

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Підвищення рівня напруги двохколіїної ділянки тягової мережі постійного струму при різних швидкостях руху поїздів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.141
Бударенко О.Г.

(прізвище та ініціали) (підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Барішенко О.М.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя
2022 рік

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

(по

овна назва кафедри)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

(повна назва кафедри)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика,

електротехніка

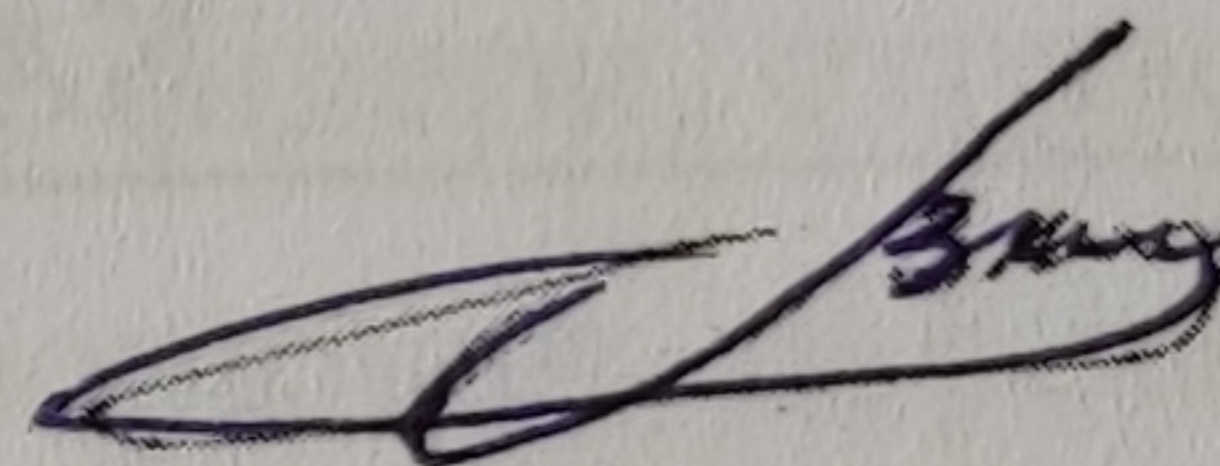
(шифр і назва)

та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.



В.Л. Коваленко

“ 12 ” грудня 2022 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Бударенку Олександрю Геннадійовичу

1. Тема роботи: Підвищення рівня напруги двохколіїної ділянки тягової мережі постійного струму при різних швидкостях руху поїздів

Керівник роботи: к.т.н., доцент Баріщенко О.М.

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 597 - с

2. Строк подання студентом роботи: 07 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: поточний тариф за споживання електроенергії; напруга живлення тягових підстанцій 3000 В; тяговий рухомий склад постійного струму

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити):

Вступ. 1) Характеристика існуючих способів підвищення напруги в тяговій мережі; 2) Аналіз споживання електричної енергії підстанцією; 3) Моделювання ділянки тягової мережі постійного струму

5. Перелік графічного матеріалу: 1) Титульна сторінка; 2) аналіз споживачів електроенергії залізниці; 3) моделювання ланок енергосистем; підключення тягових підстанцій; 4) результати моделювання та розрахунків 5) Висновки

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Барішенко О.М., доцент	<i>Барішенко</i>
Розділ 2	Барішенко О.М., доцент	<i>Барішенко</i>
Розділ 3	Барішенко О.М., доцент	<i>Барішенко</i>

7. Дата видачі завдання 01.06.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
	Вступ	01.10.2022	
1	Характеристика існуючих способів підвищення напруги в тяговій мережі	01.10.2022	
2	Побудова імітаційної моделі ділянки тягової мережі постійного струму	01.11.2022	
3	Дослідження двоколісної ділянки постійного струму	01.12.2022	
	Висновки	01.10.2022	

Студент *Григорук*
(підпис)

О.Г. Бударенко
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____
(підпис)

Барішенко О.М.
(ініціали та прізвище)

Корпораційний контролер

Григорук

Барішенко О.М.

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглянуто питання підвищення рівня напруги двоколійної ділянки тягової мережі постійного струму для різних швидкостей руху поїздів; проведено аналіз існуючих систем підвищення напруги на ділянках постійного струму різної довжини, а також виконано порівняння звичайної системи 3,3 кВ із системою із застосуванням перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ та системою з виносними живильними фідерами 3,3 кВ для різних швидкостей руху поїздів; розглянуто збільшення міжпідстанційної зони до 50 км із застосуванням перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ. Проведено аналіз економічної ефективності застосування системи з виносними фідерами живлення на ділянці довжиною 15 км; зроблено висновок про раціональність застосування системи з перетворювачем напруги 6,6/3,3 кВ на ділянці завдовжки 50 км.

Ключові слова: міжпідстанційна ділянка, фідери, струм, постійна напруга, струмоприймач, електровоз, швидкість, перетворювач, перетворювач напруги.

ANNOTATION

In the master's thesis, the issue of increasing the voltage level of the two-track section of the direct current traction network for different train speeds is considered; an analysis of existing systems of increasing the voltage on direct current sections of different lengths was carried out, and a comparison of a conventional 3.3 kV system with a system using a 6.6/3.3 kV voltage converter and a system with remote feeders of 3.3 kV for different speeds was performed train movements; the increase of the inter-substation zone up to 50 km with the use of a voltage converter of 6.6/3.3 kV. An analysis of the economic efficiency of using a system with remote power feeders on a 15 km long section was carried out; a conclusion was made about the rationality of using a system with a voltage converter of 6.6/3.3 kV on a section 50 km long.

Key words: intersubstation section, feeders, current, constant voltage, current collector, electric locomotive, speed, converter, voltage converter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ НАПРУГИ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ.....	8
1.1 Загальна характеристика способів зміни рівня напруги у системі.....	8
1.2 Існуючі способи регулювання напруги на шинах тягових підстанцій.	11
1.3 Відомі способи підвищення напруги в системі постійного струму	12
1.4 Тенденції розвитку системи енергопостачання постійного струму	15
2 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДІЛЯНКИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	22
2.1 Загальні питання щодо побудови моделі ділянки тягової мережі.....	22
2.2 Схема заміщення ділянки постійного струму.....	26
3 РОЗРАХУНОК ДВОКОЛІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	31
3.1 Розрахунок двокільної ділянки при звичайній схемі живлення.....	31
3.2 Аналіз можливості використання перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ .	36
3.3 Аналіз можливості застосування виносних фідерів живлення 3,3 кВ .	42
3.4 Аналіз можливості підвищення напруги холостого ходу на тяговій підстанції	46
3.5 Дослідження двокільної ділянки постійного струму довжиною 50 км за звичайної схеми живлення	52
3.6 Застосування перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ дільниці 50 км.....	58
3.7 Пропуск кількох поїздів ділянкою довжиною 50 км при застосуванні перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ	64
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ.....	76

ВСТУП

Підвищення швидкості руху поїздів є однією з умов активізації ділової активності суб'єктів господарської діяльності. На наших дійючих залізницях можливе підвищення швидкості лише до рівня 140 – 160 км/год, але це вимагає додаткових капіталовкладень.

Проблема підвищення швидкості руху поїздів є комплексною, що потребує розвитку всіх компонентів: системи енергопостачання, колійної інфраструктури, локомотивного та вагонного парку, систем централізації, автоблокування. І все це потребує великих фінансових вкладень.

Відомо [1], що мережа залізниць України становить 2,4% від загальних залізниць світу. Абсолютне значення електрифікованих залізниць України 9,2 тис. км, їх за системою змінного струму 25 кВ 50 Гц електрифіковано 49,8 %, за системою постійного струму 3,3 кВ – 50,2 %. Обсяг перевезень на електрифікованих залізницях України до загального обсягу досить великий – 86,4 % [1].

На даний час можливі два шляхи розвитку технічних засобів залізниці:

- розвиток багатосистемного електрорухомого складу;
- вибір єдиної системи електричної тяги з можливим переходом на неї всіх залізниць України.

Система постійного струму має відносно низьке значення напруги в контактній мережі, що при великій потужності електрорухомого складу веде до невиправданих витрат на тягові підстанції та контактну мережу. Рівень низької напруги обмежує швидкість поїздів та збільшує втрати електроенергії. Вважається, що система постійного струму немає перспектив у високошвидкісному русі, але добре використовується для міського електротранспорту та з'єднань залізниці з заміським рухом.

У той же час, розвиток силових напівпровідників, високочастотних імпульсних перетворювачів показує, що особливу увагу слід приділити у якості перспективної, систему постійного струму збільшеної напруги, а саме 12 кВ. Проте виникає складність реалізації цієї системи, яка виникає вже на етапі створення нового електрорухомого складу, складність поступового переведення на нову систему експлуатованих ліній не дає змоги зробити це у найближчі два, три десятиліття років.

В системі енергопостачання постійним струмом можна підвищити рівень напруги передачі електроенергії до поїздів кількома шляхами:

- підвищення напруги холостого ходу на тяговій підстанції до 3,5 кВ;
- застосуванням системи з виносними фідерами живлення 3,3 кВ;
- застосування перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ, живлення до якого подається від шин 6,6 кВ тягових підстанцій підсилюючим проводом.

Тож, у представленому дипломному проекті розглянуто підвищення рівня напруги шляхом живлення перегону через систему з виносними фідерами, що дає можливість збільшити пропускну здатність ділянки і зменшити витрату електроенергії, а також шляхом застосування перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ для збільшення довжини міжпідстанційної зони. Ця система подає на перегін частково підвищену напругу, що знижує втрати потужності в тяговій мережі і дозволяє використовувати той же електровоз, що і при звичайній системі.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ НАПРУГИ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ

1.1 Загальна характеристика способів зміни рівня напруги у системі

Коливання струмів, що споживаються електровозами, що йдуть з поїздами в зонах живлення тягових підстанцій, значно впливають на зміну напруги на струмоприймачі як свого, так і інших електровозів, на шинах тягових підстанцій і в системі зовнішнього енергопостачання.

Рівень напруги на струмоприймачі залежить від:

- зміни напруги в первинній системі електропостачання;
- схеми живлення електровозів (одностороннє або двостороннє);
- зміни числа поїздів на ділянці.

Напруга на шинах тягових підстанцій має менші межі коливання, ніж на струмоприймачах електровозах. Якщо брати нормальний режим роботи системи, то для підстанцій з первинною напругою 110 кВ напруга коливається від -5 до 4,4 %, для підстанцій з напругою 35 кВ - - 4 до +4 %.

При вимушених режимах та ненормальних схемах живлення напруга коливається у великих межах: до 8% при відключеній одній з ліній електропередач; зниження напруги живлення на окремих підстанціях на 13,8%, іноді на 21,8% за наявності на цих підстанціях великого районного навантаження, малої потужності системи електропостачання і недостатньому перерізі проводів ліній електропередач.

Напруга на струмоприймачах електровозів при нормальній схемі живлення міжпідстанційних зон змінюється у значних межах. Можна зробити висновок, що чим більша потужність, споживана електровозом, тим більші межі. При струмах 1000 А напруга змінюється в межах 2,6 - 3,5; 2,3 – 3,3 кВ, різниця

напруги близько 1000 В; при струмах 1700 - 1800 А (електровоз ПЛ 8) - 1000 - 1200 В.

Для електровозів від значення напруги залежить швидкість руху. Координація роботи різних служб транспорту здійснюється з допомогою графіка руху, визначального час ходу поїздів, оборот локомотивів, роботу станцій. Основна вимога до режиму напруги в тяговій мережі полягає в тому, щоб час ходу поїздів, закладений у графік, має бути виконаний.

Обмежити зміни напруги в тяговій мережі можна збільшенням потужності системи електропостачання, особливо у вимушеному режимі, коли електровоз може працювати при сильно зниженому напрузі, тому при такій ситуації доводиться скорочувати розміри руху або посилювати систему електропостачання.

Зміна напруги характеризується відхиленням та коливанням напруги. Відхилення напруги – зміна напруги такої тривалості, що призводить до зміни швидкості руху поїздів. Коливання напруги – це відхилення напруги в короткий проміжок часу, коли швидкість не встигає змінитися.

Основними тягово-енергетичними показниками роботи є швидкість і витрата енергії. Також відомо те, що чим менше ухил чи відстань між підстанціями, то менше змінюється швидкість зі збільшенням маси поїздів. Підвищення маси поїздів за збереження їх кількості без посилення системи електропостачання призводить до зниження середньої швидкості на керівному підйомі. Якщо швидкість і сила тяги залишається постійною, звідки потужність електровоза теж залишається постійною, то при підвищенні напруги знизиться струм, споживаний електровозом, а значить, знизиться втрати електроенергії. При підвищенні напруги струм електровоза знижується, при цьому швидкість незначно коливається, якщо режим змінюється за рахунок послаблення збудження. У питомих витратах електроенергії відзначається такі особливості:

зниження у разі підвищення напруги на ділянках з важким профілем і з високою швидкістю; підвищення за низьких швидкостей руху.

Режим напруги у системі електропостачання має забезпечувати нормальну роботу системи електричної тяги.

Прийнята номінальна напруга на струмоприймачі електровоза 3 кВ постійного струму.

Номінальна напруга на шинах підстанції 3,3 кВ.

Максимальна та мінімальна напруга на струмоприймачах відповідно 3,6 – 4,0 та 2,0 – 2,7 кВ.

У Правилах технічної експлуатації зазначено, що напруга на струмоприймачі електровоза на будь-якому блоці – ділянці має бути не менше 2,7 кВ.

Норми напруги на струмоприймачах передбачають найменшу напругу для електровозів у нормальних режимах роботи системи та наступні максимальні втрати напруги щодо номінальної напруги на шинах підстанції – 18,2 %.

Режими роботи системи можуть бути нормальними та вимушеними. Для нормальних режимів роботи можуть бути забезпечені оптимальні умови напруги. Для вимушених режимів необхідно забезпечити нижню межу значення напруги.

Вимоги щодо оптимізації напруги:

- забезпечення руху поїздів зі швидкістю, що вимагається за умовами пропускної спроможності ділянки або економічно обґрунтованою або допускається за окремими залізничними пристроями;
- забезпечення при заданих (за графіком) часах ходу перегонів мінімальної витрати енергії з урахуванням втрат у системі електропостачання;
- забезпечення надійності роботи всіх елементів електрорухомого складу та пристроїв електропостачання.

Чим вище напруга на перегоні, що лімітує, тим менший міжпоїздовий інтервал і тим більша можливість забезпечити прискорений пропуск поїздів у періоди їх згущення.

1.2 Існуючі способи регулювання напруги на шинах тягових підстанцій

Для підвищення стабілізації та регулювання напруги на шинах тягових підстанцій та в окремих точках тягової мережі застосовуються пристрій для перемикання відгалуження обмоток понижуючих трансформаторів під навантаженням (РПН), перетворювальні трансформатори зі ступінчастим та безконтактним регулюванням, система 6,6 кВ/3,3 кВ. Напруги на тягових шинах підстанцій підвищують установки КПП та ЧПИ. Пристрої РПН обладнані всі понижуючі трансформатори типу ТДТН - 15 (20) МВА. На деяких тягових підстанціях ці пристрої використовують для дистанційного (з щита управління) перемикання відгалужень обмоток трансформаторів.

Існує установка, що забезпечує автоматичне регулювання напруги на шинах тягових підстанцій (АРПН). Однак вони не використовуються з повною силою, оскільки підтримати підвищену напругу на шинах постійного струму вимагає підвищення напруги на первинній стороні перетворювальних трансформаторів, а значить і у всіх споживачів, що живлять від шин 10 кВ, трансформаторів потреб.

Перетворювальні трансформатори ТМРН-15000/10, ТДРУНГ-20000/110, ТДЦТРУН-25000/110 мають ступінчасте регулювання. Для трансформатора ТДРУНГ-20000/110 – система АРПН.

Перетворювальні трансформатори ТДПУ-20000/10 мають безконтактне регулювання (ДН) напруги за допомогою дросельного мосту.

Діапазон регулювання напруги приблизно 18-20% мінімальної напруги холостого ходу.

Як регулятор напруги ВНИИЖТ запропонував тиристорний перетворювач (РТП), що складається з двох почергово керованих мостів, зашунтованих діодами і включених в фідер, що відсмоктує, підстанції.

