

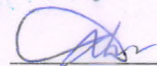
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Інтелектуальні системи енергопостачання

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 Дмитро Босий

« 20 » 12 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка


Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

Тема: Підвищення чутливості захисту тягової мережі постійного струму

Theme: Increasing the protection sensitivity of the DC traction network


Керівник дипломної роботи

ст. викл.


 Олексій ДАНИЛОВ

Нормоконтролер

доц.

 Віталій ПЕРЦЕВИЙ

Студент групи ЕС2021

 Євгеній ІСМАГІЛОВ

Student

Ismahilov Yevhenii

Дніпро
2021

Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра «Інтелектуальні системи енергопостачання»

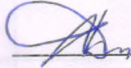
Галузь 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Спеціалізація «Електротехнічні системи електроспоживання»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри

 Дмитро Босий
(підпис)

« 25 » січня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС магістр
студента групи ЕС2021 Ісмагілова Євгенія Вікторовича

1 Тема дипломної роботи: **«Підвищення чутливості захисту тягової мережі постійного струму»**

затверджена наказом по університету від «15» січня 2021р. №_32ст.

2 Термін подання студентом закінченої роботи «15» грудня 2021р.

3 Вихідні дані до дипломної роботи: технічна документація на мікропроцесорні захисти, осцилограми експериментальних досліджень.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки): аналіз розрахункових формул, аналіз осцилограм експериментальних досліджень.

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу): ілюстрований опис результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділу	Термін виконання	Об'єм розділу, %
1.	ВСТУП	10.12	2
2.	1 АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	01.09	10
3.	2 АНАЛІЗ ДЮЧИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАХИСТІВ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	22.09	25
4.	3 АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ УСТАВОК ЗАХИСТУ	13.10	20
5.	4 ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	01.12	35
6.	ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	10.12	6
7.	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	10.12	2

Дата видачі завдання «25» січня 2021 р.

Керівник дипломної роботи, ст. викладач



Олексій Данилов

Завдання прийняв до виконання



Євгеній Ісмагілов

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	9
1.1 Особливості режимів роботи тягових мереж постійного струму.....	9
1.2 Аварійні режими роботи системи тягового електропостачання.....	12
2 АНАЛІЗ ДІЮЧИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАХИСТІВ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	15
2.1 Основні вимоги до захисту тягової мережі.....	15
2.2 Аналіз існуючих пристроїв захисту.....	16
2.3 Аналіз мікропроцесорних захистів.....	20
3 АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ УСТАВОК ЗАХИСТУ.....	30
3.1 Загальні методи розрахунку і перевірки отриманих результатів.....	30
3.2 Основні положення ефективної роботи захисту.....	32
3.3 Розрахунок уставок МТЗ.....	33
3.4 Розрахунок уставок дистанційного захисту (ДЗ).....	34
3.5 Розрахунок захисту по швидкості наростання струму (ЗСНТ).....	36
3.6 Розрахунок захисту по збільшенню струму (ЗПТ).....	36
3.7 Розрахунок захисту по мінімальній напрузі (ЗМН).....	37

					02.15.ЕС2021.РД.2021-ПЗ			
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення чутливості захисту тягової мережі постійного струму	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробник		Ісмагілов Є.В.		12.12.21			5	59
ОП та БНС								
Керівник		Данилов О.А.		12.12.21				
Економ..								
Н. контр		Перцевий В.О.						
						УДУНТ, ІСЕ, ЕС2021		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Інтелектуальні системи енергопостачання

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ Д. О. Босий

«__» _____ 20__р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Спеціалізація Електротехнічні системи електроспоживання

Тема: Підвищення чутливості захисту тягової мережі постійного струму

Theme: Increasing the protection sensitivity of the DC traction network

Керівник дипломної роботи

ст. викл. _____ Олексій ДАНИЛОВ

Нормоконтролер

доц. _____ Віталій ПЕРЦЕВИЙ

Студент групи ЕС2021

_____ Євгеній ІСМАГІЛОВ

Student

Ismahilov Yevhenii

Дніпро
2021

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Факультет «Управління енергетичними процесами»
Кафедра «Інтелектуальні системи енергопостачання»
Галузь 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Спеціалізація «Електротехнічні системи електроспоживання»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В. о. зав. кафедри

_____ Босий Д.О.

« 25 » січня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС магістр
студента групи ЕС2021 Ісмагілова Євгенія Вікторовича

1 Тема дипломної роботи: **«Підвищення чутливості захисту тягової мережі постійного струму»**

затверджена наказом по університету від «15» січня 2021р. №_32ст.

2 Термін подання студентом закінченої роботи «15» грудня 2021р.

3 Вихідні дані до дипломної роботи: технічна документація на мікропроцесорні захисти, осцилограми експериментальних досліджень.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки): аналіз розрахункових формул, аналіз осцилограм експериментальних досліджень.

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу): ілюстрований опис результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділу	Термін виконання	Об'єм розділу, %
1.	ВСТУП	10.12	2
2.	1 АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	01.09	10
3.	2 АНАЛІЗ ДІЮЧИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАХИСТІВ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	22.09	25
4.	3 АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ УСТАВОК ЗАХИСТУ	13.10	20
5.	4 ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	01.12	35
6.	ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	10.12	6
7.	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	10.12	2

Дата видачі завдання «25» січня 2021 р.

Керівник дипломної роботи, ст. викладач _____

Данилов О.А.

Завдання прийняв до виконання _____

Ісмагілов Є.В.

Реферат

Пояснювальна записка має обсяг 59 сторінок, складається з 4 розділів та містить 15 ілюстрацій, 17 таблиць, 16 бібліографічних джерел.

Метою роботи є підвищення чутливості мікропроцесорного захисту тягової мережі постійного струму.

В роботі проведено аналіз осцилограм коротких замикань на різних відстанях від тягової підстанції. Проведено аналіз зміни струму електровозу ВЛ8 при пуску, і груповому переключенні тягових двигунів. Аналіз показав, що для підвищення чутливості захисту по збільшенню струму за проміжок часу можна зменшувати інтервал часу вимірювання.

Для спрощення розрахунку можна час вимірювання приймати таким як постійна часу кола короткого замикання.

Ключові слова: ТЯГОВА МЕРЕЖА, МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАХИСТ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ПОСТІЙНИЙ СТРУМУ, ЕЛЕКТРОВАЗ, ВИМИКАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	9
1.1 Особливості режимів роботи тягових мереж постійного струму.....	9
1.2 Аварійні режими роботи системи тягового електропостачання.....	12
2 АНАЛІЗ ДІЮЧИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАХИСТІВ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	15
2.1 Основні вимоги до захисту тягової мережі.....	15
2.2 Аналіз існуючих пристроїв захисту.....	16
2.3 Аналіз мікропроцесорних захистів.....	20
3 АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ УСТАВОК ЗАХИСТУ.....	30
3.1 Загальні методи розрахунку і перевірки отриманих результатів.....	30
3.2 Основні положення ефективної роботи захисту.....	32
3.3 Розрахунок уставок МТЗ.....	33
3.4 Розрахунок уставок дистанційного захисту (ДЗ).....	34
3.5 Розрахунок захисту по швидкості наростання струму (ЗСНТ).....	36
3.6 Розрахунок захисту по збільшенню струму (ЗПТ).....	36
3.7 Розрахунок захисту по мінімальній напрузі (ЗМН).....	37

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ							
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення чутливості захисту тягової мережі постійного струму							
Розробник	Ісмагілов С.В.									Літ.	Арк.	Аркушів
ОП та БНС	.										5	57
Керівник	Данилов О.А.									УДУНТ, ІСЕ, гр.265		
Економ..												
Н. контр	Перцевий В.											

4 ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	39
4.1 Аналіз існуючих методів розрахунку.....	39
4.2 Визначення параметрів робочих режимів для перевірки уставок.....	41
4.3 Розрахунки та дослідження.....	50
ВИСНОВОК ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Актуальність роботи. Короткі замикання супроводжуються різким збільшенням струму у тяговій мережі і ці струму навіть при невеликій тривалості, у результаті динамічного впливу можуть вивести з ладу важливе устаткування (комутаційні апарати або трансформатори, тощо) або пошкодити струмоведучі частини в результаті термічного впливу. При невеликих струмах короткого замикання але при великій тривалості, відбувається втрата працездатності елементів конструкції, а саме: перепал контактних проводів, що втрачають при цьому свою механічну міцність, при виникненні електричної дуги відбувається перепал контактного проводу. Тому короткі замикання повинні буди якомога швидше ліквідовані для уникнення порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання. Але з іншого боку існують проблеми з розпізнаванням аварійного і нормального режимів, в залежності від відстані короткі замикання можуть бути схожі на нормальний режим роботи, що спричинить велику кількість помилкових спрацьовувань захисту.

З появою мікропроцесорних комплексів, які об'єднують в собі велику кількість захистів: захист по збільшенню струму за проміжок часу, захист по швидкості зростання струму, захист по зменшенню опору, захист по мінімальній напрузі, тощо. Всі захисти працюють незалежно один від одного і при спрацьовуванні уставки одного захисту йде команда на відключення, незалежно в якому стані знаходились інші захисти. На сьогоднішній день не існує інтелектуального захисту, який би прораховував зміну декількох параметрів в часі і по характеру зміни електричних величин міг би однозначно визначити аварійний режим на самому початку. Але існує проблема правильного їх настроювання.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Обране дослідження пов'язане з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна.

Мета і завдання роботи. Проаналізувати перехідні процеси в тяговій мережі, які виникають при аварійних режимах (зокрема короткому замиканні) і на їх основі аналізу перехідних процесів підвищити чутливість мікропроцесорного захисту

Об'єкт дослідження: тягова мережі постійного струму.

Предмет дослідження: перехідні процеси в тяговій мережі постійного струму.

Методи дослідження: експериментальні дослідження, аналіз записів струмів на підстанції.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі аналізу зміни струму в тяговій мережі рекомендовано зменшити інтервал часу вимірювання при налаштуванні мікропроцесорного захисту по збільшенню струму.

Особистий внесок здобувача. Постановка мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Аналіз осцилограм при різних режимах роботи, а також розрахункових формул виконані здобувачем самостійно.

Публікації.

Данилов О. А., Сіксяєв В. О., Ісмагілов Є. В. Зменшення часу відключення високовольтних швидкодіючих вимикачів постійного струму. : матеріали 81 Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 23–24 квітня, 2021 р.)

Ісмагілов Є. В. Специфіка вимірювання напруги фідера контактної мережі постійного струму мікропроцесорними захистами. : матеріали 81 Всеукр. наук.-техн.. конф. (Дніпро, 28 листопада, 2021 р.)

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Особливості режимів роботи тягових мереж постійного струму

Забезпечення захисту від коротких замикань для тягових мереж постійного струму є однією з найбільш актуальних і разом з тим найбільш складних проблем. Тягова мережа живить нелінійне навантаження, яке перебуває практично завжди у русі та змінює свої параметри у часі. Постійна взаємодія з ними збільшує імовірність і обумовлює різноманіття видів її ушкоджень. Тягова мережа не має резерву, тому її захист повинний бути безвідмовним і швидкодіючим. Тягова мережа постійного струму відрізняється великими робочими навантаженнями і як наслідок малим опором контактної мережі.

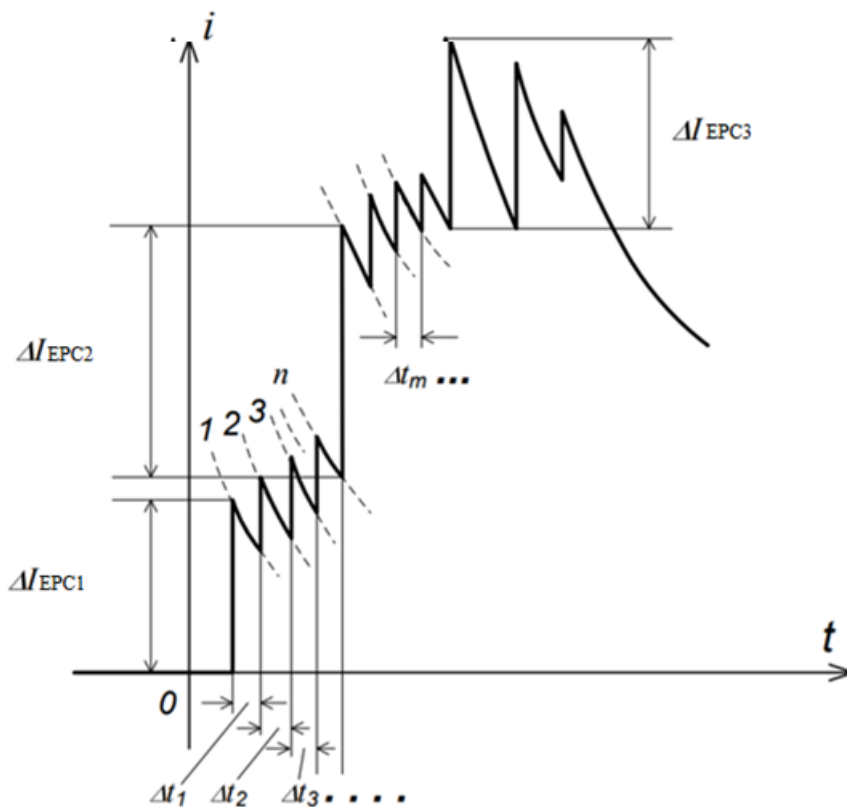
У залежності від місця (дальні або поблизу ТП), навантаження (наявність е.р.с. і його відстань до точки к.з.) і характеру замикання (металеве, через дугу, стікання в землю) короткі замикання змінюють свої характеристики (максимальне установлене значення, швидкість наростання) на порядок при одній і тій же схемі живлення і секціонування. При короткому замиканні поблизу шин підстанції швидкість наростання струму к.з. буде змінюватися від 500 до 700 кА/с, а при віддалених к.з. швидкість наростання струму буде змінюватися від 70 до 100 кА/с. Кидок струму при к.з. на одноколійних ділянках буде складати не менше ніж 1600 А, а на двоколійних (при к.з. біля поста) — не менш 2200 А. Постійна часу T_k при к.з. у залежності від місця ушкодження змінюється в межах 0,003 — 0,2 с.

