

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними процесами

(назва факультету)

Інтелектуальні системи енергопостачання

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розрахунок системи електропостачання для частини енергетичної системи між підстанціями 150 кВ Знам'янка опорна - Морозівка. Зарядні станції електромобілей

за освітньою програмою Електротехнічні системи електроспоживання

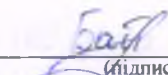
зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

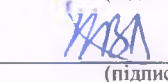
Виконав: студент групи ЕС19120 :

Керівник:

Нормоконтролер:


(підпис студента)


(підпис)


(підпис)

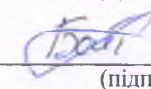
/ Роман БАЙДЮК /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ зав.каф. Дмитро БОСИЙ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ доцент Віталій ПЕРЦЕВИЙ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2022 рік

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними процесами
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання
Рівень вищої освіти: Бакалавр
Освітня програма: Електротехнічні системи електроспоживання
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ


(підпис)

Дмитро БОСИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 22.12.2021

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту

Байдюку Роману В'ячеславовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розрахунок системи електропостачання для частини енергетичної системи між підстанціями 150 кВ Знам'янка опорна - Морозівка. Зарядні станції електромобілей

Керівник роботи: Босий Дмитро Олексійович, д.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом від

14.12.2022 р.

№ 89ст

2. Строк подання студентом роботи: 06.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: вихідні дані до кваліфікаційної роботи відповідно до варіанту, дані відкритих джерел інформації

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Тягове електропостачання: розрахунок навантажень на систему тягового електропостачання, вибір контактної мережі, механічний розрахунок контактної підвіски

4.2 Електричні підстанції та станції: вибір основного обладнання тягової підстанції, розрахунки струмів короткого замикання, проектування сонячної електростанції

4.3 Електромережі та релейний захист: розрахунок кабельної лінії електропересилання, вибір параметрів релейного захисту кабельної лінії

4.4 Індивідуальне завдання: Зарядні станції електромобілей

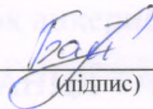
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

графіки струмів поїздів на ділянці, графіку руху поїздів, графіки струмів фідерів тягових підстанцій, монтажні криві для контактної підвіски, однолінійна розрахункова схема тягових підстанцій, схеми заміщення при розрахунку струмів к.з., звіт проекту сонячної електростанції з програми PVsyst

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

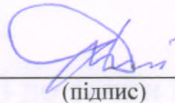
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Тягове електропостачання	28.02.2022	
2	Електричні підстанції та станції	18.04.2022	
3	Електромережі та релейний захист	18.04.2022	
4	Індивідуальне завдання	23.05.2022	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	06.06.2022	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	21.06.2022	

Студент


(підпис)

Роман БАЙДЮК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)



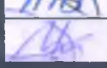
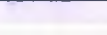
Керівник роботи


(підпис)

Дмитро БОСИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

	ВСТУП	7
1.	ТЯГОВЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	8
1.1	Струморозподіл у тяговій мережі	8
1.2	Навантаження тягових підстанцій	9
1.3	Струм фази трансформатора підстанції змінного струму	11
1.4	Переріз контактної мережі	14
1.5	Визначення питомих річних втрат електроенергії	15
1.6	Перевірка контактної підвіски за нагрівом	16
1.7	Механічний розрахунок анкерної ділянки	19
2.	ЕЛЕКТРИЧНІ ПІДСТАНЦІЇ ТА СТАНЦІЇ	24
2.1	Розрахунок струмів к.з.	26
2.2	Розрахунок струмів КЗ до точки К2, на шинах 35 кВ.	29
2.3	Розрахунок струмів К.З до точки К3, на шинах 27,5 кВ.	31
2.4	Розрахунок струмів КЗ до точки К4, на ТВП сторона 0.4 кВ.	32
2.5	Розрахунок струмів КЗ до точки К5, на шинах 10 кВ.	33
2.6	Розрахунок максимальних робочих струмів приєднань	34
2.7	Вибір електричних апаратів вище 1000 в	35
2.8	Вибір вимикачів	35
2.9	Вибір роз'єднувачів	36
2.10	Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst (Нижче приведений звіт з проектування)	38
3.	ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТА РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ	47
3.1	Розрахунок вибору номінального перетину струмопровідної жили та екрану кабелю	47
3.2	Розрахунок за тривалим струмом навантаження	47

						02.15.EC19120.КРБ.2022-ПЗ		
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Байдюк			Розрахунок системи електропостачання тягів для системи енергетичної системи між підстанціями 150кВ. Зам'янка опорна - Морозівка. Заряди сіатції електроавтомобілей	у	5	73
Консульт.								
Керівник		Босий		20.06				
Н. контр.		Перцевий						
Зав. каф.		Босий		20.06				
						УДУНТ, ІСЕ, гр. EC19120		

3.3 Розрахунок за допустимим струмом короткого замикання по жилі кабелю	49
3.4 Розрахунок за допустимим струмом короткого замикання по екрану кабелю	50
3.5 Розрахунок за падінням напруги в кінці КЛ	50
3.6 Розрахунок вибору способу заземлення екрану кабелю	51
3.7 Розрахунок струмів короткого замикання СЕС для вибору захистів кабельної лінії в комірці СЕС	54
3.8 Розрахунок опорів схеми заміщення в максимальному режимі роботи системи	55
3.9 Розрахунок струмів короткого замикання в розрахункових точках в максимальному режимі роботи системи	56
3.10 Розрахунок уставок спрацювання захисту	57
3.11 Розрахунок ємнісних струмів	60
3.12 Функціонування інверторного обладнання	61
4. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	63
4.1 Інфраструктура розвитку електромобілів	63
4.2 Станції швидкого заряджання використовують зарядні пристрої постійного струму	64
4.3 Стан зарядної інфраструктури України	69
5. СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ВСТУП

В теперішній час майже у всіх сферах людської життєдіяльності використовується енергія, причому з кожним роком потреби в ній збільшуються.

Попри те, що протягом останніх років було розроблено цілий ряд чистих технологій і палива для транспортних засобів, електромобілі є одним з найбільш перспективних: електрифікація автомобільного парку країни, здається, є ключовим фактором для сприяння більш стійкого та більш розумного росту. Через дефіцит енергоресурсів та інтенсивне забруднення навколишнього середовища, електромобілі, як інноваційні транспортні засоби, є найбільш перспективними транспортними засобами. Але в отриманні сонячної енергії є як «плюси» так і «мінуси».

Мета та задача дослідження - розрахунок системи електропостачання для частини енергетичної системи між підстанціями 150 кВ Знам'янка опорна - Морозівка. Зарядні станції електромобілей.

Об'єкт дослідження – зарядні станції електромобілей.

Предмет дослідження – ефективність зарядних станцій.

Наукова новизна одержаних результатів - розглянуто процеси функціонування та розвитку зарядних станцій електромобілей; електромобілі та зарядні станції розглядаються як важливий елемент управління попитом на електроенергію; сучасні зарядні пристрої їх переваги.

Отримані результати дозволяють забезпечити економію енергоресурсів, доступність електроенергії в складних місцях, автономність, просту інтеграцію у різні сфери господарювання, в тому числі на електричному транспорті та інфраструктурі.

Постановка мети та завдання виконані спільно з науковим керівником, основні положення рекомендації та дослідні характеристики отримано самостійно.

					02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ	Лист
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1 ТЯГОВЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Задано:

1. Струмові навантаження поїздів
2. Графік руху
3. Розташування тягових підстанцій
4. Розміри руху

Варіант	Розташування тягових підстанцій	Розміри руху, пар/доба	Графік руху	Графіки струму
0	10-60-90	80	1	1

Визначити:

1. Навантаження на тягову підстанцію
2. Переріз та марку тягової мережі

1.1 Струморозподіл у тяговій мережі

Знаходження струмів фідерів виконується для другої тягової підстанції від одного поїзда. Для розрахунку рекомендується використовувати наведений графоаналітичний метод.

Кожна точка перегину заданої кривої струму проектується на вісь розрахункової підстанції. Отримана проекція точки з'єднується лінією з нульовою точкою суміжної підстанції. Із вихідної точки опускається перпендикуляр відносно осі абсцис до перетину з проведеною лінією. Для двосторонньої роздільної схеми живлення (рис. 1.1) ордината отриманої точки відповідає струму фідера розрахункової підстанції, коли в абсцисі цієї точки знаходиться поїзд.

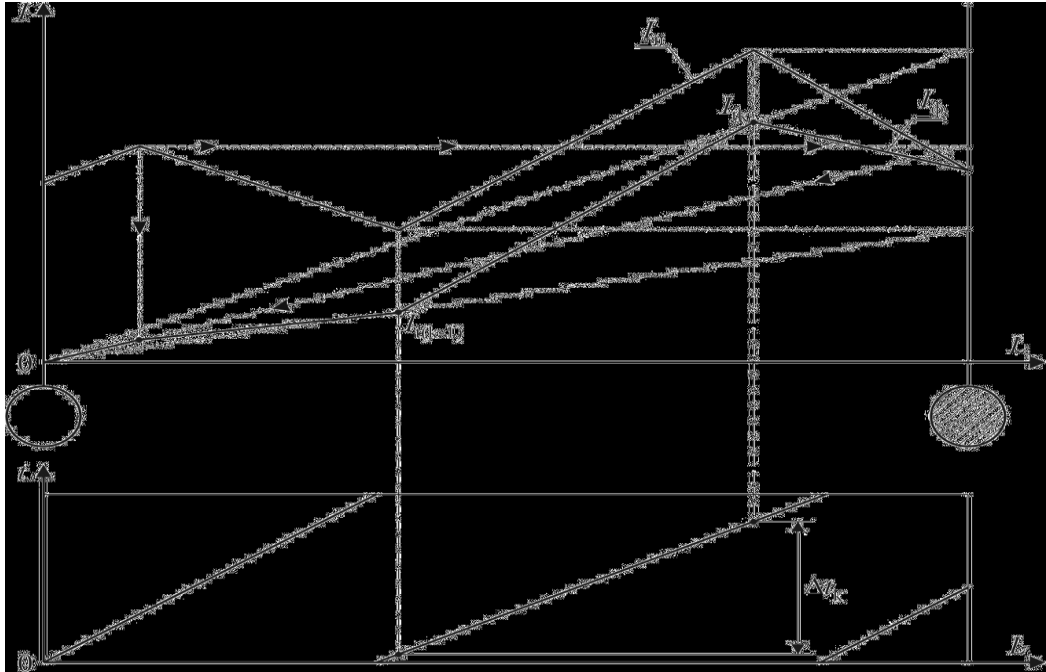


Рисунок 1.1 - Методика визначення струмів фідерів розрахункової підстанції

Числові характеристики отриманих кривих струмів фідерів розраховуються з урахуванням відрізка часу між двома послідовними точками, який визначається за графіком руху поїзда (рис. 1.1).

1.2. Навантаження тягових підстанцій

Середній струм фідера за час руху поїзда розрахунковою МПЗ

$$I = \frac{1}{2 \cdot t} \sum_{k=1}^n (I_{t(k-1)} + I_{tk}) \cdot \Delta t_k$$

де t – час руху поїзда МПЗ, яку живить даний фідер, хв.

Ефективний струм фідера за час руху розрахункового поїзда по МПЗ

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot t} \sum_{k=1}^n (I_{t(k-1)}^2 + I_{tk}^2 + I_{t(k-1)} \cdot I_{tk}) \cdot \Delta t_k}$$

Струми фідерів підстанції визначаються для двох режимів навантаження:

- 1) режиму середніх розмірів руху поїздів ($N = N_{\text{сер}}$);
- 2) режиму згущення поїздів ($N = N_{\text{зг}} = 0,9N_0$);
- 3) режиму максимальних розмірів руху ($N = N_0$).

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата

Середній струм фідера підстанції визначається за формулою

$$I_{\phi} = \frac{n_0 \cdot N}{N_0} \cdot I,$$

де n_0 – максимальна кількість поїздів, які одночасно знаходяться на даній МПЗ.

У свою чергу,

$$n_0 = \frac{t}{J},$$

де J – мінімальний міжпоїзний інтервал, хв;

N – добова кількість поїздів на ділянці, пар;

N_0 – максимальна пропускна спроможність ділянки, пар;

$$N_0 = \frac{T}{J},$$

де T – розрахунковий період, що дорівнює кількості хвилин у добі, хв.

Ефективний струм фідера підстанції визначається в залежності від схеми живлення:

1) для консольного живлення

$$I_{\phi e}^2 = \frac{n_0 \cdot N}{N_0} \cdot I_e^2 + \frac{n_0(n_0 - 1) \cdot N^2}{N_0^2} \cdot I^2;$$

2) для двостороннього живлення

$$I_{\phi e}^2 = \frac{4 \cdot n_0 \cdot N}{3 \cdot N_0} \cdot I_e^2 + \frac{n_0 \left(n_0 - \frac{4}{3} \right) \cdot N^2}{N_0^2} \cdot I^2.$$

Середній струм кожного плеча живлення визначається як сума струмів відповідних фідерів підстанції, тобто

$$I_{\text{пл}} = \sum_i^v I_{\phi i},$$

де v – кількість фідерів даного плеча живлення.

