

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, катедри факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Розроблення системи електропостачання електроапаратного заводу

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Кисляк К.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

робототехніки

Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій



О.В. Шефер

«01» квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Кисляку Костянтину Андрійовичу

1. Тема роботи «Розроблення системи електропостачання електроапаратного заводу»

керівник роботи Кислиця Світлана Григорівна, к.т.н., доцент

затверджена наказом вищого навчального закладу №1481/1-фа від 06.12.2023.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Документація на електрообладнання електроапаратного заводу. Документація на прилади, що використовуються. Номінальна напруга 380/220В, частота 50 Гц. Забезпечити надійне електропостачання електроапаратного заводу з мінімальними капіталовкладеннями.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розрахунок освітлювального навантаження. Розрахунок електричних навантажень по заводу. Вибір схеми зовнішнього електропостачання. Вибір обладнання та розрахунок струмів короткого замикання. Розрахунок втрат напруги в елементах мережі при максимальному та мініальному режимах. Розробка заземлювального пристрою. Висновки.

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

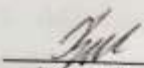
- 1) системи енергозабезпечення, що існують;
- 2) схема підприємства з розміщенням обладнання;
- 3) схема електропостачання;
- 4) схема заміщення для розрахунку струмів короткого;
- 5) графіки;
- 6) висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Курс	Відсоток	
1	Вступ. Короткий опис підприємства. Розрахунок освітлювального навантаження. Опис структури та основного обладнання.	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Розрахунок електричних навантажень по заводу. Вибір схеми зовнішнього електропостачання.	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Вибір обладнання та розрахунок струмів короткого замикання. Розрахунок втрат напруги в елементах мережі при максимальному та мінімальному режимах.	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Розробка заземлювального пристрою.	30.05.24		80 %	Пл. 6
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 7,8

Студент


(підпис)Кисляк К.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)Кислиця С.Г.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

«Розроблення системи електропостачання електроапаратного заводу»

Робота містить 79 сторінок, 10 літературних джерел.

Ключові слова: електропостачання, підстанція, трансформатор

В бакалаврській роботі було розглянуто такі питання: розрахунок електричних навантажень на напругу 0,4/10 кВ; порівняння варіантів зовнішнього електропостачання; вибір обладнання та розрахунок струмів короткого замикання; регулювання рівня напруги у схемі електропостачання електроапаратного заводу, розробка заземлювального устрою.

ABSTRACT

bachelor's qualification work

"Development of the power supply system of the electrical equipment factory"

The work contains 79 pages, 10 literary sources.

Keywords: power supply, substation, transformer

The following issues were considered in the bachelor thesis: calculation of electrical loads at a voltage of 0.4/10 kV; comparison of external power supply options; selection of equipment and calculation of short-circuit currents; regulation of the voltage level in the power supply scheme of the electrical equipment plant, development of the grounding device.

Зміст

ВСТУП.....	6
1 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОАПАРАТНОГО ЗАВОДУ.....	8
1.1 Короткий опис технології виробництва.....	8
1.2 Вихідні дані.....	11
1.3 Розрахунок освітлювального навантаження.....	12
1.4 Розрахунок електричних навантажень по заводу.....	14
1.5 Вибір числа цехових трансформаторів та компенсація реактивної потужності на напругу 0,4 кВ.....	16
1.6 Розрахунок електричних навантажень на шинях 10 кВ.....	20
1.7 Вибір схеми зовнішнього електропостачання.....	22
1.8 Вибір обладнання та розрахунок струмів короткого замикання $U > 1$ кВ.....	33
2 РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ НАПРУГИ У СХЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОАПАРАТНОГО ЗАВОДУ.....	47
2.1 Загальні положення.....	47
2.2 Вихідні дані для розрахунку відхилень напруги.....	49
2.3 Розрахунок втрат напруги в елементах мережі при максимальному та мінімальному режимах.....	52
2.4 Регулювання напруги за допомогою пристрою РПН трансформатора ГПП.....	53
2.5 Регулювання напруги на трансформаторі ТП7 за допомогою ПБВ.....	55
2.6 Розробка заземлювального пристрою.....	57
2.7 Блискавкозахист знижувальної підстанції 110/10.....	63
3. ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ.....	66
3.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій.....	69
3.2 Вибір схеми та розрахунок цехової мережі.....	69
3.3 Аварійне освітлення.....	76
ВИСНОВКИ.....	78
ЛІТЕРАТУРА.....	79
ДОДАТКИ.....	80

ВСТУП

Розвиток народного господарства і промисловості диктує необхідність вдосконалення електроенергетики: створення економічних надійних систем електропостачання. ня електроприводами і технологічними процесами. Найважливіші завдання, вирішувані енергетиками і енергобудівниками, складаються в неперервному збільшенні обсягів виробництва, в скороченні термінів будівництва нових ігор. питомих капіталовкладень, в скороченні питомих витрат палива, підвищенні продуктивності праці, в покращенні структури виробництва електроенергетичної).

Основними споживачами електричної енергії є промисловість, транспорт, сільське господарство, комунальне господарство міст. При цьому на промислові об'єкти доводиться понад сімдесят відсотків споживання електроенергії.

Електроенергія застосовується буквально у всіх галузях народного господарства, особливо для електроприводу різних механізмів, а в останні роки і для різних електротехнологічних систем, електрозварювальних установок, електролізу, електрозвукової обробки матеріалів, електрофарбування.

Велику групу електроприймачів становлять приводи загальнопромислових механізмів, застосовувані у всіх галузях народного господарства, підйомно-транспортні машини, вентилятори.

Електрична енергія є основним видом енергії, що застосовується у виробництві трансформаторів, тому розвиток галузей нерозривно пов'язано з розвитком електроенергетики.

В даний час швидкими темпами розвивається виробництво для впровадження нових, сучасних технологій для поставки на ринок трансформаторів нового покоління, яка допоможе забезпечити якість і надійність електроенергії.

Для забезпечення подачі електроенергії в необхідній кількості і відповідної якості від енергосистем до промислових об'єктів, установкам і механізму промислових підприємств, що складаються з мереж напругою до 1000 В і вище і трансформаторних, перетворювальних і розподільних підстанцій.

Передача, розподіл і споживання виробленої енергії на промислових підприємствах повинні вироблятися з високою економічністю і надійністю. Для забезпечення цього енергетиками створена надійна і економічна система розподілу електроенергії на всіх ступенях застосування напруги з максимальним тиском до споживачів.

Основним завданням проектування об'єктів електропостачання є забезпечення високого ступеня надійності та економічності. Проектування електропостачання промислових підприємств ведеться з урахуванням використання нових досягнень науки і техніки. Проектування електропостачання здійснюється в три стадії: техніко-економічне обґрунтування, технічний проект, робочі креслення. Споруджувані електроустановки повинні забезпечити безпеку експлуатації, надійність і економічність. При проектуванні ці показники досягаються за допомогою техніко-економічних розрахунків.

1 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОАПАРАТНОГО ЗАВОДУ

1.1 Короткий опис технології виробництва

Підприємство розташоване у промислово розвиненому районі. Електроапаратний завод отримує живлення від районної електростанції, призначеної для комплексного отримання теплової та електричної енергії. На підприємстві використані споживачі електроенергії переважно 1 та 2 категорії, отже, підприємство можна віднести до 2 категорії з безперебійності електропостачання – прийємо до встановлення двотрансформаторні цехові підстанції.

Електроапаратобудування відноситься до одного з найскладніших виробництв. Це пов'язано з великою різноманітністю видів, серій і типовиконань апаратів, що випускаються, різноманітністю використовуваних у виробництві матеріалів, оснащення та технологічних процесів. Для спеціалізованих електроапаратних заводів характерна наявність потужної інструментальної бази та сильних технологічних служб, що пояснюється потребою у великій кількості спеціального інструменту, технологічних установок, випробувального обладнання.

Електропостачання цехів здійснюється від вбудованих знижувальних підстанцій. Схема електропостачання заводу дозволяє продовжувати живлення електроприймачів енергією навіть у аварійній ситуації. Технологічний процес виробництва не є безперервним і короткочасна відсутність електроенергії не завдає великої шкоди.

Електроапаратний завод – підприємство, що забезпечує випуск деталей для техніки та продукції широкого вжитку. За своєю структурою завод має основні, заготівельні, допоміжні цехи та кислотне виробництво.

До допоміжних цехів належать ремонтно-механічний цех; апаратний цех; електроцех.

До заготівельних цехів належать заготівельно-зварювальний цех; цех пластмас; цех нормалей; штампувальний цех; цех асбоцементних плит.

До основних цехів належать цех магнітних станцій; гальванічний цех.

Кислотне виробництво: станція нейтралізації; очищення кислотної каналізації; склад кислот; градирна.

Інше призначення: компресорна; насосна; їдальня; заводоуправління.

Цех магнітних станцій – складальний цех, в якому компонуються і збираються магнітні станції, що являють собою рішення в управлінні кількома приводами з різною напругою.

Заготівельно-зварювальний цех проводить зварювання основних вузлів каркасу та даху на стапелях, прокат обшивки даху та боковин, виготовлення рам. Зварювальні роботи та механізми дозволяють отримувати однаково якісне зварювання на кожному агрегаті. У зварювальних цехах виконують різні слюсарно-зварювальні роботи: зварювання кістяків електродвигунів постійного струму, виготовлення зварних кожухів, приварювання до кістяків лап при виготовленні їх з труби, зварювання хрестовин.

Цех пластмас займається штампуванням та монтажем виробів із пластмас. Цех пластмас спеціалізується на лиття пластмас під тиском. Методом пресування з шаруватих і порошкових матеріалів отримують ізоляційні пластмасові прокладки для контактних кілець і опресовують армуючі кільця пластмасою для колекторів на пластмасі.

Апаратний цех виготовляє автоматичні вимикачі, низьковольтну апаратуру та вироби із пластмас.

Цех нормалей призначений виготовлення нормалізованих деталей кріплення, вантажопідйомних гвинтів, дрібних осей і валиків та інших деталей, оброблюваних з прутків на токарних автоматах.

Штампувальний цех роблять штампування листів сердечників, мідних колекторних пластин, деталей щіткотримачів, листів головного полюса.

Цех асбоцементних плит призначений для створення матеріалів для виготовлення електророзподільних щитів, деталей та основ електричних

машин та апаратів. А також корпусів дугогасних камер, прокладок і плит індукційних печей, огорож електропечей і т. д., де необхідний захист і робота при високих напругах.

Гальванічний цех – виробниче приміщення, в якому деталі та вироби покривають тонким шаром металу шляхом електролізу. Електроліз відбувається у спеціальних апаратах — електролізерах чи гальванічних ваннах.

Ремонтно-механічний цех є комплексом з виготовлення запасних частин, технологічного оснащення, нестандартного обладнання, вантажозахоплювальних пристроїв. Так само одним з основних завдань цеху є ремонт вантажопідйомних механізмів основних і допоміжних цехів заводу. До складу технологічного обладнання ремонтно-механічного цеху входять: металообробне, ковальсько-пресове, вантажопідйомне та зварювальне обладнання.

Станція нейтралізації — комплекс споруд та пристроїв, призначений для нейтралізації парів окислювача та пального, стоків стартової позиції, що містять окислювач та пальне, та видачі продуктів нейтралізації на випаровування, майданчик, де відбувається випадання опадів та випарювання води. До складу станції нейтралізації входять ємності для нейтралізації стоків, адсорбери для уловлювання парів окислювача та пального, насосна станція перекачування та агрегати для приготування розчинів, що нейтралізують.

Насосна станція — комплексна система для перекачування рідин з одного місця в інше, включає будівлю та обладнання: насосні агрегати (робочі та резервні) — насоси, трубопроводи та допоміжні пристрої (наприклад трубопровідну арматуру).

Електроцех - виконання робіт з монтажу, демонтажу та ремонту обладнання. На виробничих потужностях ведеться ремонт електродвигунів постійного та змінного струму, різного типу ізоляції, зварювальні трансформатори, генератори. Виготовляються секції обмоток електричних машин.

Градирний - пристрій для охолодження великої кількості води спрямованим потоком атмосферного повітря. Градирні використовуються при кондиціонуванні повітря, для охолодження машинформувальників пластичних мас, при хімічному очищенні речовин.

Склад кислот здійснює прийом, зберігання та передачу таких продуктів: сірчаної кислоти; ортофосфорної кислоти До складу об'єкта входять: насосна та диспетчерська; резервуарний парк ортофосфорної кислоти; резервуарний парк сірчаної кислоти Продукти надходять на склад у залізничних цистернах. Приймання продуктів здійснюється насосами. Зберігання здійснюється у ємностях, обігрів яких здійснюється парою. Видача товарів у виробництво здійснюється насосами. Забезпечення складу азотом на продування та азотне дихання, стисненим повітрям на продування та повітрям КВП, парою на обігрів ємностей здійснюється від загальнозаводських мереж підприємства.

Компресорна станція призначена для отримання стиснутих газів. Стиснутий газ або повітря, що одержується, може використовуватися як енергоносії (для пневматичного інструменту), сировина (отримання окремих газів з повітря), кріоагент (азот). Станція складається з компресора та допоміжного (додаткового) обладнання. Компресорна станція є блок-бокс, в якому і розміщується все встановлене обладнання з обв'язкою.

1.2 Вихідні дані

Відомості про електричні навантаження по цехах заводу – таблиця 1.1.

Живлення заводу може бути здійснено від підстанції енергосистеми, на якій встановлені два триобмотувальні трансформатори потужністю по 40 МВА напругою 115/37/10,5 кВ. Робота трансформаторів роздільна. Потужність системи 800 МВА, реактивний опір за 115 кВ, віднесена до потужності системи 0,4. Відстань від підстанції до заводу 3 км. Завод працює на дві зміни [2].

Таблиця 1.1 - Електричні навантаження

№ № п/п	Найменування	Колво ЕП, n	Встановлена потужність, кВт	
			Одного ЕП, P _н	P _н
1	Цех магнітних станцій	280	1-100	6500
2	Заготівельно-зварювальний цех	200	10-100	8200
3	Цех пластмас	100	1-120	2100
4	Апаратний цех	100	10-80	1700
5	Цех нормалей	70	1-50	1850
6	Штампувальний цех	100	10-100	3800
7	Цех азбоцементних плит	50	10-40	850
8	Склад готової продукції	15	1-20	85
9	Склад металевих відходів	15	1-14	70
10	Гальванічний цех	50	10-40	1200
11	Ремонтно-механічний цех	39	4-35	1500
12	Станція нейтралізації	10	10	100
13	Очищення кислотної каналізації	3	10	30
14	Насосна	8	40-100	560
15	Їдальня	30	1-40	270
16	Електроцех	25	1-40	150
17	Заводоуправління	20	1-20	130
18	Градирна	2	10-20	30
19	Склад кислот	2	10-20	30
20	Компресорна: а) 0,4 кВ	15	10-40	200
	б) ЦД 10 кВ	4	800	3200

1.3 Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок освітлювального навантаження щодо навантаження підприємства виробляємо спрощеним методом по питомій щільності освітлювального навантаження на квадратний метр виробничих площ і коефіцієнту попиту. [2]

За цим методом розрахункове освітлювальне навантаження приймається рівною середньої потужності освітлення за найбільш завантажену зміну.