Чим вище стабілізована напруга на шинах тягових підстанцій і відповідно вища напруга на струмоприймачі електровоза, наступного в парному (важчому за профілем) напрямку, тим менше частка часу ходу в режимі тяги і рекуперації і більше в режимі вибігу. У непарному напрямку (легшому за профілем) при підвищенні напруги збільшується частка часу ходу в режимі тяги і зменшується в режимі вибігу та рекуперації. При збільшенні напруги витрата енергії на тягу в парному напрямку збільшується, непарному зменшується.

1.3 Відомі способи підвищення напруги в системі постійного струму

Враховуючи те, що головним недоліком системи постійного струму 3,3 кВ є низька напруга і тому при підвищенні маси поїздів у системі електропостачання з'являються дуже великі струми, запропоновано підвищити напругу в тяговій мережі з 3 кВ до 6, 12, 24 кВ постійного струму.

Для більшості ділянок, електрифікованих на постійному струмі, у зв'язку зі збільшеними розмірами руху та збільшенням маси поїздів питання посилення пристроїв електропостачання стоїть особливо гостро.

Розроблено способи посилення, які випробовуються на діючих електрифікованих ділянках. Є пропозиції щодо доцільності переведення окремих ділянок, електрифікованих на постійному струмі 3 кВ, на змінний струм 25 кВ, 50 Гц.

Існуючі способи посилення системи тяги постійного струму 3 кВ можна поділити на дві групи:

1) посилення системи електропостачання за збереження напруги у ній вище 4 кВ без заміни електровоза:

1.1) існуюча система без посилення (підвіска М-120+2МФ-100 на кожен колію без підсилювальних проводів);

1.2) установка на підстанціях тягових трансформаторів із регулюванням напруги під навантаженням;

1.3) підвіска на кожний шлях по одному підсилювальному дроту А-185;

1.4) підвіска на кожен шлях по два підсилювальні дроти А-185;

1.5) спорудження у існуючій міжпідстанційній зоні однієї проміжної підстанції з живленням від лінії 110 кВ;

1.6) спорудження у міжпідстанційній зоні одноагрегатної тягової підстанції, що отримує живлення по лінії 10 кВ;

1.7) установка у міжпідстанційній зоні двох перетворювальних пунктів з живленням від поздовжньої лінії 6 кВ (система ППА 6,6/3,3 кВ – інверторно – перетворювальний агрегат);

1.8) установка у міжпідстанційній зоні двох перетворювальних пунктів з живленням від поздовжньої лінії 12 кВ (система ППА 13,2/3,3 кВ).

2) перехід інші системи тяги, отже і обов'язковий перехід інші електровози:

2.1) система постійного струму 6 кВ із використанням інших електровозів;

2.2) система постійного струму 12 кВ;

2.3) система постійного струму 24 кВ;

2.4) система змінного струму 25 кВ.

Проводимо аналіз ділянок постійного струму, що існують в Україні. Вже застосували пункти 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, тобто контактну підвіску на постійному струмі – М-120+2МФ-100+2А-185. Отже, перспективними є решта пунктів.

Найбільш економічні способи посилення окремих зон:

1.5 – для зон завдовжки 30 км; 1.8 – для зон завдовжки 20 – 25 км.

У системі тяги 3 кВ відстань між підстанціями не перевищувала 30 км; для системи 6 кВ – 50 км; для системи 12 кВ постійного струму та 25 кВ змінного струму – 60 км.

У системі постійного струму 6, 12, 24 кВ електровозі встановлюється фільтр пробка, яка зменшує вплив на лінії зв'язку. Особливістю є наявність в електровозі ланцюга з тиристорами, за допомогою яких здійснюється частотне регулювання - можна подавати на тягові двигуни напругу різної шпаруватості, а значить струм, що протікає через обмотки двигуна, буде різним, різною буде швидкість двигуна.

Перевагами системи постійного струму 6, 12, 24 кВ є:

- значне зниження струмів у контактній мережі;
- менший переріз контактної підвіски;
- зменшення втрати напруги та потужності в тяговій мережі;
- еквівалентна за енергетичними характеристиками системі 27,5 кВ;
- відстань між тяговими підстанціями 40 – 60 км;

Недоліками системи постійного струму 6,12, 24 кВ вважаються:

- створення нового типу електровоза;
- виник вплив на лінії зв'язку;
- ускладнилася конструкція тягової підстанції.

Особливістю системи постійного струму 3,3 кВ з лініями живлення 6, 12 кВ – наявність інверторно-перетворювального агрегату на перегоні контактної мережі.

Переваги системи постійного струму 3,3 кВ з лініями живлення 6, 12 кВ:

- покращилися енергетичні показники постійного струму за рахунок передачі потужності частково через лінію поздовжнього електропостачання 6, 12 кВ;
- знизилася втрата напруги та потужності в тяговій мережі;
- вдається використати той же електровоз, що і за системи 3 кВ;

- відстань між тяговими підстанціями 40-50 км.

Недоліки системи постійного струму 3,3 кВ з лініями живлення 6, 12 кВ:

- складність обслуговування контактної мережі;
- необхідно мати інверторно-перетворювальний агрегат, що не обслуговується, що живиться від поздовжньої лінії 6, 12 кВ.

Кожна з цих систем має свої переваги та недоліки, але насамперед при виборі тієї чи іншої системи для ділянки необхідно враховувати особливості розташування даної ділянки, розміри руху, які будуть здійснюватися на ньому і чи залишати резерви на подальшу перспективу.

1.4 Тенденції розвитку системи енергопостачання постійного струму

Проходження великоваговими складами ділянок залізниці з великими відстанями між тяговими підстанціями постійного струму або довгих консольних ділянок призводить до зниження напруги контактної мережі у струмоприймачів і обмеження потужності, що розвивається локомотивами.

Для забезпечення пропускної спроможності під час руху великовагових складів та забезпечення швидкісного руху потрібне збільшення потужності живлення контактної мережі за допомогою будівництва додаткових підстанцій між існуючими тяговими підстанціями. Відсутність досить потужної мережі змінного струму поблизу ділянки залізниці споруда додаткової підстанції потребує значних капіталовкладень.

Живлення контактної мережі постійного струму на ділянці між існуючими тяговими підстанціями доцільно виконувати через перетворювач з підвищеною вхідною напругою, що живиться по ізолюваному від контактної мережі підсилювальному дроту.

Як перетворювач використовувався автономний інвертор на тиристорах звичайного типу з трансформатором, що працює на підвищеній частоті 800 Гц, і вихідним випрямлячем.

Застосування сучасних IGCT тиристорів дозволяє суттєво підвищити надійність перетворювача та спростити його схему. Перетворювач постійного струму підвищеної вхідної напруги в постійний струм напругою контактної мережі 3,3 кВ є багатофазним перетворювачем постійного струму, виконаний за схемою з широтно-імпульсним регулюванням напруги на накопичувальних дроселях, що дозволяє забезпечити більш високу якість електропостачання контактної мережі.

Перетворювач виконаний за безтрансформаторною схемою і включає шість IGCT-тиристорних ключів, три діодні ключі, три накопичувальні дроселі і фільтрове обладнання. Спрощена важлива схема представлена на рисунку 1.1.

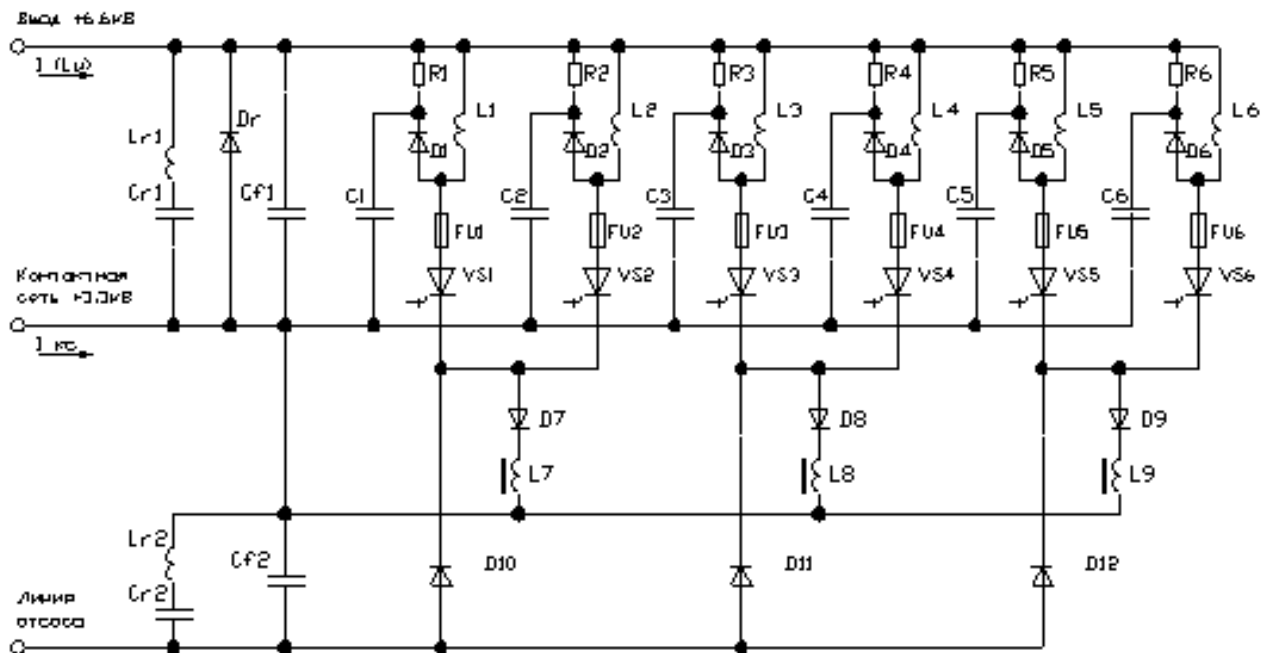


Рисунок 1.1 – Схема імпульсного перетворювача постійного струму

Тактова частота роботи перетворювача обрана з умов забезпечення мінімальних масогабаритних показників дросельного обладнання та теплового режиму напівпровідникових приладів та становить 1000 Гц. Відповідно кожен з тиристорних ключів працює на частоті 167 Гц, що дозволяє забезпечити охолодження силових приладів за допомогою радіаторів на теплових трубах з примусовим повітряним охолодженням. Регулятор, крім стабілізації вихідної напруги, забезпечує обмеження вихідного струму при можливих перевантаженнях, а також забезпечує функції захисту в різних позаштатних ситуаціях. Виконання перетворювача за шестиканальною схемою забезпечує збереження його працездатності при відмові одного або кількох каналів з відповідним зниженням вихідної потужності. Допустимий рівень психофотричних напруг у контактній мережі забезпечується застосуванням аперіодичних та резонансних фільтрів.

Електронний захист перетворювального обладнання з управління IGCT-тиристорів побудований з використанням широкосмугових вимірювальних датчиків струму в кожному із шести каналів.

Можливі короткі замикання у високовольтному обладнанні відключаються спеціальними запобіжниками, що швидко діють, включеними послідовно з кожним із силових тиристорних ключів. Зникнення вхідної напруги може призвести до появи неприпустимої напруги зворотного знаку на IGCT-тиристорах. Для блокування зворотної напруги використовуються шунтуючі діоди, що з'єднують контактну мережу 3,3 кВ із вхідною мережею підвищеної напруги.

При коротких замикання на виході перетворювача відключається швидкодіючий вимикач і одночасно блокуються імпульси управління IGCT-тиристорами. При внутрішніх коротких замикання імпульси управління також блокуються і одночасно видається команда на вимкнення живлення вхідної

мережі. Для цієї ж мети послідовно з кожним із IGBT-тиристорів включений швидкодіючий запобіжник.

Максимальне значення прямої напруги на тиристорному ключі вбирається у 9 кВ, зворотне напруга відсутня. Перевантаження струму при штатному функціонуванні електронного захисту також відсутні. Таким чином, результати розрахунків дозволяють зробити висновок, що перетворювач зберігає працездатність після аварійних відключень.

При розробці конструкції перетворювача використовувався досвід створення IGBT-тиристорного інвертора для частотно-регульованого електроприводу з вихідною напругою 6 кВ та потужністю 5 МВт. Фотографія такого перетворювача представлена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Конструкція перетворювача на IGBT-тиристорах

Конструкція перетворювача побудована з використанням організованих повітряних каналів для охолодження напівпровідникових приладів. Конденсаторні батареї та шинні з'єднання між приладами виконані з мінімізацією індуктивності контурів струмових ланцюгів при комутації для забезпечення зниження перенапруг на напівпровідникових приладах. Для зниження перенапруг при комутації використовується також високочастотний LRD-контур, виконаний відповідно до рекомендацій розробників IGCT-тиристорів.

Розрахунки показують, що застосування перетворювача та живлення його від підвищеної напруги по дроту, що підсилює, ефективно при відстанях між сусідніми тяговими підстанціями до 35 - 40 км.

Схема живлення системи з перетворювачем напруги представлена на рисунку 1.3.

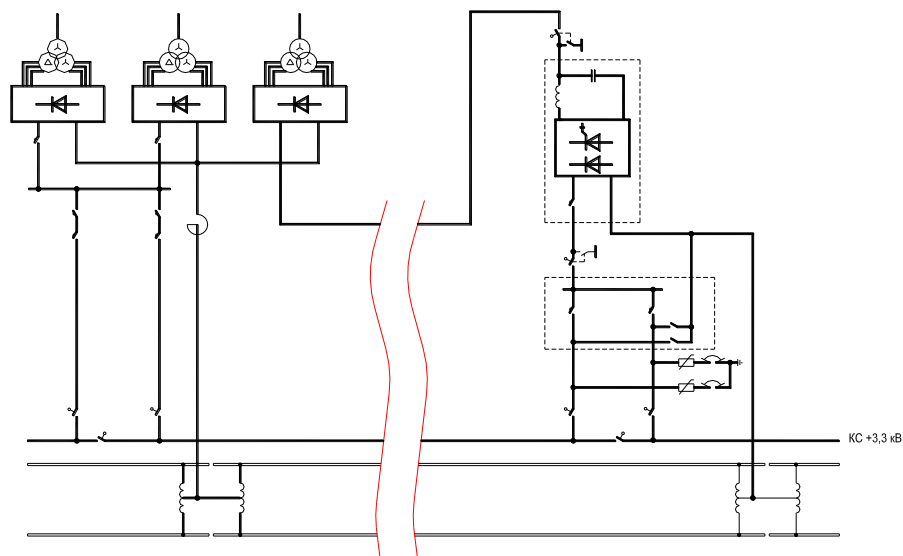


Рисунок 1.3 – Схема живлення системи посилення для контактної мережі 3,3кВ

Застосування системи з виносними фідерами живлення.

Проходження швидкісними поїздами ділянок залізниці з невеликими відстанями між тяговими підстанціями постійного струму призводить до

зниження напруги в контактній мережі у струмоприймачів та обмеження потужності, що розвивається локомотивами. Для забезпечення пропускну здатності під час руху швидкісних поїздів та забезпечення швидкісного руху потрібне збільшення потужності живлення контактної мережі.

Живлення контактної мережі постійного струму на ділянці довжиною 15-20 км між існуючими тяговими підстанціями доцільно виконувати через систему з виносними фідерами живлення 3,3 кВ. Оптимальні точки підключення виносних фідерів десь на відстані 3-4 км. від тягової підстанції.

Схема підключення системи з виносними фідерами представлена на рисунку 1.4.