Але крім аварійних режимів роботи в системі тягового електропостачання існують штатні режими, у яких струм та напруга фідерів контактної мережі мають майже однакові параметри, і можуть бути схожі на режим короткого замикання. Особливо це помітно при пуску електрорухомого складу, повторній появі напруги або прохід

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струмоприймача через повітряний проміжок. Для захисту тягової мережі прийняті такі основні характеристики як: кидок струму (ΔI), швидкість наростання струму ($\frac{di}{dt}$), максимальний струм фідера I_{ϕ} , постійна часу T , та рівень напруги на різних ділянках мережі.

При пуску восьмивісних електровозів або електропоїздів струм може досягати таких значень від 2100 А (для електровозів) до 2250 А (для електропоїздів). Зміна схеми з'єднання двигунів призведе до кидків струму величиною 900 А (для електропоїздів) 1080 А (для електровозів). А швидкість зміни струму при перемиканні схеми з'єднання двигунів може досягати 30 кА/с для електровозів, а для електропоїздів вона може складати від 80 до 320 кА/с. Характер зміни струму при пуску показаний на рис. 1.1.



1-а, 2-а, 3-я ... N-я – позиції, $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_m$ – час переходу з позиції на позицію.

Рисунок 1.1 – Характер зміни струму при пуску ЕРС

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Існують ситуації коли при великих швидкостях руху відбувається відрив струмоприймача від контактного проводу, що дорівнює короткочасному зникненню напруги та повторній її появі, що призводить до кидка струму, значення якого залежать від тривалості перерви живлення. Зазвичай при відриві струмоприймача кидок струму може досягати 500 А, а швидкість наростання струму від 60 до 80 кА/с. Якщо перерва живлення буде більшою за 0,5с, то на прикладі восьмивісного електровоза кидок струму буде складати 3000 А, а швидкість наростання струму від 100 до 180 кА/с.

При проїзді струмоприймача через повітряні проміжки, струмоприймач замкне обидві його гілки. Таким чином струм поїзда, який протікав по одному фідеру розподілиться між двома фідерами. Після того як поїзд проїде повітряний проміжок увесь струм буде протікати по другому фідеру. Таким чином для другого фідера буде два кидка струму: перший при перемиканні віток повітряного проміжку, другий коли струмоприймач зійде зі збігаючої вітки повітряного проміжку. В даній ситуації кидок струму буде дорівнювати половині струму електропоїзда і може досягати 1000 А, при швидкості наростання струму від 1000 до 1500 кА/с.

Проаналізувавши основні признаки, які характерні для аварійного та нормального режиму роботи можна зробити висновок, що при значній відстані між підстанціями струми к.з. можуть бути рівні навантаженням нормального режиму або в деяких випадках навіть менше. У багатьох випадках при великій інтенсивності руху поїздів струми ушкоджень, що виникли на відстані 8 — 12 км від тягової підстанції, практично неможливо відрізнити від максимальних навантажень. По крутості фронту наростання струмів і постійної часу ланцюга також не можна вірогідно судити про режим у тяговій мережі, оскільки й у нормальних умовах і при к.з. у багатьох випадках вони рівнозначні.[1]

Для відмінності аварійних режимів від робочих необхідно враховувати всі характеристики тягової мережі. Стежити за характером і швидкістю їхньої

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміни. Це стає можливим з появою багатопараметричних мікропроцесорних захистів. Але тепер існує проблема оптимального їхнього настроювання.

1.2 Аварійні режими роботи системи тягового електропостачання

В процесі функціонування контактна мережа піддається механічним, метеорологічним, хімічним впливам, які можуть призвести до відмови елементів тягової мережі, що супроводжуються зменшенням її опору з відповідним різким збільшенням струму, яке приводить до короткого замикання. Короткі замикання в свою чергу приводять до різних порушень нормальної роботи системи тягового електропостачання.

Струми коротких замикань, які виникли поблизу тягових підстанцій, їх значення можуть перевищувати у 20-30 разів струми навантажень мережі. Ближні короткі замикання навіть при малій тривалості можуть привести до руйнування комутаційних апаратів і різних приладів. З іншої сторони короткі замикання, які виникли на значній відстані від тягової підстанції, їх струми настільки незначні, що в окремих випадках навіть менше звичайних струмів навантаження. Дальні короткі замикання є найбільш небезпечними, так як, струми практично не відрізняються від струмів нормального режиму роботи, а якщо їх своєчасно не локалізувати і не ліквідувати, ці струми можуть привести до термічних ушкоджень струмоведучих частин. Контактні проводи, внаслідок перегріву, втрачають механічну міцність, і може відбутися перепал контактного проводу, особливо якщо при короткому замиканні виникає дуга. Аварії, що є наслідком не відключених коротких замикань, можуть привести до тривалої перерви нормальної експлуатації ділянки, тому питанням захисту від струмів короткого замикання приділяється велике значення.

Причини виникнення к.з. можуть бути розділені на чотири групи:

1. причини випадкового характеру, що не залежать від якості обслуговування мережі;

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. причини експлуатаційного характеру, зв'язані з незадовільним обслуговуванням контактної мережі;

3. причини короткого замикання, зв'язані з е.р.с.;

4. причини, зв'язані з невірною експлуатацією постів секціонування і пунктів паралельного з'єднання.

До відмовлень першої групи відносяться:

– перекриття ізоляторів внаслідок атмосферних і комутаційних перенапруг;

– перекриття ізоляторів повітряних проміжків, рогових розрядників і т.д. птахами;

– з'єднання проводів із заземленими частинами різних споруджень і конструкцій унаслідок руйнування або стихійних лих;

– особливі погодні умови (сильний вітер, ожеледь);

– зрив дахів з торканнями проводів або деталей контактної мережі, торкання їх кранами або іншими механізмами.

Причинами, що відносяться до другої групи:

– неправильна взаємодія контактної підвіски і струмоприймача електровоза внаслідок не усунутих дефектів підвіски;

– неправильне регулювання рогових розрядників, що приводить до періодичного торкання рогів при вібрації опори в момент проходу поїздів або під дією вітру;

– порушення правил ремонту, неправильними діями обслуговуючого персоналу, дефектами конструкцій;

– зниження електричної міцності ізоляторів унаслідок забруднення їхньої поверхні, механічних ушкоджень і старіння;

– руйнування конструкції й обриви проводів контактної мережі, що виникають при неправильному їхньому регулюванні, неприпустимому навантаженні і зниженні міцності в експлуатації;

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– замикання струмоприймачем секційного ізолятора або повітряного проміжку, що відокремлює секцію мережі, що знаходиться під напругою, від заземленої;

Відповідно, для третьої групи:

– неправильна взаємодія контактної підвіски і струмоприймача електровозу внаслідок не усунутих дефектів струмоприймача;

– короткі замикання на е.р.с.;

– неправильні дії локомотивних бригад;

– схід з рейок е.р.с.;

Для четвертої групи:

– помилкові включення в схемі секціонування (при подачі напруги на заземлену ділянку);

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ДІЮЧИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАХИСТІВ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 Основні вимоги до захисту тягової мережі

Захист повинен відповідати таким параметрам як швидкодія, селективність, чутливість, надійність, простота та економічність.

Під **чутливістю** треба розуміти здатність захисту спрацьовувати при аварійних, і ненормальних режимах на ділянці мережі, що захищається.

Зазвичай чутливість захисту позначається $k_{\text{ч}}$, та нормується в межах від 1,2 – 4 в залежності від типу та призначення електроустаткування. Для забезпечення захисту від струмів к.з. в контактній мережі коефіцієнт чутливості $k_{\text{ч}}$ слід брати в межах від 1,1 – 1,15.

Під **селективністю** треба розуміти відключення захистом тільки пошкодженої ділянки. Але слід зазначити, що селективність може бути до місця відключення (тобто захист повинен відключити тільки ушкоджену ділянку мережі) та селективність до режиму (тобто захист повинен відключати тільки аварійні режими і не спрацьовувати від навантажень). З огляду на суперечливість вимог і неможливість іноді одночасно забезпечити достатню чутливість і селективність в умовах тягової мережі, прагнуть одержати необхідну чутливість захисту при можливо більш високій її селективності.

Під **швидкодією** треба розуміти, що при безупинному зростанні аварійного струму, відключення відбудеться тим швидше, чим раніше спрацює захист. Повний час відключення захистом к. з. позначається $t_{\text{п}}$, та складається з часу досягнення його уставки $t_{\text{у}}$, власного часу спрацьовування вимикача $t_{\text{с}}$, і часу гасіння дуги аварійного струму $t_{\text{г}}$, тобто,[2]

$$t_{\text{п}} = t_{\text{у}} + t_{\text{с}} + t_{\text{г}}.$$

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під **надійністю** мається на увазі постійна готовність захисту до роботи, а також безвідмовність усіх її елементів. Надійність оцінюється часом наробітку на відмовлення. З метою підвищення надійності передбачають резервний захист, що спрацює у випадку відмовлення основного.

Захист звичайно доповнюють пристроями автоматичного повторного включення (АПВ) для того, щоб при швидкій ліквідації к. з. Або неселективних відключення звести перерви живлення до мінімуму.

2.2 Аналіз існуючих пристроїв захисту

Швидкодіючі автоматичні вимикачі (ШВ) являються основними комутаційними апаратами на тягових підстанціях постійного струму, тому що саме вони повинні забезпечувати відключення контактної мережі при коротких замиканнях та перенавантаженнях для попередження шкідливого термічного і динамічного впливів цих струмів на обладнання підстанцій та контактну мережу. Одночасно вони можуть виконувати функцію захисту фідерів контактної мережі та додаткові функції, пов'язані з роботою елементів автоматики, та у деяких випадках, здійснювати контроль за правильністю проведених дій при виконанні окремих операцій, пов'язаних з перемиканням пристроїв у системі електропостачання.

На даний момент часу на залізницях, що електрифіковані постійним струмом, застосовують декілька типів швидкодіючих автоматичних вимикачів: АБ-2/3, АБ-2/4, ВАБ-2, ВАБ-20, ВАБ-28, ВАБ-43, ВАБ-49, ВАБ-206, ВАБ-27С, Gerapid 4207, які встановлені на фідерах тягових підстанцій, постах секціонування та пунктах паралельного з'єднання.

За принципом пристрою відключення швидкодіючі автоматичні вимикачі постійного струму поділяються на наступні групи:

– вимикачі з пружинним відключенням, тобто такі, відключення яких досягається за рахунок зусиль, що розвиваються могутньою пружиною, що відключає;

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– вимикачі з магнітно-пружинним відключенням, у яких відключення здійснюють як сили пружини, що відключає, так і електромагнітні сили;

– вимикачі з електромагнітним відключенням, у яких відключення цілком виконується електромагнітними силами, що діють на рухливу систему вимикача в період відключення.

Усі перераховані групи швидкодіючих вимикачів прийнято додатково підрозділяти на:

– неполяризовані вимикачі, відключення яких обумовлено тільки величиною струму і не залежить від його напрямку;

– поляризовані, відключення яких обумовлюється не тільки величиною струму, але і його напрямком.

Важливою властивістю вимикача, що визначає режим його роботи і схему керування їм, є положення його головних контактів при знеструмленому ланцюзі керування. Вимикачі можуть бути з контактами:

– нормально розімкнутими;

– нормально замкнутими.