Розрахунок ведеться за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту. Для визначення розрахункових навантажень за цим методом необхідно знати встановлену потужність групи електроприймачів, коефіцієнти потужності та попиту цієї групи, що визначаються за довідковими матеріалами.

Розрахункове навантаження для однорідних за режимом роботи приймачів визначається наступним чином:

$$P_p = K_p \cdot P_{\text{ном}}, \quad (1.1)$$

де K_p - коефіцієнт попиту;

$P_{\text{ном}}$ - сумарна номінальна потужність електроприймачів цеху, кВт.

Розрахункове реактивне навантаження, квар

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

Розрахункове навантаження електричного освітлення визначається за формулою, кВт

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{н.о}} \cdot K_{\text{п.о}}, \quad (1.3)$$

де $K_{\text{п.о}}$ - коефіцієнт попиту на освітлювальну установку.

$P_{\text{н.о}}$ - сумарна номінальна потужність освітлювального навантаження, кВт

$$P_{\text{н.о}} = P_{\text{пит.о}} \cdot F, \quad (1.4)$$

де $P_{\text{пит.о}}$ - питома щільність навантаження на 1 м² виробничої площі, кВт / м²;

F - площа відповідного цеху, м².

Повне розрахункове навантаження цеху, кВт·А

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о}})^2 + Q_p^2}, \quad (1.5)$$

де S – площа виробничого приміщення, що визначається за генеральним планом заводу, м²; ρ_0 – питома розрахункова потужність, кВт/ м².

1.4 Розрахунок електричних навантажень по заводу

Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ цехами заводу виробляємо методом «Упорядкованих діаграм» спрощеним способом.

Втрати в цехових трансформаторах, кВт, квар.

$$\Delta P_{ц,т} = 0,02 \cdot S_{рц,т}, \quad (1.6)$$

$$\Delta P_{ц,т} = 0,02 \cdot 7674,73 = 153,49 = 275,83$$

$$\Delta Q_{ц,т} = 0,1 \cdot S_{рц,т}, \quad (1.7)$$

$$\Delta Q_{ц,т} = 0,1 \cdot 7674,73 = 767,47$$

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв по підприємству в цілому, квар

$$Q_{кп} = Q_{р\Sigma 0,4кВ} + \Delta Q_{ц,т} - Q_e, \quad (1.8)$$

де Q_e - значення реактивної потужності, що видається підприємству енергосистемою, квар

$$Q_{кп} = 4760 + 767,47 - 1654,06 = 3873,41$$

Нескомпенсована реактивна потужність заводу, яка віднесеться до шин 10 кВ ГПП з урахуванням коефіцієнта різночасності максимуму силового навантаження, буде рівна, квар

$$Q_{10} = Q_{р\Sigma 0,4кВ} \cdot K_{рм} - Q_{кп}, \quad (1.9)$$

де $K_{рм}$ - коефіцієнт різночасності максимуму

$$Q_{10} = 4760 \cdot 0,9 - 3873,41 = 410,59$$

Втрати активної потужності в батареях статистичних конденсаторів, кВт

$$\Delta P_{\text{кп}} = P_{\text{пв}} \cdot Q_{\text{кп}}, \quad (1.10)$$

де $P_{\text{пв}}$ - питомі втрати в БСК, кВт / кВар.

$$\Delta P_{\text{кп}} = 0,002 \cdot 3873,41 = 7,75$$

Активна сумарна потужність заводу, віднесена до шин 10кВ ГПП з урахуванням коефіцієнта різночасності максимального силового навантаження, кВт

$$P_{10} = P_{\text{р}\Sigma} \cdot K_{\text{рм}} + P_{\text{ро}} + \Delta P_{\text{кп}} + \Delta P_{\text{цт}}, \quad (1.11)$$

$$P_{10} = 6904 \cdot 0,9 + 1366,3 + 7,75 + 275,83 = 7741,14$$

Повна сумарна потужність на шинах 10кВ ГПП, кВ·А

$$S_{10} = \sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2}, \quad (1.12)$$

$$S_{10} = \sqrt{7741,14^2 + 410,59^2} = 7752,02$$

Втрати потужності в трансформаторах ГПП визначаємо приблизно, кВт,

$$\Delta P_{\text{т.гпт}} = 0,02 \cdot S_{10}, \quad (1.13)$$

$$\Delta P_{\text{т.гпт}} = 0,02 \cdot 7752,02 = 155,04$$

$$\Delta Q_{\text{т.гпт}} = 0,1 \cdot S_{10}, \quad (1.14)$$

$$\Delta Q_{\text{т.гпт}} = 0,1 \cdot 7752,02 = 775,2$$

Повна розрахункова потужність заводу на стороні вищої напруги ГПП,
кВ·А

$$S_{\text{р.вн}} = \sqrt{(P_{10} + \Delta P_{\text{т.гпт}})^2 + (Q_{10} + \Delta Q_{\text{т.гпт}})^2}, \quad (1.15)$$

$$S_{\text{р.вн}} = \sqrt{(7741,14 + 155,04)^2 + (410,59 + 775,2)^2} = 7984,72$$

1.5 Вибір числа цехових трансформаторів та компенсація реактивної потужності на напругу 0,4 кВ

Правильне визначення числа та потужності цехових трансформаторів можливе лише шляхом техніко-економічних розрахунків з урахуванням наступних факторів: категорії надійності електропостачання споживачів; компенсації реактивних навантажень на напрузі до 1кВ; перевантажувальної здатності трансформаторів у нормальному та аварійному режимах; кроки стандартних потужностей; економічних режимів роботи трансформаторів, залежно від графіка навантаження. [2] Дані для розрахунку:

$$P_{\text{р0,4}} = 13745,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р0,4}} = 11672,3 \text{ квар}; S_{\text{р0,4}} = 17\,827 \text{ кВА}.$$

Електроапаратаний завод належить до 2 категорії споживачів, завод працює на дві зміни, отже, коефіцієнт завантаження трансформаторів

$K_{зтр} = 0,8$. При густині навантаження напругою 380В до 0,2-0,3 кВА/м² приймаємо трансформатор потужністю $S_{нт} = 1000$ кВА.

Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності мінімальне їх число, необхідне для живлення найбільшого розрахункового активного навантаження, розраховується за формулою:

$$N_{т\ min} = \frac{P_{р0,4}}{K_3 \times S_{нт}} + \Delta N = \frac{13475,1}{0,8 \times 1000} + 0,156 = 17,$$

де $P_{р0,4}$ - сумарне розрахункове активне навантаження;

K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора;

$S_{нт}$ - прийнята номінальна потужність трансформатора;

ΔN - добавка до найближчого цілого числа.

Економічно доцільне число трансформаторів визначається за такою формулою:

$$N_{т.э} = N_{\min} + m,$$

де m - додаткова кількість трансформаторів;

$N_{т.э}$ - визначається питомими витратами на передачу реактивної потужності з урахуванням постійних складових капітальних витрат

$$Z_{п/ст}^* = 0,5; K_3 = 0,8; N_{\min} = 6; \Delta N = 0,669,$$

тоді з довідника з кривих визначаємо m , для нашого випадку $m=1$, отже $N_{т.э} = 17+1=18$ трансформаторів.

За вибраним числом трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність Q_1 , яку доцільно передати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ, визначається за формулою [2]:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{тэ} \times S_{нт} \times K_3)^2 - P_{р0,4}^2} = \sqrt{(18 \times 1000 \times 0,8)^2 - 13475,1^2} = 5077,5 \text{ квар.}$$

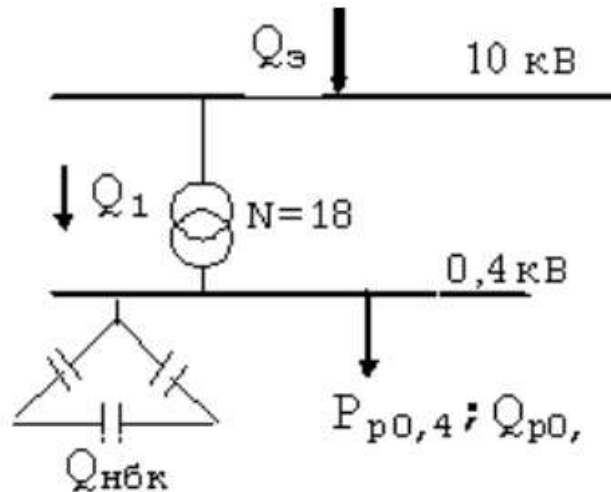


Рисунок 1.1 – Схема заміщення

З умови балансу реактивної потужності на шинах 0,4 кВ визначимо величину $Q_{\text{нбк}1}$:

$$Q_{\text{нбк}1} + Q_1 = Q_{p0,4},$$

$$Q_{\text{нбк}1} = Q_{p0,4} - Q_1 = 11672 - 5077,5 = 6594,5 \text{ квар.}$$

Додаткова потужність $Q_{\text{нбк}2} < 0$, приймаю $Q_{\text{нбк}2} = 0$, звідси випливає, що

$$Q_{\text{нбк}} = Q_{\text{нбк}1} + Q_{\text{нбк}2} = 6594,5 + 0 = 6594,5 \text{ квар.}$$

Визначимо потужність однієї батареї конденсаторів, яка припадає на кожен трансформатор:

$$Q_{\text{нбк} \text{ тп}} = \frac{Q_{\text{нбк}}}{N_{\text{ТЗ}}} = \frac{6594,5}{18} = 366,36 \approx 300 \text{ квар.}$$

Приймаємо НБК: КК-0,38-300 УЗ[3]

ТП1, ТП2: $Q_{p\text{ ТП } 1,2} = 2764,73$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 1,2} = x$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 1,2} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 1,2}}{Q_{p0,4}} = \frac{2764,73 \times 6594,5}{11672,3} = 1562 \text{ квар.}$$

ТП3, ТП4 : $Q_{p\text{ ТП } 3,4} = 2220,3$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 3,4} = x$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 3,4} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 3,4}}{Q_{p0,4}} = \frac{2220,3 \times 6594,5}{11672,3} = 1255 \text{ квар.}$$

ТП5, ТП6, ТП7 : $Q_{p\text{ ТП } 5,6,7} = 4738,9$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 5,6,7} = x$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 5,6,7} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 5,6,7}}{Q_{p0,4}} = \frac{4738,9 \times 6594,5}{11672,3} = 2677,5 \text{ квар.}$$

ТП8, ТП9 : $Q_{p\text{ ТП } 8,9} = 1948,3$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 8,9} = x$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 8,9} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 8,9}}{Q_{p0,4}} = \frac{1948,3 \times 6594,5}{11672,3} = 1100,8 \text{ квар.}$$

Розрахункові дані щодо розподілу $Q_{\text{нбк}}$ по ТП зведемо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Уточнений розподіл $Q_{\text{нбк}}$ по ТП

№№ ТП	$Q_{p\text{ ТП}}$, квар	$Q_{p\text{ нбк ТП}}$, квар	$Q_{\text{факт нбк ТП}}$, квар	$Q_{\text{нест ТП}}$, квар
ТП1, ТП2	2764,3	1562	4x300+2x150	1214,7
ТП3, ТП4	2220,3	1254,5	4x300	1020,3
ТП5, ТП6, ТП7	4738,9	2677,5	8x300+4x75	2038,9
ТП8, ТП9	1948,9	1100,8	4x300	748,3
РАЗОМ	11672,3	6537,75	6650	5022,3

1.6 Розрахунок електричних навантажень на шинах 10 кВ

1.6.1 Визначення втрат потужності у цехових трансформаторах

Вибираємо трансформатори типу ТМЗ-1000-10/0,4. [3]

Паспортні дані: $S_{HT} = 1000$ кВА; $I_x = 1,4\%$; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{xx} = 2,1$ кВт;

$\Delta P_{кз} = 12,6$ кВт.

ТП1, ТП2: $K_3 = 0,82$; $N = 4$;

$$\sum \Delta P_T = (2,1 + 12,6 \times 0,82^2) \times 4 = 42,4 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_T = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,82^2 \right) \times 4 = 204 \text{ квар};$$

ТП3, ТП4: $K_3 = 0,76$; $N = 4$;

$$\sum \Delta P_T = (2,1 + 12,6 \times 0,76^2) \times 4 = 37,6 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_T = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,76^2 \right) \times 4 = 183,2 \text{ квар};$$

ТП5, ТП6, ТП7: $K_3 = 0,85$; $N = 6$;

$$\sum \Delta P_T = (2,1 + 12,6 \times 0,85^2) \times 6 = 67,2 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_T = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,85^2 \right) \times 6 = 322,2 \text{ квар};$$

ТП8, ТП9: $K_3 = 0,8$; $N = 4$;

$$\sum \Delta P_T = (2,1 + 12,6 \times 0,8^2) \times 4 = 40,6 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_T = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,8^2 \right) \times 4 = 196,8 \text{ квар};$$

Сумарні втрати потужності:

$$\sum_1^8 \Delta P_{mp} = 187,8 \text{ кВт}; \quad \sum_1^8 \Delta Q_m = 906,2 \text{ квар}.$$

1.5.2 Визначення розрахункової потужності синхронних двигунів
Розрахункова активна потужність ЦД:

$$P_{p\text{ сд}} = P_{н\text{ сд}} \times K_3 \times N.$$

Розрахункова реактивна потужність ЦД:

$$Q_{p\text{ сд}} = P_{н\text{ сд}} \times K_3 \times N \times \operatorname{tg} \varphi.$$

Вихідні дані: $P_{нсд} = 800$ кВт; кількість двигунів $N = 4$;
коефіцієнт завантаження $K_3 = 0,8$; $\cos \varphi = 0,9$.

$$P_{p\text{ сд}} = 800 \times 0,8 \times 4 = 2560 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\text{ сд}} = 800 \times 0,8 \times 4 \times 0,48 = 1228,8 \text{ квар.}$$

1.5.3 Визначення потужності високовольтних батарей конденсаторів.
Складемо рівняння балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{вбк} = Q_{p0,4} + \Sigma \Delta Q_{тр} + Q_{рез} - Q_3 - Q_{нбк} - Q_{сд}.$$

Резервна потужність:

$$Q_{рез} = 0,1 \times \Sigma Q_{расч} = 0,1 \times (Q_{p0,4} + \Sigma \Delta Q_{тр}) = 0,1 \times (11672,3 + 906,2) = 1258 \text{ квар.}$$

Потужність від енергосистеми:

$$Q_3 = (0,23 - 0,25) \times \Sigma P_p = 0,25 \times (P_{p0,4} + \Sigma \Delta P_{тр} + P_{p\text{ сд}});$$

$$Q_3 = 0,25 \times (13475,1 + 187,8 + 2560) = 4055 \text{ квар.}$$

З рівняння балансу реактивної потужності знайдемо $Q_{вбк}$:

$$Q_{вбк} = 11672,3 + 906,2 + 1257,9 - 4054,7 - 6650 - 1228,8 = 1902,9 \text{ квар.}$$

Так як $Q_{вбк} = 1902,9$ квар, то потужність однієї батареї 900 квар,

$$Q_{вбк} = 2 \times 900 = 1800 \text{ квар.}$$

1.7 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Живлення заводу можна здійснити від підстанції енергосистеми. На підстанції встановлено два триобмотувальні трансформатори потужністю по 40 МВА, напругою 115/37/10,5 кВ. Трансформатори працюють окремо. Відстань від підстанції енергосистеми до 3 км. [2]

I варіант: 115 кВ.