Ефективний струм плеча живлення визначається за формулою

$$I_{\text{пл } e}^2 = \left(\sum_1^v I_{\phi i} \right)^2 + \sum_1^v I_{\phi e i}^2 - \sum_1^v I_{\phi i}^2$$

1.3 Струм фази трансформатора підстанції змінного струму

Середній струм фази трансформатора розраховується за формулами:

– для фаз *a* і *c*

$$I_{a(c)} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2};$$

– для фази *b*

$$I_b = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_2^2 - I_1 \cdot I_2}$$

Ефективні струми фаз трансформатора розраховуються за формулами:

– для фаз *a* і *c*

$$I_{a(c)e}^2 = \frac{1}{9} \cdot (4 \cdot I_{1e}^2 + I_{2e}^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2);$$

– для фази *b*

$$I_{be}^2 = \frac{1}{9} \cdot (I_{e1}^2 + I_{e2}^2 - I_1 \cdot I_2),$$

де I_1, I_{e1} – середній та ефективний струми того плеча живлення, яке живиться від розрахункової фази, А;

I_2, I_{e2} – середній та ефективний струми того плеча живлення, яке живиться від суміжного плеча живлення, А.

Результати розрахунку струморозподілу

Приєднання	Середні розміри руху		Режим згущення поїздів		Максимальний режим	
	середній струм, А	ефективний струм, А	середній струм, А	ефективний струм, А	середній струм, А	ефективний струм, А
Фідер 1	367.90	677.376	628.14	1659.637	697.93	2028.415
Фідер 2	275.18	390.051	445.79	718.972	495.33	848.55
Фідер 3	152.05	284.463	246.32	638.417	273.69	776.039
Фідер 4	204.51	285.715	331.32	588.188	368.13	706.915
Ліве плече	643.08	901.918	1073.84	1957.335	1193.26	2350.727
Праве плече	356.56	474.071	577.64	957.477	641.82	1141.697
Фаза «а»	301.773	164.428	509.57	169.859	566.19	469.69
Фаза «b»	110.472	79.329	186.56	62.189	207.30	96.626
Фаза «с»	301.773	164.428	509.57	169.859	566.19	469.69

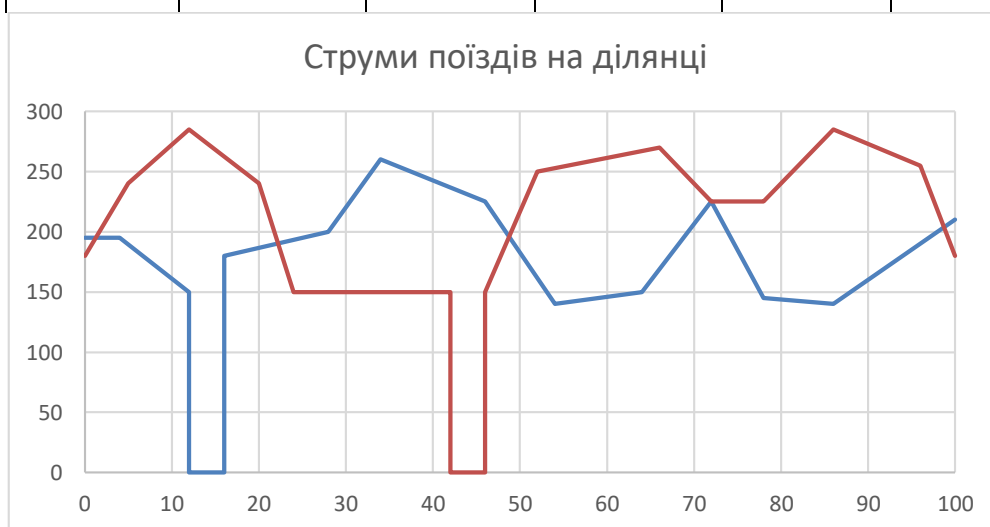


Рисунок 1.2 - Струми поїздів на ділянці

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата

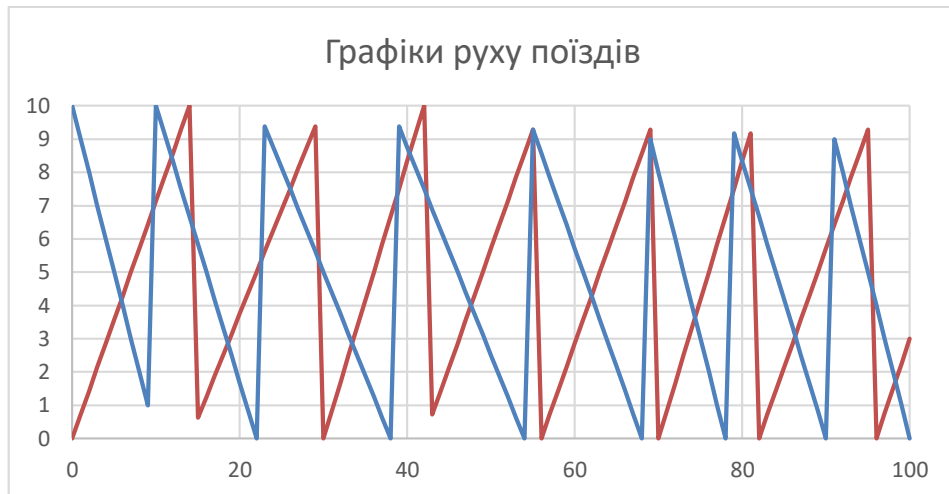


Рисунок 1.3 - Графіки руху поїздів

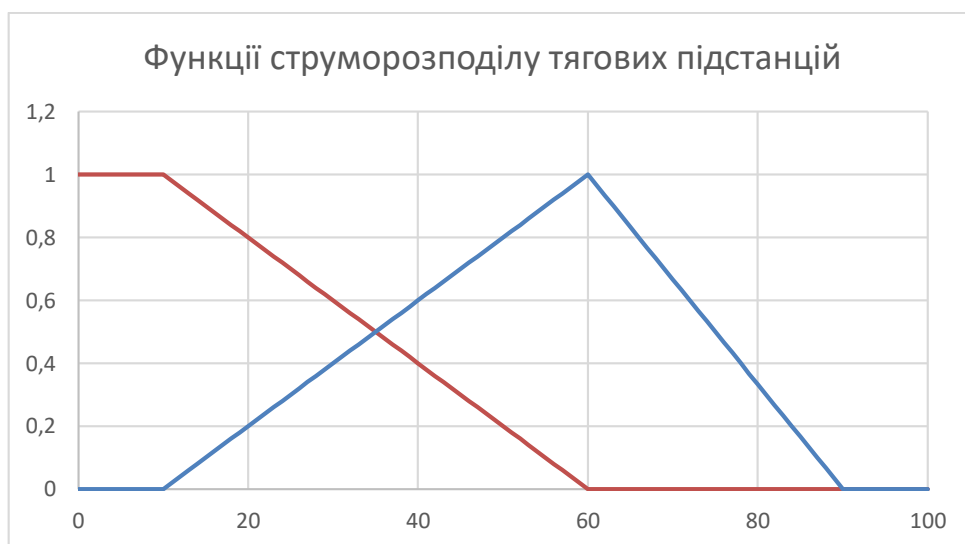


Рисунок 1.4 - Функції струморозподілу тягових підстанцій

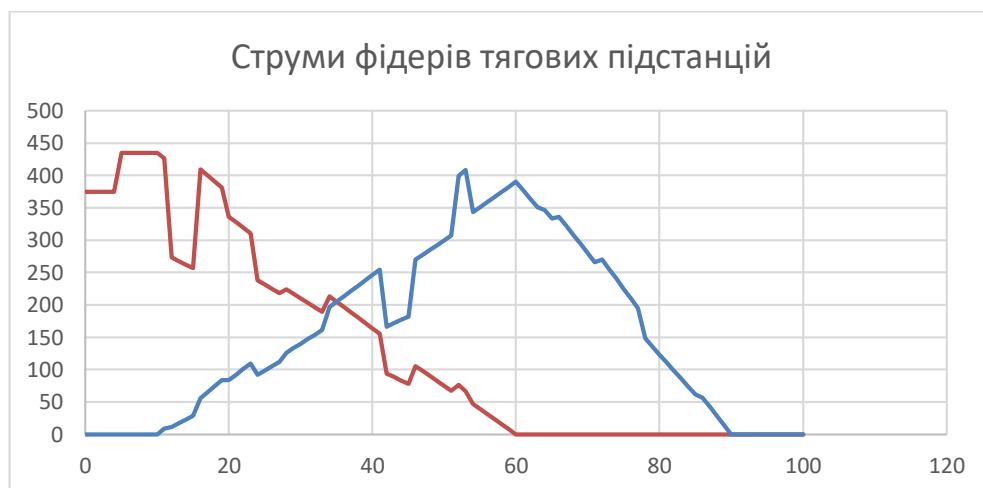


Рисунок 1.5 - Струми фідерів тягових підстанцій

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата

1.4 Переріз контактної мережі

Зі збільшенням перерізу проводів контактної мережі зменшуються витрати, пов'язані з оплатою втрат електроенергії в тяговій мережі, але зростають капітальні витрати. Таким чином, змінюючи переріз проводів контактної мережі, за деякого значення досягається оптимум, коли приведені щорічні

витрати найменші. Такий переріз контактної мережі є економічно доцільним та визначається виразом

$$F_{\text{ме}} = 0,46\sqrt{B_0},$$

де $F_{\text{ме}}$ – переріз проводів контактної мережі у мідному еквіваленті, мм²;

B_0 – питомі річні втрати електроенергії в проводах контактної мережі на фідерній зоні, кВт·год/Ом·рік,

$$B_0 = \frac{\Delta W_{\text{р}}}{r\ell},$$

де $\Delta W_{\text{р}}$ – річні втрати електроенергії в проводах контактної мережі на міжпідстанційній зоні, кВт·год;

ℓ – довжина міжпідстанційної зони, км;

r – питомий опір проводів контактної мережі на міжпідстанційній зоні, Ом/км.

					02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ	Лист
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата		14

1.5 Визначення питомих річних втрат електроенергії

Схема живлення контактної мережі на двоколійних та багатоколійних ділянках повинна передбачати підключення постів секціонування та пунктів паралельного з'єднання контактних підвісок. Для визначення B_0 для вузлової схеми живлення можна скористатись виразом

$$B_0 = \frac{0,0228 \cdot W_T^2}{TU_{\text{НОМ}}^2} \left\{ 2,95 \left[\frac{T}{N_{\text{пар}} t_{\text{спар}} + N_{\text{неп}} t_{\text{снеп}}} + 0,46 \left(0,25 - \frac{\theta}{t_{\text{пар}} + t_{\text{неп}}} \right) \right] + \frac{4}{3} \frac{\theta}{t_{\text{пар}} + t_{\text{неп}}} \left(1,1 \frac{N_{0\text{пар}} t_{\text{пар}} + N_{0\text{неп}} t_{\text{неп}}}{N_{\text{пар}} t_{\text{спар}} + N_{\text{неп}} t_{\text{снеп}}} - 1 \right) + 1 \right\}.$$

Для трьохвузлової схеми живлення значення B_0 можна визначити як для схеми паралельного з'єднання підвісок, тобто

$$B_0 = \frac{0,067 \cdot W_T^2}{TU_{\text{НОМ}}^2} \left[\frac{T}{N_{\text{пар}} t_{\text{спар}} + N_{\text{неп}} t_{\text{снеп}}} + 0,46 \left(1 - \frac{\theta}{t_{\text{пар}} + t_{\text{неп}}} \right) \right].$$

У формулах (2.42), (2.43) застосовані такі позначення:

T – розрахунковий період, $T = 24$ год;

$U_{\text{НОМ}}$ – номінальна напруга на струмоприймачеві електровоза, кВ;

$t_{\text{пар}}$, $t_{\text{неп}}$ – час руху поїзда міжпідстанційною зоною в парному, непарному напрямку, год;

$t_{\text{спар}}$, $t_{\text{снеп}}$ – час споживання електроенергії поїздом у парному, непарному напрямку, год;

$N_{\text{пар}}$, $N_{\text{неп}}$ – середньодобова кількість поїздів у парному, непарному напрямку;

$N_{0\text{пар}}$, $N_{0\text{неп}}$ – максимальна пропускна спроможність ділянки в парному, непарному напрямку;

W_T – витрати електроенергії на тягу поїздів за період T , кВт·год, з урахуванням припущення про однотипність поїздів

$$W_T = W_{\text{пар}} N_{\text{пар}} + W_{\text{неп}} N_{\text{неп}}, \quad (1.17)$$

де $W_{\text{пар}}$, $W_{\text{неп}}$ – витрати електроенергії на рух поїзда в парному, непарному напрямку, кВт·год,

$$W_{\text{пар(неп)}} = I_{\text{пар(неп)}} \cdot U_{\text{ном}} \cdot t_{\text{пар(неп)}},$$

де $I_{\text{пар}}$, $I_{\text{неп}}$ – середні струми поїздів під час руху розрахунковою міжпідстанційною зоною, А. Можуть бути обчислені за формулою, якщо замість значень струмів фідерів підставити значення струмів поїздів.

Розрахований за формулою переріз проводів контактної мережі є сумарним для підвісок двоколіїної ділянки. Для однієї колії переріз буде в два рази меншим. Згідно з отриманим перерізом обирається типова контактна підвіска.

Для головних шляхів перегонів та станцій ділянок постійного струму слід обирати контактну підвіску з двома контактними проводами перерізом мінімум по 100 мм² [1].

Параметри обраної підвіски занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Параметри контактної мережі

Тип підвіски	Переріз у мідному еквіваленті, мм ²	Тривалий допустимий струм при 15 %-му зношенні контактних проводів, А	
М-95+МФ100	1105,3	1110	

1.6 Перевірка контактної підвіски за нагрівом

Прийнятий у проекті переріз контактної підвіски повинен бути перевірений на термічну стійкість. Для цього необхідно вибрати найбільш завантажену міжпідстанційну зону.