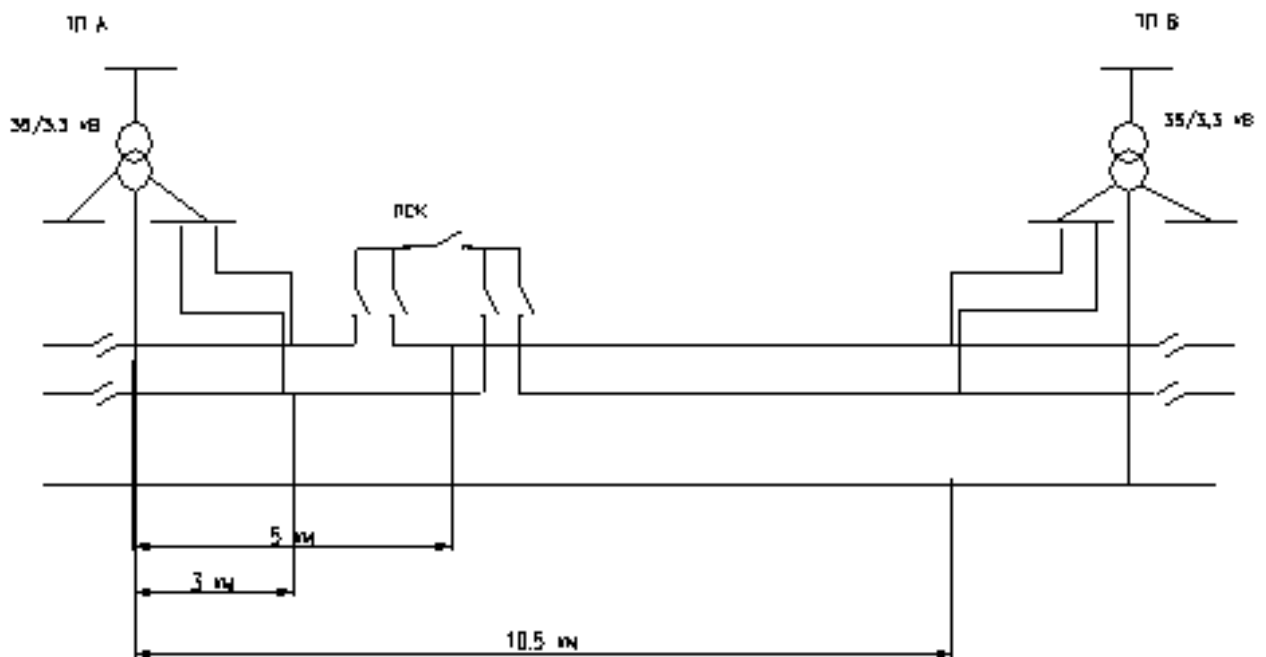


Рисунок 1.4 – Схема підключення системи з виносними фідерами живлення 3,3 кВ

Особливістю системи з виносними фідерами живлення є те, що живлення міжпідстанційної зони здійснюється не в місці розташування тягової підстанції

(в нульовому кілометрі ділянки), а десь на 3-4 кілометрі фідерної зони. Як фідери живлять узятий провід 2А-185.

При застосуванні системи з виносними фідерами з'явилася можливість підвищити напругу на струмоприймачі електровоза при пропуску швидкісних поїздів, а також знизити витрати електроенергії та втрати потужності в тяговій мережі. Така система не вимагає особливого обслуговування як система з перетворювачем напруги, і обслуговується як звичайна система 3,3 кВ без виносних фідерів бригадами дистанції контактної мережі.

2 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДІЛЯНКИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 Загальні питання щодо побудови моделі ділянки тягової мережі

Вивчення та дослідження різних процесів у системі тягового електропостачання пов'язане з певними труднощами, які полягають у фінансових та тимчасових витратах для підготовки експерименту на ділянках електропостачання та окремих елементах в умовах нормальних та аварійних режимів. Програма Electronics Workbench допомагає проводити всі необхідні дослідження, не стикаючись із труднощами. За допомогою Electronics Workbench можна скласти модель будь-якої ділянки залізниці – одноколійного, двоколійного, триколійного, постійного та змінного струму різних напруг. Це дозволяє досліджувати нетрадиційні системи тяги, оцінювати їх економічність за втратами електроенергії та потужності в тяговій мережі, вивчати стаціонарні та перехідні процеси.

У програмі є бібліотеки, які включають велику кількість поширених електронних компонентів. До складу цих бібліотек входять такі елементи: пасивні елементи, гібридні елементи, логічні елементи, цифрові та аналогові елементи, транзистори, тригери, підсилювачі, керовані джерела, керовані ключі, індикатори. Елементи можуть бути як реальними, і ідеальними параметрами.

В Electronics Workbench також представлені контрольно-вимірювальні прилади, які на вигляд та характеристики наближені до їх промислових аналогів вимірювань: амперметр, вольтметр, осцилограф, мультиметр, боді-плоттер (графобудівник частотних характеристик), функціональний генератор, генератор слів, логічний аналізатор, лог перетворювач. Прилади можна налаштувати таким чином, щоб, змінювати шкалу приладів в залежності від діапазону вимірювання, задавати режим роботи приладу, задавати вид вхідних впливів на схему.

Electronics Workbench дозволяє виконувати такі операції:

- вибирати елементи та прилади з наявних бібліотек;
- змінювати параметри цих елементів у широкому діапазоні;
- надавати елементу будь-яке умовне позначення;
- переміщати елементи та схеми у будь-яке місце робочого листа;
- копіювати, вставляти, видаляти елементи;
- повертати елементи на градус, кратний 90;
- змінювати колір провідників;
- одночасне підключення кількох вимірювальних приладів та спостереження їх показань на екрані монітора;

Користуватися при операціях доводиться мишкою і клавіатурою.

Велика кількість приладів дозволяє проводити вимірювання різних величин, задавати вхідні дії, будувати графіки.

Графічні можливості дозволяють:

- зображати криві на графіках;
- одночасно побудувати кілька кривих на одному графіку;
- виміряти координати точок на графіку.

Програма Electronics Workbench легко освоюється та зручна в роботі. У ній можна отримати результати моделювання екстремальних значень електротехнічних розрахунків, таких як пропускна здатність, максимальне значення струмів, втрат напруги, перетоку потужності, роботи комутаційної апаратури, релейного захисту.

Перш ніж створювати креслення принципової схеми, необхідно підготувати її ескіз з приблизним розташуванням компонентів і з урахуванням можливості оформлення окремих компонентів у вигляді блоків.

Підготовка вихідних даних для моделювання.

Для моделювання використовувалися параметри підвіски М-120 + 2МФ100 + 2 А-185 та рейок Р65

Опір тягової мережі складається із суми опорів проводів контактної мережі та рейкового ланцюга.

Опір 1 км дротів контактної мережі [11]:

$$r_{kn} = \frac{1}{\sum g_0} \quad (2.1)$$

де $\sum g_0$ сума провідностей 1 км проводів, що становлять контактну мережу:

$$\sum g_0 = 6,32 + 5,65 \cdot 2 + 5,9 \cdot 2 = 29,42 \text{ См / км}$$

Тоді;

$$r_{kn} = \frac{1}{29,42} = 0,034 \text{ Ом / км}$$

Шунтуюча дія землі, що призводить до зниження опору рейкової мережі, враховується множенням значення на коефіцієнт, який для середнього значення опору рейок при переміщенні навантаження вздовж фідерної зони дорівнює [16]:

Опір 1 км рейкової мережі:

$$r_{pm} = \frac{2}{m \cdot G} \quad (2.2)$$

де m кількість рейкових ниток;

G Маса рейки; $G = 65 \text{ кг}$

Тоді

$$r_{pm} = \frac{2}{4 \cdot 65} = 0,007 \text{ Ом / км}$$

$$r_p = r_{pm} \cdot \beta = 0,007 \cdot 0,95 = 0,0066 \text{ Ом/км}$$

Опір 1 км тягової мережі

$$r_{Тс} = r_{кп} + r_p \quad (2.3)$$

$$r_{мс} = 0,034 + 0,0066 = 0,041 \text{ Ом/км}$$

Опір до шин постійного струму (внутрішній опір підстанції), наведений до напруги на цих шинах [11]:

$$\rho = 0,01AU_T^2 \left(\frac{u_{кп}}{n_{mn} \cdot S_{нп}} + \frac{u_{км}}{n_{mm} \cdot S_{нм}} + \frac{100}{S_{кз}} \right), \quad (2.4)$$

де A – коефіцієнт комутації, рівний для шестифазних схем випрямлення і трифазних мостових 0,5; величини з індексом «п» відносяться до понизливих трансформаторів, а з індексом «т»- до тягових.

U_m – номінальна напруга на шинах тягової підстанції;

u_k - напруга короткого замикання трансформатора, %;

n_m - число паралельно працюючих трансформаторів;

S_n - номінальна потужність трансформатора, МВА;

$S_{кз}$ - потужність короткого замикання на вводах тягової підстанції, МВА.

Прийmemo = 640 МВА.

Як ГПТ обрані: на тяговій підстанції 1, 2: два у роботі трансформатора ТМРУ – 6200/35 з напругою короткого замикання 8,3 %, номінальна потужність 3700 кВА.

Підставивши числові дані, отримаємо:

$$\rho_1 = 0,01 \cdot 0,5 \cdot 3,3^2 \left(\frac{8,3}{2 \cdot 3,7} + \frac{100}{640} \right) = 0,0696 \text{ Ом}$$

$$\rho_2 = 0,01 \cdot 0,5 \cdot 3,3^2 \left(\frac{8,3}{2 \cdot 3,7} + \frac{100}{640} \right) = 0,0696 \text{ Ом}$$

Для підсилювального дроту напругою 6,6 кВ обрано 2 дроти А – 185. Активний опір одного дроту дорівнює 0,17 Ом/км, двох паралельно з'єднаних дротів – 0.085 Ом/км [21].

2.2 Схема заміщення ділянки постійного струму

Моделюючи тягову мережу системи електропостачання за допомогою програми Electronics Workbench, представимо тягову підстанцію у вигляді спрощеної схеми заміщення. Неможливо використовувати модель трансформатора, яку пропонує програма, оскільки вона вимагає заземлень, а це неприпустимо, оскільки може призвести до шунтування деяких ланцюгів.

Схема заміщення фази трансформатора складається з джерела лінійної напруги та внутрішнього опору підстанції представлена на рисунку 2.1. Отримані значення опорів тягової мережі внести до змодельованої блок-схеми ділянки тягової мережі, причому таких блоків можна встановити скільки завгодно, імітуючи ділянки будь-якої відстані 1, 2, 5, 10 км та інші. Тягова мережа представлена активними опорами. Контактна мережа та рейки з'єднані в блоки довжиною 5 км з відповідними значеннями, заданими у діалогових вікнах кожного елемента, представлена на рисунку 2.2.

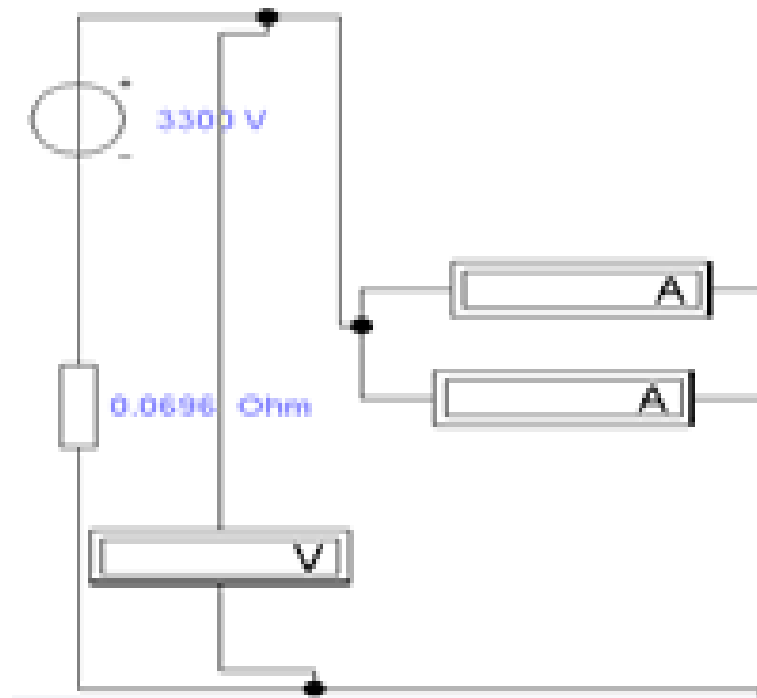


Рисунок 2.1 – Схема заміщення тягової підстанції

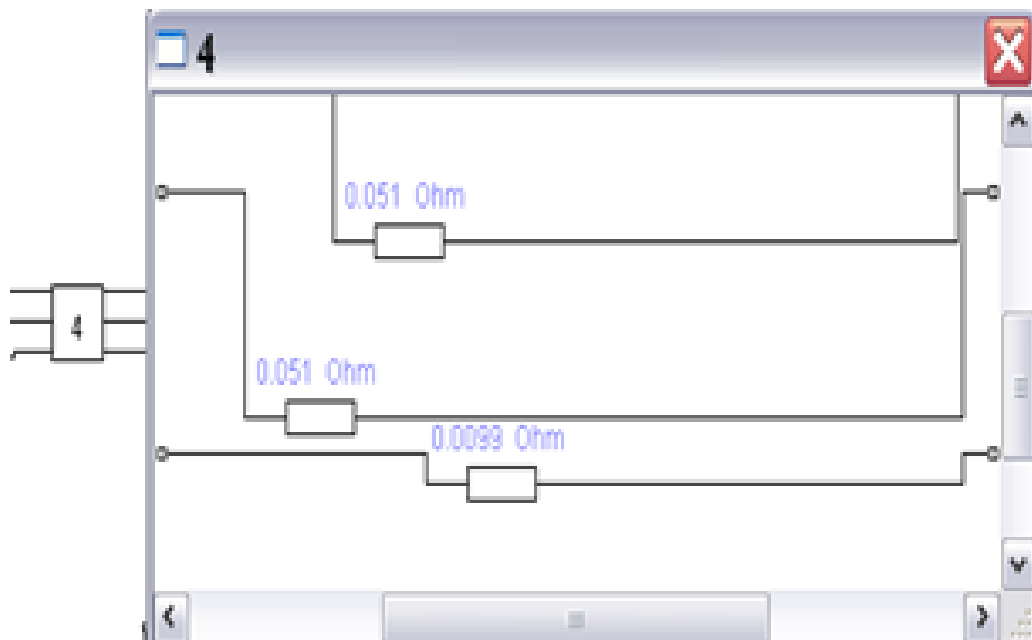


Рисунок 2.2 – Схема заміщення ділянки тягової мережі

Схема заміщення поста секціонування контактної мережі представлена на рисунку 2.3.

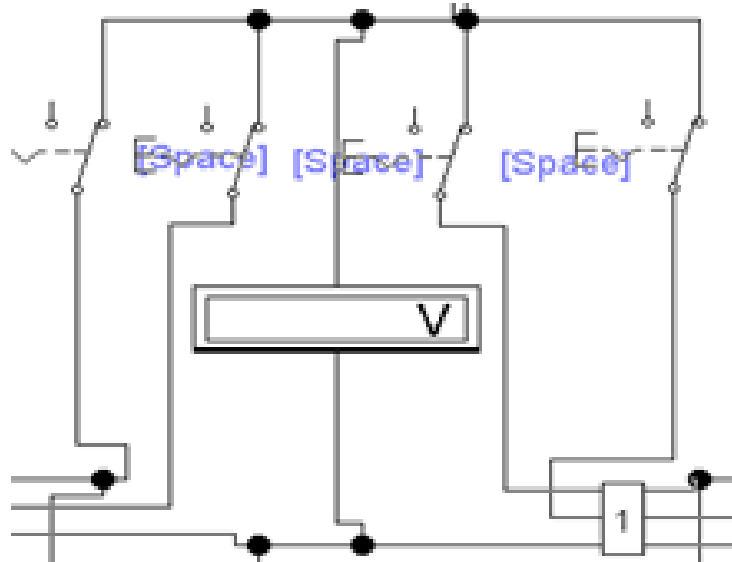


Рисунок 2.3 – Схема заміщення поста секціонування

Схема заміщення електровоза представлена у вигляді джерела струму, що задає, показана на рисунку 2.4.

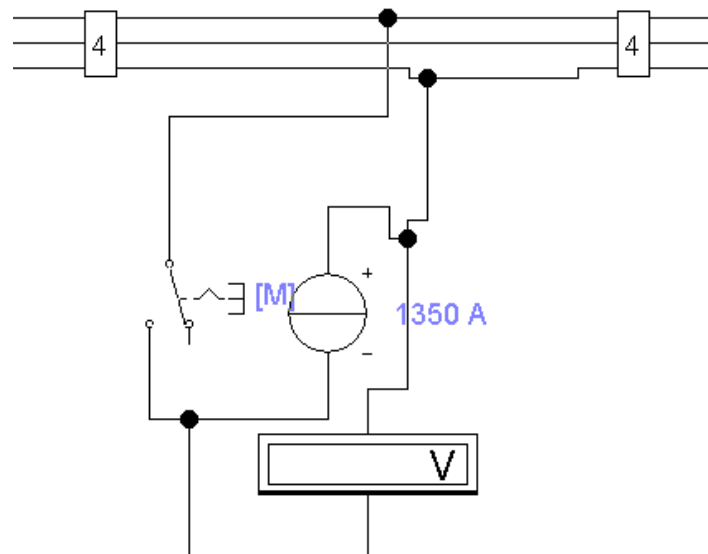


Рисунок 2.4 – Схема заміщення електровозу

Також у Electronics Workbench можна скласти модель перетворювача напруги, яка представлена блоком, підключеним до контактної мережі на посаді секціонування. Схема електропостачання 3,3 кВ з поздовжньою лінією 6 кВ та перетворювачем напруги представлена на рисунку 2.5 Розрахункова схема електропостачання при системі 3,3 кВ представлена на рисунку 2.6. Схема електропостачання з виносними фідерами живлення 3,3 кВ показана на рисунку 2.7.