II варіант: 37 кВ.

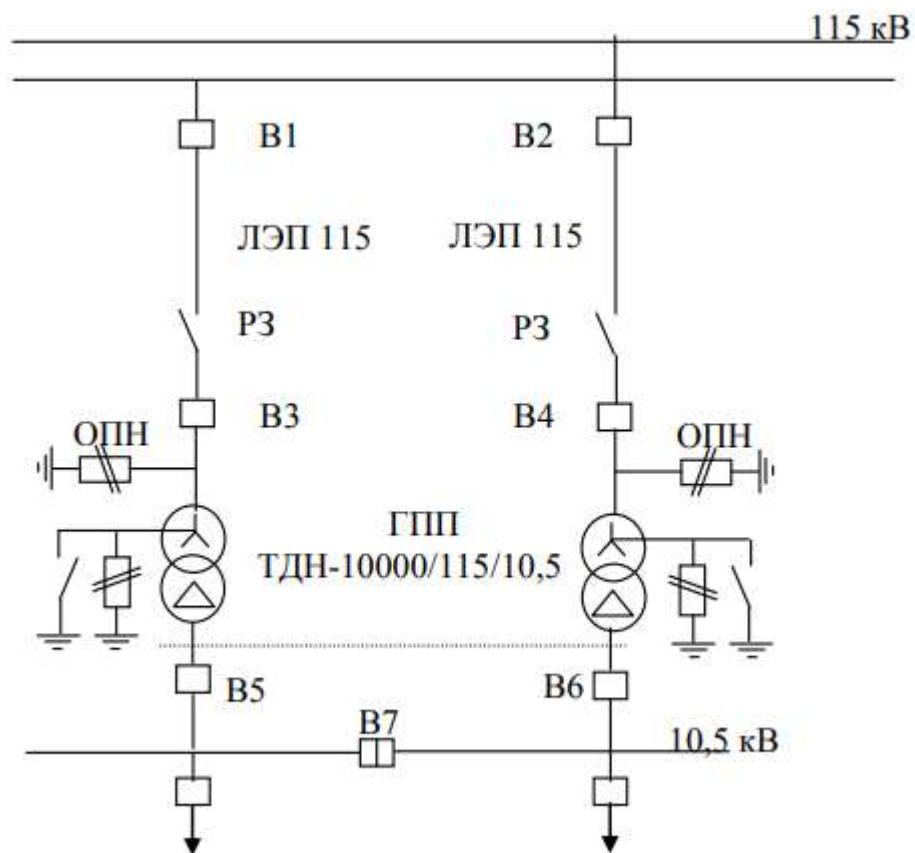


Рисунок 1.4 – Перший варіант схеми електропостачання

1. Вибираємо трансформатори ГПП:

$$S_{\text{тр гпп}} = \sqrt{P_p^2 + Q_s^2} = \sqrt{16350,6^2 + 4055^2} = 16592 \text{кВА.}$$

Вибираємо 2 трансформатори потужністю 16000 кВА.

Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_{pzn}}{2 \cdot S_{npr}} = \frac{16592}{2 \cdot 10000} = 0,83.$$

Остаточно приймаємо 2 трансформатори типу ТДН-10000/110.

Паспортні дані трансформаторів:

$S_H = 10000$ кВА; $U_{BH} = 110$ кВ; $U_{HH} = 10,5$ кВ; $\Delta P_{XX} = 14$ кВт;

$\Delta P_{K3} = 58$ кВт; $U_{K3} = 10,5\%$; $I_{XX} = 0,9\%$.

Розрахуємо втрати потужності у цих трансформаторах:

$$\Delta P_{тр \text{ ГПП}} = 2(\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) = 2(14 + 58 \cdot 0,83^2) = 107,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{тр \text{ ГПП}} = 2\left(\frac{I_{XX}}{100} \cdot S_{HT} + \frac{U_{K3}}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2\right) = 2\left(\frac{0,9}{100} \cdot 10000 + \frac{10,5}{100} \cdot 10000 \cdot 0,83^2\right) = 1626,7 \text{ квар.}$$

Визначимо втрати електричної енергії у трансформаторах ГПП:

При двозмінному режимі роботи число годин включення $T_{вкл} = 4000$ год і кількість годин використання максимуму активного навантаження $T_M = 3000$ год.

$$\Delta W_{т \text{ ГПП}} = 2 \times (\Delta P_{XX} \times T_{вкл} + \tau \times \Delta P_{K3} \times K_3^2),$$

$$\text{де } \tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1574,8 \text{ год. — час максимальних втрат.}$$

$$\Delta W_{тр \text{ ГПП}} = 2(14 \cdot 4000 + 58 \cdot 1574,8 \cdot 0,83^2) = 237849 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

2. Вибираємо переріз проводів ЛЕП 110 кВ: Визначимо потужність, що проходить ЛЕП:

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{прзлн}})^2 + Q_s^2} = \sqrt{(16350,6 + 107,9)^2 + 4055^2} = 16950,6 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм однієї лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{16950,6}{2\sqrt{3} \cdot 115} = 42,5 \text{ А.}$$

Аварійний струм: $I_{\text{ав}} = 2 I_r = 2 \cdot 42,5 = 85 \text{ А.}$

а) Визначимо перетин по густині струму:

$$F_e = I_p / J_e = 42,5 / 1,1 = 38,7 \text{ мм}^2;$$

$$J_e = 1,1 \text{ А/мм}^2 \text{ (Al, } T_m = 4000 \text{ год).}$$

Вибираємо провід перетином 50 мм^2 .

б) За умови втрат на корону для ПЛ-110 кВ перетин має бути не менше 70 мм^2 .

Приймаємо провід АС-70, $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А.}$

в) Перевіримо провід по робочому струму:

$$I_{\text{доп пров}} \geq I_p \text{ (} 265 \text{ А} > 42,5 \text{ А).}$$

г) Перевіримо провід за аварійним режимом:

$$I_{\text{доп ав}} \geq I_{\text{ав}},$$

де $I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 265 = 344,5 \text{ А, (} 344,5 \text{ А} > 85 \text{ А).}$

Визначимо втрати електроенергії у ЛЕП-110 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2(3I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau) = 2 \cdot 3 \cdot 42,5^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 23608 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,46 \cdot 3 = 1,38 \text{ Ом.}$$

3. Перед вибором апаратів складемо схему заміщення та розрахуємо струм короткого замикання.

Складемо схему заміщення:

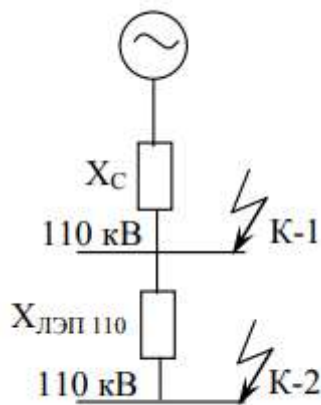


Рисунок 1.5 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

$$S_{\delta}=1000 \text{ МВА}; U_{\delta}=115 \text{ кВ}; X_c=0,4 \text{ о.е.}$$

$$I_{\delta}=\frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}=5,02 \text{ кА.}$$

Опір ЛЕП:

$$X_{\text{лэп}}=X_0 \cdot l \cdot S_{\delta}/U_{\text{ср}}^2=0,343 \cdot 1000/115^2=0,077.$$

Розрахуємо діюче значення струму кз у точці К1:

$$I_{\text{к1}}=\frac{I_{\delta}}{X_c}=0,5/0,4=1,25 \text{ кА.}$$

Ударний струм кз:

$$i_{\text{уд1}}=\sqrt{2} K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к1}}=\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,25=3,1 \text{ кА.}$$

Діюче значення струму кз у точці К2:

$$I_{\text{к2}}=\frac{I_{\delta}}{X_c + X_{\text{лэп}}}=\frac{0,5}{0,4+0,077}=1,24 \text{ кА.}$$

Ударний струм кз:

$$i_{\text{уд2}}=\sqrt{2} K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к2}}=\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,24=3,15 \text{ кА.}$$

Потужність кз у точці К1:

$$S_{к1} = \sqrt{3} U_{б} I_{к1} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 1,25 = 248 \text{ МВА.}$$

Потужність кз у точці К2:

$$S_{к2} = \sqrt{3} U_{б} I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 1,24 = 246 \text{ МВА.}$$

4. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на $U = 115 \text{ кВ}$

Таблиця 1.3 – Вибираємо вимикачі типу 121PM40-20В фірми АВВ

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_{н} = 110 \text{ кВ}$ $I_{н} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{дін}} = 52 \text{ кА}$	$U_{р} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 85 \text{ А}$ $I_{к1} = 1,25 \text{ кА}$ $i_{\text{уд1}} = 3,15 \text{ кА}$	$U_{н} \geq U_{р}$ $I_{н} \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{вимк}} \geq I_{к1}$ $I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд1}}$

Виберемо роз'єднувачі 110 кВ:

Таблиця 1.4 - Вибираємо роз'єднувачі типу РНДЗ-110/630 У1

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_{н} = 110 \text{ кВ}$ $I_{н} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вкв.ампл.}} = 80 \text{ кА}$ $I_{\text{попер. терм. ст.}} = 31,5 \text{ кА}$	$U_{р} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 85 \text{ А}$ $i_{\text{уд2}} = 3,15 \text{ кА}$ $I_{к2} = 1,25 \text{ кА}$	$U_{н} \geq U_{р}$ $I_{н} \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{вкв.ампл.}} \geq i_{\text{уд2}}$ $I_{\text{перед.терм. ст}} \geq I_{к2}$

Виберемо вимикачі В3, В4:

Таблиця 1.5 – Вибираємо вимикачі типу 121PM40-20В фірми АВВ

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_{н} = 110 \text{ кВ}$ $I_{н} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 20 \text{ кА}$ $I_{\text{дін}} = 52 \text{ кА}$	$U_{р} = 110 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 85 \text{ А}$ $i_{\text{уд2}} = 3,15 \text{ кА}$ $I_{к2} = 1,25 \text{ кА}$	$U_{н} \geq U_{р}$ $I_{н} \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{вимк}} \geq I_{к1}$ $I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд1}}$

Обмежувачі перенапруги:

Вибираємо обмежувачі перенапругитипу ОПН-110/420/56-10 УХЛ1,

$U_H = 110$ кВ. [10]

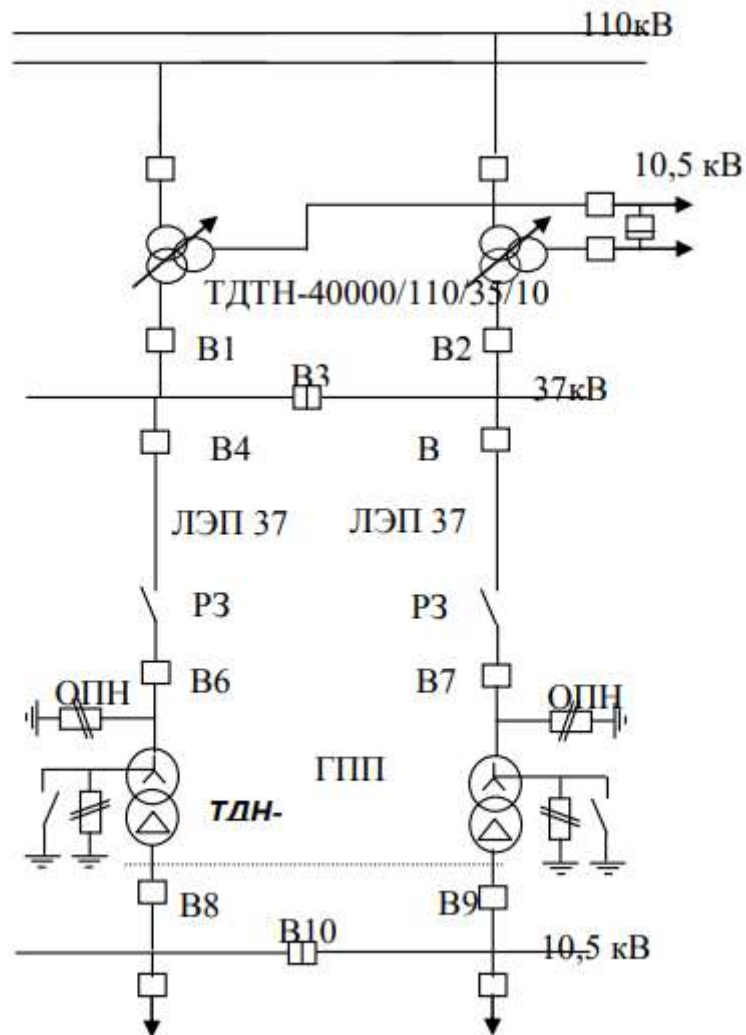


Рисунок 1.6 – Другий варіант схеми електропостачання

1. Вибір трансформаторів ГПП:

Вибираємо два трансформатори типу ТДН-10000/35; $S_{H\text{ тр}} = 10000$ кВА;

$K_3 = 0,82$. [10]

Паспортні дані трансформаторів : $S_H = 10000$ кВА; $U_{BH} = 37$ кВ;

$U_{HH} = 11$ кВ; $\Delta P_{xx} = 12$ кВт; $\Delta P_{k3} = 60$ кВт; $U_{k3} = 8\%$; $I_{xx} = 0,75\%$.