Найбільш тривала температура проводів контактної підвіски не повинна перевищувати, °С:

– контактних проводів:

мідних – 95;

мідних низьколегованих – 110;

– несучих тросів:

мідних – 100;

алюмінієвих та сталеалюмінієвих – 90;

сталемідних – 120.

В умовах курсового проекту використовується спосіб перевірки контактної підвіски за розрахунковим струмом, який треба порівняти з допустимим для обраної підвіски. Контактна підвіска перевіряється в місці підключення споживаючого фідера для роздільної роботи колій (незалежно від дійсної схеми з'єднання підвісок) та 20-хвилинного періоду інтенсивного струмоспоживання.

Розрахунковий струм фідера

$$I_{\text{роз}} = I_{\text{фід}} k'_{i20} k_{\phi},$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує вплив зміни навантаження під час 20-хвилинного періоду найбільшого струмоспоживання на нагрів проводів контактної підвіски:

$$k_{\phi} = \frac{0,36\alpha^2}{n_0} + 1,$$

де α – відношення часу руху поїзда міжпідстанційною зоною до часу струмоспоживання,

$$\alpha = \frac{t}{t_c};$$

k'_{i20} – коефіцієнт інтенсивності 20-хвилинного навантаження фідера, який визначається з рис. 1.2 в залежності від добової витрати електроенергії фідером

у добу інтенсивного електроспоживання $k'_{i20} = F(W_{\text{фід}})$,

$$W_{\text{фід}} = W_{\text{Т}} \cdot k_{\text{ід}}; \quad (1.22)$$

$I_{\text{фід}}$ – середній струм фідера підстанції в добу інтенсивного струмоспоживання, А.

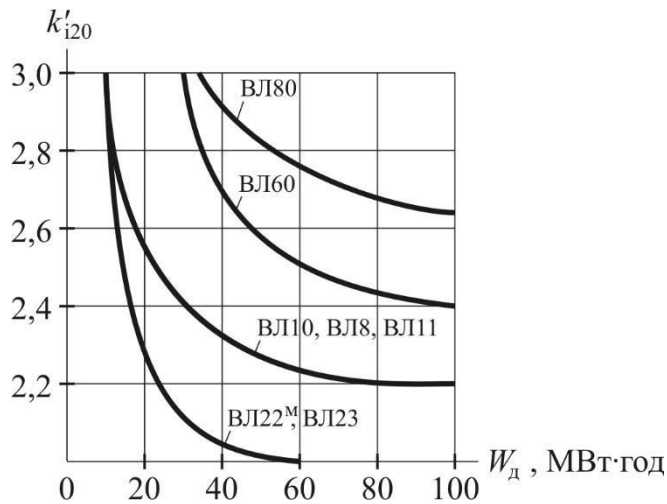


Рисунок 1.6 - Номограми для визначення k'_{i20}

Якщо $I_{\text{роз}} < I_{\text{доп}}$, де $I_{\text{доп}}$ – тривало допустимий струм контактної підвіски з урахуванням 15 %-го зносу контактних проводів, то обрана підвіска термічно стійка. Якщо вказана нерівність не виконується, то необхідно збільшити переріз контактної підвіски і провести перевірку повторно.

1.7 Механічний розрахунок анкерної ділянки

Вихідні дані для розрахунку

Варіант	Несучий трос	Контактний провід	Прогони анкерної ділянки
0	ПБСМ-95	МФ-100	5x70+5x60+10x55+4x50

Варіант	Лінійне навантаження, даН/м											
	g _н	g _к	g ₀	p _{нв}	p _{кв}	q _{нв}	g _{кг}	g _{нг}	g ₀ + g _г	p _{нг}	p _{кг}	q _{нг}
0	0,759	0,873	1,732	0,865	0,816	1,936	0,859	2,597	5,188	1,922	1,132	5,532

1 Довжина еквівалентного прогону

$$l_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^3}{l_a}}$$

де l_i – довжина i -го прогону, м;

l_a – довжина анкерної ділянки, м.

$$l_e = \sqrt{\frac{5.70^3 + 5.60^3 + 10.55^3 + 4.50^3}{5.70 + 5.60 + 10.55 + 4.50}} = 72.9 \text{ м}$$

2 Розрахунковий режим

$$l_{кр} = T_{\max} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha (t_{\Gamma} - t_{\min})}{q_{нг}^2 - g_0^2}}$$

де α – коефіцієнт температурного лінійного розширення матеріалу тросу, 1/°С.

$$l_{кр} = 2000 \sqrt{319 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{[-5 \cdot (-40)]}{2.597^2 - 1.732^2}} = 109.20 \text{ м}$$

Так як $l_{кр} > l_e$ отже розрахунковим буде режим мінімальної температури.

3 Натяг навантаженого несучого тросу

$$t_x = A + \frac{B}{T_x^2} - \frac{T_x}{\alpha ES};$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

$$A = t_{реж} - \frac{q_{реж}^2 \ell_e^2}{24\alpha T_{max}^2} + \frac{T_{max}}{\alpha ES};$$

$$B = \frac{g_0^2 \ell_e^2}{24\alpha},$$

де αES – добуток коефіцієнта температурного лінійного розширення матеріалу троса, модуля пружності Юнга та площі поперечного перерізу, даН/°С.

$$A = -40 - \frac{1.732^2 \cdot 72,9^2}{319 \cdot 10^{-6} \cdot 2000^2} + \frac{2000}{21,29} = 53,81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$B = \frac{1.732^2 \cdot 72,9^2}{319 \cdot 10^{-6}} = 5 \times 10^5 \text{ даН}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Змінюючи натяг несучого троса від максимального до 200 даН з кроком 200 даН заповнюємо таблицю:

Таблиця 1.3

T_x , даН	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600
t_x , °С	-40	-30,57	-21,14	-11,68	-2,20	7,34	17,02	27,02

4 Температура, при якій контактний провід не має стріли прогину

$$t_0 = t_{сеп} - \Delta t;$$

$$t_{сеп} = \frac{t_{max} + t_{min}}{2},$$

де $\Delta t = 10 \dots 15^\circ\text{C}$ (для одного контактного проводу);

$$t_{сеп} = \frac{40 + (-40)}{2} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 0 - 10 = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5 Натяг несучого троса, при якому відсутній прогин контактної проводу

$$t_0 = A + \frac{B}{T_0^2} - \frac{T_0}{\alpha ES}.$$

Значення T_0 підбираємо ітераційним методом:

$$T_0 = 1370 \text{ даН}$$

6 Натяг несучого троса при ожеледі з вітром

$$t_2 = A + \frac{B_2}{T_2^2} - \frac{T_2}{\alpha ES};$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

$$B_2 = \frac{q_{н2}^2 \ell_e^2}{24\alpha}$$

$$B_2 = \frac{2,597^2 \cdot 72,9^2}{319 \cdot 10^{-6}} = 1,124 \times 10^6 \text{ даН}^2 \cdot \text{°С}$$

$$T_2 = 2000 \text{ даН}$$

7 Натяг несучого троса при максимальній швидкості вітру

$$t_v = A + \frac{B_v}{T_v^2} - \frac{T_v}{\alpha ES};$$

$$B_v = \frac{q_{нv}^2 \ell_e^2}{24\alpha}$$

$$B_v = \frac{1,936^2 \cdot 72,9^2}{319 \cdot 10^{-6}} = 6,248 \times 10^5 \text{ даН}^2 \cdot \text{°С}$$

$$T_v = 1439 \text{ даН}$$

8 Стріла прогину контактного проводу, м

$$f_{xi} = \frac{g_0 (\ell_n - 2e_n)^2}{8(T_x + nK)} \left(1 - \frac{T_x}{T_0} \right),$$

де e_n – відстань від осі опори до опорної струни в прогоні ℓ_n , м;

ℓ_n – прогін, в якому розташовується пішохідний місток, м.

$$f_{xi} = \frac{1,732 \cdot (50 - 2 \cdot 8)^2}{8 \cdot (2000 + 2 \cdot 1000)} \cdot \left(1 - \frac{2000}{1600} \right) = -0,016 \text{ м}$$

9 Стріла прогину навантаженого несучого троса

$$F_{xn} = \frac{1}{T_x} \left(\frac{g_0 \ell_n^2}{8} + b_n H - f_{xn} K n \right),$$

де b_n – відстань між несучим та ресорним тросом по осі опори в прогоні ℓ_n , м;

H – натяг ресорного троса, даН.

										Лист
										21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ					

$$F_{xn} = \frac{1}{2000} \cdot \left(\frac{1.732 \cdot 50^2}{8} + 0.6 \cdot 150 - (-0.016) \cdot 1000 \cdot 2 \right) = 0.332 \text{ м}$$

10 Натяг ненавантаженого несучого троса

$$t_x = A + \frac{B_p}{T_{px}^2} - \frac{T_{px}}{\alpha ES};$$

$$B_p = \frac{g_n^2 \ell_e^2}{24\alpha}.$$

$$B_p = \frac{0.759^2 \cdot 7.292^2}{319 \cdot 10^{-6}} = 9.603 \cdot 10^4 \text{ даН}^2 \cdot \text{°С}$$

$$T_{px} = 2000 \text{ даН.}$$

11 Стріла прогину ненавантаженого несучого троса

$$F_{pxn} = \frac{g_n \ell_n^2}{8T_{px}}.$$

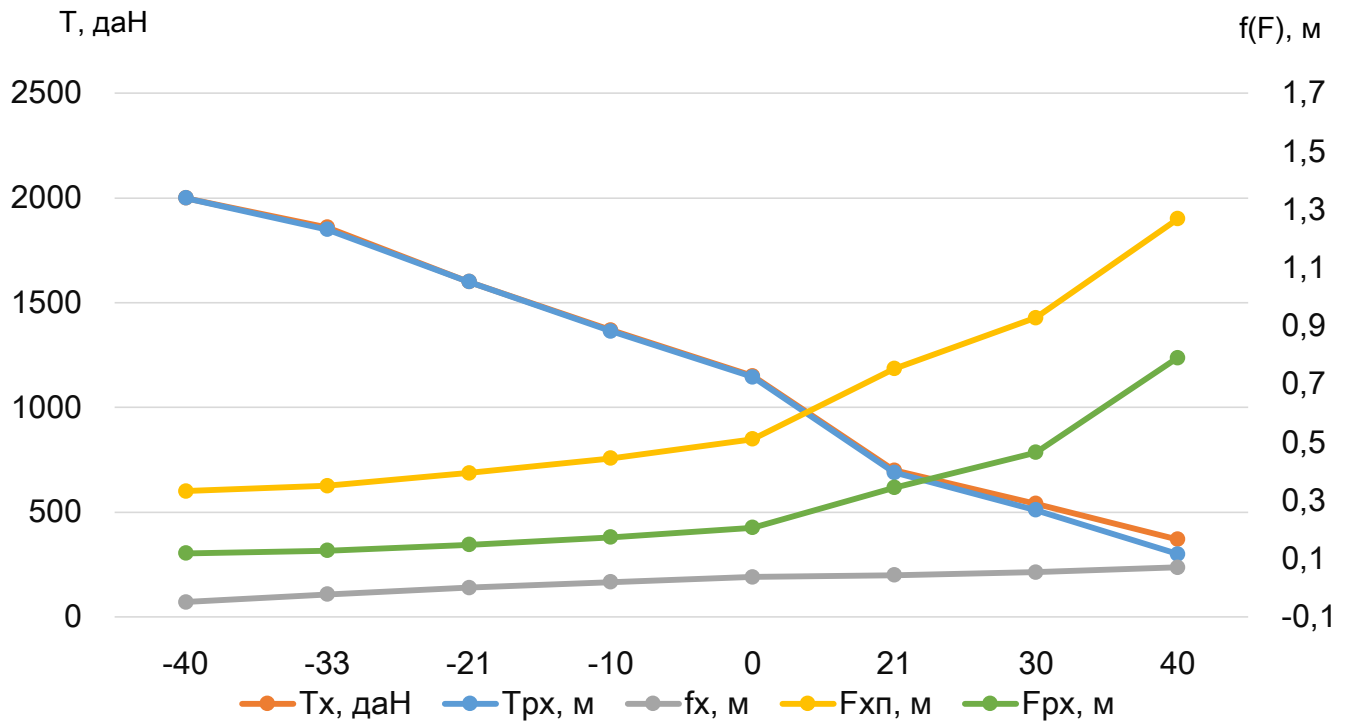
$$F_{pxn} = \frac{0.759 \cdot 50}{8 \cdot 2000} = 0.119 \text{ м}$$

Результати виконаних розрахунків зводяться до табл. 1.4

					02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.4

$t_x, ^\circ\text{C}$	-40	-33	-21	-10	0	21	30	40
$T_x, \text{даН}$	2000	1860	1600	1369	1150	700	540	370
$f_x, \text{м}$	-0,049	-0,023	0	0,0195	0,0373	0,0433	0,0538	0,0699
$F_{xp}, \text{м}$	0,332	0,351	0,395	0,445	0,511	0,753	0,928	1,268
$T_{px}, \text{даН}$	2000	1850	1600	1365	1145	690	510	300
$F_{px}, \text{м}$	0,119	0,128	0,148	0,174	0,207	0,344	0,465	0,791