Типи швидкодіючих вимикачів занесені до таблиці 2.1.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Типи швидкодіючих вимикачів

	Вимикачі з:					
	Пружинним відключенням і контактами		Магнітно-пружинним відключенням і контактами		Електромагнітним відключенням і контактами	
	Нормально розімкнутими	Нормально замкнутими	Нормально розімкнутими	Нормально замкнутими	Нормально розімкнутими	Нормально замкнутими
Поляризовані				ВАБ-2, АБ2/3, АБ2/4, ВАБ-43, ВАБ-49		
Неполяризовані	ВАБ-28 ВАБ-206 Gerapid 4207					ВАБ-27С, ВАБ-20

Найпростішим видом захисту, яким володіє швидкодіючий вимикач, є максимальний струмовий захист. Даний захист від струмів к.з. у контактній мережі постійного струму є найбільш простим і надійним. Принцип дії цього захисту заснований на порівнянні струму, що протікає через фідер, що захищається, зі струмом уставки цього захисту.

Якщо швидкодіючий вимикач обладнаний індуктивним шунтом або вторинним пристроєм захисту, використовувати у вимикачі реле РДШ, то значення уставки ШВ у перехідних процесах зменшиться і буде залежати від параметрів шунта та ділянки мережі, що захищається, тобто шунт у комбінації з витком, що розмагнічує, являє собою пристрій захисту, що реагує на стрибок струму.

Для режиму короткого замикання незалежно від значень і місця розташування попередніх навантажень завжди характерно деяке кінцеве збільшення струму. Таким чином, уставки вимикачів з індуктивним шунтами, стосовно до їх параметрів, можуть бути збільшені і перевищувати деяке значення мінімальні струми к.з. з відповідною можливістю збільшення максимальних навантажень. Такий захист фідера, що реагує на суму попереднього струму і стрибок струму, відноситься за принципом дії до максимального імпульсного.

Застосування цих пристроїв дозволило підвищити чутливість захисту тягової мережі до малих струмів короткого замикання, але привело до збільшення числа помилкових відключень вимикачів при пусках електропоїздів, та при проїзді рухомим складом, що йде під струмом, повітряного проміжку.

Відомі інші види захисту, у число яких входять:

- різні різновиди максимального імпульсного захисту, такі як двозонний захист, у якому задають різні уставки з різним часом спрацьовування для двох ШВ одного фідера й об'єднанні їхніх блок контактів;
- дистанційний захист, що реагує на опір ділянки ланцюга, що захищається, і спрацьовує при його зменшенні нижче значення опору уставки;
- потенційний захист, що реагує на значення напруги в контактній мережі і спрацьовує при його зниженні нижче значення напруги уставки;
- теплові захисти (псевдотеплові і прямої дії), що реагують на перевищення температури проводів контактної мережі за заданий час;
- захист реагуючий на швидкість наростання струму;
- захист реагуючий на збільшення струму;
- захист реагуючий на перехідні процеси.

Перераховані додаткові захисти дозволяють підвищити селективність. Але усі вони являють собою додаткові пристрої (іноді віддалені).

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підключення їх робить існуючі схеми захисту громіздким і складними в обслуговуванні і ремонті. Тому багато захистів на практиці масового поширення не одержали.

Окремо треба сказати про телеблокировку. Сама вона не належить до будь якого захисту, але дозволяє практично стовідсотково вирішити проблему селективності.

2.3 Аналіз мікропроцесорних захистів

Останнім часом для захисту електричних мереж все більше впроваджуються мікропроцесорні комплекти. Поява високопродуктивних мікропроцесорів з низьким енергоспоживанням дозволило створювати повнофункціональні модулі захистів. Мікропроцесорні модулі з перепрограмованою пам'яттю дозволяють застосовувати типові апаратні модулі для захисту різних приєднань і електричних апаратів.

По основним технічним характеристикам дані захисти схожі. Усі вони містять велику кількість вхідних і вихідних сигналів (від 8 до 26), діапазон робочих температур (від -20 до 55), мають функцію осцилографування (запам'ятовування параметрів аварійного процесу), інтерфейс зв'язку з комп'ютером і телемеханікою, сервісну програму для комп'ютера.

Фірми "Siemens", "Київприлад", "НПЕФА-ЕНЕРГО" випускають спеціалізовані мікропроцесорні модулі для фідерів контактної мережі залізничного транспорту.

Оскільки нормальні й аварійні режими роботи фідерів контактної мережі постійного струму сильно відрізняються від роботи не тільки високовольтних ліній, але навіть від фідерів контактної мережі змінного струму, то вочевидь, що для їхнього комплексного захисту необхідні спеціалізовані мікропроцесорні комплекти. Такі спеціалізовані комплекти випускають ПО "Київприлад" (МРЗС-05А-02) і ТОВ "НПЭФА-ЭНЕРГО" (ЦЗАФ-3,3).[3] Ці багатофункціональні мікропроцесорні захисти незважаючи

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на однакові вимоги мають ряд відмінностей. Це насамперед обумовлено тим, що комплект ЦЗАФ-3,3 зразу проектувався для захисту контактної мережі постійного струму з урахуванням специфіки режимів роботи тягового електропостачання. Конструктори намагалися не тільки реалізувати в одному пристрої відомі захисти фідерів постійного струму, але і поліпшити їхні характеристики.

Комплект МРЗС-05А-02 створювався пізніше на базі багатофункціонального програмувального мікропроцесорного захисту МРЗС-05. Комплекс МРЗС-05 має гнучку архітектуру внутрішніх зв'язків. Є можливість активувати з набору необхідні захисти і потім програмувати логіку їхньої взаємодії, можна призначати входам і виходам різні функції. На елементній базі МРЗС-05 створена велика кількість мікропроцесорних захистів (трансформаторів, акумуляторних батарей, двигунів, компенсуючих пристроїв).

Виконувані функції комплектами мікропроцесорних релейних захистів (МРЗ):

- функції захисту фідерів контактної мережі (ФКМ);
- функції автоматики;
- керування швидкодіючим вимикачем (ШВ);
- керування лінійним роз'єднувачем (ЛР);
- функції сигналізації;
- реєстрація подій і аварійних процесів;
- функції самодіагностування.

Експлуатаційні та технічні характеристики МРЗС-05 та ЦЗАФ-3,3 наведені у таблиці 2.2 та 2.3.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Експлуатаційні характеристики комплектів МРЗ

Найменування характеристики	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Оперативна напруга електроживлення, В	220, 110 змінна або постійна	220, 110 змінне або постійне
Повна потужність споживання, Вт	Черговий режим < 8 Режим видачі команд < 15	< 15
Вологість, %	< 80	< 80
Робочий діапазон температур, °С	Від -5 до +55 °С	Від -1 до +45 °С

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики блоків МРЗ

Найменування характеристики	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
1	2	3
Аналогові вимірювальні входи:		
Кількість аналогових вимірюваних каналів	Стумовий -1 Напруги -2	Стумовий -1 Напруги -2
Робочий діапазон вимірюваних струмів, А	Від -8000 до +8000	Від -20470* до +20470*
Основна приведена погрішність виміру струму, %	< 5	±1
Робочий діапазон вимірюваних напруг на фідері, В	від -4000 до +4000	від -6140 до +6140
Основна приведена похибка виміру напруги, %	< 5	±1
Дозволяюча здатність реєстратора по аналоговим сигналам, мкс	100 мкс	125 мкс

Продовження Таблиці 2.3

Найменування характеристики	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Входи дискретних сигналів:		
Число входів	32	32
Вхідний струм, мА	< 5	< 4
Вхідна напруга постійний або змінний струми, В		
а) для оперативної напруги 220 В:		
- рівень “логічного 0”, В	< 110	< 140
- рівень “логічної 1”, В	> 150	> 170
б) для оперативної напруги 110 В:		
- рівень “логічного 0”, В	< 50	< 70
- рівень “логічної 1”, В	> 75	> 80
Виходи дискретних сигналів:		
Число виходів	Релейних : 20 + 1	Релейних -14 Елект. ключ -2
Діапазон напруг, що комутуються, змінний або постійний струми, В	До 250	Від 24 до 264
Комутаційна здатність контактів, А		
- на замикання	< 8	< 8
- на розмикання L/R навантаження	< 0,15	< 0,15
час спрацьовування, мс		
-релейний вихід	< 10	< 10
-електронний ключ		< 1

Продовження Таблиці 2.3

Найменування характеристики	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Загальні технічні характеристики:		
1	2	3
Кількість дискретних індикаторів	14 + 6	6 + 4
Відображення на індикаторі	Струм і напруга	Струм і напруга
Похибка ходу годин, с/сут	3	3
Зв'язок з вимірювальним блоком	2 оптоканала	2 оптоканала
Порт зв'язку з комп'ютером	RS-232	RS-232
Інтерфейс зв'язку з АСУ	RS-485	RS-485
Захист від змін введених уставок	пароль	пароль
Кількість наборів уставок захистів	2	3
Наявність кнопок ручного керування	є	є
Кількість блоків	1+ вимірник	2+ вимірник
Реєстрація подій і аварійних процесів		
Дозволяюча здатність реєстратора по аналоговим сигналам, мс	0,1 мс	1 мс
Кількість аналогових характеристик, що запам'ятовуються	3	4
Тривалість запису, мс	100+900	300+300
Кількість аварійних записів	5	23
Самодіагностика		
Наявність сторожового таймера	Є	Є
Контроль цілісності пам'яті уставок	Є	Є
Контроль цілісності пам'яті виконання команд	Є	Є
Контроль зв'язку з вимірювальним блоком	кожні 2 с.	кожні 2 с.

Примітка: * – при застосуванні шунта на 6 кВ.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк. 24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікропроцесорні комплекти захисту фідерів контактної мережі постійного струму включають в собі набір автономних захистів, реагуючих на зміни струму, напруги та опору.

Таблиця 2.4 – Застосовувані види захистів в МРЗ

МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
двонаправлена МТЗ	двонаправлена МТЗ
спрямована ПМТЗ	спрямована ЗПТ
спрямована МИТЗ	спрямована ЗСНТ
спрямована ДЗ	спрямована ДЗ
ЗМН	ЗМН
	ЗПН
	КВТЗ
Зовнішні захисти	Зовнішні захисти
АПВ	АПВ
УРОВ	УРОВ

– МТЗ – двоступінчастий двонаправлений максимальний струмовий захист. Перша ступінь ТО – струмове відсічення (прямий напрямок струму).

Друга ступінь – МТЗ із витримкою часу (зворотний напрямок струму);

– ЗПТ – спрямований максимальний струмовий захист по збільшенню струму, що перевищує граничне значення, за встановлений інтервал часу (прямий напрямок струму);

– МИТЗ – максимальний імпульсний струмовий захист;

– ЗСНТ – захист по швидкості наростання – 2 ступені, спрямовані (прямий і зворотній напрямок струму);

– ДЗ – захист по опору (дистанційний) – 2 ступені, спрямовані (прямий напрямок струму);

– ЗМН – захист мінімальної напруги;

– Формування команд керування від земляного, теплового і

зовнішнього захистів (ЗДВ);

- Автоматичне повторне включення (АПВ дворазової дії);
- Пристрій резервування при відмовленні вимикача (УРОВ).

Таблиця 2.5 – Характеристики двонаправленого максимального струмового захисту (МТЗ)

Уставки, витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон регулювання уставки по струму, А: - для прямого напрямку струму* - для зворотного напрямку	від 500 до 8000 від 500 до 8000	від 500 до 8000 від 500 до 8000
Дискретність уставки, А	1	50
Діапазон регулювання уставки часу, мс: - для прямого напрямку струму - для зворотного напрямку	Від 0 до 5000 Від 0 до 5000	0 Від 0 до 500
Крок витримки спрацьовування, мс	10	10

Таблиця 2.6 – Характеристики спрямованого захисту по швидкості наростання струму (ЗСНТ)

Уставки, витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон регулювання уставки по швидкості наростання струму, А/мс	від 10 до 2000	від 20 до 2000
Крок регулювання, А/мс	1	10
Витримка часу, мс: -прямий напрямок струму -зворотний напрямок струму	0 від 0 до 500	0 100
Крок витримки спрацьовування, мс	1	10
Кількість відрахунків	від 1 до 50	
Крок	1	

Таблиця 2.7 – Характеристики спрямованого захисту по збільшенню струму (ЗПТ)

Уставки, витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон регулювання уставки по збільшенню струму, А	від 100 до 8000	від 100 до 6000
Крок регулювання, А	1	50
Струм дельти, А	від 100 до 600	
струму дельти, А	1	
Час дельти (час вимірювання збільшення струму), мс	від 1 до 500	від 1 до 990
Крок часу дельти, мс	1	10
Діапазон коеф.адаптації (К _а)		від 0,0 до 1,00
Крок регулювання (К _а)		0,05
Витримка часу, мс	від 0 до 32000	від 0 до 500
Крок витримки спрацьовування, мс	10	5

Таблиця 2.8 – Характеристики захисту мінімальної напруги (ЗМН)

Уставки, витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон регулювання уставки по напрузі, В	від 100 до 3000	від 500 до 3000
Крок уставки, В	1	50
Витримка часу, с	від 0 з до 32	від 0 з до 0,5
Крок витримки спрацьовування, с	0,01	0,005
Необхідні умови для спрацьовування:	$I_{\phi} > 100 \text{ А}$ $U_{\text{ш}} > 30 \text{ В}$	$I_{\phi} > 200 \text{ А}$ $U_{\phi} > 1000 \text{ В}$
Діапазон min струму, А	від 100 до 8000	200

Таблиця 2.9 – Характеристики спрямованого дистанційного захисту (ДЗ)

Уставки, витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон регулювання уставки по опору, Ом	від 0,1 до 10	Від 0,1 до 5
Крок уставки, Ом	0,01	0,01
Витримка часу, с	від 0 з до 1,0	від 0 з до 0,2
Крок витримки спрацьовування, с	0,01	0,01

Таблиця 2.10 – Характеристики підключення зовнішніх захистів (ВЗ)

Уставки, витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Найменування дискретного входу	ЗЗ-земляний ТЗ-тепловий ВЗ-зовнішній	«Зовнішній захист»
Діапазон незалежних витримок часу, с	від 0,1 до 10	0
Крок витримки, с	0,01	

Таблиця 2.11 – Характеристики автоматичного повторного включення (АПВ)

Витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон витримок часу, с:		
-перший цикл АПВ	Від 2 до 128	Від 5 до 20
-другий цикл АПВ	Від 2 до 128	Від 20 до 100
Крок витримок часу, с	0,01	1
Підтримка логіки ІКЗ	так	так
Дозвіл/заборона функції АПВ із пульта	так	так

Таблиця 2.12 – Характеристики пристрою резервування при відмовленні вимикача (УРОВ)

Витримки і керування	МРЗС-05А-02	ЦЗАФ-3,3
Діапазон регулювання контрольного часу, с	Від 0,01 до 1	Від 0,01 до 1
Крок регулювання, с	0,01	0,01
Діапазон регулювання граничного значення струму, А		Від 50 до 1000
Крок регулювання, А		10

Обидва пристрої дозволяють керувати вимикачем і роз'єднувачами як дистанційно, так і в режимі місцевого керування безпосередньо з пульта з блокуванням від неправильних дій.