Розрахуємо втрати потужності у цих трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тр ГПП}} = 2(\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3} \cdot K_3^2) = 2(12 + 60 \cdot 0,82^2) = 106,6 \text{ кВт};$$

Знайдемо втрати електроенергії у трансформаторах ГПП:

При двозмінному режимі роботи число годин включення $T_{\text{вкл}} = 3000$ год і кількість годин використання максимуму активного навантаження

$$T_{\text{м}} = 4000 \text{ год.}$$

$$\Delta W_{\text{тр ГПП}} = 2(\Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \times K_3^2),$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1574,8 \text{ год - час максимальних втрат.}$$

$$\Delta W_{\text{тр ГПП}} = 2(12 \cdot 4000 + 60 \cdot 1574,8 \cdot 0,83^2) = 226189 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

2. Виберемо перетин ЛЕП-35 кВ: Визначимо потужність, що проходить по ЛЕП:

$$S_{\text{лєп}} = \sqrt{(P_{\rho} + \Delta P_{\text{трєлєп}})^2 + Q_3^2} = \sqrt{(16350,6 + 10,67)^2 + 4055^2} = 16949 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм однієї лінії:

$$I_{\rho} = \frac{S_{\text{лєп}}}{2\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{16949}{2\sqrt{3} \cdot 37} = 132,2 \text{ А.}$$

Аварійний струм:

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_{\rho} = 2 \cdot 132,2 = 264,4 \text{ А.}$$

а) Визначимо перетин по густині струму:

$$F_3 = I_{\rho} / J_3 = 132,21,1 = 120 \text{ мм}^2.$$

$$J_3 = 1,1 \text{ А/мм}^2 \text{ (Al, } T_{\text{м}} = 4000 \text{ ч).}$$

Вибираємо провід перетином 120 мм^2 ($I_{\text{доп}} = 380 \text{ А}$).

Приймаємо провід типу АС-120.

б) Перевіримо провід за пропускнуою спроможністю:

$$I_{\text{дод пров}} \geq I_p ;$$

$$(380\text{A} > 132,2\text{A}).$$

в) Перевіримо провід за аварійним режимом: $I_{\text{додаток ав}} \geq I_{\text{ав}}$,

$$\text{де } I_{\text{дод ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 380 = 493\text{A}, (493\text{A} > 264,4\text{A}).$$

Визначимо втрати електроенергії у ЛЕП-35 кВ:

$$\Delta W_{\text{лєп}} = 2(3I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau) = 2 \cdot 3 \cdot 132,2^2 \cdot 0,81 \cdot 10^{-3} \cdot 1574,8 = 133837 \text{ кВт}$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,27 \cdot 3 = 0,81 \text{ Ом}.$$

3. Вибираємо трансформатори енергосистеми: Вибираємо два трансформатори типу ТДТН-40000/110. [10]

Паспортні дані трансформаторів:

$$S_{\text{н}} = 40000 \text{ кВА}; U_{\text{вн}} = 115 \text{ кВ}; U_{\text{сн}} = 38,5 \text{ кВ}; U_{\text{нн}} = 11 \text{ кВ}; \Delta P_{\text{хх}} = 43 \text{ кВт}; \\ \Delta P_{\text{кз}} = 200 \text{ кВт}; U_{\text{кв-н}} = 17,5\%; U_{\text{кв-сн}} = 6,5\%; U_{\text{кв-з}} = 10,5\%.$$

Знайдемо γ_1 – коефіцієнт пайової участі проектуваного заводу у потужності трансформаторів енергосистеми:

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{лєп 35}}}{2 * S_{\text{н.т.р}}} = \frac{16592}{2 * 40000} = 0,2.$$

Пайовою участю у втратах ΔP і ΔQ у трансформаторах енергосистеми нехтуємо.

4. Вибираємо вимикачі, роз'єднувачі, ОПН на напругу 35 кВ: Для вибору обладнання розрахуємо струм к.з.:

$$X_c = 0,4 \text{ о.е.}; S_6 = 1000 \text{ МВА}; U_6 = 37 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = 15,6 \text{ кА}.$$

$$X_{\text{т.р}} = \frac{U_{\text{вс}} \times S_6}{100 \times S_{\text{н.т.р}}} = \frac{10,5 \times 1000}{100 \times 40} = 2,63 \text{ о.е.};$$

Складемо схему заміщення:

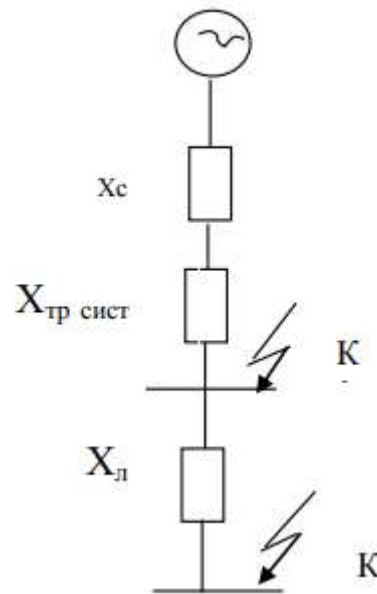


Рисунок 1.7 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір ЛЕП:

$$X_{л\text{эп}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_0}{U_{cp}^2} = 0,32 \cdot 8 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,07 \text{ о.е.}$$

Розрахуємо діюче значення струму кз у точці К1:

$$I_{к1} = \frac{I_0}{X_c + X_{тр}} = \frac{15,6}{1,1 + 2,63} = 11,1 \text{ кА.}$$

Ударний струм кз:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} K_{уд} \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 11,1 = 28,17 \text{ кА.}$$

Діюче значення струму кз у точці К2:

$$I_{к2} = \frac{I_0}{X_c + X_{тр} + X_{л\text{эп}}} = \frac{15,6}{0,4 + 2,63 + 0,07} = 7,8 \text{ кА.}$$

Ударний струм кз:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} K_{уд} \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,8 = 19,79 \text{ кА.}$$

Потужність кз у точці К1:

$$S_{к1} = \sqrt{3} U_6 \cdot I_{к1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 1,11 = 768,1 \text{ МВА.}$$

Потужність кз у точці К2:

$$S_{к2} = \sqrt{3} U_6 \cdot I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 7,8 = 499,2 \text{ МВА.}$$

5. Вимикачі В1, В2 вибираємо за аварійним струмом трансформаторів системи.

Приймаємо, що потужність за двома вторинними обмотками трансформатора розподілена по 50%, тому потужність аварійного режиму трансформаторів дорівнює $2 \times 20 = 40$ МВА. Знайдемо струм, що проходить через вимикачі В1 і В2:

$$I_{авВ1,В2} = \frac{S_{автр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 624,9 \text{ А.}$$

Таблиця 1.6 - Вибираємо вимикачі В1, В2 типу ВМУЕ-35Б-25/1250УХЛ1

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_n = 37 \text{ кВ}$ $I_n = 1250 \text{ А}$ $I_{вимк} = 25 \text{ кА}$	$U_p = 35 \text{ кВ}$ $I_{автр сист} = 624,9 \text{ А}$ $I_{к1} = 7,8 \text{ кА}$	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{автр сист}$ $I_{відкл} \geq I_{к1}$

Секційний вимикач В3 вибираємо струмом в 2 рази менше аварійного. Знайдемо струм, що проходить через вимикач В3:

$$I_{В3} = \frac{I_{ав}}{2} = \frac{624,9}{2} = 312,45 \text{ А.}$$

Таблиця 1.7 - Вибираємо вимикач типу ВМУЕ-35Б-25/650УХЛ1

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_H = 37\text{кВ}$ $I_H = 650\text{ А}$ $I_{\text{ВИМК}} = 25\text{ кА}$	$U_p = 35\text{ кВ}$ $I_{\text{ртр сист}} = 312,45\text{А}$ $I_{\text{к1}} = 7,8\text{ кА}$	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{\text{ртр сист}}$ $I_{\text{ВІДКЛ}} \geq I_{\text{к1}}$

$$\gamma_{2В1,В2} = \frac{I_{\text{авзав}}}{I_{\text{НОМВЫК1}}} = \frac{258,8}{1000} = 0,25;$$

$$\gamma_{3В3} = \frac{I_{\text{рзав}}}{I_{\text{НОМВ3}}} = \frac{129,4}{630} = 0,2.$$

Вимикачі В4-В7 вибираємо за аварійним струмом заводу.

$$I_{\text{ав зав}} = 264,4\text{А.}$$

Таблиця 1.8 - Вибираємо вимикачі типу ВМУЕ-35Б-25/650УХЛ1

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_H = 37\text{кВ}$ $I_H = 650\text{ А}$ $I_{\text{ВИМК}} = 25\text{ кА}$	$U_p = 35\text{ кВ}$ $I_{\text{авзав}} = 264,4\text{А}$ $I_{\text{к1}} = 7,8\text{ кА}$	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{\text{авзав}}$ $I_{\text{ВИМК}} \geq I_{\text{к1}}$

Таблиця 1.9 – Вибираємо роз'єднувачі типу РНДЗ-2-35/1000У1

Паспортні данні	Розрахункові дані	Умови вибору
$U_H = 35\text{ кВ}$ $I_H = 1000\text{А}$ $I_{\text{ВКВ . ампл.}} = 63\text{ кА}$ $I_{\text{попер . терм. ст.}} = 25\text{ кА}$	$U_p = 35\text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 264,4\text{А}$ $i_{\text{уд2}} = 19,78\text{ кА}$ $I_{\text{к2}} = 7,8\text{ кА}$	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{ВКВ . ампл.}} \geq i_{\text{уд2}}$ $I_{\text{попер . терм. ст.}} \geq I_{\text{к2}}$

6. Обмежувачі перенапруги ОПНп-35/400/40,5-10 УХЛ1, $U_H = 35\text{ кВ}$.

Таблиця 1.10 - Результати ПЕР

Варіанти	U_H , кВ	K_{Σ} , тис.у.о.	I_{Σ} , тис.у.о.	Z_{Σ} , тис.у.о.
I	115	202,16	38,21	62,47
II	37	176,66	43,61	64,82

Висновок: проходить I варіант за мінімальними наведеними річними витратами.

1.8 Вибір обладнання та розрахунок струмів короткого замикання $U > 1 \text{ кВ}$

1.8.1 Розрахунок струмів короткого замикання $I_{кз}$ ($U = 10,5 \text{ кВ}$) з урахуванням підживлення від ЦД.

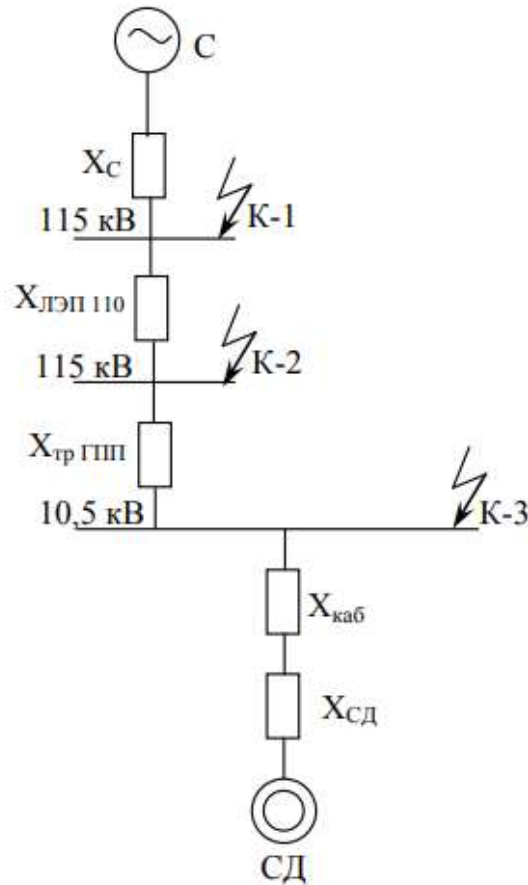


Рисунок 1.8 – Схема заміщення електропостачання ГПП

$$S_6 = 1000 \text{ МВА}; x_c = 0,4; U_6 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 10,5} = 54,9 \text{ кА};$$

$$x_{лзп} = \frac{x_0 \times L \times S_6}{U_{cp}^2} = \frac{0,34 \times 3 \times 1000}{115^2} = 0,13;$$

$$x_{гр.ГПП} = \frac{U_{кз} \times S_6}{100 \times S_{нт}} = \frac{10,5 \times 1000}{100 \times 10} = 10,5;$$

$$I'_{к-3} = \frac{I_6}{x_c + x_{лзп} + x_{гр.ГПП}} = \frac{54,9}{0,2 + 0,13 + 10,5} = 4,6 \text{ кА}.$$

Розрахуємо струм від ЦД:

Вихідні дані: $P_{\text{н.сд}} = 800$ кВт; $\cos \varphi = 0,9$; $N_{\text{сд}} = 4$; $k_3 = 0,85$.

$$S_{\text{н.сд}} = \frac{P_{\text{н.сд}}}{\cos \varphi} = \frac{800}{0,9} = 888 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{сд}} = \frac{S_{\text{н.сд}} \times K_3}{\sqrt{3} \times U} = \frac{1388,8 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 64,9 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель до ЦД:

а) з економічної щільності струму:

$$F_э = \frac{I_{\text{п}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{41,5}{1,4} = 29,6 \text{ мм}^2.$$

б) за мінімальним перерізом:

$$F_{\text{мін}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{привед}}} = 49,1 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо кабель маркою ААШВ-10-(3 × 50)+(1 × 35), $I_{\text{доп}} = 140$ А.

Дані кабелю: $r_0 = 0,625$ Ом/км; $x_0 = 0,085$ Ом/км.

$$X_{\text{каб.кСД}} = \frac{x_0 \times L \times S_{\text{б}}}{2 \times U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,085 \times 3 \times 100}{2 \times 10,5^2} = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{сд}} = \frac{x_{\text{д}}'' \times S_{\text{б}}}{\sum_{\text{н.сд}} S} = \frac{0,2 \times 100}{2 \times 0,888} = 11,26 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{экв.л}} = X_{\text{каб}} + X_{\text{сд}} = 0,11 + 11,26 = 11,37 \text{ о.е.}$$

Тоді струм від двигунів дорівнюватиме:

$$I_{\Sigma \text{кзСД}} = \frac{E_{\text{сд}} \times I_{\text{б}}}{X_{\text{экв.л}}} = \frac{1,1 \times 5,5}{4,16} = 1,45 \text{ кА,}$$

де $E_{\text{сд}} = E_{\text{н}}'' \times U_{\text{н}} / U_{\text{б}} = 1,1 \times 10,5 / 10,5 = 1,1$.

Сумарний струм КЗ у точці К-3 на шинах 10 кВ з урахуванням підживлення від двигунів компресорної та насосної дорівнюватиме:

$$\Sigma I_{\text{кз}} = I'_{\text{к-3}} + I_{\Sigma\text{кз СД}} = 4,6 + 0,53 = 5,13 \text{ кА.}$$

Ударний струм у точці К-3:

$$i_{\text{удз}} = K_{\text{уд}} \times \sqrt{2} \times \Sigma I_{\text{кз}} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 5,13 = 13 \text{ кА.}$$

1.8.2 Вибір вимикачів Вибір вступних та секційних вимикачів:

$$S_{\text{р.завода}} = 16021,3 \text{ кВА}; I_{\text{р.з.з.з}} = \frac{S_{\text{р.з.з.з}}}{2 \times \sqrt{3} \times U_{\text{н}}} = \frac{16845}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 463,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_{\text{р.завода}} = 2 \times 463,1 = 926,2 \text{ А.}$$

Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-20/1000У2.