Монтажні криві

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ

Лист

23

2 ЕЛЕКТРИЧНІ ПІДСТАНЦІЇ ТА СТАНЦІЇ

Зобразимо структурну схему розрахункової підстанції

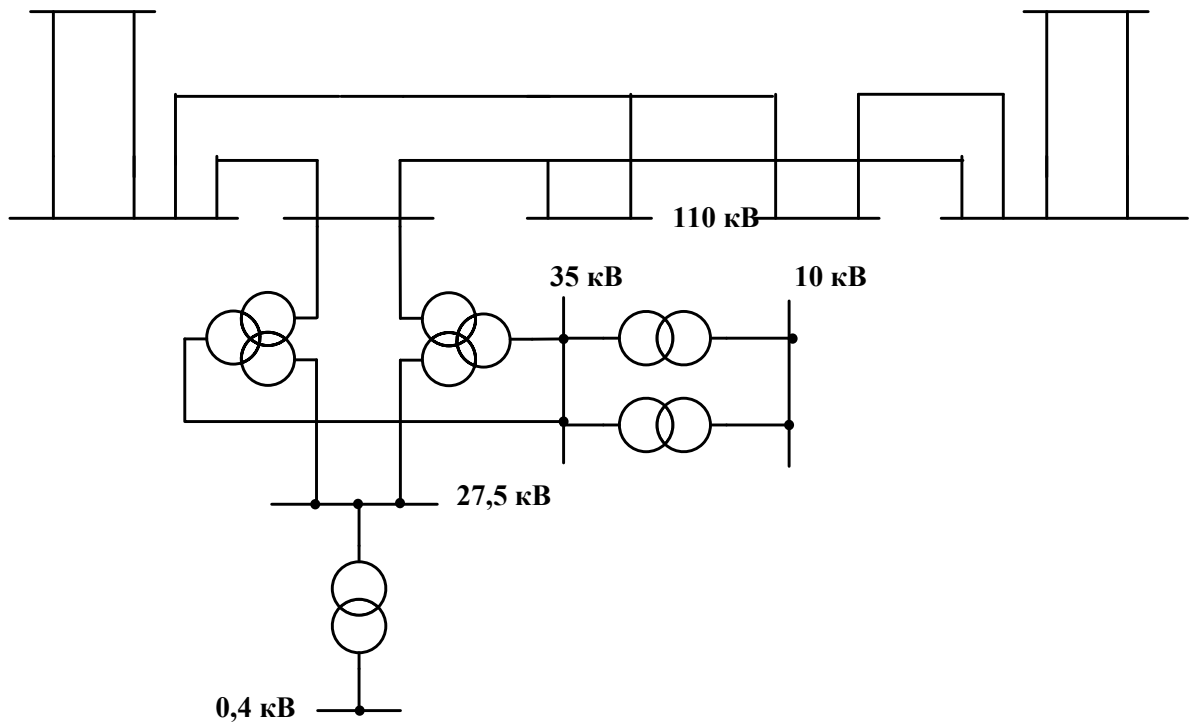


Рисунок 2.1 - Структурна схема розрахункової ТП

Для шин 27,5 кВ:

$$S_{\max 27,5} = S_T + S_{\text{ТСН}} + S_{\text{ДПР}},$$

де S_T - потужність тягового навантаження на шинах 27,5 кВ (кВА);

$S_{\text{ТСН}}$ - потужність трансформаторів власних потреб, кВА;

$S_{\text{ДПР}}$ - потужність не тягових споживачів, які живляться від шин 27,5 кВ (кВА);

Потужність тягового навантаження:

$$S_T = U_{\text{ш}} \left(2I_{\text{д}}' + 0,65I_{\text{д}}'' \right) k_{\text{нр}} k_{\text{ку}},$$

де $U_{\text{ш}}$ - напруга на шинах РП 27,5 кВ;

$I_{\text{д}}'$ - ефективний струм найбільш завантаженого плеча (фази) трансформатору, А;

$I_{\text{д}}''$ - ефективний струм найменш завантаженого плеча (фази) трансформатору, А;

$k_{\text{нр}}$ - коефіцієнт різночасності навантаження фаз трансформатора, приймається 0,9;

$k_{\text{ку}}$ - коефіцієнт компенсованого пристрою, який враховує зниження потрібної на тягу потужності при роботі компенсованого пристрою, (приймається 0,93).

Або $S_T = \dots + k_{np} k_{ky}$

$S_T = \dots = MVA=18530кВА$

Потужність фідера ДПР знаходиться по заданій потужності в кВА на 1 км:

$S_{дпр} = \dots = \dots = \dots кВА$

$S_{max 27,5} = \dots + \dots = \dots кВА$

Розрахункова потужність трансформатора:

~~$S_{max} = \dots$~~

$(19180+3836+1918)0,95=23687 кВА$

Результати вибору трансформаторів зведемо до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Вибрані трансформатори та їх паспортні дані

№ п/п	Тип трансформатора	Кількість	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	U ₃ , кВ	U _к , %			Схема з'єднання
						В-С	В-Н	С-Н	
1	ТДТН-25000/110 У1	2	115	38,5	11,0	10,5	17,5	6,5	Y _H /Δ/Δ – 11
2	ТМ - 2500/35 У1	2	35		10,5		6,5		Y / Δ – 11
3	ТМ-400/10 У1	2	10		0,4		4,5		Y / Y ₀ – 0

Потужність підстанції:

$S_{ТП} = 4 \cdot 25000 = 40000кВА$

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата

2.1 Розрахунок струмів к.з.

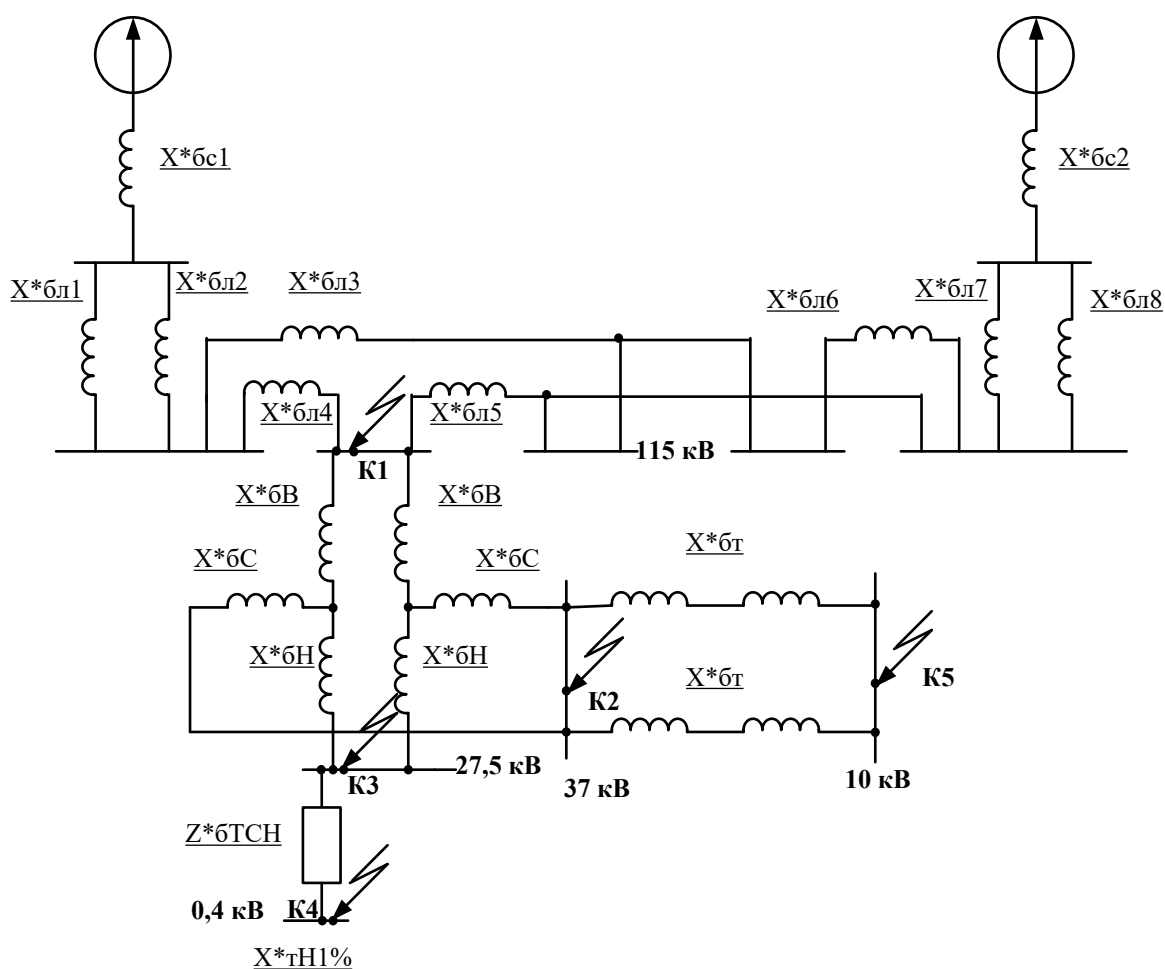


Рисунок 2.2 - Схема заміщення

Приймаємо базисну потужність $S_{\bar{o}} = 100$ МВА

Як базисну напругу приймаємо середню лінійну напругу тієї ступені, де проводиться розрахунок струму к.з.

$$U_{\text{ср.ш.110}} = 115 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.ш.35}} = 37 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.ш.25}} = 26,2 \text{ кВ},$$

$$U_{\text{ср.ш.0,4}} = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисний струм знаходимо за формулою :

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср}}} \text{ кА}$$

Струм короткого замикання визначимо по формулі:

$$I_{\text{к}} = \frac{I_{\bar{o}}}{x_{*\bar{o}}} \text{ кА},$$

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата

Базисний опір системи має таку формулу:

$$x_{*бсист} = \frac{S_{\sigma}}{S_k}$$

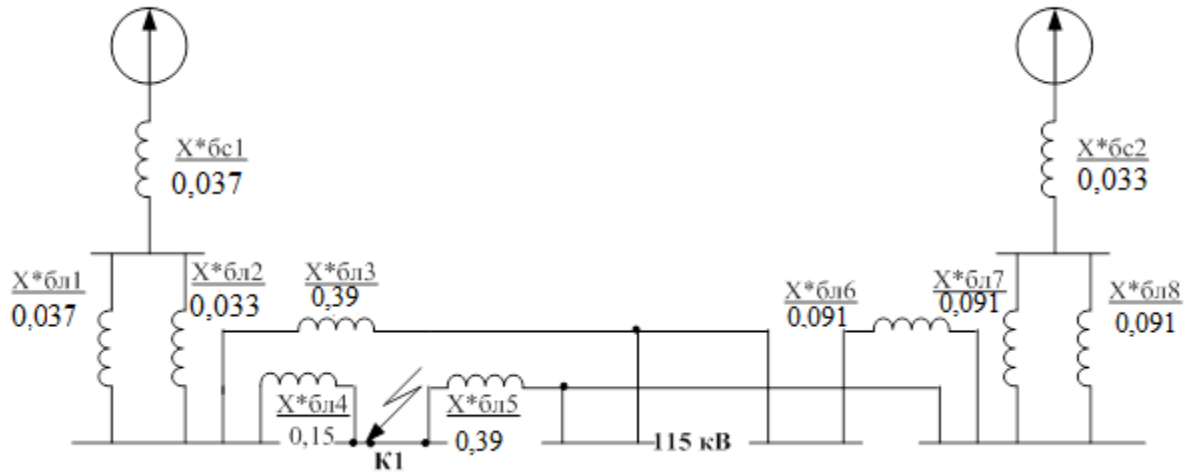


Рисунок 2.3 - Схема заміщення до точки к1

Відповідно до (2.3) базисний опір системи 1:

$$x_{*бсист1} = \frac{100}{2700} = 0,037$$

Базисний опір системи 2:

$$x_{*бсист2} = \frac{100}{3000} = 0,033$$

Базисний струм:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp.u.110}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}$$

Опори ліній:

$$X_{*бл1} = X_{*бл2} = X_0 \cdot L_5 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15$$

$$X_{*бл3} = X_0 \cdot (L_1 + L_2 + L_3) \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot (50 + 50 + 30) \cdot \frac{100}{115^2} = 0,39$$

$$X_{*бл4} = X_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15$$

$$X_{*бл15} = X_0 \cdot (L_2 + L_3 + L_4) \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0.4 \cdot (50 + 50 + 30) \cdot \frac{100}{115^2} = 0.39$$

$$X_{*бл16} = X_0 \cdot L_4 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0.4 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} = 0.091$$

$$X_{*бл17} = X_{*бл18} = X_0 \cdot L_6 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0.4 \cdot 30 \cdot \frac{100}{115^2} = 0.091$$