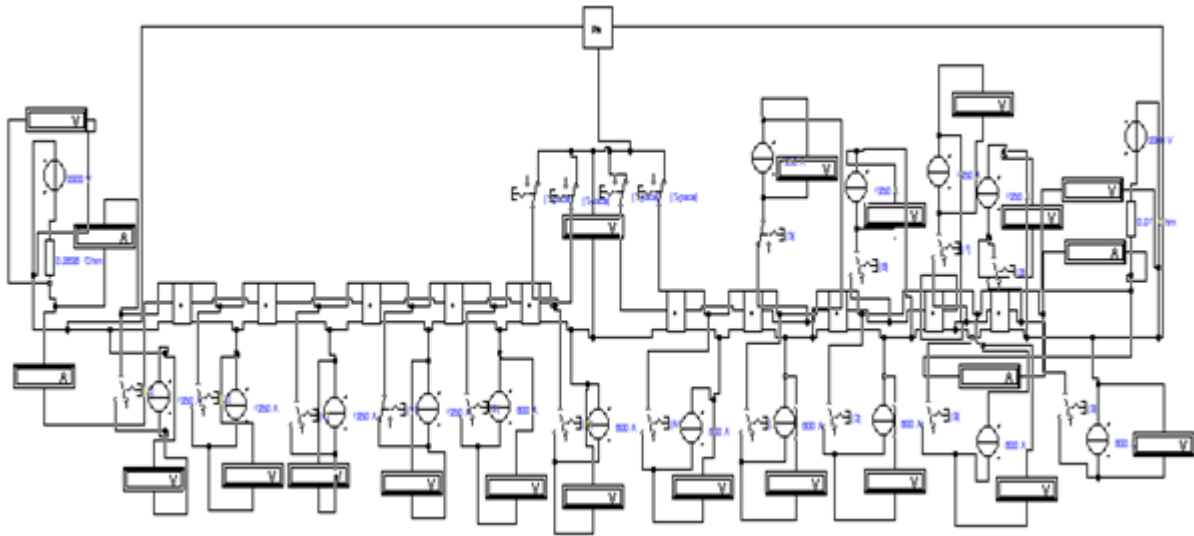


Рисунок 2.5 – Модель схеми електропостачання 3,3 кВ з поздовжньою лінією 6 кВ та перетворювачем напруги

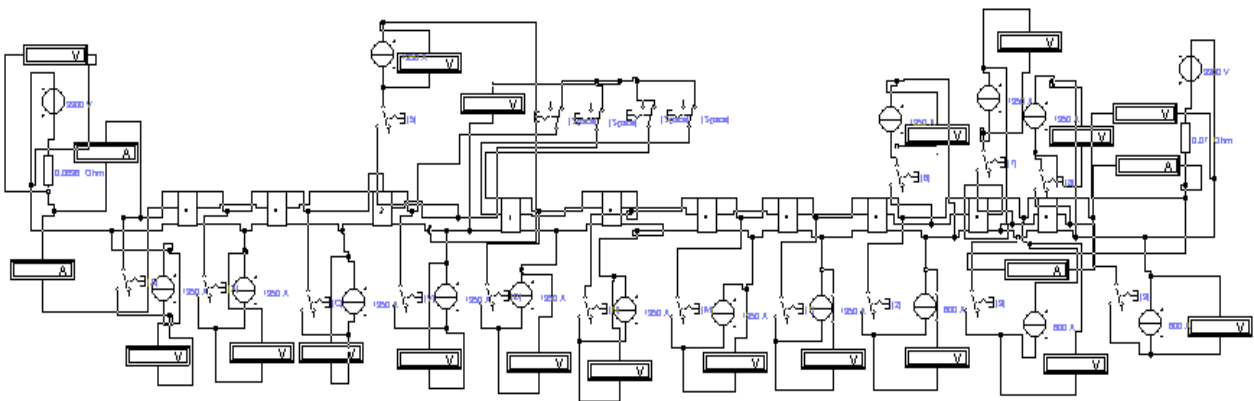


Рисунок 2.6 – Модель схеми електропостачання 3,3 кВ

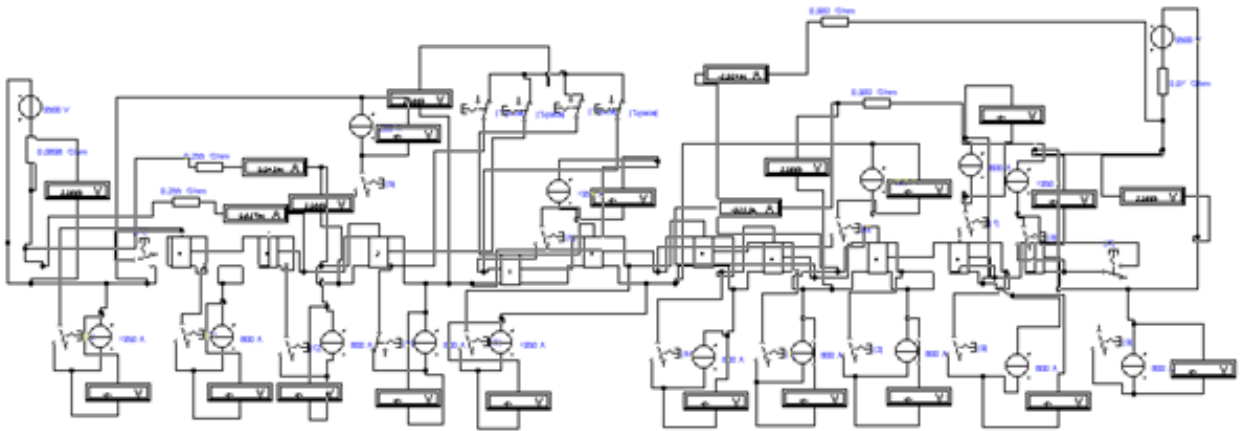


Рисунок 2.7 – Модель схеми електропостачання з виносними фідерами живлення 3,3 кВ

Виходячи з вивчених принципів роботи у програмі Electronics Workbench можна зробити такий висновок, що у програмі можна створити модель будь-якої схеми живлення та будь-якої міжпідстанційної зони.

3 РОЗРАХУНОК ДВОКОЛІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 Розрахунок двоколіїної ділянки при звичайній схемі живлення

Розглянемо кілька ділянок з різними довжинами міжпідстанційної зони для того, щоб потім порівняти їх з отриманими результатами при підключенні перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ на посту секціонування контактної мережі та іншими способами підняття напруги тягової мережі.

За швидкості руху поїздів 60 км/год інтервал між поїздами становитиме 15 км (15 хвилин). За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 15 км пройде чотири пари поїздів, отже за добу – 96 пар поїздів. Довжина міжпідстанційної зони 15 км, пост секціонування контактної мережі розташований на відстані 5 км від тягової підстанції №1.

Дослідження показали, що на зоні можуть перебувати два потяги. Потяги споживають струм 600 А.[6].

Зробимо розрахунок витрати енергії та втрат потужності для миттєвих схем через кілька кілометрів. Дані для розрахунків отримано на імітаційної моделі (рисунок 2.5). При цьому згідно [17]:

$$W = U_{ш1} \cdot (I_{ф1} + I_{ф2}) + U_{ш2} (I_{ф3} + I_{ф4}) \quad (3.1)$$

де W - витрата енергії на фідерній зоні, кВт;

$U_{ш1}$, $U_{ш2}$ – напруги на шинах відповідно першої та другої підстанцій, кВ;

$I_{ф1}$, $I_{ф2}$ - струми фідер першої підстанції, А;

$I_{ф3}$, $I_{ф4}$ - струми фідер другої підстанції, А.

Втрати потужності визначимо за формулою [17]:

$$\Delta P = I^2 \cdot r \quad (3.2)$$

де I – струм відповідної ланки (контактної мережі, підстанції,

перетворювального пункту, що підсилює дроти), А;

r – опір відповідної ланки, Ом.

Отримані дані зведемо в таблицю 3.1, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.1 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 60 км/год на ділянці завдовжки 15 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1+I_{ф2}} А	I _{ф3+I_{ф4}} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,258	3,258	3,258	3,257	600	600	3909,6	0
2	1,5	3,258	3,258	3,226	3,223	600,49	599,51	3909,6	44,3
3	3	3,258	3,258	3,203	3,194	600,4	599,6	3909,6	88,5
4	5	3,259	3,257	3,19	3,166	586,2	613,8	3909,57	147,7
5	6	3,258	3,258	3,17	3,154	600,4	599,6	3909,57	177,12
6	7,5	3,258	3,258	3,152	3,152	600,4	599,6	3909,6	221,40
7	9	3,258	3,258	3,154	3,17	600,4	599,6	3909,6	177,12
8	10,5	3,259	3,257	3,166	3,19	586,2	613,8	3909,57	147,7
9	12	3,258	3,258	3,194	3,203	600,4	599,6	3909,6	88,5
10	13,5	3,258	3,258	3,223	3,226	600,49	599,51	3909,6	44,3
11	15	3,258	3,258	3,257	3,258	600	600	3909,6	0
12								375320,8	109117

При швидкості руху поїздів 120 км/год один поїзд пройде фідерною зоною завдовжки 15 км за 7,5 хвилин. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 15

км пройде вісім пар поїздів, отже за добу – 192 пари поїздів. Дослідження показали, що на зоні можуть перебувати два потяги. Потяги споживають струм 1000 А. [16].

Отримані дані зведемо в таблицю 3.2, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.2 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 120 км/год на ділянці завдовжки 15 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,23	3,23	3,229	3,229	1000	1000	6460	0
2	1,5	3,23	3,23	3,176	3,172	1000,9	999,1	6460	123
3	3	3,23	3,23	3,139	3,123	1000,8	999,2	6460	246
4	5	3,232	3,228	3,116	3,077	977	1023	6459	410,2
5	6	3,23	3,23	3,083	3,057	1000,8	999,2	6459	492
6	7,5	3,23	3,23	3,053	3,053	1000,8	999,2	6460	615
7	9	3,23	3,23	3,057	3,083	1000,8	999,2	6460	492
8	10,5	3,232	3,228	3,077	3,116	977	1023	6459	410,2
9	12	3,23	3,23	3,123	3,139	1000,8	999,2	6460	246
10	13,5	3,23	3,23	3,172	3,176	1000,9	999,1	6460	123
11	15	3,23	3,23	3,229	3,229	1000	1000	6460	0
12								1240315	606220

При швидкості руху поїздів 140 км/год поїзд пройде міжпідстанційною зоною завдовжки 15 км за 6,43 хвилини. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 15 км пройде 9 пар поїздів, отже за добу – 216 пар поїздів. Дослідження показали, що на зоні знаходяться два потяги. Потяги споживають струм 1150 А [16].

Отримані дані зведемо в таблицю 3.3, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.3 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 140 км/год на ділянці завдовжки 15 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,22	3,22	3,219	3,218	1150	1150	7406	0
2	1,5	3,22	3,22	3,158	3,153	1150,8	1149,2	7406	162,7
3	3	3,22	3,22	3,114	3,096	1150,9	1149,1	7406	325,3
4	5	3,222	3,218	3,089	3,044	1123,6	1176,4	7405	542,5
5	6	3,22	3,22	3,05	3,02	1151	1149	7405	650,7
6	7,5	3,23	3,23	3,016	3,016	1151	1149	7429	813,3
7	9	3,22	3,22	3,021	3,05	1151	1149	7406	650,7
8	10,5	3,222	3,218	3,044	3,089	1123,6	1176,4	7405	542,5
9	12	3,22	3,22	3,096	3,114	1150,9	1149,1	7406	325,3
10	13,5	3,22	3,22	3,153	3,158	1150,8	1149,2	7406	162,7
11	15	3,22	3,22	3,218	3,219	1150	1150	7406	0
12								1658813	901951

При швидкості руху поїздів 160 км/год поїзд пройде міжпідстанційною зоною завдовжки 15 км за 5,625 хвилини. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 15 км пройде 11 пар поїздів, отже за добу – 264 пари поїздів. Дослідження показали, що на зоні знаходяться два потяги. Потяги споживають струм 1250 А. [16].

Отримані дані зведемо в таблицю 3.4, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.4 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 160 км/год на ділянці завдовжки 15 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,213	3,213	3,212	3,211	1250	1250	8032	0
2	1,5	3,213	3,213	3,145	3,14	1250,6	1249,4	8032	192,2
3	3	3,213	3,213	3,098	3,079	1251	1149	7711	354,9
4	5	3,215	3,21	3,07	3,021	1221,2	1278,8	8031	640,9
5	6	3,213	3,213	3,029	2,997	1251	1249	8031	768,7
6	7,5	3,213	3,213	2,991	2,991	1251	1249	8032	960,9
7	9	3,213	3,213	2,997	3,029	1251	1249	8032	768,7
8	10,5	3,215	3,21	3,021	3,07	1221,2	1278,8	8031	640,9
9	12	3,213	3,213	3,079	3,098	1251	1149	7711	354,9
10	13,5	3,213	3,213	3,14	3,145	1250,6	1249,4	8032	192,2
11	15	3,213	3,213	3,211	3,212	1250	1250	8032	0
12								2046949	1286815

При швидкості руху поїздів 180 км/год поїзд пройде міжпідстанційною зоною завдовжки 15 км за 4,99 хвилини. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 15 км пройде 12 пар поїздів, отже за добу – 288 пар поїздів. Дослідження показали, що на зоні знаходяться два потяги. Потяги споживають струм 1350 А. [16].

Отримані дані зведемо в таблицю 3.5, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.5 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 180 км/год на ділянці завдовжки 15 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{э1} кВ	U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,206	3,206	3,205	3,204	1351,5	1348,5	8656	0
2	1,5	3,206	3,206	3,133	3,127	1350,8	1349,2	8656	224,2
3	3	3,206	3,206	3,082	3,061	1351,1	1348,9	8656	448,3
4	5	3,208	3,203	3,052	2,99	1318,8	1381,2	8654	747,6
5	6	3,206	3,206	3,007	2,973	1351,2	1348,8	8654	896,7
6	7,5	3,206	3,206	2,966	2,966	1351,2	1348,8	8656	1120
7	9	3,206	3,206	2,973	3,007	1351,2	1348,8	8656	896,7
8	10,5	3,208	3,203	2,99	3,052	1318,8	1381,2	8654	747,6
9	12	3,206	3,206	3,061	3,082	1351,1	1348,9	8656	448,3
10	13,5	3,206	3,206	3,127	3,133	1350,8	1349,2	8656	224,2
11	15	3,206	3,206	3,204	3,205	1351,5	1348,5	8656	0
12								2497195	1657037

З проведених досліджень можна зробити висновок, що по маленькій ділянці, довжиною в 15 км можна пропускати будь-які поїзди, хоча напруга на струмоприймачі електровоза при пропуску швидкісних поїздів трохи нижче за розрахунковий, але допустимо.

3.2 Аналіз можливості використання перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ

Одним із способів підвищення рівня напруги є метод підключення на посту секціонування контактної мережі перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ.

Зробимо розрахунок витрати енергії та втрат потужності для миттєвих схем через кожні кілька кілометрів за формулами (4.2) – (4.3). Дані для розрахунків отримано на імітаційній моделі (рисунок 3.6).