Розглянуті мікропроцесорні комплекти мають майже однакові технічні характеристики і набори захистів. Є невелика відмінність у роботі захистів, що спрацьовують від збільшення струму (МИТЗ і ЗПТ). Комплект ЦЗАФ-3,3 містить у собі тепловий захист, а МРЗС-05А-02 підтримує обробку сигналів від зовнішнього теплового захисту. МРЗС-05А-02 дозволяє змінювати логікові взаємодії різних захистів, але це зможе грамотно зробити тільки висококваліфікований фахівець, що пройшов спеціальне навчання.

3 АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ УСТАВОК ЗАХИСТУ

3.1 Загальні методи розрахунку і перевірки отриманих результатів

Для того щоб правильно налаштувати релейний захист необхідно знати:

- Максимальні робочі навантаження;
- Мінімальні струми короткого замикання.

Зазвичай обчислення параметрів короткого замикання проводять на основі розрахунку схеми заміщення для найменшого струму короткого замикання. Схема заміщення повинна містити усі елементи, що впливають на величину струму короткого замикання. До цих елементів можна віднести: опір контактної підвіски, рейок, опір тягових підстанцій, опір відсмоктувальних проводів, опір троса групового заземлення, опір дуги в місці ушкодження або спадання напруги в ній. За цими даними можна обчислювати напруги та струми різних ділянках міжпідстанційної зони.

Зазвичай схема заміщення являє собою контур струму к.з., де всі елементи системи представлені своїм еквівалентним опором.

На рис. 3.1 представлена схема заміщення двоколійної ділянки з постом секціонування і двома пунктами паралельного з'єднання. Коротке замикання відбулося на першій колії між ПСК і ППС2.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

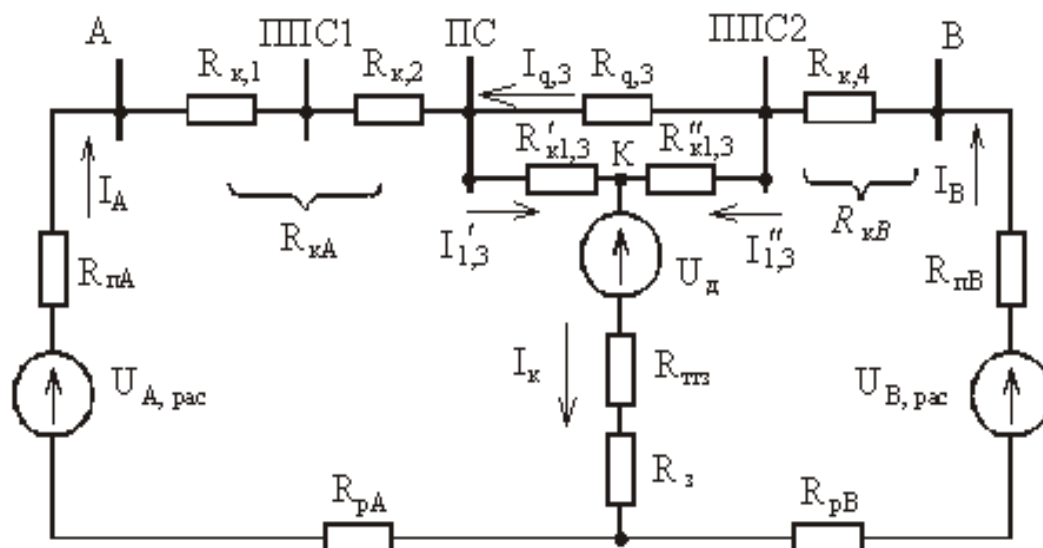


Рис. 3.1 – Схема заміщення

де $R_{к,1}; R_{к,2}; R_{к,4}$ — результуючі опори контактної мережі всіх шляхів між вузовими точками на неушкоджених ділянках міжпідстанційної зони, Ом;

$R'_{к1,3}; R''_{к1,3}$ — опори контактної мережі першої колії на третій ділянці між точкою короткого замикання і відповідно лівими і правої вузовими точками, Ом;

$R_{к,3}$ — опір контактної мережі неушкоджених колій на третій ділянці, Ом;

$R_{рА}; R_{рВ}$ — опори рейкового кола від місця короткого замикання до тягових підстанцій А і В відповідно, Ом;

$R_{тгз}$ — опір троса групового заземлення, Ом;

$U_{А,рас}; U_{В,рас}$ — розрахункові напруги тягових підстанцій А і В, В;

$U_д$ — спадання напруги у дузі, В;

$R_{пА}; R_{пВ}$ — внутрішні опори підстанцій А і В, Ом.

Розрахунок слід проводити для мінімального і максимального режиму, через постійну зміну параметрів короткого замикання, на які впливають нелінійність режиму роботи підстанцій і зовнішнього електропостачання,

наявність дуги та інших факторів. При розрахунку необхідно враховувати параметри, що впливають на величину опору. Це зменшення перетину проводів за рахунок корозії і зносу і температури.

Отримані результати бажано перевірити експериментально. Так як при порівнянні розрахункових і експериментальних даних слід брати до уваги при яких погодних умовах проводились іспити, відхилення температури проводів і рейок. Так як відхилення температури проводів і рейок від розрахункових 20 °С може істотно вплинути на розбіжність у результатах. Слід доповнити що погодні умови впливають на опір ланцюга рейка-земля.

3.2 Основні положення ефективної роботи захисту

Для надійного відключення коротких замикань вимикачі контактної мережі не залежно від місця де вони встановлені: на фідерах, пунктах паралельного з'єднання, тощо, повинні мати основний та резервний захист.

Основний захист діє в межах усієї захищеної зони, який спрацьовує повільніше ніж інші захисти, які встановлені на даному вимикачі.

Вимикачі, які встановлені на фідерах тягових підстанцій основною зоною, що захищається, є ділянка контактної мережі від підстанції до поста секціонування (1-й ступінь захисту), а при відключенні ПСК - до суміжної тягової підстанції (2-й ступінь захисту).

Для захистів постів секціонування зоною захисту є ділянка між постом і суміжною підстанцією.

Для захисту пунктів паралельного з'єднання зоною захисту є ділянка між постом секціонування і найближчою тяговою підстанцією, а при наявності двох постів секціонування — ділянка між ними.

Основний і резервний захисти на пунктах паралельного з'єднання повинні бути ненаправленими без витримки часу.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для селективної роботи швидкодіючий вимикач на ППС повинен відключатися одним з перших в ушкодженій зоні, а захист фідерів і ПСК – направлено.

Захист вимикача повинен відповідати такому критерію як чутливість до коротких замикань у межах захищеної зони і зони резервування, нечутливість до максимальних навантажень нормального режиму роботи. Крім цього вимикач не повинен спрацьовувати на короткі замикання, які знаходяться за межами захищеної зони. Регулювати такий параметр як селективність можна за допомогою збільшення витримки часу або різними струмовими уставками, але для запобігання перевитрати проводів контактної мережі варто застосовувати неселективні захисти. Помилкові дії захисту при цьому повинні виправлятися за допомогою АПВ.

3.3 Розрахунок уставок МТЗ

Уставки 1-го і 2-го ступеня захисту швидкодіючих вимикачів і мікропроцесорних захистів усіх типів фідерів контактної мережі тягових підстанцій, ПСК і ППС вибираються по співвідношенню:

$$I_y \leq (I_{kзmin} - 300), A$$

і перевіряються по співвідношенню

$$I_y \geq (I_{робmax} + 200), A.$$

При необхідності (для зниження кількості «помилкових» відключень БВ) струмові уставки для вимикачів типу АБ-2/4, ВАБ-43 можна вибирати:

- для вимикачів типу АБ-2/4 і АБ-2/3 з повним пакетом сталевих пластин індуктивного шунта (240 мм):

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_y \leq 1,15I_{кзmin}, A,$$

де, $I_{кзmin}$ — мінімальний струм короткого замикання на ділянці, що захищається, А;

- для вимикачів АБ-2/4 випуску 1966м і пізніше при повному пакеті сталевих пластин індуктивного шунта (200мм), а також вимикачів типу ВАБ-43-4000/30-ЛУ4 з номінальними параметрами індуктивного шунта:

$$I_y \leq 1,05I_{кзmin}, A;$$

- для вимикачів типу ВАБ-43-6300/30-Л-УХЛ4 з номінальними параметрами індуктивного шунта:

$$I_y \leq (I_{кзmin} - 300), A.$$

При необхідності (для зниження кількості «помилкових» відключень ШВ) струмові уставки для вимикачів типу ВАБ-28, ВАБ-206, ВАБ-49-3200/30-Л-УХЛ4, ВАБ-70-3200/30-Л-УХЛ4 з реле РДШ-3000, вимикачів типу ВАБ-49-5000/30-Л-УХЛ4 з реле РДШ- 6000 і вимикачів типу Gerapid 4207 можна вибирати по співвідношенню:

$$I_y \leq 1,05I_{кзmin}, A.$$

3.4 Розрахунок уставок дистанційного захисту (ДЗ)

Дистанційний захист — це захист реагуючий на зменшення опору в ланцюзі, що захищається. В мікропроцесорних захистах опір розраховується:

$$R = U_{\phi}/I_{\phi},$$

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де R — розрахований опір, Ом;

U_{ϕ} — значення напруги фідера, В;

I_{ϕ} — значення струму фідера, А.

Оскільки захист реагує на зменшення величини, то слід вибирати місце к.з. з найбільшим опором кола замикання. Тобто для розрахунку уставки ДЗ користуємось схемою для розрахунку параметрів МТЗ.

Опори розраховуємо для сталого режиму, отже розраховані опори для МТЗ підходять для розрахунку ДЗ. Специфіка виміру напруги виключає з розрахунку значну складову індуктивного опору реактора. Як показують проведені іспити, з таким виміром, розрахований опір стрімко зменшується і наближається до своєї активної складової. Захист по опорі можна використовувати як основний, так як він спроможний визначити к.з. ще на початку процесу.

Уставку вибирають по співвідношенню:

$$R_{уст} = K_{від} \cdot R_e,$$

де R_e — еквівалентний опір кола к.з., Ом;

$K_{від}$ — коефіцієнт відстройки (1,25 ÷ 1,35).

Уставку перевіряють по співвідношенню:

$$R_{уст} < U_{н.мін} / (I_{н.макс} \cdot K_3),$$

де $I_{н.макс}$ — максимальне навантаження фідера, А;

$U_{н.мін}$ — напруга на шинах підстанції при максимальному навантаженню (можна приймати $U_{н.мін} = 3000$ В);

K_3 — коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,1$).

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На точність роботи захисту може вплинути к.з. через дугу, тому і запропонований збільшений коефіцієнт відстройки.

При використанні ДЗ як основного захисту витримка часу не використовується ($t = 0$).

3.5 Розрахунок захисту по швидкості наростання струму (ЗСНТ)

Швидкість наростання струму визначається по формулі:

$$d/dt = It_2 - It_1/t_2 - t_1,$$

де d/dt — швидкість наростання струму за час $t_2 - t_1 = 1$ мс;

It_2 — значення струму А, в момент часу t_2 ;

It_1 — значення струму А, в момент часу t_1 .