Будемо поступово згортати схему до точки к1

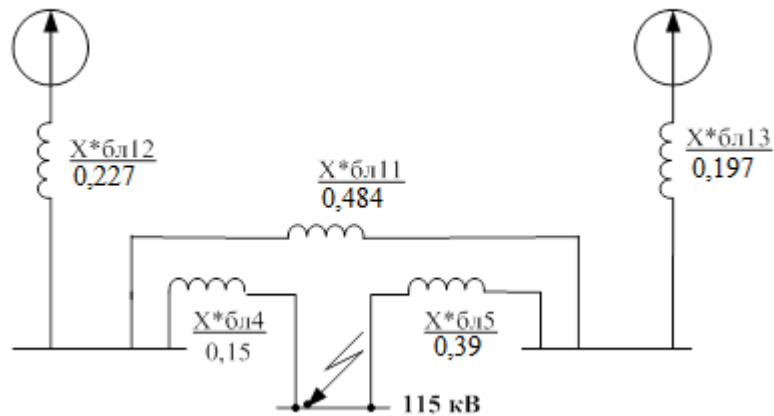


Рисунок 2.4 - Перетворена схема заміщення до точки к1

$$X_{*бл19} = 0,5 \cdot X_{*бл1} = 0,5 \cdot 0,15 = 0,076$$

$$X_{*бл10} = 0,5 \cdot X_{*бл7} = 0,5 \cdot 0,091 = 0,046$$

$$X_{*бл11} = X_{*бл3} + X_{*бл6} = 0,393 + 0,091 = 0,484$$

$$X_{*бл12} = X_{*бл1} + X_{*бл9} = 0,151 + 0,076 = 0,227$$

$$X_{*бл13} = X_{*бл2} + X_{*бл10} = 0,151 + 0,046 = 0,197$$

Після деяких перетворень

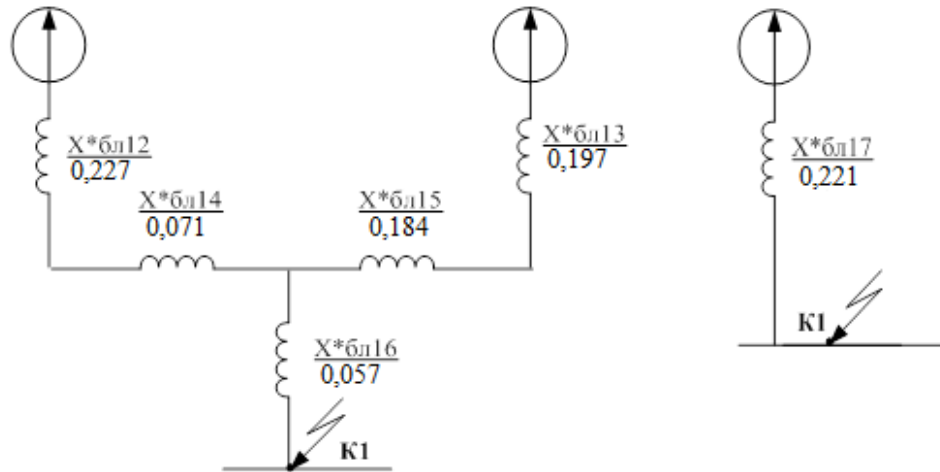


Рисунок 2.5 - Згорнута схема заміщення до точки К1

$$X_{*6л14} = \frac{X_{*6л4} \cdot X_{*6л11}}{X_{*6л4} + X_{*6л5} + X_{*6л11}} = \frac{0,15 \cdot 0,48}{0,15 + 0,39 + 0,48} = 0,071$$

$$X_{*6л15} = \frac{X_{*6л5} \cdot X_{*6л11}}{X_{*6л4} + X_{*6л5} + X_{*6л11}} = \frac{0,39 \cdot 0,48}{0,15 + 0,39 + 0,48} = 0,184$$

$$X_{*6л16} = \frac{X_{*6л4} \cdot X_{*6л5}}{X_{*6л4} + X_{*6л5} + X_{*6л11}} = \frac{0,15 \cdot 0,39}{0,15 + 0,39 + 0,48} = 0,057$$

$$X_{*6л17} = X_{*6л16} + \frac{(X_{*6л12} + X_{*6л14}) \cdot (X_{*6л13} + X_{*6л15})}{X_{*6л12} + X_{*6л14} + X_{*6л13} + X_{*6л15}} =$$

$$= 0,057 + \frac{(0,22 + 0,071) \cdot (0,197 + 0,18)}{0,22 + 0,071 + 0,197 + 0,18} = 0,221$$

Знайдемо струм короткого замикання в точці К1:

$$I_{к1} = \frac{I_{\delta 1}}{X_{*6К1}} = \frac{0,502}{0,15} = 3,347 \text{ кА}$$

Знайдемо ударний струм в точці К1:

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1} = 2,55 \cdot 3,34 = 8,517 \text{ кА}$$

$$I_{Куст} = 1,52 \cdot I_{к1} = 1,52 \cdot 3,34 = 5,077 \text{ кА}$$

2.2 Розрахунок струмів КЗ до точки К2, на шинах 35 кВ.

$$S_{номтр.} = 25 \text{ МВА},$$

$$u_{квс} = 10,5 \%, \quad u_{квн} = 18\%, \quad u_{кш} = 6,5 \%.$$

Знайдемо напруги обмоток трансформатора:

$$u_{кв} = 0,5 \cdot (u_{квс} + u_{квн} - u_{кчн}) = 0,5 \cdot (10,5 + 18 - 6,5) = 10,75 ,$$

$$u_{кн} = 0,5 \cdot (u_{квн} + u_{кчн} - u_{квс}) = 0,5 \cdot (18 + 6,5 - 10,5) = 6,75 ,$$

$$u_{кс} = 0,5 \cdot (u_{квс} + u_{кчн} - u_{квн}) = 0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 18) = -0,25 .$$

Визначимо опір обмоток трансформатора:

$$X_{*бВ} = \frac{u_{кв}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{номтр.}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,43 ,$$

$$X_{*бН} = \frac{u_{кн}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{номтр.}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,27 ,$$

$$X_{*бС} = \frac{u_{кс}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{номтр.}} = \frac{0,25}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,01 .$$

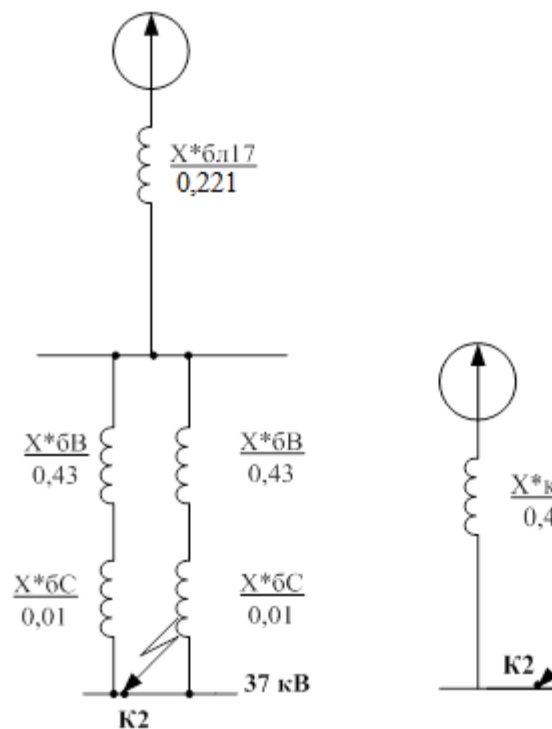


Рисунок 2.6 - Схема заміщення до точки к2

Визначимо базисний струм для точки к2:

$$I_{б2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА} .$$

$$X_{*бк2} = X_{*бк1} + \frac{X_{*бВ} + X_{*бС}}{2} = 0,15 + \frac{0,43 + 0,01}{2} = 0,37$$

Знайдемо струм короткого замикання в точці к2:

$$I_{к2} = \frac{I_{\delta 2}}{X_{*к2}} = \frac{1,56}{0,37} = 4,216 \text{ кА}.$$

Знайдемо ударний струм в точці к2:

$$i_{y2} = 2.55 \cdot I_{к2} = 2.55 \cdot 4,2 = 10.71 \text{ кА}.$$

$$I_{куст} = 1.52 \cdot I_{к1} = 1.52 \cdot 4,2 = 6.384 \text{ кА}.$$

2. 3 Розрахунок струмів к.з. до точки К3, на шинах 27,5 кВ.

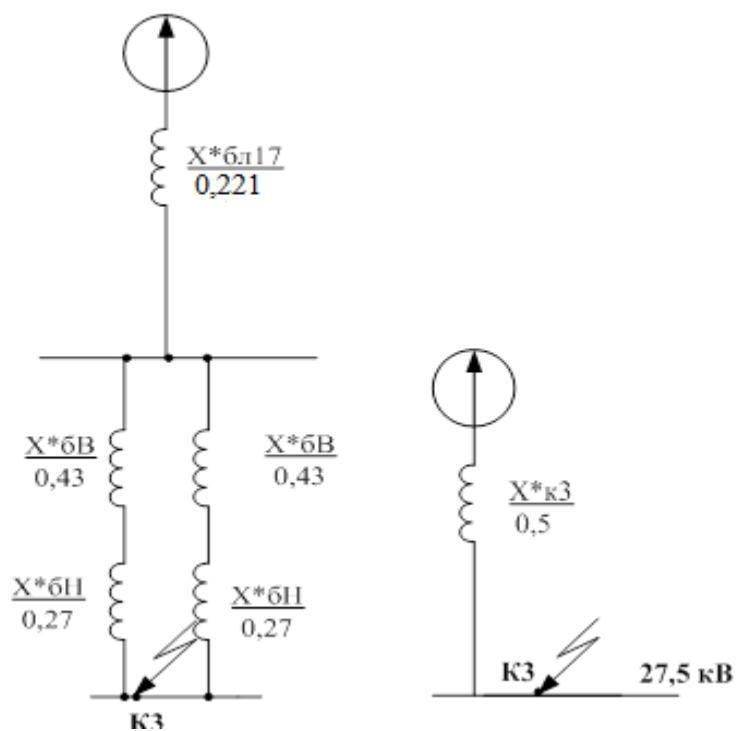


Рисунок 2.7- Схема заміщення до точки к3

$$X_{*к3} = X_{*к1} + \frac{X_{*6В} + X_{*6Н}}{2} = 0,15 + \frac{0,43 + 0,27}{2} = 0,5$$

Визначимо базисний струм для точки К3:

$$I_{\delta 3} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 2 \text{ кА}$$

Знайдемо струм короткого замикання в точці К3:

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата
-----	-----	-------------	--------	------

$$I_{\kappa 3} = \frac{I_{63}}{X_{*6\kappa 3}} = \frac{2}{0.5} = 4 \text{ кА}$$

Знайдемо ударний струм в точці К3:

$$i_{y3} = 2.55 \cdot I_{\kappa 3} = 2.55 \cdot 4 = 10.2 \text{ кА.}$$

$$I_{\text{куст}} = 1.52 \cdot I_{\kappa 3} = 1.52 \cdot 4 = 6.08 \text{ кА.}$$

2. 4 Розрахунок струмів КЗ до точки К4, на ТВП сторона 0.4 кВ.

Для трансформатора власних потреб маємо такі параметри:

$$\text{ТМ} - 400 / 10: \quad u_{\kappa} = 4.5 \% \quad \Delta P_{\kappa 3} = 5.5 \text{ кВт.}$$

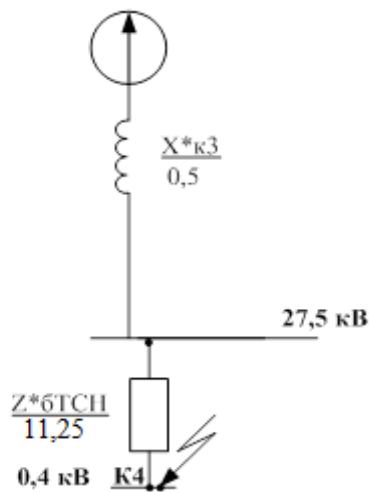


Рисунок 2.8 - Схема заміщення до точки к4

В ТВП активна і індуктивна складові опору співрозмірні.

$$Z_{*6\Gamma} = \frac{u_{\kappa}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{номт}}} = \frac{4.5}{100} \cdot \frac{100}{0.25} = 11.25,$$

$$R_{*6\Gamma} = \frac{\Delta P_{\kappa 3}}{S_{\text{номт}}} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{номт}}} = \frac{5.5}{250} \cdot \frac{100}{0.25} = 3.44,$$

$$X_{*6\Gamma} = \sqrt{Z_{*6\Gamma}^2 - R_{*6\Gamma}^2} = \sqrt{11.25^2 - 3.44^2} = 10.7$$

$$Z_{*6\Gamma\Sigma} = \sqrt{(X_{*6\kappa 3} + X_{*6\Gamma})^2 + R_{*6\Gamma}^2} = \sqrt{(0.5 + 10.7)^2 + 3.44^2} = 11.716,$$

Визначимо базисний струм для точки К4:

$$I_{\sigma 4} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 144.34 \text{ кА,}$$

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата
-----	-----	-------------	--------	------

Знайдемо струм короткого замикання в точці К4:

$$I_{к4} = \frac{I_{\delta 4}}{Z_{* \delta m \Sigma}} = \frac{144,34}{11,72} = 12,316 \text{ кА},$$

Знайдемо ударний струм в точці К4:

$$i_{y4} = 1,84 \cdot I_{к4} = 1,84 \cdot 12,32 = 22,67 \text{ кА}.$$

$$I_{куст} = 1,52 \cdot I_{к4} = 1,52 \cdot 12,32 = 18,73 \text{ кА}.$$

2. 5 Розрахунок струмів К3 до точки К5, на шинах 10 кВ.

Знайдемо опір трансформатора по формулі:

$$X_* = \frac{U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \text{Ом}$$

Визначимо базисний струм для точки к5:

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сп}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Знайдемо струм короткого замикання в точці к5:

$$I_{к5} = \frac{I_{\delta 5}}{X_{* \delta K5}} = \frac{5,5}{0,26} = 21,2 \text{ кА}.$$

Знайдемо ударний струм в точці к2:

$$i_{y5} = 2,55 \cdot I_{к5} = 2,55 \cdot 21,2 = 54,06 \text{ кА}.$$

$$I_{куст} = 1,52 \cdot I_{к5} = 1,52 \cdot 21,2 = 32,2 \text{ кА}.$$

Обчислимо теплові імпульси:

$$B_k = I_k^2 (t_{откл} + T_a)$$

$$K1: B_k = \quad + \quad = \quad \text{кА}^2\text{с}$$

$$K2: B_k = \quad + \quad = \quad \text{кА}^2\text{с}$$

$$K3: B_k = \quad + \quad = \quad \text{кА}^2\text{с}$$

$$K4: B_k = \quad + \quad = \quad \text{кА}^2\text{с}$$

$$K5: B_k = \quad + \quad = \quad \text{кА}^2\text{с}$$

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків точок к. з.