При цьому:

$$W = U_{ш1} \cdot (I_{ф1} + I_{а2}) + U_{ш2} (I_{ф3} + I_{ф4}) + 2U_{уп} \cdot I_{уп} \quad (3.3)$$

де W - Витрата енергії на фідерній зоні, кВт;

$U_{ш1}, U_{ш2}$ – напруги на шинах відповідно першої та другої підстанцій, кВ;

$I_{ф1}, I_{ф2}$ - струми фідер першої підстанції, А;

$I_{ф3}, I_{ф4}$ - струми фідер другої підстанції, А;

$U_{уп}$ – напруга підсилювального дроту, кВ;

$I_{уп}$ - струм підсилювального дроту, А.

Отримані дані зведемо в таблицю 3.6, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.6 – Витрата енергії та втрати потужності при використанні перетворювача напруги при швидкості 60 км/год

№ п/п	S км	$U_{ш1}, U_{ш2}$ кВ	$U_{э1}, U_{э2}$ кВ	$I_{ф1}+I_{ф2}$ А	$I_{ф3}+I_{ф4}$ А	$I_{уп}$ А	$I_{пп}$ А	W кВт	$\Delta P_{кв}$ кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	3,282 3,275	3,281 3,274	569,5	598,2	16,15	32,3	4041,3	0
2	1,5	3,282 3,275	3,259 3,246	417,5	508,48	137,01	274,02	4844	26,6
3	3	3,282 3,275	3,246 3,222	256,99	418,76	262,12	524,25	5674,9	29,7
4	5	3,283 3,274	3,245 3,201	240,8	370,2	294,5	589	5889,9	39,9
5	6	3,282 3,275	3,221 3,194	255	355,76	294,62	589,24	5891	47,1
6	7,5	3,282 3,275	3,197 3,197	255	355,8	294,6	589,2	5890,8	58,9
7	9	3,282 3,275	3,194 3,221	255	355,76	294,62	589,24	5891	47,1
8	10, 5	3,283 3,274	3,201 3,245	240,8	370,2	294,5	589	5889,9	39,9

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	12	3,282 3,275	3,222 3,246	256,99	418,76	262,12	524,25	5674,9	29,7
10	13,5	3,282 3,275	3,246 3,259	417,5	508,48	137,01	274,02	4844	26,6
11	15	3,282 3,275	3,274 3,281	569,5	598,2	16,15	32,3	4041,3	0
12								511187,4	33168

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.7, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 4.7 – Витрата енергії та втрати потужності при використанні перетворювача напруги при швидкості 120 км/год

№ п/п	S кМ	U _{м1} , U _{м2} кВ	U _{з1} , U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} , А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{мп} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,252 3,247	3,253 3,246	994,2	997,1	4,35	8,7	6528	0
2	1,5	3,254 3,247	3,21 3,195	695,87	847,52	228,31	456,6 1	8029	73,9
3	3	3,255 3,247	3,152 3,182	652,4	753,45	297,075	594,1 5	8491	122
4	5	3,256 3,246	3,172 3,112	625,4	775	299,8	599,6	8509	203
5	6	3,255 3,247	3,135 3,098	649	751	300	600	8511	242
6	7,5	3,255 3,247	3,099 3,099	649	751	300	600	8511	302
7	9	3,255 3,247	3,098 3,135	649	751	300	600	8511	242
8	10,5	3,256 3,246	3,112 3,172	625,4	775	299,8	599,6	8509	203
9	12	3,255 3,247	3,152 3,182	652,4	753,45	297,075	594,1 5	8491	122
10	13,5	3,254 3,247	3,195 3,21	695,87	847,52	228,31	456,6 1	8029	73,9
11	15	3,254 3,247	3,246 3,253	994,2	997,1	4,35	8,7	6530	0
12								1547388	304089

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.8, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.8 – Витрата енергії та втрати потужності при використанні перетворювача напруги при швидкості 140 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{з1} , U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{пн} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,244 3,237	3,243 3,236	1143,2	1146,2	5,3	10,6	7488,8	0
2	1,5	3,244 3,237	3,191 3,176	803,66	974,66	260,84	521,7	9205,1	98,1
3	3	3,244 3,237	3,158 3,125	800,7	901,99	298,65	597,3	9459,5	178,93
4	5	3,246 3,235	3,145 3,079	769,6	926,9	301,75	603,5	9479,7	297,54
5	6	3,245 3,237	3,062 3,103	796,6	899,2	302,1	604,2	9483,4	355,01
6	7,5	3,245 3,237	3,063 3,063	796,6	899,2	302,1	604,2	9483,4	443,76
7	9	3,245 3,237	3,062 3,103	796,6	899,2	302,1	604,2	9483,4	355,01
8	10,5	3,246 3,235	3,079 3,145	769,6	926,9	301,75	603,5	9479,7	297,54
9	12	3,244 3,237	3,125 3,158	800,7	901,99	298,65	597,3	9459,5	178,93
10	13,5	3,244 3,237	3,176 3,191	803,66	974,66	260,84	521,7	9205,1	98,1
11	15	3,244 3,237	3,236 3,243	1143,2	1146,2	5,3	10,6	7488,8	0
12								2029863	497430

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.9, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.9 – Витрата енергії та втрати потужності при використанні перетворювача напруги при швидкості 160 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{з1} , U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{пн} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,237 3,23	3,236 3,228	1242,4	1246,3	5,65	11,3	8121,8	0
2	1,5	3,237 3,23	3,179 3,163	902,72	1059,02	269,13	538,26	9895,3	119
3	3	3,237 3,23	3,142 3,108	899,5	1001,12	299,69	599,38	10101	222
4	5	3,24 3,228	3,127 3,057	865,8	1028,1	303,05	606,1	10124	370,3
5	6	3,238 3,23	3,082 3,038	895,2	998,1	303,35	606,7	10127	442,2
6	7,5	3,238 3,23	3,038 3,038	895,2	998	303,4	606,8	10127	552,7
7	9	3,238 3,23	3,038 3,082	895,2	998,1	303,35	606,7	10127	442,2
8	10,5	3,24 3,228	3,057 3,127	865,8	1028,1	303,05	606,1	10124	370,3
9	12	3,237 3,23	3,108 3,142	899,5	1001,12	299,69	599,38	10101	222
10	13,5	3,237 3,23	3,163 3,179	902,72	1059,02	269,13	538,26	9895,3	119
11	15	3,237 3,23	3,228 3,236	1242,4	1246,3	5,65	11,3	8121,8	0
12								2487826	754960

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.10, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.10 – Витрата енергії та втрати потужності при використанні перетворювача напруги при швидкості 180 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{э1} ,U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{мп} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,23 3,223	3,229 3,221	1342,4	1346,5	5,55	11,1	8749	0
2	1,5	3,23 3,223	3,167 3,151	1001,88	1143,78	277,17	554,34	10581	142,19
3	3	3,231 3,223	3,126 3,09	998,4	1099,94	300,83	601,66	10742	271,42
4	5	3,233 3,221	3,109 3,034	962	1129,3	304,35	608,7	10765	451,16
5	6	3,231 3,223	3,06 3,014	993,6	1096,8	304,8	609,6	10769	538,79
6	7,5	3,231 3,223	3,013 3,013	993,6	1096,8	304,8	609,6	10769	673,49
7	9	3,231 3,223	3,014 3,06	993,6	1096,8	304,8	609,6	10769	538,79
8	10,5	3,233 3,221	3,034 3,109	962	1129,3	304,35	608,7	10765	451,16
9	12	3,231 3,223	3,09 3,126	998,4	1099,94	300,83	601,66	10742	271,42
10	13,5	3,23 3,223	3,151 3,167	1001,88	1143,78	277,17	554,34	10581	142,19
11	15	3,23 3,223	3,221 3,229	1342,4	1346,5	5,55	11,1	8749	0
12								29893386	1002416

3.3 Аналіз можливості застосування виносних фідерів живлення 3,3 кВ

Для підвищення напруги можна застосувати систему з виносними фідерами. Для виносних фідерів використовуємо такий підсилюючий провід – 2 А-185 з опором 0,085 Ом/км. Фідери розташовані на відстані 3 км та 10,5 км. Напруга холостого ходу на шинах тягової підстанції – 3,5 кВ.

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.11, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.11 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 60 км/год для системи з виносними фідерами

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} , кВ	U _{з1} , кВ	U _{з2} , кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кк} кВт
1	0	3,363	3,369	3,34	3,312	328 328	272 272	4038,86	0
2	1,5	3,347	3,358	3,338	3,309	348,6 307,3	254 290,1	4022,38	81,308
3	3	3,347	3,362	3,347	3,312	369,3 286,7	236 308,1	4024,89	162,66
4	5	3,364	3,312	3,335	3,311	311,6 311,6	234,3 342,4	4006,47	244,67
5	6	3,362	3,324	3,314	3,298	316,8 316,8	253,7 312,7	4012,87	303,49
6	7,5	3,362	3,335	3,295	3,295	316,8 316,8	283,2 283,2	4019,10	379,36
7	9	3,362	3,324	3,298	3,314	316,8 316,8	312,7 253,7	4012,87	303,49
8	10,5	3,364	3,312	3,311	3,335	311,6 311,6	342,4 234,3	4006,47	244,67
9	12	3,347	3,362	3,312	3,347	286,7 369,3	308,1 236	4024,89	162,66
10	13,5	3,358	3,347	3,309	3,338	307,3 348,6	290,1 254	4023,61	81,308
11	15	3,363	3,369	3,34	3,312	328 328	272 272	4038,86	0
12								386018	188507

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.12, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.12 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 120 км/год для системи з виносними фідерами

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} , кВ	U _{з1} , кВ	U _{з2} , кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,266	3,282	3,233	3,186	546,6 546,6	453,4 453,4	6546,5	0
2	1,5	3,263	3,245	3,231	3,182	581 512,2	423,4 483,4	6509,67	225,871
3	3	3,245	3,229	3,245	3,187	615,3 477,9	393,4 513,4	6475,49	451,742
4	5	3,274	3,186	3,225	3,186	519,4 519,4	390,5 570,7	6463,41	679,836
5	6	3,27	3,267	3,19	3,164	528 528	422,9 531,1	6569,83	843,042
6	7,5	3,27	3,226	3,158	3,158	528 528	472 472	6498,46	1053,8
7	9	3,27	3,267	3,164	3,19	528 528	531,1 422,9	6569,83	843,042
8	10,5	3,274	3,186	3,186	3,225	519,4 519,4	570,7 390,5	6463,41	679,836
9	12	3,245	3,229	3,187	3,245	477,9 615,3	513,4 393,4	6475,49	451,742
10	13,5	3,263	3,245	3,182	3,231	512,2 581	483,4 423,4	6509,67	225,871
11	15	3,266	3,282	3,186	3,233	546,6 546,6	453,4 453,4	6546,5	0
12								1250240	1047318

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.13, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.13 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 140 км/год для системи з виносними фідерами

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} , кВ	U _{э1} , кВ	U _{э2} , кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,249	3,231	3,193	3,139	628,6 628,6	521,4 521,4	7453,93	0
2	1,5	3,228	3,206	3,19	3,134	668,1 589,1	486,9 555,9	7401,46	298,724
3	3	3,206	3,182	3,206	3,14	707,6 549,6	452,4 590,4	7348,77	597,449
4	5	3,24	3,139	3,184	3,138	597,3 597,3	449,1 656,3	7340,35	899,054
5	6	3,236	3,163	3,143	3,114	607,2 607,2	486,3 599,3	7363,55	1114,92
6	7,5	3,236	3,184	3,107	3,107	607,2 607,2	542,8 542,8	7386,35	1393,66
7	9	3,236	3,163	3,114	3,143	607,2 607,2	599,3 486,3	7363,55	1114,92
8	10,5	3,24	3,139	3,138	3,184	597,3 597,3	656,3 449,1	7340,35	899,054
9	12	3,206	3,182	3,14	3,206	549,6 707,6	590,4 452,4	7348,77	597,449
10	13,5	3,228	3,206	3,134	3,19	589,1 668,1	555,9 486,9	7401,46	298,724
11	15	3,249	3,231	3,139	3,193	628,6 628,6	521,4 521,4	7453,93	0
12								1652987	1558214

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.14, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.14 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 160 км/год для системи з виносними фідерами

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} , кВ	U _{э1} , кВ	U _{э2} , кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,228	3,208	3,166	3,105	683,2 683,2	566,8 566,8	8047,33	0
2	1,5	3,204	3,181	3,163	3,103	726,2 640,3	529,2 604,3	7983,93	352,924
3	3	3,181	3,154	3,181	3,109	769,2 597,3	491,7 641,8	7921,9	705,848
4	5	3,218	3,108	3,156	3,107	649,2 649,3	488,2 713,3	7912,84	1062,24
5	6	3,213	3,134	3,112	3,08	660 660	528,6 651,4	7939,28	1317,25
6	7,5	3,213	3,157	3,073	3,073	660 660	590 590	7966,42	1646,57
7	9	3,213	3,134	3,08	3,112	660 660	651,4 528,6	7939,28	1317,25
8	10,5	3,218	3,108	3,107	3,156	649,3 649,2	713,3 488,2	7912,84	1062,24
9	12	3,181	3,154	3,109	3,181	597,3 769,2	641,8 491,7	7921,9	705,848
10	13,5	3,204	3,181	3,103	3,163	640,3 726,2	604,3 529,2	7983,93	352,924
11	15	3,228	3,208	3,105	3,166	683,2 683,2	566,8 566,8	8047,33	0
12								2038792	2250097

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.15, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.15 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 180 км/год для системи з виносними фідерами

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} кВ	U _{э1} , кВ	U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,206	3,184	3,14	3,077	737,9 737,9	612,1 612,1	8629,27	0
2	1,5	3,181	3,155	3,136	3,071	784,3 691,5	571,6 652,6	8556,87	411,639
3	3	3,155	3,127	3,155	3,078	830,7 645,1	531 693,2	8484,22	823,279
4	5	3,195	3,076	3,129	3,076	701,2 701,2	527,2 770,4	8472,09	1239,04
5	6	3,19	3,104	3,081	3,047	712,8 712,8	570,9 703,5	8503,4	1536,45
6	7,5	3,19	3,13	3,039	3,039	712,8 712,8	637,2 637,2	8536,54	1920,56
7	9	3,19	3,104	3,047	3,081	712,8 712,8	703,5 570,9	8503,4	1536,45
8	10,5	3,195	3,076	3,076	3,129	701,2 701,2	770,4 527,2	8472,09	1239,04
9	12	3,155	3,127	3,078	3,155	645,1 830,7	693,2 531	8484,22	823,279
10	13,5	3,181	3,155	3,071	3,136	691,5 784,3	652,6 571,6	8556,87	411,639
11	15	3,206	3,184	3,077	3,14	737,9 737,9	612,1 612,1	8629,27	0
12								2460859	2863116

3.4 Аналіз можливості підвищення напруги холостого ходу на тяговій підстанції

Підвищимо рівень холостого ходу на шинах тягової підстанції до 3,5 кВ і подивимося, як підвищиться напруга на струмоприймачі електровоза.