Секційний вимикач

$$I_{\text{р}} = \frac{I_{\text{ав}}}{2} = \frac{881,8}{2} = 440,9 \text{ А.}$$

Таблиця 1.11 – Приймаємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2

	Вступні вимикачі		Секційний вимикач	
	Розрахункові	Паспортні	Розрахункові	Паспортні
$U_{\text{н}}$, кВ	10	10	10	10
$I_{\text{н}}$, А	926,2	1000	463,1	630
$I_{\text{відк}}$, кА	3,74	31,5	3,74	31,5

Вибір вимикачів ліній, що відходять:

1. ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{(3015,2 + 42,4)^2 + (1090,4 + 204)^2} = 3320,2 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{р}} = \frac{3320,2}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 91,2 \text{ А}; I_{\text{ав}} = 2 \times 91,2 = 182,6 \text{ А.}$$

Таблиця 1.12 - Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2:

Паспортні данні	Розрахункові дані
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{вкв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2 * t = (I_{\text{вимк}})^2 \times 4 = 625 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 182,6 \text{ А}$ $I_{\text{кз}} = 5,13 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$ $B = (I_{\text{кз}})^2 \times 0,12 = 3,15 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привід електромагнітний	

2. ГПП-ТП3-ТП4:

$$S_{\text{РТП3,4}} = \sqrt{(2920,9 + 37,6)^2 + (1076,8 + 183,2)^2} = 3215,6 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{р}} = \frac{3215,6}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 88,4 \text{ А}; \quad I_{\text{ав}} = 2 \times 88,4 = 176,8 \text{ А}$$

Таблиця 1.13 - Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2:

Паспортні данні	Розрахункові дані
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{вкв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2 * t = (I_{\text{вимк}})^2 \times 4 = 625 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 176,8 \text{ А}$ $I_{\text{кз}} = 5,13 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$ $B = (I_{\text{кз}})^2 \times 0,12 = 3,15 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привід електромагнітний	

3. ГПП-ТП5-ТП6-ТП7:

$$S_{\text{РТП5,6,7}} = \sqrt{(4590,3 + 67,2)^2 + (2038,9 + 322,2)^2} = 5221,8 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{р}} = \frac{5221,8}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 143,5 \text{ А}; \quad I_{\text{ав}} = 2 \times 143,5 = 287 \text{ А}$$

Таблиця 1.14 - Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2:

Паспортні данні	Розрахункові дані
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{вкв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2 * t = (I_{\text{вимк}})^2 \times 4 = 625 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 287 \text{ А}$ $I_{\text{кз}} = 5,13 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$ $B = (I_{\text{кз}})^2 \times 0,12 = 3,15 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привід електромагнітний	

4. ГПП-ТП8-ТП9:

$$S_{\text{рТП8,9}} = \sqrt{(3078,4 + 40,6)^2 + (738,3 + 196,8)^2} = 3256,2 \text{ кВА};$$

$$I_P = \frac{3256,2}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 89,5 \text{ А}; \quad I_{\text{ав}} = 2 \times 89,5 = 179 \text{ А}$$

Таблиця 1.15 - Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2:

Паспортні данні	Розрахункові дані
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{вкв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2 * t = (I_{\text{вимк}})^2 \times 4 = 625 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 179 \text{ А}$ $I_{\text{кз}} = 5,13 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$ $B = (I_{\text{кз}})^2 \times 0,12 = 3,15 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привід електромагнітний	

5. ГПП-ВБК:

$$Q_P = 900 \text{ квар};$$

$$I_{\text{РВБК}} = \frac{900}{\sqrt{3} \times 10,5} = 49,5 \text{ А}$$

Таблиця 1.16 - Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2:

Паспортні данні	Розрахункові дані
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{вкв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2 * t = (I_{\text{вимк}})^2 \times 4 = 625 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 49,5 \text{ А}$ $I_{\text{кз}} = 5,13 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$ $B = (I_{\text{кз}})^2 \times 0,12 = 3,15 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привід електромагнітний	

6. ГПП-СД:

$$S_{\text{Рсд}} = \frac{800}{0,9} = 888 \text{ кВА}; \quad I_{\text{Рсд}} = \frac{888 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 41,5 \text{ А.}$$

Таблиця 1.17 - Вибираємо вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2:

Паспортні данні	Розрахункові дані
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$ $I_{\text{вимк}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{вкв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2 * t = (I_{\text{вимк}})^2 \times 4 = 625 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ав}} = 41,5 \text{ А}$ $I_{\text{кз}} = 5,13 \text{ кА}$ $I_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$ $B = (I_{\text{кз}})^2 \times 0,12 = 3,15 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привід електромагнітний	

1.8.3 Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму вибираються за такими умовами:

1. за напругою установки:

$$U_{\text{ном тт}} \geq U_{\text{ном уст-ки}};$$

2. по струму:

$$I_{\text{ном тт}} \geq I_{\text{расч}};$$

3. з електродинамічної стійкості:

$$K_{\text{дин}} \geq \frac{i_{\text{уд}}}{\sqrt{2} \times I_{\text{номтт}}};$$

4. по вторинному навантаженню:

$$S_{\text{н2}} \geq S_{\text{нагр расч}};$$

5. з термічної стійкості:

$$K_{\text{тс}} = \frac{I_{\text{об}} \times \sqrt{t}}{I_{\text{номтт}} \times t_{\text{нт}}};$$

6. по конструкції та класу точності.

Таблиця 1.18 - Вибір трансформаторів струму на введенні та секційному вимикачі

Прилад	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
A	E-350	0,5	0,5	0,5
Wh	CA3-I681	2,5	2,5	2,5
Varh	CP4-I689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-345	0,5	-	0,5
Разом		6,5	5,5	6,5

Таблиця 1.19 - Приймемо трансформатор струму ТЛ-10 УЗ: $I_n = 1000$ А; $U_n = 10$ кВ; $S_n = 10$ ВА;

Розрахункові величини	За каталогом
$U_n = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_{ав} = 926,2$ А	$I_n = 1000$ А
$i_{уд} = 13$ кА	$I_{дін} = 81$ кА
$S_{2p} = 9,87$ ВА	$S_{2n} = 10$ ВА

Розрахуємо вторинне навантаження трансформаторів струму.

Опір вторинного навантаження складається з опору приладів, сполучних проводів та перехідного опору контактів:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}$$

Опір приладів визначається за такою формулою:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом};$$

$$r_{2n} = \frac{S_{2нтг}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом},$$

де $S_{\text{приб.}}$ - Потужність, що споживається приладами; I_2 - Вторинний номінальний струм приладу.

Допустимий опір проводів:

$$r_{\text{доппр}} = r_{2н} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,26 - 0,1 = 0,04 \text{ Ом.}$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,04} = 0,035 \text{ мм}^2;$$

приймаємо провід АКР ТВ; $F=2,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,395 \times 52 = 9,87 \text{ ВА};$$

де $R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,056 + 0,1 = 0,395 \text{ Ом}$

Таблиця 1.20 – Вибираємо трансформатор струму на секційному вимикачі шин ГПП: $I_p = 440,9 \text{ А}$; ТЛМ-10-У3-600/5: $I_n = 600 \text{ А}$; $U_n = 10 \text{ кВ}$

Прилад	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
Амперметр	Е-350	0,5	0,5	0,5
Разом		0,5	0,5	0,5

Таблиця 1.21 - Умова вибору ТТ

Розрахункові величини	За каталогом
$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 463,1 \text{ А}$	$I_n = 600 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$
$S_{2p} = 4,4 \text{ ВА}$	$S_{2н} = 10 \text{ ВА}$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом};$$

$$r_{2\text{-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{дошпр}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,02 - 0,1 = 0,28 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,28} = 0,5 \text{ мм}^2;$$

приймаємо провід АКР ТВ; $F=2,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,0176 \times 5^2 = 4,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,02 + 0,056 + 0,1 = 0,176 \text{ Ом}.$$

б) Вибираємо трансформатор струму лінії ГПП-(ТП1-ТП2); ГПП-(ТП3-ТП4-ТП5); ГПП-(ТП6-ТП7); ГПП-(ТП-8-ТП9)

Таблиця 1.22 - Вибір обладнання

Прилад	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
Амперметр	Е-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-І681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-І689	2,5	2,5	2,5
Разом		5,5	5,5	5,5

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом};$$

$$r_{2\text{н-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{дошпр}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2;$$

приймаємо кабель АКРТВ; $F = 2,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,376 \times 5^2 = 9,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,22 + 0,056 + 0,1 = 0,376 \text{ Ом}.$$

Таблиця 1.23 - Трансформатор струму лінії ГПП-(ТП1-ТП2):

$I_{\text{ав}} = 182,6 \text{ А}$; прийmemo трансформатор струму ТПЛК-10 У3: $I_{\text{н}} = 200 \text{ А}$;

$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$; $S_{\text{н}} = 10 \text{ ВА}$; [1].

Розрахункові величини	За каталогом
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 182,6 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 200 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 74,5 \text{ кА}$
$S_{2\text{р}} = 9,4 \text{ ВА}$	$S_{2\text{н}} = 10 \text{ ВА}$

Таблиця 1.24 - Трансформатор струму лінії ГПП-(ТП3-ТП4):

$I_{ав} = 176,8 \text{ А}$; прийємо трансформатор струму ТПЛК-10 У3: $I_{н} = 300 \text{ А}$;
 $U_{н} = 10 \text{ кВ}$; $S_{н} = 10 \text{ ВА}$; [1].

Розрахункові величини	За каталогом
$U_{н} = 10 \text{ кВ}$	$U_{н} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ав} = 176,8 \text{ А}$	$I_{н} = 200 \text{ А}$
$i_{уд} = 13 \text{ кА}$	$I_{дин} = 74,5 \text{ кА}$
$S_{2р} = 9,4 \text{ ВА}$	$S_{2н} = 10 \text{ ВА}$

Таблиця 1.25 - Трансформатор струму лінії ГПП-(ТП5-ТП6-ТП7):

$I_{ав} = 287 \text{ А}$; прийємо трансформатор струму ТПЛК-10 У3: $I_{н} = 300 \text{ А}$;
 $U_{н} = 10 \text{ кВ}$; $S_{н} = 10 \text{ ВА}$; [1].

Розрахункові величини	За каталогом
$U_{н} = 10 \text{ кВ}$	$U_{н} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ав} = 287 \text{ А}$	$I_{н} = 300 \text{ А}$
$i_{уд} = 13 \text{ кА}$	$I_{дин} = 74,5 \text{ кА}$
$S_{2р} = 9,4 \text{ ВА}$	$S_{2н} = 10 \text{ ВА}$

Таблиця 1.26 - Трансформатор струму лінії ГПП-(ТП8-ТП9): $I_{ав} = 179 \text{ А}$;
 прийємо трансформатор струму ТПЛК-10 У3: $I_{н} = 200 \text{ А}$; $U_{н} = 10 \text{ кВ}$;
 $S_{н} = 10 \text{ ВА}$; [1].

Розрахункові величини	За каталогом
$U_{н} = 10 \text{ кВ}$	$U_{н} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ав} = 179 \text{ А}$	$I_{н} = 200 \text{ А}$
$i_{уд} = 13 \text{ кА}$	$I_{дин} = 74,5 \text{ кА}$
$S_{2р} = 9,4 \text{ ВА}$	$S_{2н} = 10 \text{ ВА}$

Таблиця 1.27 - Вибір вимірювальних приладів

Прилад	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
Амперметр	Е-350	0,5	0,5	0,5
Амперметр	Е-350	0,5	0,5	0,5
Амперметр	Е-350	0,5	0,5	0,5
Varh	CP4-I689	2,5	2,5	2,5
Разом		4	4	4

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ Ом};$$

$$r_{2\text{-ка}} = \frac{S_{2\text{НТТ}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,14} = 0,1 \text{ мм}^2;$$

приймаємо провід АКР ТВ; $F=2,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,316 \times 5^2 = 7,9 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,16 + 0,056 + 0,1 = 0,316 \text{ Ом}.$$

Таблиця 1.28 - Трансформатори струму на ЦД: $I_p = 41,5 \text{ А}$; приймемо трансформатор струму ТПЛК-10 УЗ: $I_n = 100 \text{ А}$; $U_n = 10 \text{ кВ}$; $S_n = 10 \text{ ВА}$

Розрахункові величини	За каталогом
$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 41,5 \text{ А}$	$I_n = 100 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 13 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 74,5 \text{ кА}$
$S_{2p} = 7,9 \text{ ВА}$	$S_{2n} = 10 \text{ ВА}$

1.8.4 Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги вибираються за такими умовами:

- за напругою установки: $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{вуст}}$;
- по вторинному навантаженню: $S_{\text{ном2}} \geq S_{\text{2расч}}$;
- за класом точності; - за конструкцією та схемою з'єднання.

Таблиця 1.29 – Вибір вимірювальних приладів

Прилад	Тип	S об-ки , ВА	Число об-до	cos φ	sin φ	Число приладів	P _{общ} , Вт	Q вар ,
V	Е-335	2	2	1	0	2	8	-
W	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Var	І-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Wh	СА3-І681	3 Вт	2	0,38	0,925	6	36	87,63
Varh	СР4-І689	3 вар	2	0,38	0,925	6	36	87,63
Разом							82	175,3

Розрахункове вторинне навантаження:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{82^2 + 175,26^2} = 193,5 \text{ ВА}$$

Таблиця 1.30 - Приймаємо ТН типу НТМК -10-66-У3

U _{HT} = 10 кВ	U _{HT} = 10 кВ
S _{HT} = 500 кВА	S _{p2} = 193,5 ВА
Схема з'єднання обмоток Y-/Y-/-0	

1.7.5 Вибір силових кабелів ліній, що відходять Вибір кабелів проводиться за такими умовами:

1. з економічної густини струму:

$$F_s = \frac{I_p}{\gamma_s};$$

2. за мінімальним перерізом:

$$F_{\min} = \alpha \times I_{k3} \times \sqrt{t_{п}};$$

3. за умовою нагрівання робочим струмом:

$$I_{\text{доп каб}} \geq \dot{I}_p;$$

4. за аварійним режимом:

$$I_{\text{доп ав}} \geq I_{\text{ав}};$$

5. за втратою напруги:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{рас}}.$$

Усі розрахункові дані вибору кабелів занесені до таблиці.

1.7.6 Вибір шин ГПП

Перетин шин вибирають за довго допустимим струмом та економічною доцільністю. Перевірку шин проводять на електродинамічну та термічну стійкість до струмів КЗ.

Вибираємо твердотягнуті алюмінієві шини прямокутного перерізу марки АТ-80 × 6 ; $I_{\text{доп}} = 1150$ А (одна смуга на фазу); $I_{\text{ав}} = 881,8$ А; $i_{\text{уд}} = 13$ кА.