Спрацьовування захисту відбувається, якщо протягом 2 мс виконується умова:

3.6 Розрахунок захисту по збільшенню струму (ЗПТ)

Захист по збільшенню струму виник, як спроба імітувати роботу швидкодіючого вимикача (ШВ) з індуктивним шунтом. ШВ з індуктивним шунтом спрацьовує при різних кидках струму в залежності від попереднього навантаження. Чим більше навантаження, тим менший кидок струму викликає відключення ШВ.

$$K_a = dI_{уст}/I_0,$$

де $dI_{уст}$ — уставка по збільшенню струму, А;

I_0 — струм навантаження А, що передує збільшенню струму.

Умова спрацьовування:

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_1 - I_0 > dI_{уст} - I_0 \cdot K_a,$$

де I_1 — струм навантаження А, в поточний час t_1 ;

I_0 — струм навантаження А, в момент часу t_0 , що передує збільшенню струму.

3.7 Розрахунок захисту по мінімальній напрузі (ЗМН)

Мікропроцесорний захисту по мінімальній напрузі (потенційний захист) не має нижнього рівня уставки. Уставка спрацьовування верхнього рівня $U_{у,пз}$ вибирається за умовою:

$$U_{у,пз} \leq U_{н.min},$$

де $U_{н.min}$ — найменша допустима напруга в контактній мережі при нормальній роботі, прийнята рівною 2700 В, на шинах підстанції — 3000 В;

Обрана уставка перевіряється на чутливість до коротких замикань по формулі:

$$K_q = U_{у,пз} / U_{к,max},$$

де $U_{к,max}$ — найбільша напруга в місці установки захисту при короткому замиканні в розрахунковій точці;

K_q — коефіцієнт чутливості (не менш 1,25).

Якщо потенційний захист є основною (пункти паралельного з'єднання), то вона виконується без витримки часу. При використанні її в якості резервної застосовується витримка часу, величина якого на 0,1—0,2 більше, ніж у резервного захисту з найбільшою витримкою часу. Враховуючи

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

велику амплітуду коливань напруги, потенційний захист не можна використовувати як основний на фідерах ТП.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

4.1 Аналіз існуючих методів розрахунку

З появою багатофункціональних мікропроцесорних комплексів для захисту контактної мережі постійного струму, на більшості електрифікованих залізницях почали використовувати два пристрої: ЦЗАФ-3,3 та МРЗС-05А-02, які включають в себе наступні струмові захисти:

- максимальний струмовий захист;
- захист по швидкості зростання струму;
- захист по збільшенню струму за проміжок часу з урахуванням попереднього значення.

Максимальний струмовий захист спрацьовує при перевищенні струму уставки без урахування попередніх значень. Захист по швидкості зростання струму реагує на збільшення струму за 2 мілісекунди. Захист по збільшенню струму реагує на збільшення струму за деякий проміжок часу.

Електрифіковані залізниці постійного струму характеризуються великими струмами навантаження. Навіть існують ділянки де струм нормального режиму роботи перевищує мінімальні струми короткого замикання. Тому на цих ділянках максимальний струмовий захист буде некоректно працювати (хибні спрацьовування, або за рахунок збільшення струму уставки мати мертві зони). Таким чином захист не буде відповідати такому критерію як селективність, і в подальшому може призвести до порушення нормального функціонування СТЕ, або в найгіршому випадку до відмови.

При короткому замиканні струм збільшується з великою швидкістю, тому саме цей параметр використовується для визначення аварійного режиму. Але з іншої сторони існують режими нормального функціонування, в яких можна спостерігати швидко збільшення струму:

- пуск електропоїзда;

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк. 39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- переключення схеми з'єднання тягових двигунів;
- відрив струмоприймача;
- прохід поїзда ізольовуючого сполучення під струмом.

За час експлуатації захисту по швидкості наростання струму показав, що саме цей захист дає найбільшу кількість хибних відключень. Тому на більшості дільниць цей захист не використовується.

Для правильного налаштування захисту по збільшенню струму необхідно запрограмувати дві величини: час вимірювання та струм. Рис.4.1 добре показує, що збільшення струму безпосередньо залежить від сталого струму короткого замикання $I_{кз}$, струму навантаження $I_{нав}$, який протікав ще до аварії, постійної часу кола к.з. T_k та часу вимірювання T_v . Ця залежність описується формулою:[4]

$$i_k = I_n + (I_k - I_n)(1 - e^{-t/T_k}) = I_n + \Delta I(1 - e^{-t/T_k})$$

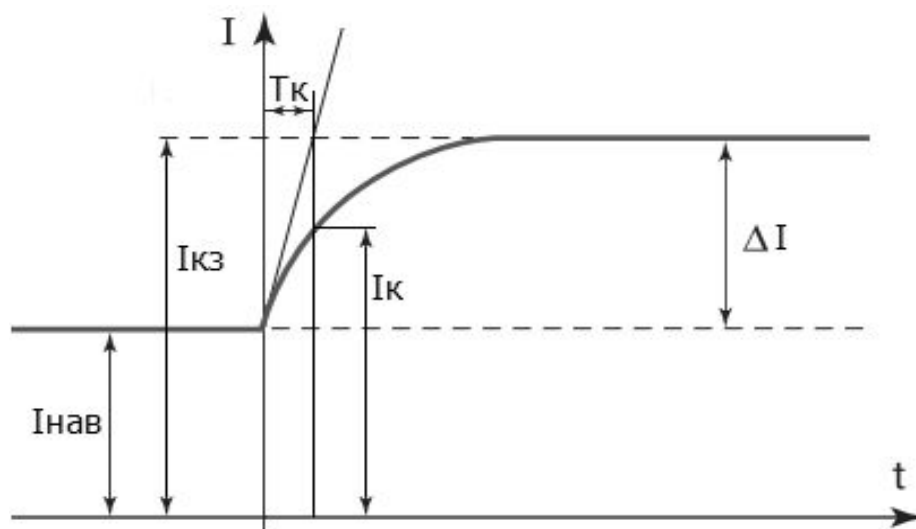


Рис.4.1 – Характер зміни струму короткого замикання

Для того щоб було неможливо виміряти два кидки струму при переключенні схеми з'єднання двигунів електровоза, і в той же час достатнім

для максимально повного вимірювання струму короткого замикання, рекомендовано вибрати час вимірювання збільшення струму достатньо малим.[5] Тому час вимірювання знаходиться в межах від $3T_k$ до 1 с. Час вимірювання слід вибрати від 0,1 до 0,5 секунди, в залежності від перерізу контактної мережі. В останній редакції інструкції розрахунку і вибору уставок, час вимірювання рекомендовано вибрати в межах від 0,1 до 0,6 секунди.[6]

4.2 Визначення параметрів робочих режимів для перевірки уставок

Для перевірки уставок необхідно знати найгірші, з точки зору релейного захисту, робочі параметри.

визначення di/dt в робочому режимі;

перевірка по пуску е.р.с.

Для розрахунку максимальної швидкості зростання струму при пуску е.р.с. приймаємо:

- навантаження фідера перед запуском відсутня;
- е.р.с. знаходиться біля підстанції.

На рис.4.2 Le і Re – відображають сумарну індуктивність і сумарний опір локомотива в момент запуску.

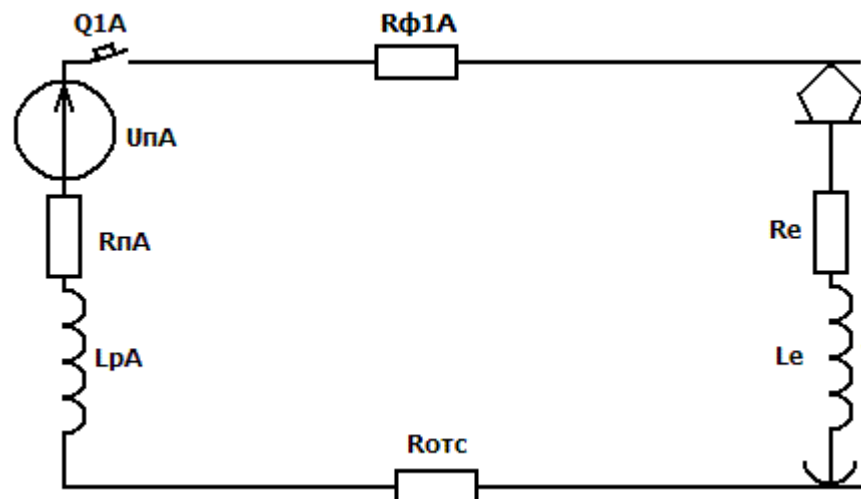


Рис. 4.2 – Схема заміщення для визначення зростання струму при запуску е.р.с.

Параметри схеми:

$R_{пА}, L_{пА}, R_{ф1А}, R_{отс}$ – беруться з розрахунку уставки dI/dt ;

$U_{пА} = U_{хх}$;

L_e, R_e – вибирається в залежності від типу е.р.с.

Для розрахунку пускового L_e і R_e електровоза необхідно знати його параметри:

- кількість секції;
- кількість і тип тягових двигунів в секції;
- електричні і конструктивні характеристики двигуна;
- схеми з'єднання тягових двигунів;
- наявність і величини інших активних і реактивних елементів, включених в ланцюг пуску електровоза.

Всі локомотиви Укрзалізниці використовують схожі схеми пуску. А саме: підключення двигунів секції послідовно один з одним з додатковим підключенням пускового резистора. Характеристики різних локомотивів представлені в таблиці 4.1.[7,8,9,10,11]

Таблиця 4.1 – Характеристики різних локомотивів

Тип електровоза	Тяговий двигун	Кількість секцій	Двигунів в секції	L дроселя (мГн)	R пуск (Ом)
ВЛ8	НБ-406Б	2	4	0,17	25,925
ВЛ10 ТЭВЗ до №1502	ТЛ-2К1	2	4	0,145	22,851
ВЛ10 ТЭВЗ с №1503	ТЛ-2К1	2	4	0,145	18,412
ВЛ10 НЭВЗ до №1029	ТЛ-2К1	2	4	0,145	22,851
ВЛ10 НЭВЗ с №1030	ТЛ-2К1	2	4	0,145	18,412

Продовження таблиці 4.1

ВЛ11	ТЛ-2К1	2	4	0,145	14,336
ВЛ 11м	ТЛ-2К1	2	4	0,145	36,1
ВЛ15	ТЛ-3	2	6	0,145	17,537
ЭР1	ДК-106Б	5	4	0,633	17,66
ЭР2	УРТ-110А	5	4	0,633	17,64

Всі тягові двигуни в таблиці 4.1 послідовного збудження. Це означає, що обмотки якоря, головних полюсів, додаткових полюсів та компенсаційної обмотки з'єднані послідовно і для розрахунку загального опору і індуктивності треба їх скласти. Опори обмоток приведені в документації, але індуктивність головних обмоток збудження не наведені, тому що вона залежить від струму. Індуктивність головних обмоток збудження розраховується по формулі:

$$L_3 = 2p(1 - \sigma)w(d\Phi/di_3),$$

де $2p$ – число полюсів;

Φ – магнітний потік головних полюсів;

i_3 – струм обмотки збудження;

σ – коефіцієнт розсіювання.

В цій формулі Φ і I_3 - змінні величини, тому для визначення L_3 треба користуватись графіком на рис.4.3[12]

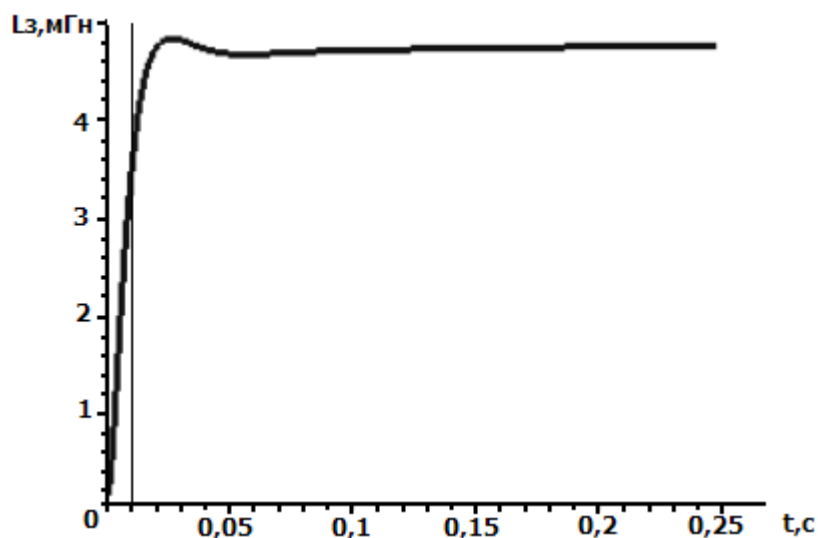


Рис. 4.3 – Графік зміни індуктивності обмотки збудження

Прийнявши $L_3 = 0,002$ Гн і склавши індуктивності всіх обмоток отримаємо сумарну індуктивність порядку 0,006 Гн.