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.16, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.16 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 60 км/год на ділянці завдовжки 15 км із напругою холостого ходу на тяговій підстанції 3,5 кВ

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,458	3,458	3,458	3,457	598,5 1,999	0,601 598,9	4149,6	0
2	1,5	3,458	3,458	3,426	3,423	509 91,47	45,51 554	4149,6	44,3
3	3	3,458	3,458	3,403	3,394	419,5 180,9	90,38 509,1	4149,6	88,5
4	5	3,459	3,457	3,39	3,366	293,1 293,1	142,4 471,4	4149,572	147,7
5	6	3,458	3,458	3,37	3,354	300,2 300,2	210 389,5	4149,572	177,12
6	7,5	3,458	3,458	3,352	3,352	300,2 300,2	299,8 299,8	4149,6	221,4
7	9	3,458	3,458	3,354	3,37	300,2 300,2	389,5 210	4149,6	177,12
8	10,5	3,459	3,457	3,366	3,39	293,1 293,1	471,4 142,4	4149,572	147,7
9	12	3,458	3,458	3,394	3,403	180,9 419,5	509,1 90,38	4149,6	88,5
10	13,5	3,458	3,458	3,423	3,426	91,47 509	554 45,51	4149,6	44,3
11	15	3,458	3,458	3,457	3,458	1,999 598,5	598,9 0,601	4149,6	0
12								398360	109117

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.17, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.17 – Витрата енергії та втрати потужності при русі поїздів зі швидкістю 120 км/год на ділянці довжиною 15 км з напругою холостого ходу на тяговій підстанції 3,5 кВ

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,43	3,43	3,429	3,429	997,5 3,331	1,064 999	6860	0
2	1,5	3,43	3,43	3,376	3,372	848,4 152,5	75,84 923,4	6860	123
3	3	3,43	3,43	3,339	3,323	699,2 301,6	150,6 848,6	6860	246
4	5	3,432	3,428	3,316	3,277	488,5 488,5	237,3 785,7	6859,9	410,2
5	6	3,43	3,43	3,283	3,257	500,4 500,4	350,1 649,3	6859,9	492
6	7,5	3,43	3,43	3,253	3,253	500,4 500,4	499,6 499,6	6860	615
7	9	3,43	3,43	3,257	3,283	500,4 500,4	649,3 350,1	6860	492
8	10,5	3,432	3,428	3,277	3,316	488,5 488,5	785,7 237,3	6859,9	410,2
9	12	3,43	3,43	3,323	3,339	699,2 301,6	848,6 150,6	6860	246
10	13,5	3,43	3,43	3,372	3,376	152,5 848,4	923,4 75,84	6860	123
11	15	3,43	3,43	3,429	3,429	3,331 997,5	999 1,064	6860	0
12								1317115	606220

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.18, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.18 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 140 км/год на ділянці завдовжки 15 км із напругою холостого ходу на тяговій підстанції 3,5 кВ

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,42	3,42	3,419	3,418	1147 3,83	1,223 1148	7866	0
2	1,5	3,42	3,42	3,358	3,353	975,6 175,3	87,22 1062	7866	162,7
3	3	3,42	3,42	3,314	3,296	804,1 346,8	173,2 975,9	7866	325,3
4	5	3,42 2	3,418	3,289	3,244	561,8 561,8	272,9 903,6	7865,9	542,5
5	6	3,42	3,42	3,25	3,22	575,5 575,5	402,5 746,5	7865,9	650,7
6	7,5	3,42	3,42	3,216	3,216	575,5 575,5	574,5 574,5	7866	813,3
7	9	3,42	3,42	3,221	3,25	575,5 575,5	746,5 402,5	7866	650,7
8	10,5	3,42 2	3,418	3,244	3,289	561,8 561,8	903,6 272,9	7865,9	542,5
9	12	3,42	3,42	3,296	3,314	346,8 804,1	975,9 173,2	7866	325,3
10	13,5	3,42	3,42	3,353	3,358	175,3 975,6	1062 87,22	7866	162,7
11	15	3,42	3,42	3,418	3,419	3,83 1147	1148 1,223	7866	0
12								1761348	901951

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.19, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.19 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 160 км/год на ділянці завдовжки 15 км із напругою холостого ходу на тяговій підстанції 3,5 кВ

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,413	3,413	3,412	3,411	1247 4,163	1,33 1248	8532,5	0
2	1,5	3,413	3,413	3,345	3,34	1060 190,6	94,81 1154	8532,5	192,2
3	3	3,413	3,413	3,298	3,279	874 377	188,3 1061	8191,2	354,9
4	5	3,415	3,41	3,27	3,221	610,6 610,6	296,7 982,2	8531,1	640,9
5	6	3,413	3,413	3,229	3,197	625,5 625,5	437,5 811,5	8531,1	768,7
6	7,5	3,413	3,413	3,191	3,191	625,5 625,5	624,5 624,5	8532,5	960,9
7	9	3,413	3,413	3,197	3,229	625,5 625,5	811,5 437,5	8532,5	768,7
8	10,5	3,415	3,41	3,221	3,27	610,6 610,6	982,2 296,7	8531,1	640,9
9	12	3,413	3,413	3,279	3,298	377 874	1061 188,3	8191,2	354,9
10	13,5	3,413	3,413	3,34	3,345	190,6 1060	1154 94,81	8532,5	192,2
11	15	3,413	3,413	3,411	3,412	4,163 1247	1248 1,33	8532,5	0
12								2169014	1286815

Отримані дослідження зведемо в таблицю 3.20, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.20 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 180 км/год на ділянці завдовжки 15 км із напругою холостого ходу на тяговій підстанції 3,5 кВ

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,406	3,406	3,405	3,404	1347 4,495	1,436 1347	9196,2	0
2	1,5	3,406	3,406	3,333	3,327	1145 205,8	102,4 1247	9196,2	224,2
3	3	3,406	3,406	3,282	3,261	944 407,1	203,3 1146	9196,2	448,3
4	5	3,408	3,403	3,252	3,199	659,4 659,4	320,4 1061	9194,7	747,6
5	6	3,406	3,406	3,207	3,173	675,6 675,6	472,4 876,4	9194,7	896,7
6	7,5	3,406	3,406	3,166	3,166	675,6 675,6	674,4 674,4	9196,2	1120
7	9	3,406	3,406	3,173	3,207	675,6 675,6	876,4 472,4	9196,2	896,7
8	10,5	3,408	3,403	3,199	3,252	659,4 659,4	1061 320,4	9194,7	747,6
9	12	3,406	3,406	3,261	3,282	407,1 944	1146 203,3	9196,2	448,3
10	13,5	3,406	3,406	3,327	3,333	205,8 1145	1247 102,4	9196,2	224,2
11	15	3,406	3,406	3,404	3,405	4,495 1347	1347 1,436	9196,2	0
12								2652985	1657037

Проектні рішення, які були запропоновані для підвищення рівня напруги на струмоприймачі електровоза при довжині міжпідстанційної зони 15 км - застосування перетворювача напруги на посаді секціонування контактної мережі

6,6/3,3 кВ; застосування системи з виносними фідерами живлення 3,3 кВ; підвищення напруги холостого ходу на тяговій підстанції до 3,5 кВ.

Застосування перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ на маленькій ділянці є неефективним, навіть при інтенсивному русі поїздів, оскільки втрати електроенергії великі, хоча втрати потужності контактної мережі і тягової підстанції значно зменшуються.

Підвищення напруги холостого ходу на тяговій підстанції є способом, що не вимагає додаткових витрат, і значно підвищує напругу на струмоприймачі електровоза, але при цьому значно збільшує витрати електроенергії в системі.

Найбільш економічно вигідним способом підвищення напруги на струмоприймачі електровоза є система з виносними фідерами живлення 3,3 кВ. Вона знижує витрати електроенергії в тяговій мережі, і згідно з економічними розрахунками під час руху поїздів зі швидкістю вище 60 км/год окупиться за кілька років.

3.5 Дослідження двоколійної ділянки постійного струму довжиною 50 км за звичайної схеми живлення

При швидкості руху поїздів 60 км/год інтервал між поїздами становитиме 20 км (20 хвилин). За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 50 км пройде три пари поїздів, отже за добу – 72 пари поїздів. Довжина міжпідстанційної зони 50 км, пост секціонування контактної мережі розташований з відривом 25 км посередині.

Цей розрахунок необхідно провести для того, щоб збільшити довжину міжпідстанційної зони і показати яким чином змінюватиметься напруга на струмоприймачі електровоза. При цьому необов'язково змінювати схему електропостачання ділянки, а достатньо змінити блоки величину опору тягової мережі. На зоні знаходяться два потяги. Потяги споживають струм 600 А [16].

Результати досліджень зведемо до таблиці 3.21. В останньому рядку таблиці 3.21 витрати енергії, втрати потужності в контактній мережі за добу.

Таблиця 3.21 – Витрата енергії та втрати потужності при русі поїздів зі швидкістю 60 км/год на ділянці довжиною 50 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1+I_{ф2}} А	I _{ф3+I_{ф4}} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,258	3,258	3,258	3,257	600	600	3909	0
2	5	3,258	3,258	3,146	3,146	600,18	599,82	3909	73,84
3	10	3,258	3,258	3,055	3,055	600,2	599,8	3909	147,7
4	15	3,258	3,258	2,984	2,984	600,2	599,8	3909	221,5
5	20	3,258	3,258	2,934	2,934	600,2	599,8	3909	295,4
6	25	3,258	3,258	2,904	2,904	599,8	600,2	3909	368,7
7	30	3,258	3,258	2,934	2,934	600,2	599,8	3909	295,4
8	35	3,258	3,258	2,984	2,984	600,2	599,8	3909	221,5
9	40	3,258	3,258	3,055	3,055	600,2	599,8	3909	147,7
10	45	3,258	3,258	3,146	3,146	600,2	599,8	3909	73,84
11	50	3,258	3,258	3,258	3,257	600	600	3909	0
12								281491	132881

За 25 хвилин по фідерній зоні завдовжки 50 км пройде два поїзди. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 50 км пройде 5 пар поїздів, отже за добу – 120 пар поїздів. Отримані дані зведемо в таблицю 3.22, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.22 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 120 км/год на ділянці довжиною 50 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1+I_{ф2}} А	I _{ф3+I_{ф4}} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,23	3,23	3,229	3,229	1000	1000	6460	0
2	5	3,23	3,23	3,044	3,043	1000,3	999,7	6460	410
3	10	3,23	3,23	2,892	2,891	1000,3	999,7	6460	820
4	15	3,23	3,23	2,774	2,774	900,3	1099,7	6460	1242,2
5	20	3,23	3,23	2,69	2,69	1000,3	999,7	6460	1640
6	25	3,23	3,23	2,64	2,64	1000,4	999,6	6460	2050
7	30	3,23	3,23	2,69	2,69	1000,3	999,7	6460	1640
8	35	3,23	3,23	2,774	2,774	900,3	1099,7	6460	1242,2
9	40	3,23	3,23	2,892	2,891	1000,3	999,7	6460	820
10	45	3,23	3,23	3,044	3,043	1000,3	999,7	6460	410
11	50	3,23	3,23	3,258	3,257	1000	1000	6460	0
12								744192	1232928

За 21,43 хвилини фідерною зоною завдовжки 50 км пройде одна пара поїздів. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 50 км пройде 3 пари поїздів, отже, за добу – 72 пари поїздів.

Отримані дані зведемо в таблицю 3.23, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі, втрати потужності на тяговій підстанції за добу.

Таблиця 3.23 – Витрата енергії та втрати потужності при русі поїздів зі швидкістю 140 км/год на ділянці довжиною 50 км

№ п/п	S км	Uш1 кВ	Uш2 кВ	Uэ1 кВ	Uэ2 кВ	Iф1+Iф2 А	Iф3+Iф4 А	W кВт	ΔРкс кВт
1	0	3,22	3,22	3,219	3,218	1150	1150	7406	0
2	5	3,22	3,22	3,005	3,005	1149,7	1150,3	7406	542,2
3	10	3,22	3,22	2,83	2,83	1150,4	1149,6	7406	1084
4	15	3,22	3,22	2,695	2,695	1150,3	1149,7	7406	1626
5	20	3,22	3,22	2,598	2,598	1150,3	1149,7	7406	2168
6	25	3,22	3,22	2,541	2,541	1150,4	1149,6	7406	2711
7	30	3,22	3,22	2,598	2,598	1150,3	1149,7	7406	2168
8	35	3,22	3,22	2,695	2,695	1150,3	1149,7	7406	1626
9	40	3,22	3,22	2,83	2,83	1150,4	1149,6	7406	1084
10	45	3,22	3,22	3,005	3,005	1149,7	1150,3	7406	542,2
11	50	3,22	3,22	3,219	3,218	1150	1150	7406	0
12								497683	975700

За 18,75 хвилини фідерною зоною завдовжки 50 км пройде одна пара поїздів. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 50 км пройде 4 пари поїздів, отже за добу – 96 пар поїздів. Отримані дані зведемо в таблицю 3.24, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі, втрати потужності на тяговій підстанції за добу.

Таблиця 3.24 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 160 км/год на ділянці довжиною 50 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{э1} кВ	U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,213	3,213	3,212	3,211	1249	1251	8032	0
2	5	3,213	3,213	2,979	2,979	1250,8	1249,2	8032	640,6
3	10	3,213	3,213	2,79	2,789	1250,6	1249,4	8032	1281
4	15	3,213	3,213	2,642	2,642	1223,4	1276,6	8032	1922
5	20	3,213	3,213	2,537	2,537	1250,3	1249,7	8032	2562
6	25	3,213	3,213	2,475	2,475	1250,4	1249,6	8032	3203
7	30	3,213	3,213	2,537	2,537	1250,3	1249,7	8032	2562
8	35	3,213	3,213	2,642	2,642	1223,4	1276,6	8032	1922
9	40	3,213	3,213	2,79	2,789	1250,6	1249,4	8032	1281
10	45	3,213	3,213	2,979	2,979	1250,8	1249,2	8032	640,6
11	50	3,213	3,213	3,212	3,211	1249	1251	8032	0
12								616896	1537363

За 16,67 хвилин фідерною зоною завдовжки 50 км пройде одна пара поїздів. За 1 годину по фідерній зоні завдовжки 50 км пройде 4 пари поїздів, отже за добу – 96 пари поїздів. Отримані дані зведемо в таблицю 3.25, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.25 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 180 км/год на ділянці довжиною 50 км

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{з1} кВ	U _{з2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,206	3,206	3,205	3,204	1350	1350	8656	0
2	5	3,206	3,206	2,954	2,953	1350,8	1349,2	8656	747,2
3	10	3,206	3,206	2,749	2,748	1350,7	1349,3	8656	1494
4	15	3,206	3,206	2,589	2,589	1350,4	1349,6	8656	2241
5	20	3,206	3,206	2,476	2,476	1350,5	1349,5	8656	2988
6	25	3,206	3,206	2,409	2,409	1350,4	1349,6	8656	3736
7	30	3,206	3,206	2,476	2,476	1350,5	1349,5	8656	2988
8	35	3,206	3,206	2,589	2,589	1350,4	1349,6	8656	2241
9	40	3,206	3,206	2,749	2,748	1350,7	1349,3	8656	1494
10	45	3,206	3,206	2,954	2,953	1350,8	1349,2	8656	747,2
11	50	3,206	3,206	3,205	3,204	1350	1350	8656	0
12								747895	1792934

Якщо ж збільшити зону до 50 км, що усуне один із недоліків системи постійного струму 3,3 кВ, то можна побачити, що напруга на струмоприймачі електровоза знизилася до неприпустимого значення в середині ділянки, де пост секціонування контактної мережі. Це є момент, коли поїзди наближаються один до одного. Звичайно, бажано так скласти графік руху поїздів, щоб їхнє зближення відбувалося якомога ближче до тягової підстанції. Але все одно ця ситуація станеться, якщо два поїзди пройдуть сусідніми шляхами. На ділянці довжиною 50 км прискорені та швидкісні поїзди пропускати неможливо, оскільки напруга на струмоприймачі становить нижче за допустиму практично на всій ділянці, крім зон біля тягових підстанцій.

3.6 Застосування перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ дільниці 50 км

Перетворювач напруги 6,6/3,3 кВ буде встановлений на посту секціонування контактної мережі – посередині ділянки. Отримані дані зведемо в таблицю 3.26, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.26 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 60 км/год на ділянці довжиною 50 км при використанні перетворювача напруги

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{э1} , U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{пп} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,298 3,298	3,298 3,298	599,3	599,3	0,7	1,4	3962	0
2	5	3,299 3,299	3,237 3,237	479,4	479,4	120,6	241,2	4755	70,7
3	10	3,299 3,299	3,197 3,197	359,6	359,6	240,4	480,8	5545	94,2
4	15	3,3 3,3	3,18 3,18	239,7	239,7	360,3	720,6	6338	106
5	20	3,301 3,301	3,184 3,184	119,86	119,86	480,14	960,28	7129	230,5
6	25	3,301 3,301	3,21 3,21	18,03	18,025	581,97	1163,95	7801	260,6
7	30	3,301 3,301	3,184 3,184	119,86	119,86	480,14	960,28	7129	230,5
8	35	3,3 3,3	3,18 3,18	239,7	239,7	360,3	720,6	6338	106
9	40	3,299 3,299	3,197 3,197	359,6	359,6	240,4	480,8	5545	94,2
10	45	3,299 3,299	3,237 3,237	479,4	479,4	120,6	241,2	4755	70,7
11	50	3,298 3,298	3,298 3,298	599,3	599,3	0,7	1,4	3962	0
12								414076	90964

Отримані дані руху поїздів при швидкості 120 км/год зведемо в таблицю 3.27, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.27 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 120 км/год на ділянці довжиною 50 км при застосуванні перетворювача напруги

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{э1} , U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{мп} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,271 3,271	3,27 3,27	998,9	998,8	1,15	2,3	6549,7	0
2	5	3,272 3,272	3,136 3,136	799,1	799	200,95	401,9	7881,5	261,7
3	10	3,273 3,273	3,038 3,038	599,3	359,6	400,7	801,4	8427,7	200,2
4	15	3,274 3,274	2,976 2,976	399,54	399,55	600,45	1200,91	10542	196,3
5	20	3,275 3,275	2,951 2,951	362,64	362,43	637,46	1274,93	10789	215,5
6	25	3,276 3,276	2,963 2,963	348	347,8	652,1	1304,2	10887	248,1
7	30	3,275 3,275	2,951 2,951	362,64	362,43	637,46	1274,93	10789	215,5
8	35	3,274 3,274	2,976 2,976	399,54	399,55	600,45	1200,91	10542	196,3
9	40	3,273 3,273	3,038 3,038	599,3	359,6	400,7	801,4	8427,7	200,2
10	45	3,272 3,272	3,136 3,136	799,1	799	200,95	401,9	7881,5	261,7
11	50	3,271 3,271	3,27 3,27	998,9	998,8	1,15	2,3	6549,7	0
12								1039604	239460

Отримані дані для швидкості руху поїздів 140 км/год зведемо в таблицю 3.28, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі, втрати потужності на тяговій підстанції за добу. По ділянці пройдуть два поїзди – один у прямому, інший у зворотному напрямку.