а) $I_{\text{доп}} = 1150 \text{ А} \geq I_{\text{ав}} = 881,8 \text{ А}$;

б) перевірка по термічній стійкості до $I_{\text{кз}}$:

$$F_{\text{min}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \times 3,74 \times \sqrt{1} = 44,8 \text{ мм}^2 < 480 \text{ мм}^2 (80 \times 6);$$

в) перевірка по динамічній стійкості до $i_{\text{уд кз}}$ $\sigma_{\text{доп}} = 700$ кгс/см²:

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a} = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times 13^2 \times 100}{60} = 1,33 \text{ кгс};$$

$$W = 0,167 \times b \times h^2 = 0,167 \times 0,8 \times 6^2 = 4,81 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \times L}{10 \times W} = \frac{1,33 \times 100^2}{10 \times 4,81} = 276 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < 700 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

де $L = 100$ см – відстань між ізоляторами; $a = 60$ см - відстань між фазами;
 $b = 0,8$ см - Товщина однієї смуги; $h = 6$ см – ширина (висота) шини.

З умови видно, що шини динамічно стійкі.

2 РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ НАПРУГИ У СХЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОАПАРАТНОГО ЗАВОДУ

2.1 Загальні положення

Сучасне виробництво з його найскладнішими технологічними процесами, з широким застосуванням засобів автоматичного управління та контролю процесами немислимо без чіткої та злагодженої роботи всіх технічних засобів, що змушує пред'являти високі вимоги до їх якості.

Однак очевидно, що створювати високоякісні технічні засоби немає сенсу, якщо не передбачити відповідну якість їх електропостачання.

Якість електропостачання визначається загальному випадку надійністю електропостачання та якістю електроенергії у її приймачів.

До основних показників якості електроенергії відносяться відхилення напруги, які визначаються різницею між дійсною напругою – U та номінальною напругою – $U_{\text{ном}}$:[4]

$$\delta U = U - U_{\text{ном}}$$

$$\delta U, \% = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%;$$

Як дійсна напруга U в трифазних мережах приймається напруга прямої послідовності основної частоти.

Відхилення напруги на затискачах електродвигунів та пускорегулюючої апаратури допускаються в межах 5-10% номінального, світильників робочого освітлення та прожекторів – в межах 2,5 – 5% номінального.

Відхилення напруг від номінальних значень відбувається через добові, сезонні та технологічні зміни електричного навантаження споживачів: Зміна потужності джерел реактивної енергії; регулювання напруги на генераторах

електростанцій та у вузлах мережі; зміна схеми та параметрів електричних мереж.

Відхилення напруги повинні визначатися у характерних точках мережі. Для системи електропостачання промислових підприємств є секції шин 10 кВ ГПП 110/10. Шини распредпунктов з трансформаторами 10/0,4 кВ, шини цехових трансформаторів, а також розподільні шафи 0,4 кВ найбільш віддалені від цехового трансформатора, та приєднані до них мережі освітлення. Відхилення напруги в електричних мережах промислових підприємств слід переважно розраховувати для найбільших навантажень.

Підтримка оптимальних рівнів напруги на джерелах живлення та безпосередньо у споживачів має велике значення для нормальної роботи електроприймачів та електроустановок промислових підприємств. Відхилення напруги в той чи інший бік від нормованих рівнів завдає значної шкоди.

Необхідно відзначити, що в тих точках мережі, до яких не підключені електроприймачі, допустимо підвищення напруги вище значень, зазначених вище. Верхня межа напруги у випадках обумовлюється класом ізоляції устаткування. Регулювання напруги здійснюється:

- а) генераторами електростанцій, у яких збільшення струму збудження веде до збільшення ЕРС та напруги на шинах генераторної напруги U_{Γ} . Автоматичне регулювання збудження (АРВ) дозволяє плавно регулювати напругу U_{Γ} або підтримувати постійне значення;
- б) трансформаторами та автотрансформаторами;
- в) компенсуючими пристроями (синхронними компенсаторами - плавно, батареями статичних конденсаторів – східчасто);
- г) зміною параметрів мережі застосуванням установок поздовжньої компенсації (КПК);
- д) у замкнутих мережах - перерозподілом потоків активної та реактивної потужності

Генератори електростанцій є лише допоміжним засобом регулювання, тому що мають недостатній діапазон регулювання напруги, крім того, важко

узгодити вимоги щодо напруги віддалених та близьких споживачів. Як єдиний засіб регулювання генератори застосовуються тільки для навантаження, що живиться від шин генераторної напруги.

Підвищуючі трансформатори на електростанціях з номінальною напругою обмотки ВН 110-220 кВ також є допоміжним засобом регулювання напруги, тому що мають межу регулювання $\pm 2 \times 2,5 \% U_{\text{ном}}$ і з їх допомогою не можна узгодити вимоги щодо напруги близьких та віддалених споживачів. Підвищення трансформаторів 330, 500, 750 кВ випускаються без пристроїв для регулювання напруги. Тому основним засобом регулювання напруги є трансформатори та автотрансформатори районних підстанцій.

За конструктивним виконанням розрізняють два типи трансформаторів знижувальних підстанцій:

- з перемиканням регулювальних відгалужень без збудження, тобто. з відключенням від мережі (трансформатори із ПБВ);
- з перемиканням регулювальних відгалужень під навантаженням

(Трансформатори з РНН). Зазвичай їх регулювальні відгалуження виконуються на стороні вищої напруги, яка має менший робочий струм. При цьому полегшується робота перемикаючого пристрою.

2.2 Вихідні дані для розрахунку відхилень напруги

На ГПП встановлений трансформатор типу ТДН - 10000/110, що живиться по ПЛ - 110 кВ, довжиною 3 км. Напруга на початку лінії при мінімальному навантаженні трансформатора становить $1,02 U_{\text{н}}$, а при максимальному дорівнює $U_{\text{ном}}$. Мінімальне навантаження становить 80% від максимального. [11]

ВЛ – 110 кВ

АС – 70, $l=3$ км, $r_0=0,46$ Ом/км, $x_0=0,444$.

$r_{Л}=0,46 \cdot 17=7,82$ Ом, $x_{Л}=0,444 \cdot 17=7,55$

Мощность проходящая через ВЛ:

$S_{\max}=(15653+j3739)$ кВ

$P_{\max}=7782$ кВт

$Q_{\max}=1870$ кВар

$P_{\min}=6226$ кВт

$Q_{\min}=1496$ кВар

Трансформатор ГПП

$\Delta P_{кз}=58$

$U_{кз}=10,5$ %

$r_T=7,018$ Ом

$x_T=126,8$ Ом

$P_{\max}=7782$ кВт

$Q_{\max}=1870$ кВар

$P_{\min}=6226$ кВт

$Q_{\min}=1496$ кВар

КЛ – 1 ААШВ – 10 – (3×70), $l=0,66$ км

$r_0=0,443$ Ом/км

$x_0=0,086$ Ом/км

$r_{КЛ1}=0,443 \cdot 0,66=0,29$ Ом,

$x_{КЛ1}=0,086 \cdot 0,66=0,06$ Ом

$P_{\max}=1634$ кВт

$Q_{\max}=63$ кВар

$P_{\min}=1307$ кВт

$Q_{\min}=51$ кВар

Трансформатор ТП 6 ТСЗ – 10000/10

$\Delta P_{кз}=11,2$

$U_{кз}=5,5$ %

$r_T=1,12$ Ом

$x_T=5,38$ Ом

$P_{\max}=817$ кВт

$Q_{\max}=63$ кВар

$P_{\min}=654$ кВт

$Q_{\min}=51$ кВар

КЛ – 2 ААШВ – 10 – (3×70), $l=0,085$ км

$r_0=0,443$ Ом/км

$x_0=0,086$ Ом/км

$r_{КЛ2}=0,037$ Ом,

$x_{КЛ2}=0,007$ Ом

$P_{\max}=817$ кВт

$Q_{\max}=63$ кВар

$P_{\min}=654$ кВт

$Q_{\min}=51$ кВар

Трансформатор ТП 7 ТСЗ – 10000/10

$\Delta P_{кз}=11,2$

$U_{кз}=5,5$ %

$r_T=1,12$ Ом

$x_T=5,38$ Ом

$$P_{\max}=817 \text{ кВт}$$

$$P_{\min}=654 \text{ кВт}$$

$$Q_{\max}=63 \text{ кВар}$$

$$Q_{\min}=51 \text{ кВар}$$

КЛ – 3 ШРА – 11, $l=0,05 \text{ км}$

ШР· $n=8$ шт

$n=40 \Rightarrow 5$ ШР

$$P=188/5=37,6 \text{ кВт}$$

$$Q=123/5=24,6 \text{ кВт}$$

$$S=\sqrt{P^2 \cdot Q^2} = 45 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 65,03 \text{ А}$$

\Rightarrow ААШВ – 0,4 – (3×10)

$$r_0=7,81 \text{ Ом/км}$$

$$x_0=0,095 \text{ Ом/км}$$

$$r_{\text{КЛ3}}=0,156 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{КЛ3}}=0,002 \text{ Ом}$$

$$P_{\max}=38 \text{ кВт}$$

$$Q_{\max}=25 \text{ кВар}$$

$$P_{\min}=30 \text{ кВт}$$

$$Q_{\min}=20 \text{ кВар}$$

КЛ – 4 ЭП№5, вентилятор $P=10 \text{ кВт}$

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 14,45 \text{ А}$$

\Rightarrow АПВ – 0,4 – (3×4)

$$r_0=3,12 \text{ Ом/км}$$

$$x_0=0,073 \text{ Ом/км}$$

$$r_{\text{КЛ4}}=0,156 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{КЛ4}}=0,004 \text{ Ом}$$

$$\cos\varphi=0,8$$

$$\text{tg}\varphi=0,75$$

$$P_{\max}=10 \text{ кВт}$$

$$Q_{\max}=7,5 \text{ кВар}$$

$$P_{\min}=8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\min}=6 \text{ кВар}$$

2.3 Розрахунок втрат напруги в елементах мережі при максимальному та мінімальному режимах

Втрата напруги в елементах мережі розраховується за формулами:

$$\max: \Delta U_{\text{л}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot r_{\text{Л}} + Q_{\text{max}} \cdot x_{\text{Л}}}{U_{\text{НОМ}}}; \quad \Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100;$$

$$\min: \Delta U'_{\text{л}} = \frac{P_{\text{min}} \cdot r_{\text{Л}} + Q_{\text{min}} \cdot x_{\text{Л}}}{U_{\text{НОМ}}}; \quad \Delta U'\% = \frac{\Delta U'}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100;$$

ВЛ – 110 кВ

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{7782 \cdot 7,82 + 1870 \cdot 7,48}{110} = 554 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{л},\%} = \frac{0,554}{110} \cdot 100 = 0,5\%$$

$$\Delta U'_{\text{л}} = \frac{6226 \cdot 7,82 + 1496 \cdot 7,48}{110} = 545 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{л},\%} = \frac{0,545}{110} \cdot 100 = 0,49\%$$

Трансформатор ГПП

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{7782 \cdot 7,018 + 1870 \cdot 126,8}{110} = 2652 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{тр},\%} = \frac{2,652}{110} \cdot 100 = 2,41\%$$

$$\Delta U'_{\text{тр}} = \frac{6226 \cdot 7,018 + 1496 \cdot 126,8}{110} = 2122 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{тр},\%} = \frac{2,122}{110} \cdot 100 = 1,93\%$$

КЛ – 1

$$\Delta U_{\text{кл1}} = \frac{1634 \cdot 0,29 + 63 \cdot 0,06}{10} = 48 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{кл1},\%} = \frac{0,048}{110} \cdot 100 = 0,48\%$$

$$\Delta U'_{\text{кл1}} = \frac{1307 \cdot 0,29 + 51 \cdot 0,06}{10} = 38 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{кл1},\%} = \frac{0,038}{10} \cdot 100 = 0,38\%$$

ТП 6

$$\Delta U_{\text{тп6}} = \frac{817 \cdot 1,12 + 63 \cdot 5,38}{10} = 126 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{тп6}, \%} = \frac{0,126}{10} \cdot 100 = 1,26 \%$$

$$\Delta U'_{\text{тп6}} = \frac{654 \cdot 1,12 + 51 \cdot 5,38}{10} = 98 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{тп6}, \%} = \frac{0,098}{10} \cdot 100 = 0,98 \%$$

КЛ – 2

$$\Delta U_{\text{кл2}} = \frac{817 \cdot 0,037 + 63 \cdot 0,007}{10} = 3 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{кл2}, \%} = \frac{0,003}{10} \cdot 100 = 0,03 \%$$

$$\Delta U'_{\text{кл2}} = \frac{654 \cdot 0,037 + 51 \cdot 0,007}{10} = 2,5 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{кл2}, \%} = \frac{0,0025}{10} \cdot 100 = 0,025 \%$$

ТП 7

$$\Delta U_{\text{тп7}} = \frac{817 \cdot 1,12 + 63 \cdot 5,38}{10} = 126 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{тп7}, \%} = \frac{0,126}{10} \cdot 100 = 1,26 \%$$

$$\Delta U'_{\text{тп7}} = \frac{654 \cdot 1,12 + 51 \cdot 5,38}{10} = 98 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{тп7}, \%} = \frac{0,098}{10} \cdot 100 = 0,98 \%$$

КЛ – 3

$$\Delta U_{\text{кл3}} = \frac{38 \cdot 0,156 + 25 \cdot 0,004}{0,4} = 15 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{кл3}, \%} = \frac{0,015}{0,4} \cdot 100 = 3,75 \%$$

$$\Delta U'_{\text{кл3}} = \frac{30 \cdot 0,156 + 20 \cdot 0,004}{0,4} = 12 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{кл3}, \%} = \frac{0,012}{0,4} \cdot 100 = 3 \%$$

КЛ – 4

$$\Delta U_{\text{кл4}} = \frac{10 \cdot 0,156 + 7,5 \cdot 0,002}{0,4} = 4 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{кл4}, \%} = \frac{0,004}{0,4} \cdot 100 = 1 \%$$

$$\Delta U'_{\text{кл4}} = \frac{8 \cdot 0,156 + 6 \cdot 0,002}{0,4} = 3 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{\text{кл4}, \%} = \frac{0,003}{0,4} \cdot 100 = 0,75 \%$$

2.4 Регулювання напруги за допомогою пристрою РПН трансформатора ГПП

Основна перевага трансформаторів з РПН полягає в тому, що ці трансформатори не вимагають відключення, які коефіцієнти трансформації змінюються більш плавно і в значних межах.

На ГПП встановлено два трансформатори типу ТДН – 10000/110 с

РПН у діапазоні регулювання $\pm 16\%$ з 18 регулювальними відгалуженнями (± 9 ступенів по 1,78%): $\Delta P_{кз} = 58$ кВт; $U = 10,5\%$; $\Delta P_{хх} = 14$ кВт;
 $U_{нн} = 11$ кВ.