Точки короткого замикання	Струми короткого замикання при Sб=100 МВА				
	$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}$ кА	$I_{к} = \frac{I_{\delta}}{x \cdot \delta}$ кА	$I_{куст}$ кА	$i_y = 2,55 \cdot I_{к}$ кА	$B_{к} = I_{к}^2 (t_{откл} + T_a)$ кА ² с
К1	0.502	3,34	5,07	8,52	22,87
К2	1.56	4,21	6,38	10,71	27,47
К3	2	4	6,08	10,2	8,8
К4	144.34	12,32	18,72	22,67	83,48
К5	5,5	21,2	32,2	54,06	696,6

2.6 Розрахунок максимальних робочих струмів приєднань

Вибір зведемо до таблиці

Таблиця 2.3– Максимальні робочі струми приєднань

№	Найменування збірних шин	Розрахункова формула та числова підстановка	Максимальний робочий струм
1	Введення на ТП 110 кВ	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{np} \cdot S_{ш.розр.маx}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 50000}{\sqrt{3} \cdot 110}$	367,8 А
2	Сторона ВН ТП	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 25000}{\sqrt{3} \cdot 110}$	183,9 А
3	Сторона СН ТП	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 25000}{\sqrt{3} \cdot 35}$	578,05 А
4	Сторона НН ТП	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 25000}{\sqrt{3} \cdot 27.5}$	735,7 А
5	Збірні шини 27,5 кВ	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{рн} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{0.5 \cdot 50000}{\sqrt{3} \cdot 27.5}$	525,5 А
6	Сторона ВН РТ 35/10	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 35}$	57,8 А
7	Сторона НН РТ 35/10	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot k_{рн} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 0,7 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 10}$	141,6 А
8	Сторона ВН ТВП	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10}$	32,33 А
9	Сторона НН ТВП	$I_{роб.ш.маx} = \frac{k_{пер} \cdot \sum S_{ш.ном.пт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1.4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.4}$	808,3 А

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата
-----	-----	-------------	--------	------

02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ

Лист

34

№	Найменування приєднань	Тип вимикача	Співвідношення паспортних і розрахункових даних				
			$\frac{U_{ном}}{U_{роб}}$	$\frac{I_{ном}}{I_{роб.мах}}$	$\frac{I_{д}}{I_{у}}$	$\frac{I_{ном.відк}}{I_{к}}$	$\frac{I_T^2 t_T}{B_K}$
1	Вводи в РУ-110 кВ	ВГТ-110 П*-40/2500 У1	110	2500	102	40	4800
			110	367.8	7,11	2,79	15,96
2	Сторона СН ГПТ	ВР35-35-20/1250 У2	35	1250	52	20	2560
			35	578.05	9,95	3,9	23,58
3	Сторона НН ГПТ	ВБЗО-27,5-20/1000 У1	27.5	1000	52	20	357,2
			27.5	735.7	9,69	3,8	7,94
4	Споживачі 35 кВ	ВР35-35-20/1250 У2	35	1250	52	20	95,92
			35	18	9,96	3,9	23,58
5	Споживачі 10 кВ	ВР3-10-40/3150 У2	10	3150	102	40	92,92
			10	37,4	54,06	21,2	696,6
6	Сторона ВН РТ 35/10	ВР35-35-20/1250 У2	35	1250	52	20	95,92
			35	57,8	9,95	3,9	23,58
7	Фідер к.м. 27,5 кВ	ВБЗО-27,5-20/1000 У1	27.5	1000	52	20	95,92
			27.5	121,7	9,69	3,8	7,94
8	Сторона НН РТ 35/10	ВР3-10-40/3150 У2	10	3150	102	40	92,92
			10	141,6	54,06	21,2	696,6
9	Сторона ВН ТВП	ВР3-10-40/3150 У2	10	3150	102	40	92,92
			10	32,4	54,06	21,2	696,6

2.9 Вибір роз'єднувачів

При виборі роз'єднувачів перевіряються наступні умови:

$$1) U_{ном} \geq U_p$$

$$2) I_n \geq I_p$$

$$3) i_d \geq i_{уд}$$

$$4) I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$$

$$B_K = I_K^2 (t_{откл} + T_a)$$

Аналогічно попередньому випадку необхідно перерахувати тепловий імпульс. Для вводу 110 кВ, (подальші розрахунки зведемо до таблиці

									Лист
									37
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ				

$$B_{\text{клоп}} = \dots = \dots = \dots \text{ кА}^2\text{с}$$

де I_T - струм термічної стійкості за паспортом

Таблиця 2.5 – Вибрані роз'єднувачі

№	Найменування приєднань	Тип роз'єднувача	Співвідношення паспортних і розрахункових даних			
			$\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{роб}}}$	$\frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{роб.мак}}}$	$\frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{у}}}$	$\frac{I_T^2 t_T}{B_{\text{к}}}$
1	Вводи в РУ-110 кВ	РДЗ.2-110Б-1000У1	110	1000	80	19200
			110	367,8	9,77	45,914
2	Сторона НН ГПТ	РДЗ.2-35/1000У1	35	1000	80	2304
			27.5	735,7	14,4	35,8
3	Споживачі 35 кВ	РДЗ.1-35/1000-У1	35	1000	50	242
			35	18	6,22	12,7
4	Споживачі 10 кВ	РДЗ-10/1000У1	10	1000	80	111
			10	37,4	4,335	4,7
5	Сторона НН РТ-35/10	РДЗ.2-35/1000У1	10	1000	50	1975
			27.5	141,6	4,33	4,7
6	Фідер к.м. 27,5 кВ	РДЗ.1-35/1000У1	35	1000	80	619
			27.5	121,7	14,4	35,8
7	Сторона ВН РТ-35/10	РДЗ.1-35/1000У1	35	1000	50	3467
			35	57,8	6,22	12,7

3 ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТА РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

3.1 Розрахунок вибору номінального перетину струмопровідної жили та екрану кабелю

Кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену для мереж 10 кВ перевіряється за наступними показниками:

1. За допустимим тривалим струмом навантаження.
2. За допустимим струмом короткого замикання по жилі кабелю.
3. За допустимим струмом короткого замикання по екрану кабелю.
4. За падінням напруги в кінці КЛ.
5. Розрахунок вибору способу заземлення екрану кабелю

Таблиця 3.1 Вихідні дані

№ вар	Напруга мережі, кВ	Максимальний струм 3-ф КЗ, кА	Повний час тривалості короткого замикання, с	Максимальна розрахункова потужність, кВт	Довжина кабельної лінії, км
4	10	4	0,3	1500	4,3

3.2 Розрахунок за тривалим струмом навантаження

Розрахунковий робочий струм КЛ в амперах у режимі номінального навантаження, розраховується за формулою:

$$I_0 = \frac{P_{\max.c}}{\sqrt{3} \cdot U_g \cdot \cos \varphi}$$

де $P_{\max.c}$ - максимальна розрахункова потужність кВт;

U_g - напруга мережі, кВ;

$\cos \varphi$ - кут зсуву фаз між напругою та струмом (коефіцієнт потужності).

Таблиця 3.2 Результати розрахунку струму КЛ та підбору перетину жили кабелю

№ КЛ	$P_{\max.c}$, кВт	U_g , кВ	$\cos \varphi$	I_0 , А	S , мм ²	I_c , А
1	1500	10	0,99	87,47	70	186

Розрахунок виконується згідно СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49-2011 (редакція 2017 року) "Проектування кабельних ліній напругою до 330кВ".

Для кабелів, прокладених у землі за схемою «у трикутник» тривалий допустимий струм у амперах у заданих умовах прокладання кабелю розраховуємо за значень коригувальних коефіцієнтів, отриманих з відповідних таблиць k_2 (таблиця 8.7), k_{33} (таблиця 8.10), k_4 (таблиця 8.11), k_5 (таблиця 8.16) за формулою:

$$I_{cg} = I_c \cdot k_2 \cdot k_{33} \cdot k_4 \cdot k_5$$

Таблиця 3.3 Результати розрахунку тривалого допустимого струму КЛ при прокладенні у землі за схемою в трикутник

№ КЛ	I_c , А	k_2	k_{33}	k_4	k_5	I_0 , А	I_{cg} , А	Виконання умови
1	186	0,98	1	1,16	1	87,47	189,86	виконується

Для кабелів, прокладених у землі в окремих трубах за схемою «у трикутник» тривалий допустимий струм у амперах у заданих умовах прокладання кабелю розраховуємо за значень коригувальних коефіцієнтів, отриманих з відповідних таблиць k_1 (таблиця 8.6), k_2 (таблиця 8.8), k_{33} (таблиця 8.10), k_4 (таблиця 8.12), k_5 (таблиця 8.18) за формулою:

$$I_{cg} = I_c \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_{33} \cdot k_4 \cdot k_5$$

Таблиця 3.4 Результати розрахунку тривалого допустимого струму КЛ при прокладенні в окремих трубах за схемою в трикутник

№ КЛ	I_c , А	k_1	k_2	k_{33}	k_4	k_5	I_0 , А	I_{cg} , А	Виконання умови
1	176	0,9	0,88	1	1,17	1	87,47	163,08	виконується

Для кабелів, прокладених у повітрі (на драбинах) тривалий допустимий струм у амперах у заданих умовах прокладання кабелю розраховуємо за значень коригувальних коефіцієнтів, отриманих з відповідних таблиць k_{zn} (таблиця 8.9), k_7 (таблиця 8.21) за формулою:

$$I_{cg} = I_c \cdot k_{zn} \cdot k_7$$

Таблиця 3.5 Результати розрахунку тривалого допустимого струму КЛ при прокладенні у повітрі (на драбинах)

№ КЛ	I_c , А	k_{zn}	k_7	I_0 , А	I_{cg} , А	Виконання умови
1	236	1,08	1	87,47	254,88	виконується

За допустимим тривалим струмом навантаження кабель перевірку проходить.

3.3 Розрахунок за допустимим струмом короткого замикання по жилі кабелю

Перевірка відповідності обраного перетину жили КЛ, струму 3-ф КЗ на шинах живлячої ПС здійснюється за наступною умовою:

$$I_{sc}^{(3)} < I_{csc}$$

де $I_{sc}^{(3)}$ - 3-ф струм КЗ на шинах живлячої ПС, кА;

I_{csc} - допустимий струм короткого замикання по жилі кабелю з урахуванням часу спрацювання захисту, кА, розраховується за формулою:

$$I_{csc} = \frac{I_{tsc}}{\sqrt{t}}$$

де I_{tsc} - допустимий струм короткого замикання по жилі кабелю, кА (табличне значення);

t - час спрацювання захисту, с.

Таблиця 3.6 Результати розрахунку допустимого струму короткого замикання по жилі кабелю

№ КЛ	I_{tsc} , кА	t , с	I_{csc} , кА	$I_{sc}^{(3)}$, кА	Виконання умови
1	4,7	0,3	2,71	4	виконується

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

3.4 Розрахунок за допустимим струмом короткого замикання по екрану кабелю

Перевірка відповідності обраного перетину екрану КЛ, струму 2-ф КЗ на шинах живлячої ПС здійснюється за наступною умовою:

$$I_{sc}^{(2)} < I_{ssc}$$

де I_{ssc} - допустимий струм короткого замикання по екрану кабелю з урахуванням часу спрацювання захисту, кА, розраховується за формулою:

$$I_{ssc} = \frac{I_{tsc}}{\sqrt{t}}$$

де t - час спрацювання захисту, с;

I_{tsc} - допустимий струм короткого замикання по екрану кабелю, кА (табличне значення);

$I_{sc}^{(2)}$ - 2-ф струм КЗ на шинах живлячої ПС, кА, розраховується за формулою:

$$I_{sc}^{(2)} = I_{sc}^{(3)} \cdot 0,87$$

Таблиця 3.7 Результати розрахунку допустимого струму короткого замикання по екрану кабелю та вибору його перетину

№ КЛ	Перетин екрану, мм ²	I_{tsc} , кА	t , с	I_{ssc} , кА	$I_{sc}^{(2)}$, кА	Виконання умови
1	16	3,3	0,3	6	3,48	виконується

3.5 Розрахунок за падінням напруги в кінці КЛ

Розрахунок падіння напруги проводиться для підтвердження відповідності обраного перетину провідника допустимим значенням падіння напруги від джерела живлення до споживача в максимальному режимі лінії та у відповідності до ДСТУ 13109-97, ДСТУ EN 50160:2014.

Граничне падіння напруги в максимальному режимі розраховується за формулою:

$$\Delta U \% = \frac{10^5 \cdot P \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_g^2}$$

де P - максимальна розрахункова потужність, кВт;

L - довжина лінії, км;

r_0 - активна складова опору лінії, Ом/км;

x_0 - індуктивна складова опору лінії, Ом/км;

U_g - напруга мережі, В.

Таблиця 3.8 Результати розрахунку падіння напруги в кінці КЛ

№ КЛ	U_g , В	L , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , В	ΔU , %
1	10000	4,3	0,94	0,26	76,8	7,6

3.6 Розрахунок вибору способу заземлення екрану кабелю

Для унеможливлення значних втрат електроенергії в струмопровідних екранах кабелів під час експлуатації КЛ в якості способу заземлення екрану кабелю обрано заземлення екрану з одного кінця КЛ.