Характеристики тягових двигунів представлені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Характеристики тягових двигунів

Тяговий двигун	Годинний струм, (А)	Тривалий струм, (А)	R _{дв} (Ом)
НБ-406Б	380	340	0,1152
ТЛ-2К1	480	410	0,0923
ТЛ-3	535	500	~ 0,069
ДК-106Б	146	115	0,424
УРТ-110А	146	115	0,416

Пуск 2-х секційних ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11 виконується по схемі, коли послідовно включаються всі тягові двигуни, обмотки збудження, повністю введений пусковий реостат в кожній секції і секції між собою теж з'єднуються послідовно.

Схема заміщення е.р.с. показана на рис.4.4

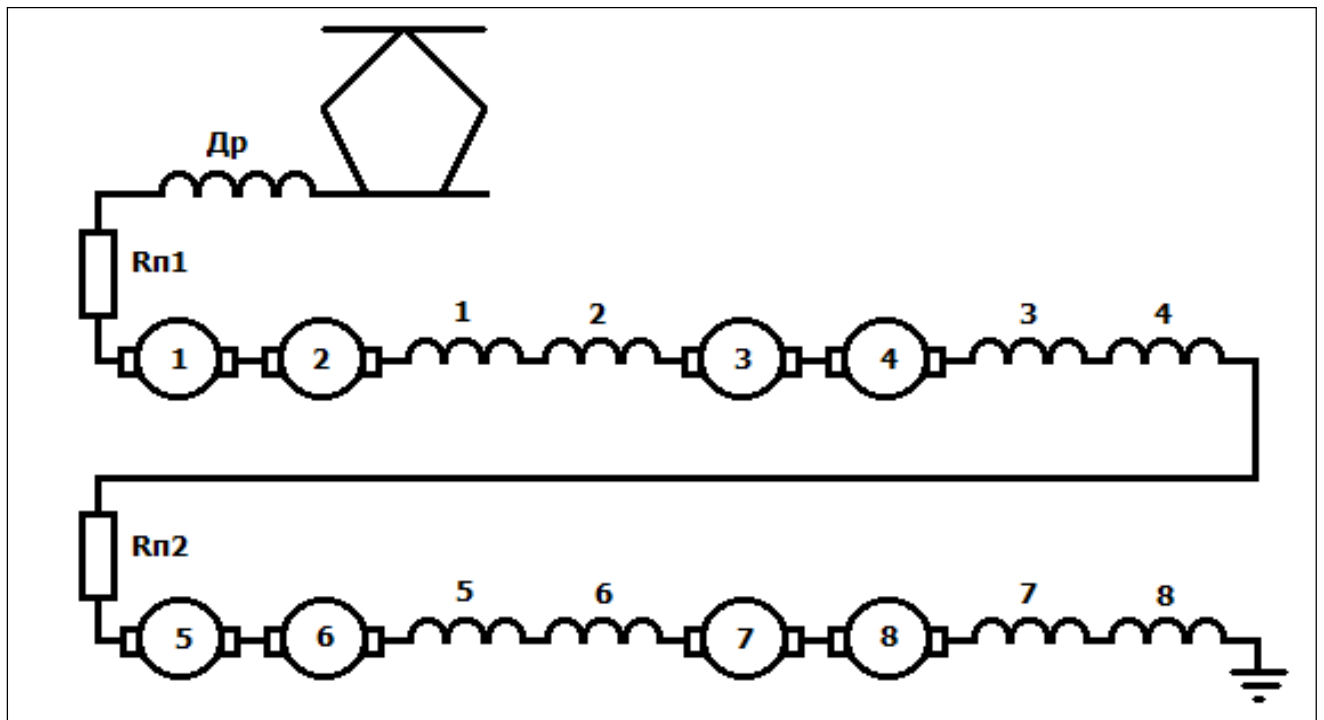


Рис. 4.4 – Схема заміщення е.р.с. при запуску

Підставляючи параметри з таблиць 4.1, 4.2 в схему заміщення, отримаємо необхідні значення по кожному е.р.с.

Таблиця 4.3 – Параметрів різних локомотивів

Тип електровоза	R_e , (Ом)	L_e , (Гн)	$I_{год}$, (А)	$I_{трив}$, (А)	di/dt пуск, (А/мс)	$I_{пуск}$, (А)
ВЛ8	26,85	0,0482	1520	1360	64	2350
ВЛ10 ТЭВЗ до 1502	23,59	0,0481	1920	1640	64	2900
ВЛ10 ТЭВЗ с 1503	19,15	0,0481	1920	1640	64	2900
ВЛ10 НЭВЗ до 1029	23,59	0,0481	1920	1640	64	2900
ВЛ10 НЭВЗ с 1030	19,15	0,0481	1920	1640	64	2900
ВЛ11	15,07	0,0481	1920	1640	64	2900
ВЛ 11м	36,84	0,0481	1920	1640	64	2900
ВЛ15	17,95	0,0361	3210	3000	98	4600
ЭР1	3,87	0,0406	1460	1150	147	2250
ЭР2	4,03	0,0406	1460	1150	147	2250

З таблиці 4.3 видно, що найбільша швидкість зростання струму при запуску у електропоїздів, але вона все одно значно менша за $dI/d_{уст} = 223 \text{ А/мс}$. Тому по пуску е.р.с. уставка проходить.

Таблицю 4.3 використовують і для визначення $I_{н.мах}$ для перевірки уставок МТЗ і ДЗ.

$$I_{н.мах} = I_{пуск} + I_{трив}(n - 1)/k$$

де $I_{пуск}$ – пусковий струм електровозу, А;

$I_{трив}$ – струм тривалого режиму, А;

n – число поїздів, що знаходяться одночасно на даній ділянці;

k – коефіцієнт ($k = 1$ при односторонньому живленні, $k = 2$ при двосторонньому).

Струми $I_{пуск}$ та $I_{трив}$ вибираються в залежності від типу поїздів, що експлуатуються на даній ділянці. Даний розрахунок є наближеним, тому що навіть однакові за типом електровози мають різні характеристики і на робочий струм впливає профіль ділянки.

Перевірка по відриву струмоприймача.

Відриви струмоприймача виникають при високих швидкостях руху; при цьому силовий ланцюг локомотива зібраний по паралельній схемі «П», а двигуни працюють з ослабленим магнітним потоком, що особливо небезпечно. При тривалих (більше 1,2 с) порушеннях контакту між струмоприймачем і контактним дротом відбувається повне розмагнічування магнітної системи тягових двигунів. При відновленні живлення відбувається, режим схожий на запуск, тільки без включених пускових реостатів і пари двигунів включені не послідовно, а паралельно. Загальний опір всіх двигунів при схемі «П» в 16 разів менше опору всіх двигунів при з'єднанні «С».

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

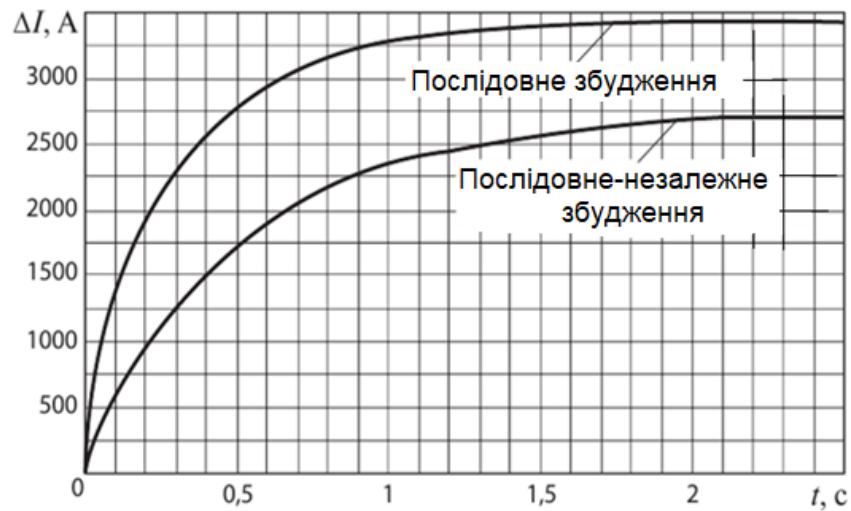


Рис. 4.6 – Графік залежності кидка струму від часу перерви живлення

Перевірка по проході поїзда під струмом ізолюючого сполучення.

Найбільш несприятливим для захисту, що реагує на швидкість зростання струму (ЗСНТ) є прохід струмоприймачем поїзда під струмом ізолюючого сполучення або секційного ізолятора біля підстанції. Для пояснення розглянемо рис.4.7 При всіх аварійних, чи робочих режимах, струм протікає через реактор. Якщо відбувається якась зміна струму, то завдяки реактору зміна буде відбуватися не стрибком, а по експоненті. На рис.4.7 навантажений фідер 2. Припустимо, що фідер 2 навантажений 1000А, а фідер 1 – без навантаження. Через реактор протікає струм 1000А. Коли струмоприймач перекриє дві секції відбудеться перерозподіл струму навпіл. Навантаження фідера 2 зменшиться до 500А, а фідера 1 збільшиться до 500А. Захист фідера 1 зафіксує збільшення струму рівному половині робочого струму потяга. Через реактор струм не змінювався. Тому струм на фідері 1 зміниться майже стрибком.

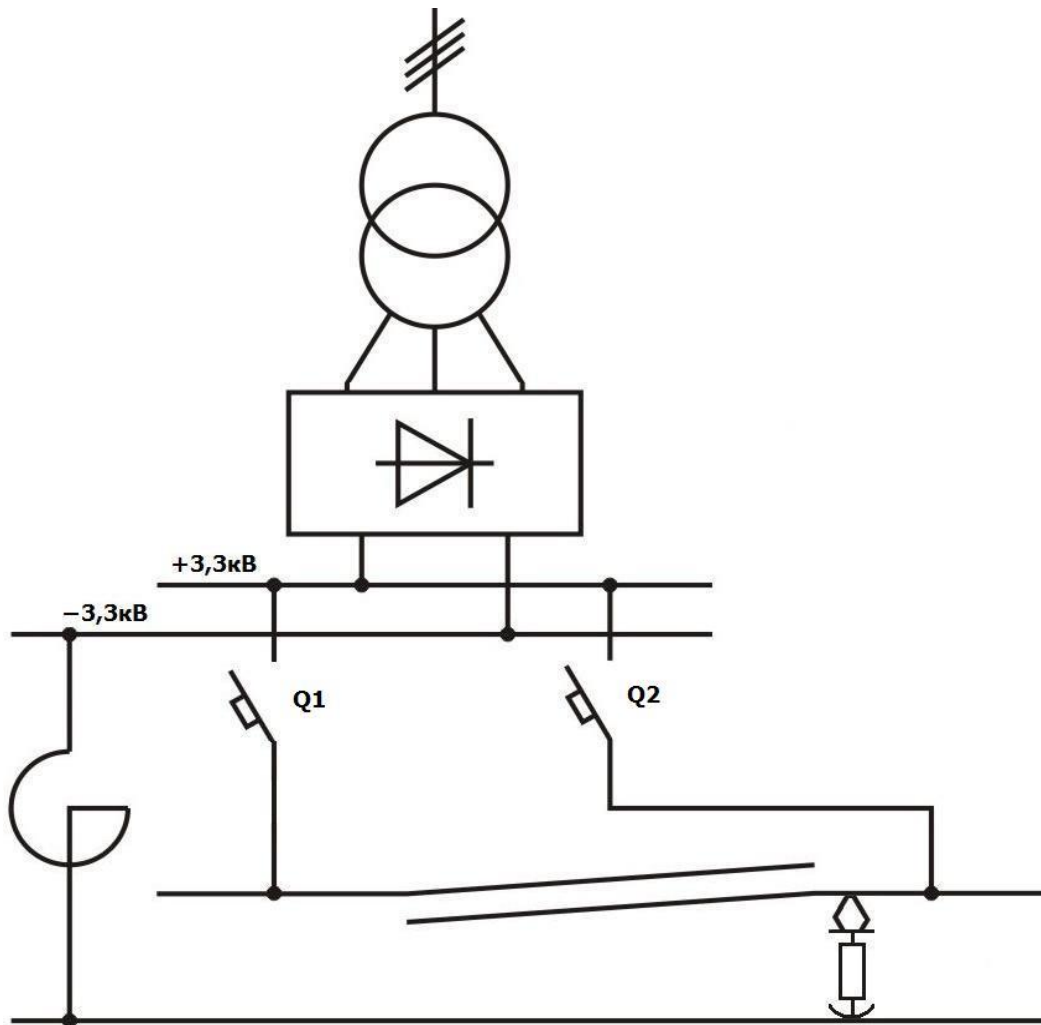


Рис. 4.7 – Проїзд поїзда під струмом ізолюючого сполучення

Швидкість зростання струму в цьому режимі більша ніж при к.з. і дорівнює половині струму локомотива.

$$di/dt = I_{e.p.c.}/2.$$

В цьому випадку уставка по швидкості зростання струму не проходить.