– у режимі максимальних навантажень:

$$S_{нб} = 16094 \text{ кВА}; \quad \cos\varphi = 0,96; \quad \sin\varphi = 0,28; \quad U_{1нб} = 110 \text{ кВ}; \quad U_{2нб} = 10 \text{ кВ}.$$

Втрати напруги у трансформаторі становлять:

$$\Delta U_{Т*} = \beta(R_{Т*} \cdot \cos\varphi + X_{Т*} \cdot \sin\varphi);$$

$$\Delta U_{Т*} = \frac{S_{нб}}{S_{нт}} \left(\frac{\Delta P_{кз} \cdot \cos\varphi}{S_{нт}} + \frac{U_k \cdot \sin\varphi}{100} \right);$$

$$\Delta U_{Т*} = \frac{16094}{10000} \left(\frac{58 \cdot 0,96}{10000} + \frac{10,5 \cdot 0,28}{100} \right) = 0,056 \text{ о.е.};$$

$$U_{2нб*} = 10,5/10 = 1,05; \quad U_{1нб*} = 115/110 = 1,045.$$

Визначимо доцільний за аналізованих умов коефіцієнт трансформації:

$$K_{Т*} = \frac{U_{1нб*} - \Delta U_{Т*}}{U_{2нб*}} = \frac{1,045 - 0,056}{1,05} = 0,94.$$

За відомим значенням $R_{Т*}$ бажану напругу регулювального відгалуження можна розрахувати:

$$U_{отв*} = K_{Т*} \cdot \frac{U_{вн}}{100} = 0,94 \cdot \frac{110}{100} = 1,034 \text{ о.е.}$$

Це відповідає регулювальному відгалуженню $110 + 2 \cdot 1,78\%$ або напрузі відгалуження:

$$U_{від} = 110 \cdot 1,034 = 113,74 \text{ кВ}.$$

Дійсна напруга на стороні ПН при виборі $U_{від}$ буде рівна

$$U_{2нб} = \frac{0,94 \cdot 110}{113,74} \cdot 11 = 10 \text{ кВ}.$$

– у режимі мінімальних навантажень

$S_{нб} = 12875$ кВА; $\cos\varphi=0,85$; $\sin\varphi=0,53$; $U_{1НМ} = 115$; $U_{2НМ} = 10,5$ кВ;

Втрати напруги у трансформаторі становлять:

$$\Delta U_{Т*} = \frac{12875}{10000} \left(\frac{58 \cdot 0,85}{10000} + \frac{10,5 \cdot 0,53}{100} \right) = 0,023 \text{ о.е.};$$

$$U_{2НМ*} = 10,5/10,5 = 1; \quad U_{1НМ*} = 115/110 = 1,045;$$

$$K_{Т*} = \frac{U_{1НМ*} - \Delta U_{Т*}}{U_{2НМ*}} = \frac{1,045 - 0,023}{1} = 1,022;$$

$$U_{отв*} = K_{Т*} \cdot \frac{U_{ВН}}{100} = 1,022 \cdot \frac{115}{100} = 1,18 \text{ о.е.}$$

Це відповідає регулювальному відгалуженню $115 + 2 \cdot 1,78\%$ або напрузі відгалуження: $U_{від} = 115 \cdot 1,031 = 118,565$ кВ.

Дійсна напруга на стороні ПН при виборі $U_{від}$ буде рівна

$$U_{2НБ} = \frac{1,022 \cdot 115}{118,565} \cdot 10 = 9,9 \approx 10 \text{ кВ.}$$

Перераховуємо втрати у трансформаторі ГПП при включенні РНН:

$$\Delta U_{тр} = \frac{7782 \cdot 7,018 + 1870 \cdot 126,8}{113,74} = 2565 \text{ В}; \quad \Delta U_{тр, \%} = \frac{2,565}{113,74} \cdot 100 = 2,25 \%;$$

$$\Delta U'_{тр} = \frac{6226 \cdot 7,018 + 1496 \cdot 126,8}{113,74} = 1968 \text{ В}; \quad \Delta U'_{тр, \%} = \frac{1,968}{118,565} \cdot 100 = 1,66 \%.$$

При цьому, маємо до включення РНН: $\Delta U_{тр, \%} = 2,41 \%$; $\Delta U'_{тр, \%} = 1,93 \%$.

2.5 Регулювання напруги на трансформаторі ТП 7 за допомогою ПБВ

При максимальному навантаженні відхилення напруги на первинній обмотці трансформатора становить $U = - 4,68\%$.

Втрати напруги у трансформаторі $\Delta U_{тп} = 1,26\%$.

Втрати напруги до ЕП №5 (вентилятор) $\Delta U_1 = 3,75\%$.

Втрати напруги живлення освітлювальної мережі $\Delta U_2 = 0,95\%$.

Максимальне допустиме відхилення напруги для електродвигунів складає $\Delta U_{\text{доп}} = 10\%$, для освітлювальної мережі $\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$.

Допустиме відхилення напруги на шинах трансформатора:

– для силового навантаження:

$$\delta U_2 = \delta U_{\text{доп}}^+ + \Delta U_1 = 10 + 3,75 = 13,75\%;$$

– для освітлювального навантаження:

$$\delta U_2 = \delta U_{\text{доп}}^+ + \Delta U_2 = 5 + 0,95 = 5,95\%;$$

Максимально можлива добавка напруги

$$E = \delta U_2 - \delta U + \Delta U_{\text{тп}} = 5,95 - (-4,68) + 1,26 = 11,89\%.$$

Вибираємо максимально можливу добавку $E = 0$, тобто. відгалуження +5%. При такій добавці відхилення напруги:

$$\delta U_2 = \delta U_1 + E\Delta - U_T = -4,68 + 5 - 1,26 = 0,94\%.$$

Допустимі втрати в мережі:

– для силового навантаження

$$\Delta \delta U_{\text{доп}}^c = \delta U_2 - \delta U_{\text{доп}} = -0,94 - (-5) = 4,06\%.$$

– для освітлювального навантаження

$$\Delta \delta U_{\text{доп}}^{\text{осв}} = \delta U_2 - \delta U_{\text{доп}} = -0,94 - (-2,5) = 1,56\%.$$

Втрати у розподільчій мережі:

$$\Delta U_3 = \Delta U_{\text{доп}}^{\text{осв}} - \Delta U_2 = 1,56 - 0,95 = 0,61\%.$$

Розрахунки, виконані для відхилень напруги у електроприймачів при максимальному та мінімальному навантаженнях показують і графік наочно підтверджує, що для стійкої роботи необхідно:

1. РПН на трансформаторах ГПП у години мінімальних навантажень автоматично відключалися, тому що при включеному РПН при мінімальному

навантаженні – відхилення напруги вище допустимого і електроприймачі, що близько розташовані до енергосистеми, будуть працювати при підвищеній нарузі.

У години максимальних навантажень, щоб уникнути перенапруги, у електроприймачів необхідно перевести РПН з трьох ступенів на два ступені по 1,78%.

2. ПБВ на цеховому трансформаторі встановлюється як для максимального, так і для мінімального режиму і максимально можлива добавка становить 5% і є оптимальною під час роботи електроприймачів у цих умовах.

2.6 Розробка заземлювального пристрою

Захисне заземлення є найбільш простим і в той же час дуже ефективним заходом захисту від ураження струмом при появі напруги на металевих нетковедущих частинах.

Принцип дії захисного заземлення заснований на зниженні до безпечних значень напруги дотику та кроку, зумовлених замиканням на корпус та іншими причинами.

В результаті розрахунку заземлювального пристрою ми повинні визначити складові параметри заземлення – число, розміри та порядок розміщення заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Підстанція є знижувальною, має два автотрансформатори 110/10 кВ; для власних потреб є трансформатор 10/0,4 кВ; розподільні пристрої 110 кВ відкритого типу, 10 кВ – закритого. Територія підстанції займає 6400 м². Очікуваний струм короткого замикання за 220 кВ – 1790 А. Заземлювач передбачається виконати з горизонтальних смугових електродів перетином 4*40 мм і вертикальних стрижневих електродів довжиною $l = 5\text{м}$, діаметром $d =$

12 мм; глибина закладення електродів у землю $t = 0,8$ м. Ґрунт двошаровий, верхній шар – річковий пісок із опором $\rho_1 = 230$ Ом*м, нижній шар – суглинок із опором $\rho_2 = 80$ Ом*м. Потужність верхнього шару землі $h_1 = 2,8$ м. [9]

Складаємо попередню схему заземлювача, за якою визначаємо площу території, яку займає заземлювач, S , м².

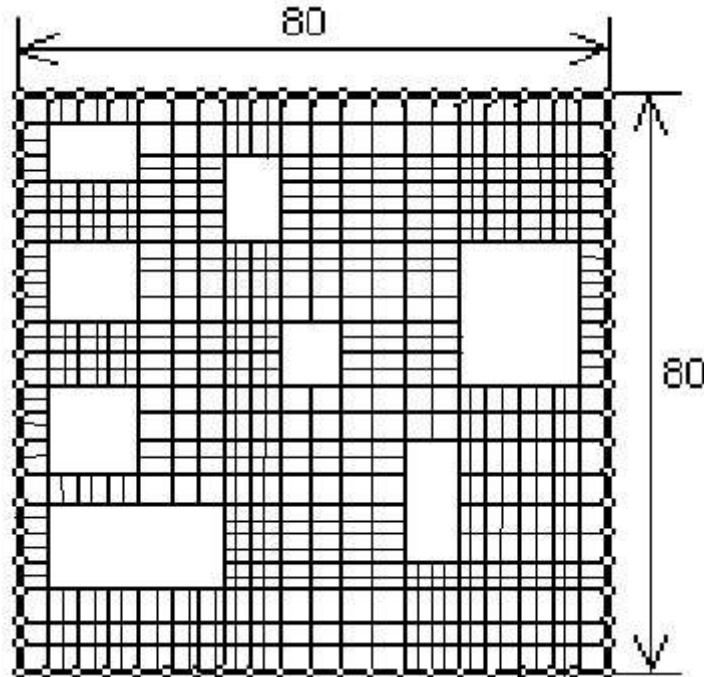


Рисунок 2.1 – Розрахункова модель заземлювача

Сітка заземлення не повинна пролягати безпосередньо під обладнанням, тому, розрахувавши кількість електродів, необхідно згустити лінії сітки там, де обладнання немає, і, навпаки, розрідити там, де знаходиться обладнання.

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_1 * \psi.$$

де ψ – коефіцієнт сезонності для шару сезонних змін багатошарової землі, $\psi = 2,2$, для північних районів.

$$\rho_{\text{расч}} = 230 * 2,7 = 621, \text{ Ом*м.}$$

Так як умовна товщина шару сезонних змін в 1 кліматичній зоні $h = 2,2$ м, що менше товщини верхнього шару землі $h_1 = 2,8$ м, то

$$\rho_{2\text{расч}} = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Прийmemo відстань між електродами моделі заземлювача $a=4\text{м}$.

Еквівалентний питомий опір ρ_{ϵ} двошарової землі для суцільного заземлювача у вигляді горизонтальної сітки з вертикальними електродами може бути визначений за формулою:

$$\rho_{\epsilon} = \rho_2 (\rho_1 / \rho_2)^k.$$

Таким чином

$$\rho_{\epsilon} = 80 * (621 / 80)^{0,1864} = 117,22, \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Визначимо опір суцільного заземлювача, що складається з контуру вертикальних заземлювачів, з'єднаних горизонтальними електродами та сітки, що знаходиться всередині контуру.

Опір складного заземлювача, що складається з сітки та ряду вертикальних провідників, може бути визначено з наступного виразу:

$$R_3 = 0,443 \frac{\rho_2}{\sqrt{S}} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k + \frac{\rho_1}{L + nl_{\epsilon}},$$

Значення l_1 та l_2 показані на рис. 2.2.

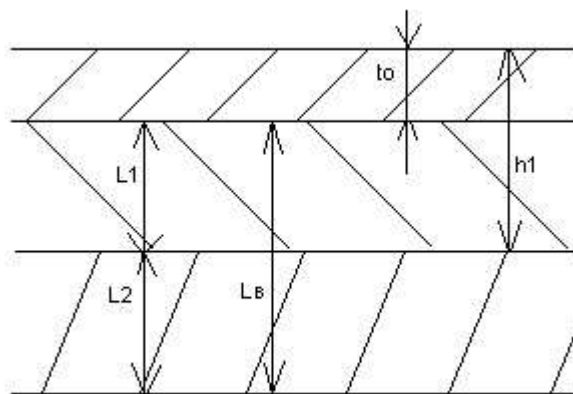


Рисунок 2.2 – Двошарова модель землі

$$l_e = l_1 + l_2 * \rho_1 / \rho_2 = 2 + 3 * 7,8 = 25,4, \text{ м}$$

$$g = 2 * h_1 / (\sqrt{S} + n l_e) = 2 * 2,8 / (80 + 80 * 25,4) = 0,003$$

$$L = 80 * 19 + 80 * 19 = 3040, \text{ м}$$

$$R_s = 0,443 \frac{\rho_2}{\sqrt{S}} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^g + \frac{\rho_1}{L + n l_e} = 0,443 \frac{80}{80} \left(\frac{621}{80} \right)^{0,003} + \frac{621}{3040 + 80 * 25,4} = 0,57, \text{ Ом}$$

Коефіцієнт напруги дотику λ_1 може бути визначений наступного наближеного виразу для заземлювачів типу сітки з рівномірним розподілом провідником і доповненої вертикальними провідниками.

$$\lambda_1 = M \left(\frac{a * \sqrt{S}}{l_e * L} \right)^{0,45},$$

де M - функція відношення ρ_1 / ρ_2 .

Знаходимо λ_1 :

$$\lambda_1 = M \left(\frac{a * \sqrt{S}}{l_e * L} \right)^{0,45} = 0,8 * \left(\frac{4 * 80}{5 * 3040} \right)^{0,45} = 0,141$$

Коефіцієнт зниження напруги дотику, що залежить від питомого опору верхнього шару землі, може бути визначений з формули:

$$\lambda_2 = \frac{R_h}{R_h + 1,5 \rho_1},$$

де ρ_1 - питомий опір верхнього шару землі; R_h - опір тіла людини.

$$\lambda_2 = \frac{R_h}{R_h + 1,5 \rho_1} = \frac{1000}{1000 + 1,5 * 621} = 0,52$$

Напруга дотику визначаємо за такою формулою:

$$U_{np} = I_3 R_3 \lambda_1 \lambda_2,$$

$$U_{np} = I_3 R_3 \lambda_1 \lambda_2 = 1790 * 0,57 * 0,141 * 0,52 = 74,8, B$$

Допустима напруга при часі впливу $t=0,15$ с для розрахунку напруги дотику та кроку становить 450 В. Потенціал заземлювача визначається за формулою:

$$\varphi_3 = I_3 R_3,$$

$$\varphi_3 = I_3 R_3 = 1790 * 0,57 = 1020,3, B$$

Знаходимо максимальну напругу дотику

$$U_{np \max} = \varphi_3 \lambda_1,$$

$$U_{np \max} = \varphi_3 \lambda_1 = 1020,3 * 0,141 = 143,86, B$$

Умови безпеки дотику людини до заземлених предметів у зоні ЗУ ефективно заземленої мережі:

$$U_{np} = U_{np \max} - I_h * 1,5 \rho_c = I_3 R_3 \lambda_1 \lambda_2 \leq U_{доп},$$

Струм через людину визначається за формулою:

$$I_h = \frac{U_{np \max}}{R_h + 1,5 \rho_c},$$

$$I_h = \frac{U_{np \max}}{R_h + 1,5 \rho_c} = \frac{143,86}{1000 + 1,5 * 621} = 0,074, A = 74 mA$$

Перевіримо умову безпеки, де $U_{пр.доп} = 450$ В, $143,86 - 0,074 * 1,5 * 621 \leq 450$, $75 \leq 450$.