Таблиця 3.28 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 140 км/год на ділянці довжиною 50 км при використанні

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{э1} , U _{э2} кВ	I _{ф1} +I _{ф2} А	I _{ф3} +I _{ф4} А	I _{уп} А	I _{пп} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,26 3,26	3,26 3,259	1148,7	1148,6	1,35	2,7	7507	0
2	5	3,262 3,261	3,098 3,098	918,9	918,9	231,1	462,2	9044	346,2
3	10	3,263 3,263	2,978 2,978	689,24	689,2	460,78	921,56	10580	389,5
4	15	3,264 3,264	2,9 2,9	518,93	518,57	631,25	1262,5	11719	330,9
5	20	3,265 3,265	2,864 2,864	502,1	501,8	648,05	1296,1	11832	413,2
6	25	3,266 3,266	2,87 2,87	485,4	485	664,8	1329,6	11945	482,6
7	30	3,265 3,265	2,864 2,864	502,1	501,8	648,05	1296,1	11832	413,2
8	35	3,264 3,264	2,9 2,9	518,93	518,57	631,25	1262,5	11719	330,9
9	40	3,263 3,263	2,978 2,978	689,24	689,2	460,78	921,56	10580	389,5
10	45	3,262 3,261	3,098 3,098	918,9	918,9	231,1	462,2	9044	346,2
11	50	3,26 3,26	3,26 3,259	1148,7	1148,6	1,35	2,7	7507	0
12								692220	247838

Отримані дані про рух поїздів при швидкості 160 км/год зведемо в таблицю 3.29, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.29 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 160 км/год на ділянці довжиною 50 км при використанні перетворювача напруги

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} кВ	U _{э1} ,U _{э2} кВ	I _{ф1+I} ф2 А	I _{ф3+I} ф4 А	I _{уп} А	I _{пп} А	W кВт	ΔP _{кв} кВт
1	0	3,253 3,253	3,253 3,252	1248,5	1248,5	1,5	3	8142,5	0
2	5	3,255 3,255	3,073 3,072	998,9	998,9	251,1	502,2	9817,4	409,1
3	10	3,256 3,256	2,938 2,938	749,16	749,15	500,845	1001,69	11490	460,21
4	15	3,257 3,257	2,849 2,849	613,37	612,98	636,825	1273,65	12400	462,46
5	20	3,258 3,259	2,806 2,806	595,1	594,7	655,1	1310,2	12524	580,41
6	25	3,26 3,26	2,808 2,808	576,8	576,4	673,4	1346,8	12648	681,56
7	30	3,258 3,259	2,806 2,806	595,1	594,7	655,1	1310,2	12524	580,41
8	35	3,257 3,257	2,849 2,849	613,37	612,98	636,825	1273,65	12400	462,46
9	40	3,256 3,256	2,938 2,938	749,16	749,15	500,845	1001,69	11490	460,21
10	45	3,255 3,255	3,073 3,072	998,9	998,9	251,1	502,2	9817,4	409,1
11	50	3,253 3,253	3,253 3,252	1248,5	1248,5	1,5	3	8142,5	0
12								847569	432568

Отримані дані про поїзди зі швидкістю 180 км/год зведемо в таблицю 3.30, де в останньому рядку представлені витрати енергії, втрати потужності контактної мережі за добу.

Таблиця 3.30 – Витрата енергії та втрати потужності під час руху поїздів зі швидкістю 180 км/год на ділянці завдовжки 50 км

№ П/П	S км	Uш1, Uш2 кВ	Uэ1,U э2 кВ	Iф1+I ф2 А	Iф3+I ф4 А	Iуп А	Iпп А	W кВт	ΔРкс кВт
1	0	3,247 3,246	3,246 3,245	1348,7	1348	1,65	3,3	8776,6	0
2	5	3,248 3,248	3,047 3,047	1078,8	1078,8	271,2	542,4	10588	477,16
3	10	3,249 3,249	2,898 2,898	809,07	809,09	540,61	1081,21	12393	536,78
4	15	3,25 3,251	2,8 2,8	707,81	707,4	642,395	1284,79	13080	615,87
5	20	3,252 3,252	2,748 2,748	688,1	687,7	662,1	1324,2	13214	776,06
6	25	3,253 3,253	2,746 2,746	668,4	668	681,8	1363,6	13347	915,31
7	30	3,252 3,252	2,748 2,748	688,1	687,7	662,1	1324,2	13214	776,06
8	35	3,25 3,251	2,8 2,8	707,81	707,4	642,395	1284,79	13080	615,87
9	40	3,249 3,249	2,898 2,898	809,07	809,09	540,61	1081,21	12393	536,78
10	45	3,248 3,248	3,047 3,047	1078,8	1078,8	271,2	542,4	10588	477,16
11	50	3,247 3,246	3,246 3,245	1348,7	1348	1,65	3,3	8776,6	0
12								1016768	549796

3.7 Пропуск кількох поїздів ділянкою довжиною 50 км при застосуванні перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ

Перевіримо пропускну здатність ділянки під час пропуску кількох поїздів через певний інтервал часу.

Пропустимо дільницею, на якій розташований перетворювач напруги, три пари поїздів з міжпоїздовим інтервалом 20 хв (20 км).

Спочатку піде два поїзди за двома напрямками, через 20 хв, коли перший поїзд першого шляху виявиться на 20 км, по дорозі піде другий поїзд на 1 км, через 40 хв прямування першого поїзда, на міжпідстанційній зоні з'явиться третій поїзд на 1 км. Аналогічно поїзди пройдуть другим шляхом (табл. 3.31).

Таблиця 3.31 – Витрата енергії під час руху трьох пар поїздів зі швидкістю 60 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} , U _{ш2} , кВ	U _{э1} ,U _{э2} , кВ	U _{э3} ,U _э 4, кВ	U _{э5} ,U _э 6, кВ	I _{ф1} +I _ф 2, А	I _{ф3} +I _{ф4} , А	I _{пп} , А	W, кВт
1	0	3,298 3,298	3,298 3,298	-	-	599,3	599,3	1,4	3962
2	5	3,299 3,299	3,237 3,237	-	-	479,4	479,4	241,2	4755
3	10	3,299 3,299	3,197 3,197	-	-	359,6	359,6	480,8	5545
4	15	3,3 3,3	3,18 3,18	-	-	239,7	239,7	720,6	6338
5	20	3,259 3,259	3,145 3,145	3,259 3,259	-	719,15	719,12	961,73	11034,7
6	25	3,261 3,26	3,105 3,105	3,132 3,131	-	566,15	565,77	1268,0 8	12059,9
7	30	3,261 3,26	3,031 3,031	3,044 3,04	-	566,1	565,8	1268,1	12060
8	35	3,261 3,26	2,997 2,997	2,997 2,997	-	566,2	565,8	1268	12059,6
9	40	3,219 3,219	3,004 3,004	2,991 2,991	3,219 3,218	1159	1158,4	1282,6	15924,8
10	45	3,22 3,22	3,062 3,062	3,00 3,00	3,062 3,062	1150,4	1149,6	1300	15986
11	50	3,219 3,219	3,218 3,219	2,991 2,991	3,004 3,004	1159	1158,4	1282,6	15924,8

Пропустимо дільницею, на якій розташований перетворювач напруги, дві пари поїздів з міжпоїздовим інтервалом 20 хв.

Спочатку піде два поїзди за двома напрямками, через 20 хв, коли перший поїзд першого шляху виявиться на 40 км, по дорозі піде другий поїзд на 1 км. Аналогічно поїзди пройдуть другим шляхом (табл. 3.32).

Таблиця 3.32 – Витрата енергії під час руху двох пар поїздів зі швидкістю 120 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} , кВ	U _{э1} , U _{э2} , кВ	U _{э3} , U _{э4} , кВ	I _{ф1+I_{ф2}} , А	I _{ф3+I_{ф4}} , А	I _{пп} , А	W кВт
1	0	3,271	3,271	3,27 3,27	-	998,9	998,8	2,3	6549,7
2	5	3,272	3,272	3,136 3,136	-	799,1	799	401,9	7881,5
3	10	3,273	3,273	3,038 3,038	-	599,3	359,6	801,4	8427,7
4	15	3,274	3,274	2,976 2,976	-	399,54	399,55	1200,91	10542
5	20	3,275	3,275	2,951 2,951	-	362,64	362,43	1274,93	10789
6	25	3,276	3,276	2,963 2,963	-	348	347,8	1304,2	10887
7	30	3,275	3,275	2,951 2,951	-	362,64	362,43	1274,93	10789
8	35	3,274	3,274	2,976 2,976	-	399,54	399,55	1200,91	10542
9	40	3,204	3,203	2,97 2,971	3,203 3,203	1379,7	1379,3	1241	17029
10	45	3,204	3,203	3,02 3,02	3,02 3,02	1380	1379,2	1240,8	17028,3
11	50	3,211	3,198	3,197 3,021	2,993 2,945	1283,5	1461,2	1255,3	17079,2

Пропустимо дільницею, на якій розташований перетворювач напруги, дві пари поїздів з міжпоїздовим інтервалом 17 хв.

Спочатку піде два поїзди за двома напрямками, через 17 хв, коли перший поїзд першого шляху виявиться на 40 км, по дорозі піде другий поїзд на 1 км. Аналогічно поїзди пройдуть другим шляхом (табл. 3.33).

Таблиця 3.33 – Витрата енергії під час руху двох пар поїздів зі швидкістю 140 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} , кВ	U _{ш2} , кВ	U _{э1} , U _{э2} , кВ	U _{э3} , U _{э4} , кВ	I _{ф1+I_{ф2}} , А	I _{ф3+I_{ф4}} , А	I _{пп} , А	W, кВт
1	0	3,26	3,26	3,26 3,259	-	1148,7	1148,6	2,7	7507
2	5	3,262	3,261	3,098 3,098	-	918,9	918,9	462,2	9044
3	10	3,263	3,263	2,978 2,978	-	689,24	689,2	921,56	10580
4	15	3,264	3,264	2,9 2,9	-	518,93	518,57	1262,5	11719
5	20	3,265	3,265	2,864 2,864	-	502,1	501,8	1296,1	11832
6	25	3,266	3,266	2,87 2,87	-	485,4	485	1329,6	11945
7	30	3,265	3,265	2,864 2,864	-	502,1	501,8	1296,1	11832
8	35	3,264	3,264	2,9 2,9	-	518,93	518,57	1262,5	11719
9	40	3,183	3,184	2,901 2,901	3,183 3,182	1672,4	1670,8	1256,8	18937,9
10	45	3,184	3,183	2,964 2,965	2,965 2,964	1672,2	1671,2	1256,6	18937,2
11	50	3,184	3,183	3,182 3,183	2,901 2,901	1672,2	1670,8	1257	18938,6

Пропустимо дільницею, на якій розташований перетворювач напруги, дві пари поїздів з міжпоїздовим інтервалом 15 хв.

Спершу піде два поїзди за двома напрямками, через 15 хв, коли перший поїзд першого шляху виявиться на 40 км, по дорозі піде другий поїзд на 1 км. Аналогічно поїзди пройдуть іншим шляхом (табл. 3.34).

Таблиця 3.34 – Витрата енергії під час руху двох пар поїздів зі швидкістю 160 км/год

№ п/п	S км	U _{ш1} кВ	U _{ш2} кВ	U _{э1,Uэ2} кВ	U _{э3,Uэ4} кВ	I _{ф1+Iф2} А	I _{ф3+Iф4} А	I _{пп} А	W кВт
1	0	3,253	3,253	3,253 3,252	-	1248,5	1248,5	3	8142,5
2	5	3,255	3,255	3,073 3,072	-	998,9	998,9	502,2	9817,4
3	10	3,256	3,256	2,938 2,938	-	749,16	749,15	1001,69	11490
4	15	3,257	3,257	2,849 2,849	-	613,37	612,98	1273,65	12400
5	20	3,258	3,259	2,806 2,806	-	595,1	594,7	1310,2	12524
6	25	3,26	3,26	2,808 2,808	-	576,8	576,4	1346,8	12648
7	30	3,258	3,259	2,806 2,806	-	595,1	594,7	1310,2	12524
8	35	3,257	3,257	2,849 2,849	-	613,37	612,98	1273,65	12400
9	40	3,17	3,169	2,854 2,854	3,169 3,168	1866,7	1866,7	1266,6	20192,5
10	45	3,17	3,169	2,927 2,928	2,928 2,927	1866,8	1865,8	1267,4	20195,3
11	50	3,17	3,169	3,168 3,169	2,854 2,854	1866,7	1866,2	1267,1	20194,2

Пропустимо дільницею, на якій розташований перетворювач напруги, дві пари поїздів з міжпоїздовим інтервалом 13 хв.

Спочатку піде два поїзди за двома напрямками, через 13 хв, коли перший поїзд першого шляху виявиться на 40 км, по дорозі піде другий поїзд на 1 км. Аналогічно поїзди пройдуть другим шляхом (табл. 3.35).

Таблиця 3.35 – Витрата енергії під час руху двох пар поїздів зі швидкістю 180 км/год

№ п/п	S км	Uш1, кВ	Uш2 кВ	Uэ1,U э2 кВ	Uэ3,U э4 кВ	Iф1+I ф2 А	Iф3+Iф 4 А	Iпп А	W кВт
1	0	3,247	3,246	3,246 3,245	-	1348,7	1348	3,3	8776,6
2	5	3,248	3,248	3,047 3,047	-	1078,8	1078,8	542,4	10588
3	10	3,249	3,249	2,898 2,898	-	809,07	809,09	1081,21	12393
4	15	3,25	3,251	2,8 2,8	-	707,81	707,4	1284,79	13080
5	20	3,252	3,252	2,748 2,748	-	688,1	687,7	1324,2	13214
6	25	3,253	3,253	2,746 2,746	-	668,4	668	1363,6	13347
7	30	3,252	3,252	2,748 2,748	-	688,1	687,7	1324,2	13214
8	35	3,25	3,251	2,8 2,8	-	707,81	707,4	1284,79	13080
9	40	3,157	3,156	2,807 2,808	3,155 3,154	2061,1	2060,5	1278,4	21447,2
10	45	3,157	3,156	2,891 2,891	2,891 2,891	2062	2060	1278	21445,8
11	50	3,157	3,156	3,154 3,155	2,808 2,807	2061,1	2060,5	1278,4	21447,2

Рішення, яке було запропоновано для підвищення рівня напруги на струмоприймачі електровоза при довжині міжпідстанційної зони 50 км – застосування перетворювача напруги на посту секціонування контактної мережі 6,6/3,3 кВ, що дозволяє пропускати кілька пар поїздів даною ділянкою. Застосування тягової системи з перетворювачем напруги значно знижує капіталовкладення. Збільшення відстані між підстанціями обмежується мінімальним допустимим рівнем напруги в контактній мережі при інтенсивному русі поїздів, що усувається наявністю дроту живлення 6,6 кВ, яке знижується перетворювачем напруги.