Існує декілька способів уникнути хибних відключень:

- виконувати ізолюючі сполучення високоомними дротами;
- використовувати схеми блокування захисту;
- блокувати захист, якщо струм реактора не змінився.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Без цих додаткових заходів, використовувати захисти по швидкості зростання струму в реалізації, що існує в ЦЗАФ-3,3 і в МРЗС-05А-02 не можна. Можна рекомендувати розробникам програми мікропроцесорних захистів додати в захист ЗСНТ параметр обмеження найбільшої величини, після якої захист не спрацює. Можна відстежувати подальший характер зміни струму. В цьому режимі струм виглядає як сходинка, тому його легко відрізнити від інших режимів.

4.3 Розрахунки та дослідження

Для кращого розуміння перехідних процесів, які відбуваються в тяговій мережі постійного струму були проведені вимірювання, які проводились на двоколінійній ділянці з контактною мережею М120+2МФ100 та рейками Р65. Досліджувана ділянка представлена на рисунку 4.8.

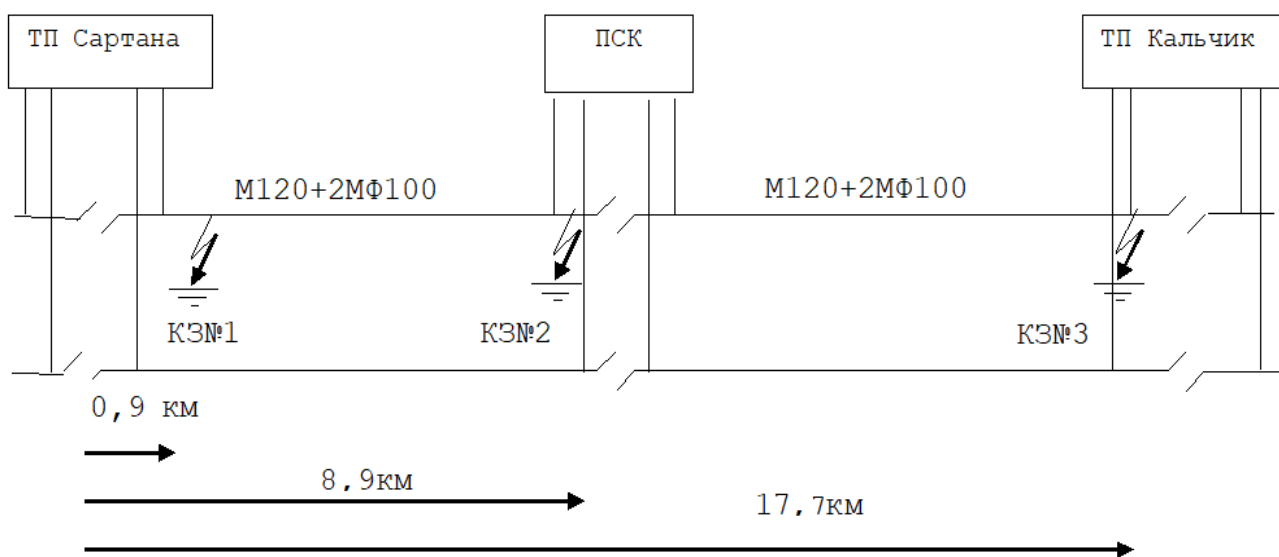


Рис. 4.8 – Схема досліджуваної ділянки

Дослідження були проведені при робочих і аварійних режимах. Під час дослідження були виконані штучні короткі замикання: біля підстанції, в середині та в кінці фідерної зони. Значення струмів к.з. показані на рис. 4.9. По осі абсцис показаний час у мілісекундах, по осі ординат струм в амперах.

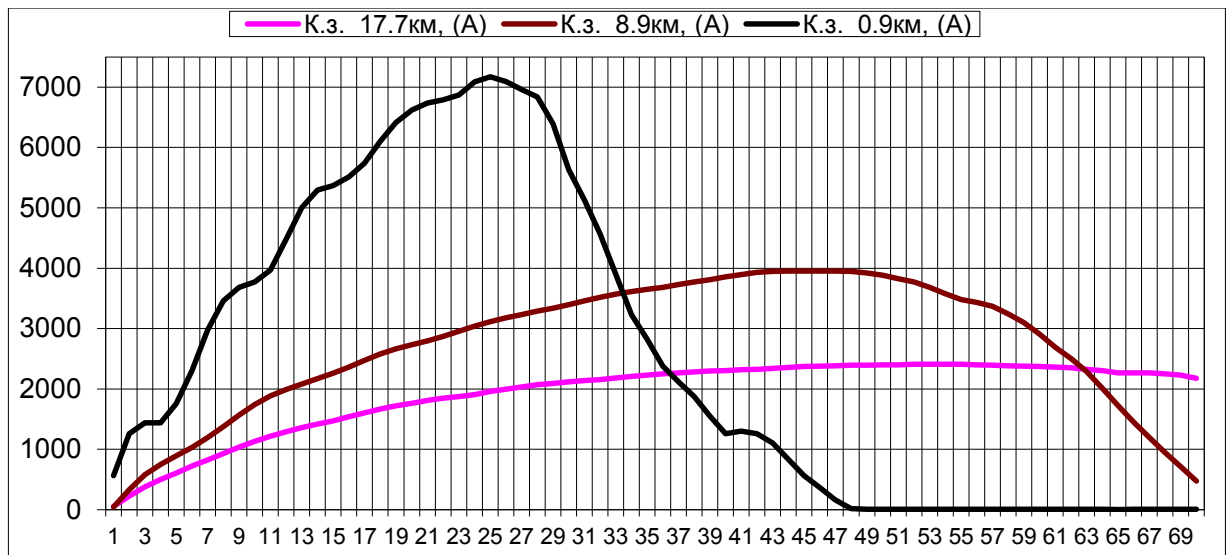


Рис. 4.9 – Струм к.з. в залежності від відстані до підстанції

З осцилограми видно, що через малий опір контактної мережі струм дуже швидко зростає. Для близьких к.з. струм досягає небезпечного значення всього лише за декілька мілісекунд, при якому можливий перепад контактного проводу. Тому швидкодія релейного захисту має дуже важливе значення для захисту контактної мережі постійного струму. Так як вимикач має свій час відключення, то захист повинен реагувати на самий початок аварії, коли струм к.з. має ще малі значення.

Характер збільшення струму напряму залежить від сталого струму к.з. і постійної часу кола к.з. як було сказано раніше. Постійна часу визначається як:

$$T_k = L_k / R_k$$

де L_k – індуктивний опір кола короткого замикання;

R_k – активний опір кола короткого замикання.

Насамперед, наявність L_k у формулі показує, що тягова мережа має активно-індуктивний характер. Значення T_k безпосередньо залежить від відстані між підстанцією та місцем к.з. Чим більша відстань, тим менша

постійна часу. Це можна пояснити тим, що відношення індуктивності реактора, до опору підстанції більше, ніж відношення індуктивності тягової мережі до її омичного опору. Для дільниці на якій проводились дослідження постійна часу підстанції складає 0,04 с; тягової мережі 0,017 с. Усі результати досліджень були занесені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Струм і постійна часу в залежності від відстані

Відстань, км	Напруга, В	Опір, Ом	Індуктивність, Гн	Постійна часу, с	Струм к.з., А
0,9	3570	0,238	0,008	0,034	15000
8,9	3570	0,768	0,017	0,022	4648
17,6	3570	1,314	0,026	0,020	2716

Для коректного налаштування релейного захисту треба знати не тільки характер зміни струму при короткому замиканні, а ще й при нормальних режимах. Для аналізу перехідних процесів, які проходять під час експлуатації електровозу, було прийняте рішення вимірювати струм безпосередньо в електровозі, а не на підстанції. Так як при паралельній схемі живлення, струм електровозу розподіляється чотирма живлячими фідерами, крім того на фідерній зоні можуть перебувати одночасно декілька потягів. Осцилограми 4.10(а,б) показують зміну струму електровозу ВЛ8 при пуску та подальшому розгоні, з яких видно що найбільше зростання струму відбувається на початку, в момент пуску. Режими в яких струм змінюється найбільше за короткий проміжок часу будуть ключовими для правильного налаштування релейного захисту. На рисунках 4.11, 4.12 показані інші режими з найбільшими комутаційними змінами.