Розрахунок проводиться для таких режимів роботи КЛ:

- нормального (трифазного);
- зовнішнього КЗ із найбільшим струмом;
- ремонтного (за наявності паралельно прокладених КЛ або кіл тієї ж самої КЛ).

Наведена напруга на незаземленому кінці екрану не повинна перевищувати допустимого діючого значення напруги змінного струму, що становить 70% значення випробувальної напруги постійного струму для оболонки кабелю.

У разі нормального трифазного режиму роботи КЛ, наведена напруга на незаземленому кінці екрану визначається за формулою:

$$U_1^{(3)} = I_0 \cdot L \cdot X_{m1}$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

де X_{m1} - погонний індуктивний опір екрану кабелю, Ом/км, розраховується за формулою:

$$X_{m1} = 0,0628 \cdot \gamma_1$$

де γ_1 - безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі, який розраховується за формулою:

$$\gamma_1 = 0,5 \cdot \ln \left(\beta^2 \cdot \sqrt{\left(1 + \left(\sqrt{3} + \frac{1}{\beta} \right)^2 \right)} \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta^2} \right) \right)$$

де β - безрозмірний параметр, який визначається як відношення відстані між центрами жил кабелів до зовнішнього діаметру.

У разі зовнішнього КЗ із найбільшим струмом, наведена напруга на незаземленому кінці екрану визначається за формулою:

$$U_2 = I_{sc} \cdot L \cdot X_{m2}$$

де X_{m2} - погонний індуктивний опір екрану кабелю, Ом/км, розраховується за формулою:

$$X_{m2} = 0,0628 \cdot \gamma_2$$

де γ_2 - безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі, який розраховується за формулою:

$$\gamma_2 = 4,725 + 0,5 \cdot \ln \rho - \ln(0,5 \cdot D)$$

де ρ - питомий електричний опір, який за замовчуванням приймається рівним 1000 Ом·м.

У разі ремонтного - за наявності паралельно прокладених КЛ або кіл тієї ж самої КЛ, наведена напруга на незаземленому кінці екрану не має бути більшою за 24 В, визначається за формулою:

$$U_3 = I_0 \cdot L \cdot X_{m3}$$

де X_{m3} - погонний індуктивний опір екрану кабелю, Ом/км, розраховується за формулою:

$$X_{m3} = 0,0628 \cdot \gamma_3$$

де γ_3 - безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі, який розраховується за формулою:

$$\gamma_3 = \ln \left(\frac{0,87 \cdot \beta + \alpha + 0,5}{0,25 \cdot \beta^2 + (0,5 + \alpha)^2} \right)$$

де α - безрозмірний параметр, який визначається як відношення найменшої відстані між двома КЛ до діаметру кабелю.

Таблиця 3.9 Результати розрахунку вибору способу заземлення екрану кабелю

№ КЛ	I_0, A	L, км	γ_1	$U_1^{(3)}, B$	γ_2	U_2, B	γ_3	U_3, B	Виконання умови
1	87,47	4,3	1,75	41,37	12,38	13,36	0,049	1,13	виконується

Для захисту оболонки кабелю при заземленні з одного кінця оберемо ОПН за розрахунком наведеної напруги на кінці екрану кабелю, з урахуванням тривалості режиму зовнішнього КЗ. ОПН обирають за умовою, що наведена напруга на незаземленому кінці екрану не повинна перевищувати допустимого діючого значення напруги змінного струму, що становить 70% значення випробувальної напруги постійного струму для оболонки кабелю.

Захист зовнішньої ізоляційної оболонки кабелю за допомогою ОПН можливий за виконання умов:

$$U_1^{(3)} < U_{1t.v}$$

$$U_2 < U_{1t.v} \cdot T(t_{sc})$$

де $U_{1t.v}$ - тривало допустима напруга ОПН, кВ.

$T(t_{sc})$ - кратність напруги (приймаємо 1,8).

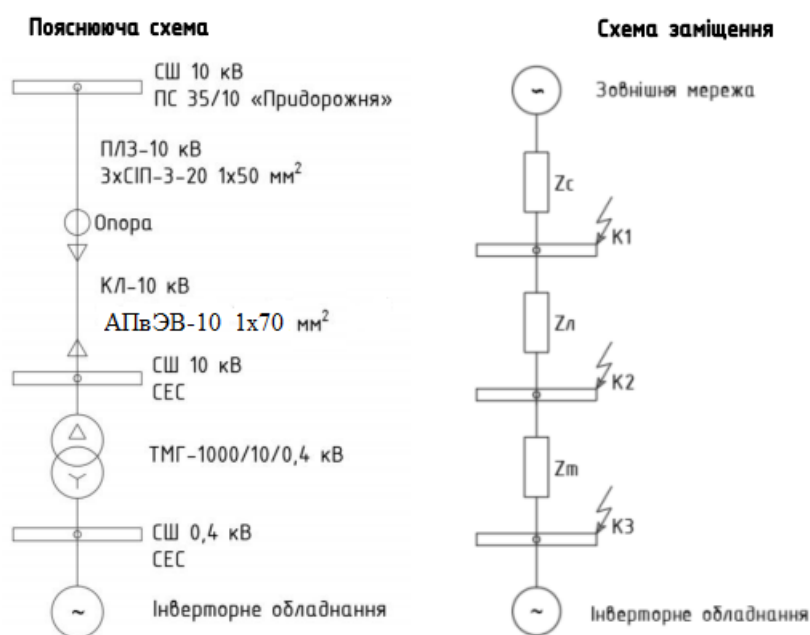
Умова виконується, обираємо обмежувач перенапруги на 6 кВ.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

3.7 Розрахунок струмів короткого замикання сес для вибору захистів кабельної лінії в комірці сес

Вихідні дані для розрахунку короткого замикання на СЕС:

1. Однолінійна схема СЕС ($P=1,5$ МВт)
2. Розрахункова напруга на шинах 10 кВ - 10,5 кВ
3. Трансформатор ТМГ-1000/10/0,4 кВ ($u_k = 4,5$ %)
4. Повна потужність інверторного обладнання – 1,5 МВА
5. Довжина кабельної лінії – 4.3 км
6. Струм трифазного короткого замикання в максимальному режимі на шинах 10 кВ ПС 35/10 кВ «Придорожня» - 2 кА.
7. В якості провідників для розрахунку струму короткого замикання на шинах проектованої СЕС прийнято 3хСП-3-20 1х50 мм та кабель АПвЭВ-10 1х 70 мм , прокладка в трикутник
8. Довжина КЛ-10 кВ – 4300 м



Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

3.8 Розрахунок опорів схеми заміщення в максимальному режимі роботи системи

Опір системи

$$z_c \approx x_c = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{K3}^{(3)}}, \text{ Ом}$$

Опір повітряно-кабельної лінії

Активна складова

$$r_l = r_0 \cdot l_l, \text{ Ом}$$

Реактивна складова

$$x_l = x_0 \cdot l_l, \text{ Ом}$$

Сумарний опір до розрахункової точки К2

$$z_{K2} = \sqrt{z_c^2 + (r_l + x_l)^2}, \text{ Ом}$$

Опір трансформатора

$$z_m \approx x_m = \frac{u_k \cdot U_H^2}{100 \cdot S_{НОМ}}, \text{ Ом}$$

Сумарний опір до розрахункової точки К3

$$z_{K3} = z_{K2} + z_m, \text{ Ом}$$

Результати розрахунків опорів схеми заміщення в максимальному режимі роботи системи

$z_c, \text{ Ом}$	$r_l, \text{ Ом}$	$x_l, \text{ Ом}$	$z_{K2}, \text{ Ом}$	$z_m, \text{ Ом}$	$z_{K3}, \text{ Ом}$
1,44	4,04	0,60	4,863	3,308	8,171

3.9 Розрахунок струмів короткого замикання в розрахункових точках в максимальному роботі системи

Розрахункова точка К1

Струм КЗ в розрахунковій точці К1 приймаємо рівним струму короткого замикання на шинах 10 кВ ПС 35/10 кВ «Придорожня» - $I_{K1}^{(3)} = 2$ кА.

Розрахункова точка К2

Струм КЗ питомий зі сторони ПС 35/10 кВ «Придорожня» в точці К2

$$I_{K2\text{ ПС}}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_{K2}}$$

Струм КЗ питомий зі сторони СЕС приведений до сторони 10 кВ

$$I_{K\text{ СЕС}}^{(3)} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$$

Сумарний струм КЗ в точці К2

$$I_{K2}^{(3)} = I_{K2\text{ ПС}}^{(3)} + I_{K\text{ СЕС}}^{(3)}$$

Розрахункова точка К3

Струм КЗ питомий зі сторони ПС 35/10 кВ «Придорожня» в точці К3 – на шинах 0,4 кВ СЕС, приведений до сторони 10 кВ

$$I_{K3\text{ ПС}}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_{K3}}$$

Сумарний струм КЗ в точці К3

$$I_{K3}^{(3)} = I_{K3\text{ ПС}}^{(3)} + I_{K\text{ СЕС}}^{(3)}$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Результати розрахунків трифазних струмів КЗ в максимальному режимі роботи системи

$I_{K1}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K2\text{ПС}}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K\text{СЕС}}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K2}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K3\text{ПС}}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K3}^{(3)}, \text{кА}$
1,83	1,25	0,087	1,334	0,742	0,829

Результати розрахунків двофазних струмів КЗ в максимальному режимі роботи системи

$I_{K1}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{K2\text{ПС}}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{K\text{СЕС}}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{K2}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K3\text{ПС}}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{K3}^{(2)}, \text{кА}$
1,589	1,104	0,038	1,112	0,67	0,754

3.10 РОЗРАХУНОК УСТАВОК СПРАЦЮВАННЯ ЗАХИСТУ

Вихідні дані для розрахунку уставок спрацювання захисту:

1. Допустимий робочий струм $I_{\text{доп}} = 87,47 \text{ А}$

2. Струми короткого замикання

І ст. СВ (струмова відсічка)

Струм спрацювання захисту обирається за умовами:

відстроювання від стрибка струму намагнічення трансформатору КТП 1000/10/0,4 У1 при наявності напруги в лінії

Максимальна величина струму при включенні може скласти

$$I_{\text{БТН}} = (3 \dots 5) \cdot I_{\text{ном.тр.}}$$

Приймаємо коефіцієнт відстроювання захисту $k_{\text{від}} = 1,2$

Номінальний струм трансформатору

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

Струм спрацювання захисту

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{від}} \cdot I_{\text{БТН}} \cdot I_{\text{ном}}$$

Результати розрахунку відстроювання від струму намагнічування трансформатору

$I_{ном}, A$	$I_{сз min}, A$	$I_{сз max}, A$	$I_{сз}, A$ для відстроювання
82,48	296,92	494,87	490

- відстроювання від струму трифазного КЗ на шинах 0,4 кВ КТП 1000/10/0,4 У1, приведенного до напруги 10,5 кВ

Струм спрацювання захисту

$$I_{сз.} = k_{від} \cdot I_{КЗ}^{(3)}$$

Струм уставки

$$I_y = \frac{k_{сх} \cdot I_{сз.}}{k_{ТА}}$$

Коефіцієнт чутливості при двофазному КЗ на шинах 10 кВ КТП 1000/10/0,4 У1

$$k_ч = \frac{I_{К2}^{(3)}}{I_{сз.}}$$

Результати розрахунку відстроювання від струму трифазного КЗ на шинах 0,4 кВ, приведенного до напруги 10,5 кВ

$I_{сз}, A$	I_y, A	$k_ч$
990	4,95	1,34

У відповідності п. 3.2.26 ПУЕ-2017 найменші коефіцієнти для резервних захистів у разі КЗ у кінці суміжного елемента або найбільш віддаленого з декількох послідовних елементів, які входять до зони резервування мають бути близькими до 1,2.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Умова забезпечення чутливості захисту виконується.

Витримку часу спрацювання першого ступеню захисту ВС для забезпечення швидкого відключення приймаємо рівній мінімально можливому значенню – менше 0,1 с.

II ст. МСЗ (максимальний струмовий захист)

Струм спрацювання захисту

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_{від} \cdot I_{доп}}{k_n}$$

де k_n - коефіцієнт надійності (1,1);

$k_{від}$ - коефіцієнт відстроювання захисту (1,2);

k_p - коефіцієнт повернення (0,95).

Струм уставки

$$I_y = \frac{k_{сх} \cdot I_{с.з.}}{k_{ТА}}$$

Коефіцієнт чутливості при двофазному КЗ на шинах 10 кВ КТП 1000/10/0,4 У1

$$k_ч = \frac{I_{к2}^{(3)}}{I_{с.з.}}$$

Результати розрахунку відстроювання від струму трифазного КЗ на шинах 0,4 кВ, приведеного до напруги 10,5 кВ

$I_{сз}, A$	I_y, A	$I_{сз}, A$ для відстроювання	$k_ч$
121,53	0,61	130	0,0091

Умова забезпечення чутливості захисту виконується

Витримку часу спрацювання максимального струмового захисту

					02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

приймаємо рівній значенню 0,5 с.

Зведена інформація про уставки

Назва	Величина
Уставка СВ1, А	490
Витримка часу СВ1, с	<0,1
Уставка МЗС2, А	130
Витримка часу МЗС2, с	0,5
Уставка ЗНЗ, А	3
Витримка часу ЗНЗ на подачу сигналу, с	9

3.11 РОЗРАХУНОК ЄМНІСНИХ СТРУМІВ

Ємнісний погонний струм замикання на землю в місці пошкодження

$$I_C = 3 \cdot \omega \cdot C_\phi \cdot U_\phi \cdot 10^{-6}$$

де ω - кутова швидкість вектору напруги, с ;

C_ϕ - ємність фази мережі, мкФ;

U_ϕ - фазна напруга мережі, В.