Збільшення відстані між підстанціями в 50 км дозволяє скоротити їх кількість у кілька разів у порівнянні зі звичайними міжпідстанційними зонами тягової мережі постійного струму 3,3 кВ завдовжки 15-20 км, що знижує витрати на обслуговуючий персонал та будівництво цих підстанцій, а отже, знижує загальні витрати на електрифікацію при інтенсивному русі поїздів.

Ефективність застосування системи з перетворювачем напруги полягає в тому, що система постійного струму позбавляється одного зі своїх недоліків – невеликої відстані між тяговими підстанціями. Система із перетворювачем напруги вигідно застосовувати лише на великих міжпідстанційних зонах при високих швидкостях руху.

Висновок: якщо будувати нову ділянку для інтенсивного руху, то доцільно взяти довжину міжпідстанційної зони 50 км і поставити на посту секціонування контактної мережі перетворювач напруги 6,6/3,3 кВ, що знизить витрати на зайві тягові підстанції та підвищить рівень напруги у тяговій мережі ; якщо ж необхідно посилити діючу ділянку постійного струму 3,3 кВ завдовжки 15 км для високих швидкостей, то економічно вигідним буде застосування системи з виносними фідерами живлення.

Розрахунок економічної складової показав [32], що застосування системи з виносними фідерами живлення на вже електрифікованих лініях при швидкостях нижче 140 км/год економічно не виправдано, якщо застосовується напруга холостого ходу на тяговій підстанції 3,3 кВ, але якщо підняти рівень напруги на тяговій підстанції до 3,5 кВ в тяговій мережі постійного струму, то доцільно буде застосувати систему з виносними фідерами живлення при інтенсивному швидкісному русі, причому витрати на додаткові дроти окуплять себе за 1 - 2 роки. При застосуванні системи з виносними фідерами живлення значно знижують витрату електроенергії, як при підвищеній напрузі холостого ходу на тяговій підстанції, так і при номінальній напрузі холостого ходу на підстанції.

ВИСНОВКИ

Представлена магістерська робота присвячена питанням підвищення енергоефективності системи енергопостачання тягових мереж за рахунок підняття рівня напруги двоколіїної ділянки тягової мережі постійного струму. В ході роботи було встановлено, що на ділянці довжиною 15 км застосування перетворювача напруги 6,6/3,3 кВ є не вигідним, оскільки підвищує рівень напруги незначно, але при цьому збільшує витрати електроенергії, хоча при цьому і знижуються втрати потужності в контактній мережі.

Підвищення напруги холостого ходу на тяговій підстанції до 3,5 кВ приводить до збільшення напруги на струмоприймачі електровозу, але при цьому значно збільшується і витрата електроенергії.

Іншим розглянутим у роботі рішенням було застосування системи з виносними фідерами живлення 3,3 кВ. Таке рішення показало свою раціональність для ділянки довжиною 15 км, оскільки збільшується напруга на струмоприймачі електровоза, знижується витрата електроенергії, економічна окупність системи при пропуску поїздів зі швидкістю вище 60 км/год становить кілька років порівняно зі звичайною системою 3,3 кВ.

Також у роботі було розглянуто ділянку постійного струму довжиною 50 км. Проводилися дослідження щодо того, яку краще застосувати систему для пропуску кількох швидкісних поїздів дільницею, тому що звичайна система 3,3 кВ не витримає пропуску навіть одного прискореного поїзда зі швидкістю 120 км/год. Як показав аналіз, для ділянки довжиною 50 км доцільніше застосування системи з перетворювачем напруги 6,6/3,3 кВ, що значно збільшує пропускну здатність ділянки і підвищує енергоефективність системи енергопостачання в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила устройства электроустановок.- М.: Энергоатомиздат,1985. - 463 с
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 348 с.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под ред. А.А. Федорева. Т.1. Электроснабжение. Т . 2 . Электрооборудование . – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 89 с.
4. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / Под ред. А.С. Овчаренко и др. – К.: Техника, 1987. – 63 с.
5. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 78 с.
6. Указания по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий. – М.: Тяжпромэлектропроект, 1984. – 455 с.
7. Неклепаев Б.Н. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат 1989.- 389 с.
8. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Эпергоатомиздат, 1991.– 178 с.
9. Денисов В.И. Техничко-экономические расчеты в энергетике: Методы экономического управления вариантов. – К.:Техника, 1991. – 165 с.
10. Овчаренко А.С., Розинский Д.И. Повышение эффективности электроснабжения промышленных предприятий. – К.: Техника, 1989. – 276 с.

11. Методика обчислення плати за перетінання реактивної електроенергії / Наказ міністерства палива та енергетики України № 19 від 17.01.2002.
12. Копалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат. – 1989. – 528 с.
13. Б.М. Островский Ю.С. Громадский. Проектирование и монтаж систем учёта электроэнергии. -К.: Будивельник 1999.- 159с.
14. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.1/ Под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 26 с.
15. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.2/ Под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 26 с.
16. Корниенко В.В., Котельников А.В., Доманский В.Т. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы. К.: Транспорт Украины. 2004. - 196 с.
17. Электрификация и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте. Материалы второго международного симпозиума, 21-24 октября 2003 г. Санкт-Петербург, 2003. - 501 с.
18. Транспорт Дніпропетровщини: європейський шлях розвитку/ Під заг. ред. Г. М. Кірпи. – Д.: ТОВ «ЕНЕМ», 2003. – 112 с.
19. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985.
20. Марквардт К. Г. Энергоснабжение электрических железных дорог. М.: Транспорт, 1965.
21. Журнал Залізничний транспорт України, № 1, 2002.
22. Экономика железнодорожного транспорта/ Под ред. В.А. Дмитриева, Ф.П. Мулюкина. – М.: Транспорт, 1985. – 438 с.
23. Бойник А.Б., Кошевой С.В. Система интервального регулирования движения поездов на перегонах: Учебное пособие: - Харьков 2005, 244 с.

24. Коршиков В.Г. Восстановление изоляции обмоток тяговых электродвигателей: - Москва 2005, 123 с.
25. Постол Б.Г. Нормирование расхода топлива и электрической энергии на тягу поездов за поездку. Методические указания Дальневосточный государственный университет путей сообщения, - 2002, 34 с.
26. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. -176с.
27. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.: Под ред. В.Н. Казанцева. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 268с.
28. Цирель Я.А., Поляков В.С. Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985.-264с.
29. ГКД 34.20.507 «Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила» Введ 2003 -К.:Вид. Об'єднання енергетичних підприємств «галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики» - 597с.
30. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»
31. «Вимоги до окремих видів пристроїв» ГОСТ 12.2.007.3-75 (2001) «ССБТ. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. Требования безопасности».
32. Хасин Л.Ф., Матвеев А.Н. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством: - Москва 2004, 450 с.

Додаток А

Демонстраційні матеріали до магістерської роботи

Підвищення рівня напруги двохколійної ділянки тягової мережі постійного струму при різних швидкостях руху поїздів

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Магістерська робота

Тема: **Підвищення рівня напруги двохколіїної
ділянки тягової мережі постійного струму при різних
швидкостях руху поїздів**

Виконав: студент гр. 8.141 Бударенко О.Г.

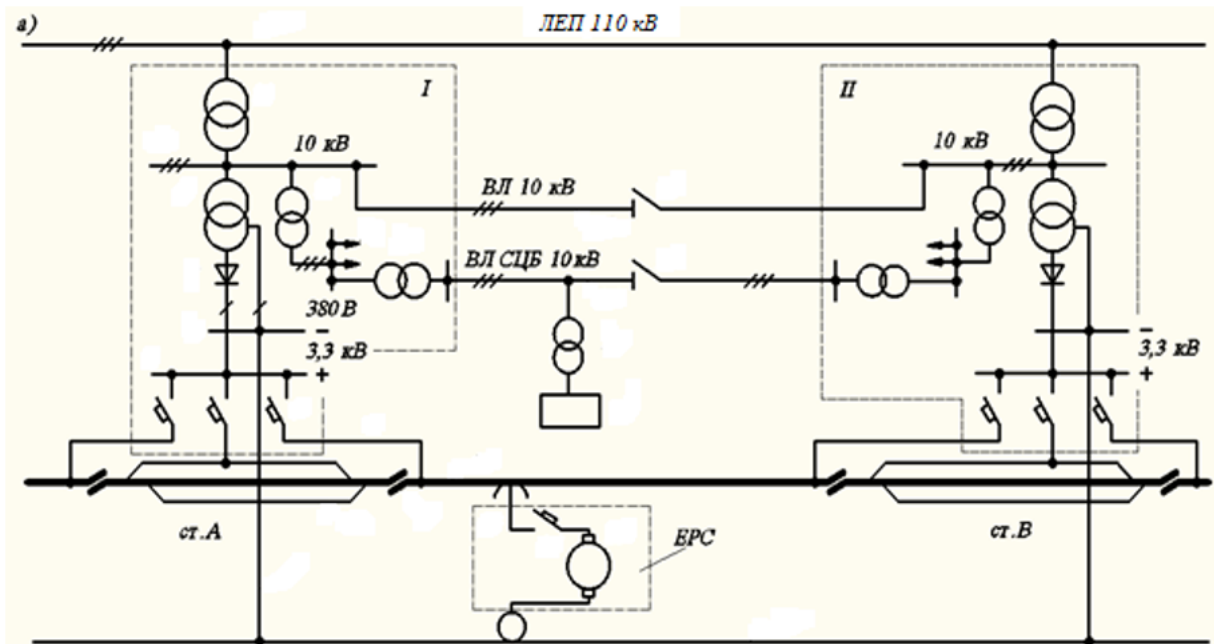
Керівник: к.т.н., доцент Баріщенко О.М.

Задачі дослідження:

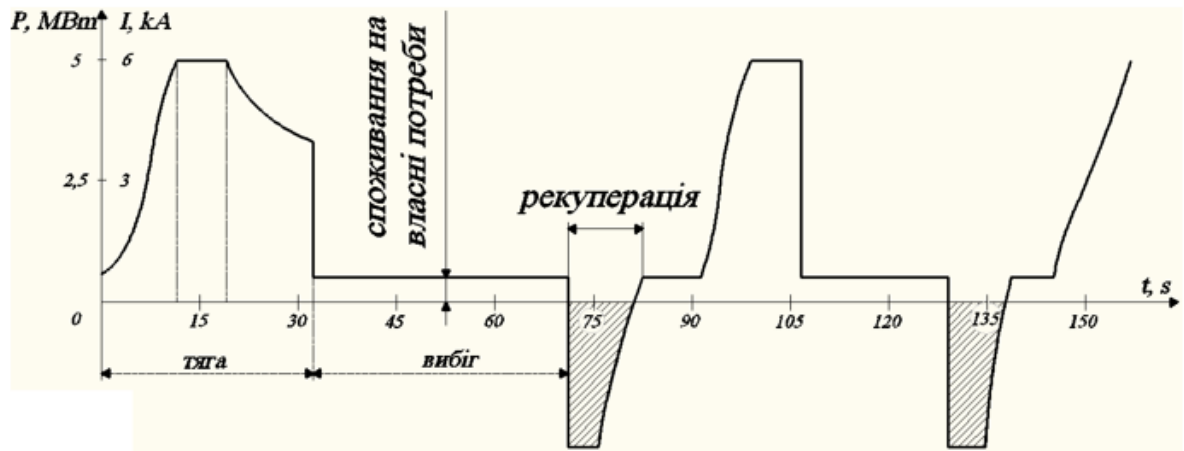
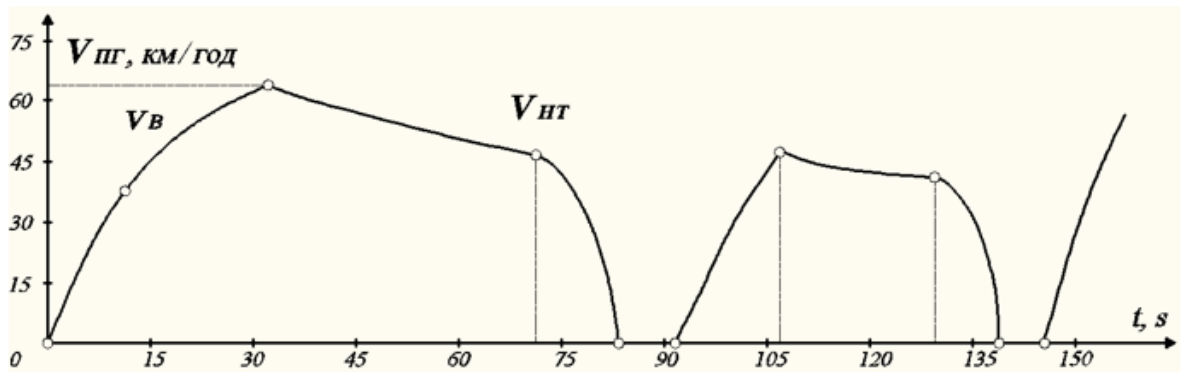
- 1) Проаналізувати існуючі способи підвищення напруги в тяговій мережі.
- 2) Промодельовати ділянку тягової мережі постійного струму.
- 3) Провести дослідження щодо можливості підвищення енергоефективності двоколійної ділянки постійного струму.

ВЗАЄМОДІЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ТА ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Принципова схема ділянки залізниці постійного струму 3 кВ



ГРАФІК СПОЖИВАННЯ-ВІДДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОПОЇЗДОМ



КОНСТРУКЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ІГСТ-ТИРИСТОРАХ

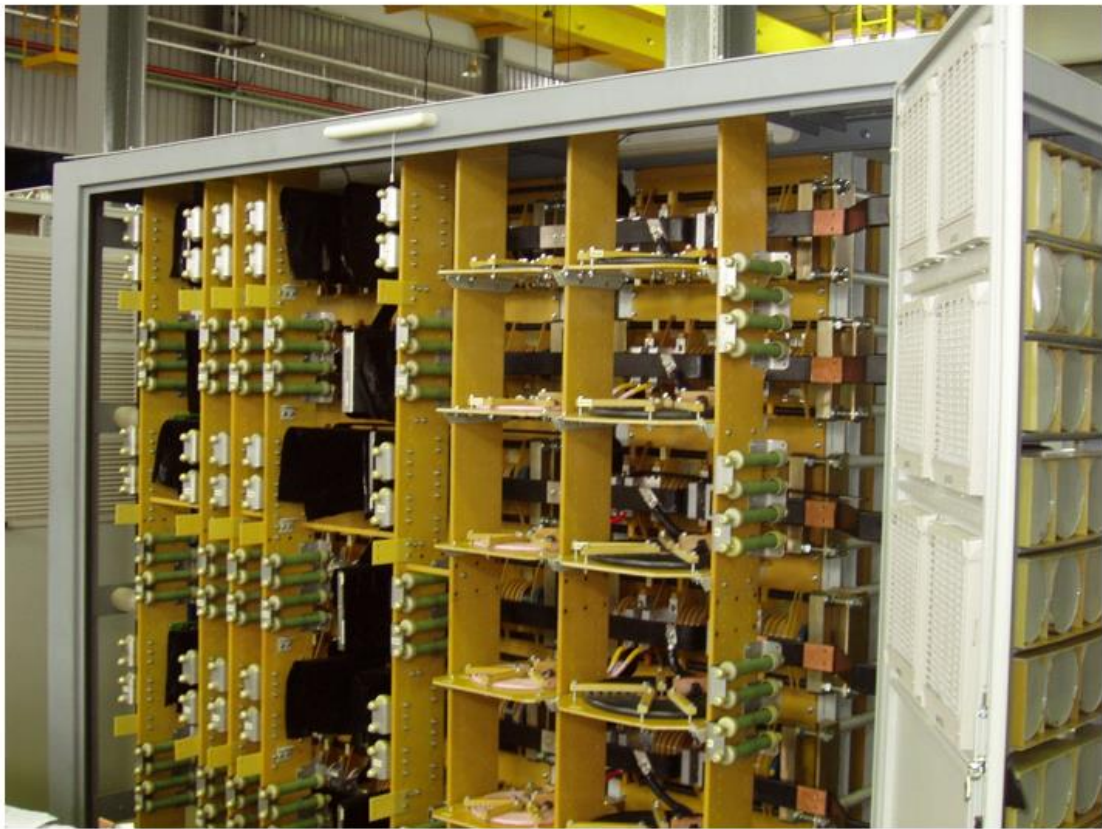


СХЕМА ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОСИЛЕННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ 3,3кВ