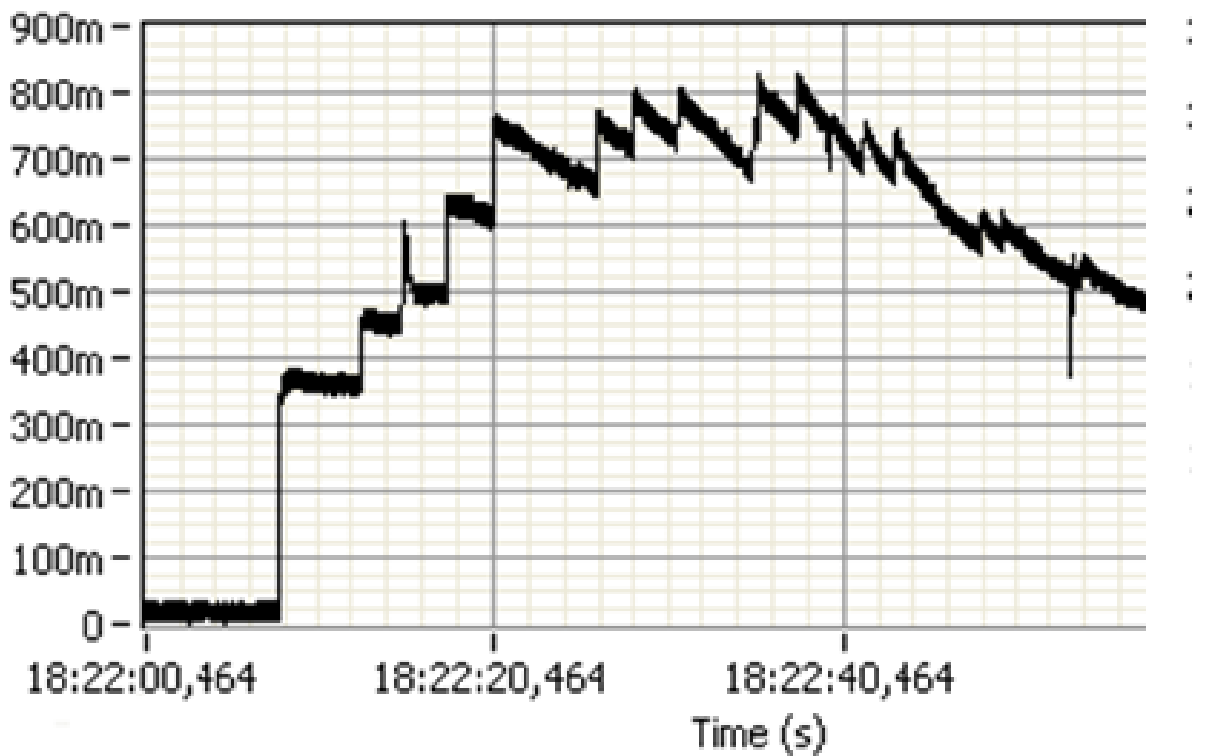


Рис. 4.10(а) – Зміна струму електровозу при пуску загальний струм при розгоні

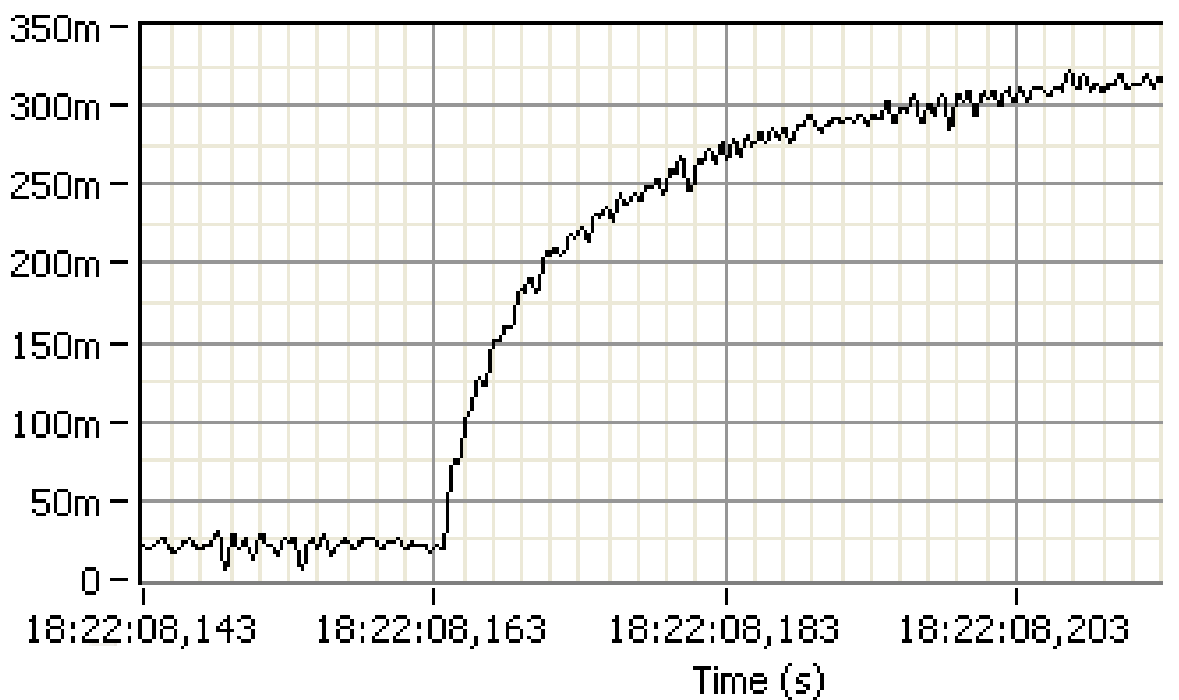


Рис. 4.10(б) – Зміна струму електровозу при пуску фронт зміни струму при пуску

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

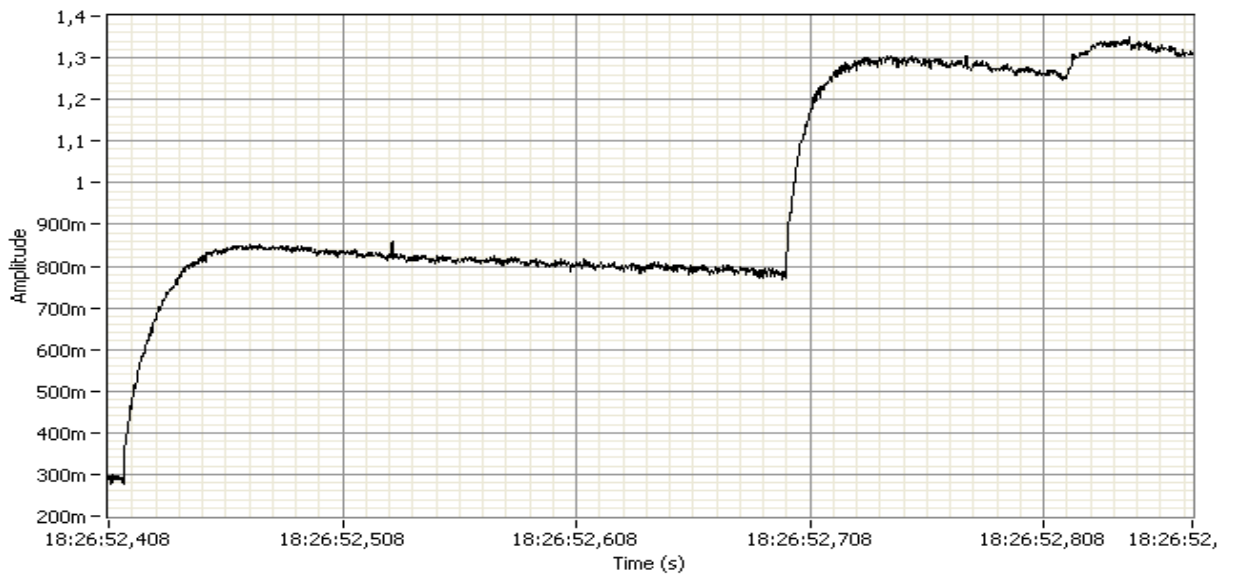


Рис. 4.11 – Струм при переключенні схеми з'єднання з «С» на «СП»

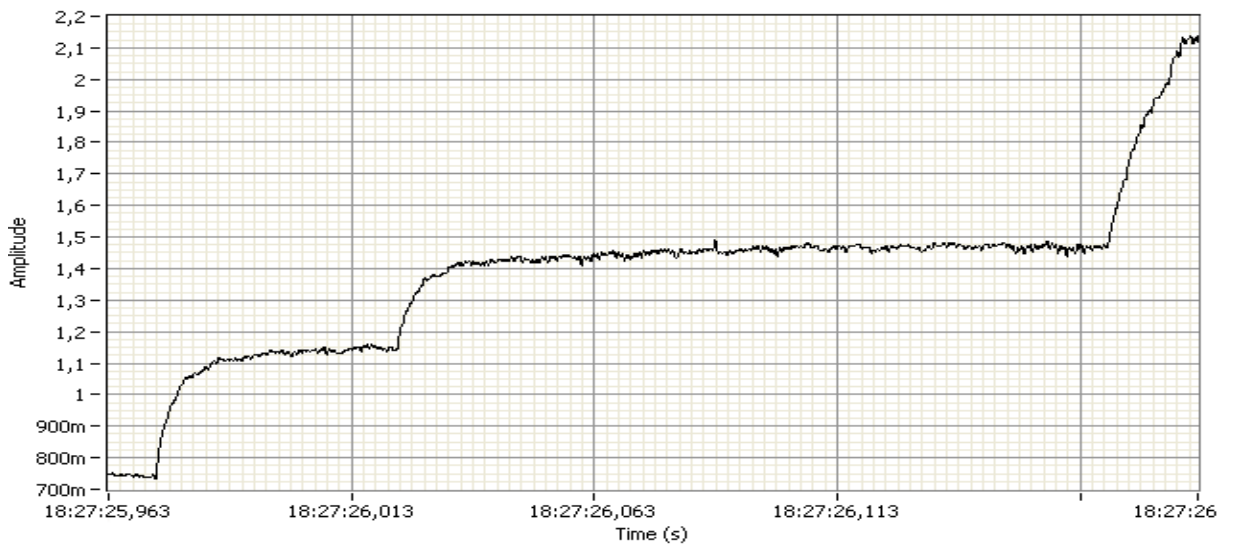


Рис. 4.12 – Струм при переключенні схеми з'єднання з «СП» на «П»

Для приведення числових значень до величини струму в амперах, необхідно амплітуду помножити на 1000. Знайдемо збільшення струму для трьох інтервалів часу:

- 1) Для інтервалу часу 2 мс, який використовується в захисті по швидкості зростання струму;
- 2) Для інтервалу близького до постійної часу кола к.з. з максимальним

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

зростанням струму;

3) Для інтервалу перехідного процесу переключення схеми з'єднання тягових двигунів.

Характерні інтервали часу і відповідні зміни струму при різних схемах з'єднань тягових двигунів представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Збільшення струму за різні інтервали часу при різних схемах з'єднань тягових двигунів

Режим роботи	Початковий струм, А	Інтервал 1		Інтервал 2		Інтервал 3	
		час, с	струм, А	час, с	струм, А	час, с	струм, А
Пуск	0	0,002	100	0,02	260	0,06	300
Перехід з «С» на «СП»	300	0,002	140	0,05	600	0,32	1050
Перехід з «СП» на «П»	750	0,002	180	0,02	650	0,22	1460
К.з. в кінці лінії без навантаження	0	0,002	400	0,02	2800	0,22	4706
К.з. в кінці лінії з навантаженням	750	0,002	341	0,02	2353	0,22	3956

Завдяки таблиці можна зробити висновок, що при переключенні схеми тягових двигунів зі «СП» на «П» виникне найбільша зміна струму. При цьому режимі найбільший попередній струм, який зменшує приріст струму при короткому замиканні. Для тягової мережі М120+МФ100+Р65 пропонується вибирати час вимірювання від 0,2 до 0,25 с. Саме в цей інтервал потрапляє найбільша зміна струму при переході з «СП» на «П». Для уникнення хибних відключень необхідно вибирати струмову уставку більшу за 1460 А. Зазвичай струм уставок к.з. і всі перевірки розраховуються для сталого режиму. Через це час вимірювання вибирають при якому струм короткого замикання досягає свого розрахованого значення. Для зменшення струму, на який реагує захист,

треба зменшувати час вимірювання. Струм короткого замикання змінюється у часі по закону, який близький до експоненційного. Завдяки мікропроцесорним захистам, які дозволяють за невеликий час дуже точно виміряти збільшення струму. Якщо час вимірювання прийняти рівним постійній часу кола к.з., то розрахунок спрощується і формула буде виглядати так:

$$(1 - e^{-t/T_k}) = (1 - e^{-1}) = 1 - 0,368 = 0,632$$

За допомогою таблиці 4.5 знаходимо чутливість захисту. Для $t = 0,22$ відношення $I_{кз}/I_{нав} = 2,7$, а для $t = 0,02$, $I_{кз}/I_{нав} = 3,6$. Звідси, використовуючи для визначення зміни струму менший час вимірювання, збільшиться чутливість захисту.

Слід вказати, що захист по збільшенню струму у різних виробників не однаковий. В ЦЗАФ-3,3 ми можемо регулювати час вимірювання від 1 до 990 мс з інтервалом 10 мс, цей інтервал достатньо великий у подальшому може вносити похибки між розрахунками і реальною роботою захисту. Крім цього в ЦЗАФ-3,3, є коефіцієнт адаптації, що дає можливість зміни струму уставки в залежності від попереднього навантаження. Мікропроцесорний захист МРЗС дозволяє програмувати час від 0 до 500 мс з інтервалом 1 мс.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Всі використовувані захисти в мікропроцесорних захистах діють автономно і не мають можливості впливати один на одний. Захисти діють по логічній схемі "АБО", тобто перший захист, який досягне уставки спрацьовування, видає команду на відключення, не зважаючи в якому стані знаходяться інші. Тобто МРЗ представляє собою набір автономних захистів, які використовують одні вхідні дані, в одному корпусі.

2. На окремих ділянках максимальний струмовий захист не завжди може відрізнити нормальний від аварійного режиму. Досвід експлуатації показав велику кількість хибних спрацьовувань захисту по швидкості наростання струму насамперед через відриви струмоприймача та проїзд ізолюючих сполучень під навантаженням.

3. Проведений аналіз перехідних процесів показав, що найбільша зміна струму при нормальній експлуатації виникає при переключенні тягових двигунів зі схеми з'єднання «СП» на «П». Пропонований інструкцією час вимірювання струму $0,1 \div 0,6$ с є великим. Зміна часу виміру струму до 0,02 с підвищує чутливість і приведе до зменшення кількості хибних відключень.

4. Для точної настройки уставок різних захистів в складних робочих умовах необхідно мати осцилограми характерних критичних робочих режимів. Критичні режими це ті, що приводять до помилкових спрацьовувань захистів.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Фигурнов Е.П. Релейная защита. Учебник для студентов электротехнических и электромеханических специальностей транспортных и других вузов. -К.: Транспорт Украины, 2004.-565с.
2. Векслер М.И. Защита тяговой сети постоянного тока от токов короткого замыкания. -М.: Транспорт, 1976.-120с.
3. Устройство цифровых защит и автоматики фидеров ЦЗАФ-3,3. Руководство по эксплуатации 1СР.251.208-01РЭ. 2005 г., 74 с.
4. Фигурнов Е.П. Релейная защита: Учебник. В 2ч. Ч.2. 3-е изд. Перераб. И доп. [Текст] / Е.П. Фигурнов.-М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009.-604 с.
5. Инструкция по выбору уставок защит терминала ЦЗАФ-3,3.(дополнение к части 1-ой «Руководящих материалов по релейной защите систем тягового электроснабжения», ЦЭ ОАО «РЖД», 2005 г)-М., 2009.-51 с.
6. Инструкция о порядке расчета и выбора уставок защиты тяговой сети постоянного тока, 2012.-96 с.
7. Электровоз ВЛ8. Руководство по эксплуатации. М.: Транспорт, 1982 с.320.
8. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10у. Руководство по эксплуатации М.: Транспорт, 1981.-248с.
9. Кужим М.Ф. Савичев Н.В. Электровоз ВЛ15. Справочник для локомотивных и ремонтных бригад – СПб.: Астерион, 2002.-380с.
10. Цукало П.В. Ерошкин Н.Г. Электропоезда ЭР2 и ЭР2Р. М.: Транспорт, 1986.- 360с.
11. Электропоезд ЭР2. Руководство по эксплуатации. М.: Транспорт, 1971.- 248с.
12. Л. В. Дубинець, А. В. Шаповалов. Вплив відхилень параметрів тягових двигунів на якість комутації під час перехідних процесів з урахуванням

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ослабленого поля. Вестник национального технического университета "ХПИ" : сб. научн. тр. , 2008. - Вып.7

13. Баранов В.И. Математическое моделирование электромагнитных процессов в силовой цепи электровоза постоянного тока при последовательно-независимом возбуждении тяговых двигателей. Вестник ВНИИЖТ №2 2009г.
14. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог.-М.:Транспорт,1982.-528с.
15. Устройства микропроцессорные защиты, автоматики, контроля и управления присоединений 3,3 кВ железнодорожного транспорта. Руководство по эксплуатации.МРЗС-05А-02 РСГИ.466452.044 РЭ.2008г.
16. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів та робіт [Текст] / уклад.: Босий Д.О.,Дьяков В.О.,Габрінець В.О.,Данилов О.А.; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2021. – 19 с.

					02.15.265м.РД.2021-ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		