // ІІ Міжнародна науково-технічна конференція «Оптимальне керування електроустановками» ОКЕУ-2013, 22-24.11.2013, Вінниця, 2013. –С. 51.

55. Босий Д. О. Система розподіленого вимірювання рівня напруги електрифікованих ділянок постійного струму / Д. О. Босий // Тези доповідей 74 Міжнародної науково-практичної конференції

«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 15-16.05.2014, Дніпропетровськ, 2014. – С. 151-152.

56. Босий Д. О. Стабілізація напруги на струмоприймачеві електрорухомого складу високошвидкісних магістралей постійного струму /Д. О. Босий, А. А. Сидоров // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Електрифікація транспорту «Транселектро-2014», 23-26.10.2014, Одеса-Дніпропетровськ, 2014. – С. 14-15.

57. Кравчук С. Л. Комплексні дослідження процесів електроспоживання на тягових підстанціях Південної залізниці / С. Л. Кравчук, В. М. Козачок, Д. О. Босий // Матеріали V Міжнародної науково- практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості», 11- 13.06.2014, Воловець, 2014. – С. 82.

58. Сиченко В. Г. Проблема перетоків електроенергії між тяговими підстанціями змінного струму / В. Г. Сиченко, Д. О. Босий, С. М. Міщенко //Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості», 11- 13.06.2014, Воловець, 2014. – С. 137-138.

Додатки