Ємнісний струм замикання на землю в місці пошкодження для розглядуваної кабельної лінії

$$I_{СКЛ} = I_C \cdot \ell_{КЛ}, \text{ А}$$

Результати розрахунку ємнісних струмів

$C_{\phi КЛ}$, мкФ	ω , с ⁻¹	U_ϕ , В	I_C , А/км	$I_{СКЛ}$, А
0,229	314	6062,18	1,308	2,485

У відповідності з ГКД 34.20.172-95 «Типова інструкція по компенсації ємнісного струму замикання на землю в електричних мережах 6-35 кВ» компенсація повинна застосовуватись в кабельних мережах 10 кВ при значеннях ємнісного струму більше 20 А. Оскільки сумарний ємнісний струм

замикання на землю мереж 10 кВ СЕС не перевищує даного значення, встановлення пристроїв компенсації ємнісних струмів не передбачається.

3.12 ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНВЕРТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Контролер інверторного обладнання виконує наступні функції автоматики та захисту (згідно керівництва по експлуатації):

- моніторинг параметрів вхідної напруги постійного струму та вихідної напруги змінного струму;

- контроль технологічних параметрів інвертора;

- контроль реактивної потужності;

- контроль активної потужності;

- інтерфейс заземлення;

- відхилення напруги/частоти;

- максимальний струмовий захист;

- захист від min/max частоти;

- захист від перенапруги (при перевищенні напруги змінного струму (значення встановленої уставки) інверторне обладнання блокує видачу потужності в мережу. Уставку спрацювання захисту від підвищення напруги обираємо виходячи з умови недопущення підвищення напруги більш ніж на 10 %;

- відключення від електророзподільної мережі протягом 2 с в разі переривання напруги в електророзподільній мережі;

- після відключення в результаті відхилення від норми параметрів електророзподільної мережі фотоелектрична система не повинна бути повторно підключена до мережі протягом інтервалу часу від 20 с до 5 хв з моменту відновлення нормальних значень напруги і частоти.

Контролер інверторного обладнання виконує функції синхронізації з мережею, контроль параметрів якості напруги, релейного захисту при нормальних, аварійних та після аварійних режимах роботи. В нормальному

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

режимі інверторне обладнання вмикається в роботу автоматично за наявності відповідної інтенсивності освітлення та наявності напруги в мережі, синхронізуючись з її параметрами. При аварійних ситуаціях і зниженні напруги в мережі інверторне обладнання відключається.

Таким чином, встановлене на СЕС інверторне обладнання запобігає несинхронному включенню в мережу.

					02.15.ЕС19120.КРБ.2022-ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

4.2 Станції швидкого заряджання використовують зарядні пристрої постійного струму.

Швидкі зарядні пристрої постійного струму забезпечують найвищу швидкість заряджання, доступну на сьогоднішній день. Поточні швидкі зарядні пристрої постійного струму, що підтримуються Electrify America, включають роз'єми комбінованої системи заряджання (CCS) та роз'єми CHAdeMO. Марка електромобіля (EV), яким ви керуєте, визначить, яку вилку можна використовувати. Ви зможете дізнатися більше про можливості вашого автомобіля з посібника з експлуатації та на офіційному сайті виробника

Зарядні пристрої CCS та CHAdeMO відрізняються швидкістю, з якою вони можуть заряджатися. CCS у мережі Electrify America може заряджати на швидкості до 350 кВт, а наші зарядні пристрої CHAdeMO можуть заряджати на швидкості до 50 кВт. На станціях Electrify America встановлені зарядні пристрої CCS із різною швидкістю від 50 до 350 кВт. Не всі електромобілі можуть заряджатися на максимальному рівні потужності зарядного пристрою. Зверніться до виробника вашого автомобіля, щоб дізнатися про можливість зарядки вашого електромобіля.

На всіх зарядних станціях Electrify America доступні вилки CCS та CHAdeMO. Певна кількість станцій Electrify America, розташованих у міських районах, також підтримуватимуть зарядні пристрої рівня 2. Це означає, що не має значення, на якому електромобілі ви їдете – практично кожна модель електромобіля може використовувати наші станції.

Швидкі зарядні пристрої постійного струму Electrify America є найшвидшими на ринку на сьогоднішній день. І може заряджати сумісні електромобілі потужністю 350 кВт. Для автомобілів, що не здатні приймати 350 кВт, зарядні пристрої на 350 кВт дадуть вам найшвидшу зарядку, яку може прийняти ваш електромобіль.

Багато нових електромобілів, що виходять на ринок, зможуть споживати потужність зарядки 100 кВт або вище. Electrify America має одну з небагатьох мереж, які готові підтримувати цю технологію.

Зарядні пристрої змінного струму (AC), які називаються зарядними пристроями рівня 2 (L2) та рівня 1 (L1), зазвичай можна знайти вдома і на робочому місці, а також у багатьох громадських місцях. Ці зарядні пристрої заряджатимуть електромобілі на швидкостях від 3,3 кВт до 19 кВт і зазвичай підключаються на ніч будинку або протягом дня до зарядного пристрою на робочому місці.

Зарядні пристрої L2 зазвичай оснащені непатентованим роз'ємом J1772™, який забезпечує майже універсальне з'єднання між зарядними пристроями та електромобілями за допомогою порту змінного струму. Деякі зарядні станції матимуть зарядні пристрої L2 на додаток до швидких зарядних пристроїв постійного струму.



Рисунок 4.1 - Зарядні пристрої електромобілів

Для кожного електромобіля або гібрида, що підключається, рекомендується використовувати зарядну станцію рівня 2, яка допоможе заряджати швидше і повністю використовувати потенціал електромобіля.

Зарядний пристрій рівня 2 дозволяє заряджати електромобіль в 5-7 разів швидше для повністю електричного автомобіля або до 3 разів швидше для гібрида, що підключається, порівняно із зарядним пристроєм рівня 1. Це означає, що ви зможете максимально ефективно використовувати свій електромобіль і скоротити кількість зупинок для підзарядки на громадських станціях.

Повна зарядка автомобіля з акумулятором на 30 кВтг (стандартний акумулятор для електромобіля) займає близько чотирьох годин, що дозволяє максимально використовувати можливості вашого електромобіля, особливо коли у вас є обмежений час для зарядки.

Зведення рівня зарядки

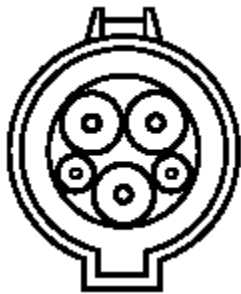
Рівень	Потужність (кВт)	Приблизний час заряджання (порожній акумулятор)
1	1	200 км (124 милі): +/- 20 годин 400 км (249 миль): +/- 43 години
2	від 3 до 20, зазвичай 6	200 км (124 милі): +/- 5 годин 400 км (249 миль): +/- 11 годин
3	Зазвичай 50, іноді 20	80% от 200 км (124 милі): +/- 30 хв 80% от 400 км (249 миль): +/- 1 година

Найбільш поширеним роз'ємом є роз'єм SAE J1772 EV. Всі електромобілі в Канаді та США можуть заряджатися за допомогою цієї вилки навіть автомобілі Tesla, оскільки вони поставляються з адаптером. Роз'єм J1772 доступний лише для заряджання рівня 1 та 2.

Для швидкої зарядки виробники електромобілів найчастіше використовують роз'єми CHAdeMO та SAE Combo (також звані CCS для Combo Charging System).

Ці два роз'єми не взаємозамінні, тобто автомобіль з портом CHAdeMO не може заряджатися за допомогою роз'єму SAE Combo і навпаки. Це схоже на бензиновий автомобіль, який не можна заправляти дизельним насосом.

Третій важливий роз'єм – той, який використовується Tesla. Цей роз'єм використовується на зарядних станціях Tesla Supercharger рівня 2 та 3 та сумісний лише з автомобілями Tesla.



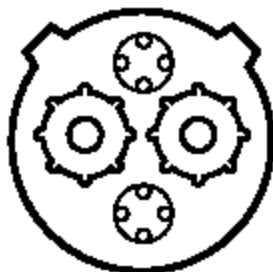
Роз'єм: порт J1772

Рівень: 2

Сумісність: 100% електромобілів

Тесла: з адаптером

Рисунок 4.2 - Роз'єм: порт J1772



Роз'єм: ЧАдеМО

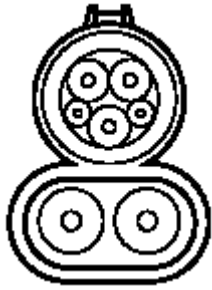
Рівень: 3

Сумісність: перевірте характеристики електромобіля.

Тесла: з адаптером

Рисунок 4.3 - Роз'єм: ЧАдеМо

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



Роз'єм: СAE комбінований ККС

Рівень: 3

Сумісність: перевірте характеристики

електромобіля.

Тесла: Ні

Рисунок 4.4 - Роз'єм: СAE комбінований ККС



Роз'єм: Тесла ХПВК

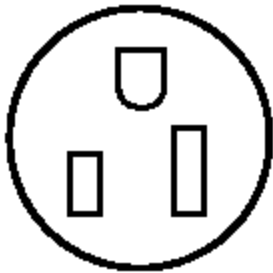
Рівень: 2

Сумісність: тільки Тесла

Тесла: Так

Рисунок 4.5 - Роз'єм: Тесла ХПВК

Стінні дюбелі

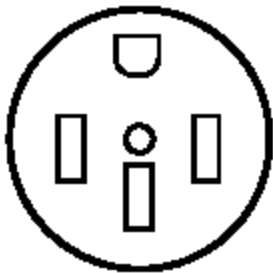


Стінна вилка: Nema 515, Nema 520

Рівень: 1

Сумісність: 100% електромобілів, потрібний зарядний пристрій

Рисунок 4.6 - Роз'єм: Nema 515, Nema 520



Роз'єм: Nema 1450 (штекер RV)

Рівень: 2

Сумісність: 100% електромобілів, потрібний зарядний пристрій

Рисунок 4.7 - Роз'єм: Nema 1450






















Стан зарядної інфраструктури України на 01.11.2021	Зарядний пункт / Конектор живлення електромобіля (EVSE)								
	AC ≤22кВт			DC ≥22 кВт					
	Type 1 J1772	Type 2	GB/T AC	CCS 1	CCS 2	CHAdeMO	GB/T DC		
еMSP (провайдер електромобільних послуг) / СРО (оператор зарядної станції)									
	2998	2828	0	360	542	932	1	7661	
еMSP		1648	1251	0	322	375	625	0	4221
еMSP		878	641	0	31	69	182	0	1801
еMSP		381	420	0	2	33	43	0	879
СРО		23	162	0	0	0	0	0	185
еMSP		1	136	0	0	13	11	0	161
СРО		0	43	0	0	34	34	0	111
СРО		0	54	0	0	2	5	0	61
СРО		60		0	0	0	0	0	60
СРО		4	16	0	4	5	16	1	46
СРО		0	39	0	0	0	0	0	39
СРО		0	16	0	0	8	8	0	32
еMSP		0	22	0	0	1	1	0	24
еMSP		2	14	0	0	1	5	0	22
СРО		1	14	0	1	1	2	0	19

Рисунок 4.8 - Стан зарядної інфраструктури України

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року – [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/uk/publish/article>.
2. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П.Шкрабець. – Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013.
3. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту. Міністерство інфраструктури України : веб-сайт. URL : <https://mtu.gov.ua/content/statistichnidani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html>
4. Найпопулярніші електромобілі в світі. Британська аналітична фірма JATO Dynamics : веб-сайт. URL : https://twitter.com/JATO_Dynamics
5. Статистика PlugShare: в Україні на 7 електромобілів одна зарядна станція. HEVCars : веб-сайт. URL : <https://hevcars.com.ua/skolko-zaryadnyhstantsij-v-ukraine/>
6. Кількість зарядних пунктів у Києві та Кривому Розі. Google Maps : веб-сайт. URL : <https://hevcars.com.ua/skolko-zaryadnyh-stantsij-v-ukraine/>
7. Звіт про доходи компанії Tesla Inc (TSLA). Investing.com : веб-сайт. URL : <https://ru.investing.com/equities/tesla-motors-income-statement>
8. Клочков В. В., Ратнер С. В. Управління розвитком «зелених» технологій: економічні аспекти. ІПУ РАН. 2013.
9. Ратнер С. В., Маслова С. С. Державне стимулювання розвитку ринку електричних транспортних засобів: світовий досвід. Фінанси і кредит. 2017.
10. Lieven T. Policy Measures to Promote Electric Mobility – A Global Perspective. Transportation Research Part A. Policy and Practice. 2015.
11. Langbroek J. H. M., Franklin J. P., Susilo Y. O. The Effect of Policy Incentives on Electric Vehicle Adoption. Energy Policy, 2016.
12. Законопроекти про стимулювання ринку електротранспорту в

Україні. Офіційний портал Верховної Ради України : веб-сайт. URL : <https://rada.gov.ua/>

13. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів: Закон України від 11.07.2019 №2754-VIII. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2754-VIII>

14. Ширяєва Н. В., Клепиков Д. С. Дослідження ринку електромобілів та перспективи його розвитку : дис. Центр фінансово-економічних наукових досліджень, 2018.

15. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Державна служба статистики України : веб-сайт. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua/>