Умова виконується.

Коефіцієнт напруги кроку для складного заземлювача, що складається з сітки та ряду вертикальних провідників, може бути визначений в залежності від типу заземлювача. Приймаємо $\beta_1 = 0,17$. Визначаємо коефіцієнт β_2 -

коефіцієнт зниження напруги кроку, що залежить від питомого опору верхнього шару землі згідно з наступною формулою:

$$\beta_2 = \frac{R_h}{R_h + 6\rho_1},$$

$$\beta_2 = \frac{R_h}{R_h + 6\rho_1} = \frac{1000}{1000 + 6 * 621} = 0,212$$

За наступною формулою визначаємо напругу кроку:

$$U_{ш} = I_3 R_3 \beta_1 \beta_2,$$

$$U_{ш} = I_3 R_3 \beta_1 \beta_2 = 1790 * 0,57 * 0,15 * 0,212 = 32,44, B$$

Умова безпеки для людини, що крокує в зоні поширення струму

$$U_{ш} = U_{1-2 \max} - I_h * 6\rho_c = I_3 R_3 \beta_1 \beta_2 \leq U_{доп},$$

де $U_{доп} = 450$ В для часу дії короткого замикання з урахуванням АПВ $t = 0,15$ с.

$$U_{1-2 \max} = \varphi_3 \beta_1,$$

$$U_{1-2 \max} = \varphi_3 \beta_1 = 1020,3 * 0,15 = 153,05, B$$

$$I_h = \frac{U_{1-2 \max}}{R_h + 6\rho_c},$$

$$I_h = \frac{U_{1-2 \max}}{R_h + 6\rho_c} = \frac{153,05}{1000 + 6 * 621} = 0,032, A = 32, mA$$

Перевіримо умову безпеки:

$$U_{1-2 \max} - I_h * 6\rho_c \leq U_{доп},$$

$$153,05 - 0,032 * 6 * 621 \leq 450 \quad 33,8 \leq 450.$$

Умова виконується.

2.7 Блискавкозахист знижувальної підстанції 110/10

Так як на підстанції знаходиться велика кількість електроустаткування, яке необхідно берегти від ударів блискавок нижче, буде розрахований блискавкозахист підстанції. Захистом блискавки називається комплекс захисних пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей, збереження будівель і споруд, обладнання та матеріалів від можливих вибухів, загорянь і руйнувань, що виникають при дії блискавки.

При прямому ударі блискавка має безпосередній контакт з об'єктом, що вражається, супроводжується короткочасним (імпульсним) струмом блискавки. Крім прямого удару прояви блискавок можуть бути як електростатичної і електромагнітної індукції.

Електростатична індукція полягає в тому, що на наземних предметах внаслідок зміни електричного поля грозової хмари наводяться небезпечні електричні потенціали, внаслідок чого можливе іскріння між окремими металевими елементами конструкції та обладнання.

Електромагнітна індукція полягає у наведенні потенціалів (ЕРС) у незамкнених металевих контурів в результаті зміни струму блискавки (зміни магнітного поля), що створює небезпеку іскріння в місцях зближення цих контурів.

При грозі під час ударів блискавки в різні об'єкти, що знаходяться вдалині від будівель і споруд, можливе занесення високих електричних потенціалів в будівлю, що захищається, по зовнішнім металевим спорудам і комутаціям (естакади, трубопроводи, кабелі з металевими оболонками). Для прийому електричного розряду блискавки та відведення її струму в землю служать спеціальні пристрої, які називаються блискавковідводами.

Блискавковідвід складається з несучої частини (опори), блискавкоприймача, струмовідводу та заземлювача. Найбільш поширені стрижневі та тросові блискавковідводи. Кожен блискавковідвід має певну зону

захисту – частину простору, у межах якого забезпечується захист будівель та споруд від прямих ударів блискавки.

При проходженні струму блискавки через блискавковідведення на ґрунті поблизу заземлювачів можуть виникати небезпечні для людей потенціали. Тому розмістимо заземлювачі блискавковідводів у місцях, що рідко відвідуваються, на відстані 5 м і більше від проїжджих і пішохідних доріг. Струмовідводи розташуємо на відстані від входів у будівлі.

ОРУ захищатимемо від прямих ударів блискавки за допомогою стрижневих одиночних блискавковідводів, розташованих поблизу устаткування, що захищається. Зазначені блискавковідводи мають заземлення, яке зазвичай поєднуються із заземленням електроустаткування.

Середньорічна тривалість гроз у годиннику визначається за регіональними картами тривалості гроз. Підрахунок очікуваної кількості N уражень блискавкою на рік провадиться за формулою:

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7.7h^2]n \cdot 10^{-6},$$

де h – найбільша висота будівлі чи споруди, м;

S, L – ширина та довжина будівлі або споруди, м;

n - середньорічне число ударів блискавки в 1 км² земної поверхні (питома щільність ударів блискавки в землю) у місці знаходження будівлі або споруди.

Оскільки середньорічна тривалість гроз в області розташування підстанції становить 40 годин, то питома щільність ударів блискавки в землю $n=2, 1/(\text{км}^2 \cdot \text{рік})$.

Розрахуємо кількість поразок блискавкою на рік:

$$N = [(80 + 6 \cdot 30)(80 + 6 \cdot 30) - 7.7 \cdot 30^2]2 \cdot 10^{-6} = 1.21.$$

Для одиночного стрижневого блискавковідводу висотою $h \leq 150$ м зона захисту є конусом. Основа конуса має радіус $r=1.5h$. Горизонтальний переріз

зони захисту на висоті споруджуваної h_x являє собою коло радіусом r_x (радіус захисту). Для графічної побудови утворюючої конуса зони захисту необхідно з'єднати вершину блискавковідводу з точками, розташованими на рівні землі, віддаленими від основи блискавковідведення на відстані $r/2=0.75h$ в обидві сторони від нього. Потім точку на блискавковідводі, розташовану на висоті $0,8 h$, з'єднати з точками на рівні землі, що віддаляються від основи блискавковідводу на відстані $r=1.5h$ в обидві сторони від нього.

3. ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

Важливою технічною задачею, яку потрібно вирішувати при проектуванні електропостачання, є вибір напруги силової та освітлювальної мережі. Від правильності вибору будуть залежати втрати напруги, електроенергії та багато інших чинників. При виборі напруги для живлення силових і освітлювальних споживачів слід віддавати перевагу варіанту з більш високою напругою, оскільки чим більша величина U , тим менше струм в провідниках, тим менше перетин, менші втрати потужності і енергії.

Для електроустановок з $U \leq 1000 \text{ В}$ прийняті наступні стандартні напруги змінного струму: 110 В, 220 В, 380 В, 660 В. Найбільш поширено на підприємствах промисловості отримала система трифазного струму напругою 380/220 В частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю. Широко використовується так само система напруги 660/380 В. Для проєктованого цеху застосовуємо систему трифазного змінного струму з напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю, що дозволяє жити від одних і тих же трансформаторів силові та освітлювальні навантаження. Силові споживачі живляться напругою 380 В, а освітлення напругою 220 В.

Цехові електричні мережі поділяються на силові і освітлювальні, які, в свою чергу, діляться на живлячі та розподільчі.

До живлячих ліній відносяться ділянки мережі від джерела живлення ТП до РП, а до розподільчих – ділянки мережі, до яких приєднуються електроприймачі.

Вибір схеми електропостачання приймачів цеху залежить від багатьох факторів:

- потужності окремих споживачів;
- розташування споживачів;
- площі цеху;

- технологічного процесу цеху, визначеного категорією електроприймачів по безперебійності електропостачання.

Система електропостачання повинна відповідати таким вимогам:

- зручність і надійність обслуговування;
- належну якість електроенергії;
- безперебійність і надійність електропостачання як в нормальному, так і в аварійному режимі;
- економічність системи, тобто найменші капітальні й експлуатаційні витрати;
- гнучкість системи, що дає можливість розширення виробництва без істотних додаткових витрат.

Для даного проекту вибрана радіальна схема електропостачання.

Радіальна схема електропостачання - сукупність ліній цехової електричної мережі, що відходять від РП нижчої напруги ТП і призначених для живлення невеликих груп електроприймачів, розташованих у різних місцях цеху.

Розподіл електроенергії до окремих споживачів при даній схемі електропостачання здійснюється самостійними лініями від силових пунктів, розташованих у центрі електричних навантажень даної групи споживачів.

Переваги радіальних ліній: висока надійність, в них легко можна застосувати автоматику переключень і захисту.

Цех одержує електропостачання від власної цехової ТП 10/04кВ.

Від трансформаторної підстанції кабельними лініями (за радіальною схемою) ведеться електропостачання силових пунктів.

Від силових пунктів живляться різні верстати та інші споживачі даного цеху. На рисунку 3.1 показана радіальна схема електропостачання.

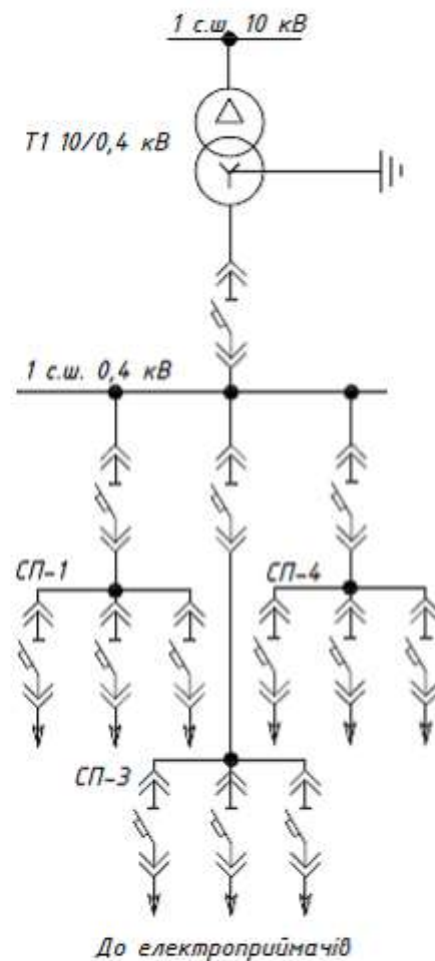


Рисунок 3.1.- Радіальна схема електропостачання споживачів

Освітлювальне навантаження на промислових підприємствах складає відносно невелику частину усього електричного навантаження, і питання його живлення вирішується в комплексі інших питань електропостачання. Освітлювальне навантаження живиться від тих же ТП, від яких живиться силове навантаження. В освітлювальних мережах для живлення груп світильників найбільш широко використовуються радіальні схеми.

При складанні схем живлення освітлювальних навантажень крім економічності враховано і надійність електропостачання освітлювальних електроприймачів і прийняті види освітлення (робоче та аварійне).

3.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Число та потужність цехових трансформаторів вибирають виходячи з отриманих даних із розрахунку навантажень цеху та категорії споживачів.

При виборі ТП дотримуємось таких вимог:

- однострансформаторні ТП встановлюємо при навантаженнях, що допускають перерву в електропостачанні на час доставки „складського резерву”. Інакше по можливості, необхідне резервування на вторинній напрузі;
- двотрансформаторні ТП застосовуємо при переважанні споживачів першої та другої категорій або при нерівномірному добовому графіку навантаження;
- рекомендується на цехових ТП встановлювати трансформатори одного типу та потужності з межею зменшення складського резерву.

Отже, виходячи з розрахунку вибираємо однострансформаторну ТП з трансформаторами типу ТСЗ 400/10 потужністю 400 кВА.

3.2. Вибір схеми та розрахунок цехової мережі

3.2.1. Розрахунок силової мережі цеху

Цехову електричну мережу виконуємо змішаною. При цій схемі одна або кілька ліній, які відходять від РП низької напруги ТП, живлять розосереджене навантаження у вигляді розподільчих шинопроводів і силових шаф та невеликих ЕП. Приймаємо дану схему, оскільки маємо відносно рівномірне розташування силового та освітлювального навантаження по площині цеха.

Схема забезпечить надійність, універсальність і високу гнучкість.

Вибір шинопроводів. Магістральні шинопроводи GGD 400÷1000А

Серія шинопроводів Gersan GGD призначена для розподілу електроенергії низької напруги з струмом від 160 до 1000А. У цій серії шинопроводу застосовуються алюмінієві шини з повітряною ізоляцією. Алюмінієві шини додатково покриті оловом, щоб не погіршувалася провідність згодом. Корпус шинопроводу виконаний також з алюмінію. Стандартна довжина секції - 4 метри. Як правило, на 4 метри встановлено 8 контактних майданчиків для підключення відповідних коробок. З'єднання елементів здійснюється за допомогою одногвинтового з'єднувача. Рівень IP захисту шинопровода серії GGD - IP50 або IP55.

Розрахунок автоматичних вимикачів до електроприймачів

Апарати захисту за своєю здатністю мають відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку ділянки електричної мережі, що захищається. Згідно з ПУЕ допускається установка апаратів захисту, якщо найближчий апарат, розташований у напрямі до джерела живлення, забезпечує миттєве вимкнення струму короткого замикання.

Умова вибору автоматичних вимикачів:

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном}}^{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном.розщ}} \geq I_{\text{розр}}$$

$$I_{\text{спр}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пік}}$$

$$I_{\text{ном.вим}} \geq I_{\text{ном.розщ}}$$

Розраховуємо номінальний струм електрокотла для нагріву води :

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,85} = 37,4 \text{ A}$$

$$1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 37,4 = 46,7 \text{ A}$$

Вибір провідників від розподільчих пунктів до електроприймачів

Електроенергія в цеху розподіляється кабельними лініями, чи проводами у трубі.

Мережі напругою до 1 кВ підлягають перевірці за економічною густиною струму при кількості годин використання максимуму навантаження понад 4000 5000 годин.

Проводка у трубах під підлогою передбачається тільки для громадських будинків і цехів де потрібні спеціальні умови.

Переріз провідників у цехових мережах визначають виходячі з умови відповідності максимального струмового захисту апаратові :

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{ном}}^{\text{п}} \cdot \frac{K_3}{K_{\text{п}}},$$

де K_3 – кратність струму для провідника відносно струму апарата захисту
 $K_3 = 1,0$, $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт прокладки $K_{\text{п}} = 1,0$

Умови вибору провідників:

$$I_{\text{пр}} \leq I_{\text{пр}}^{\text{доп}}$$

При виборі провідників від розподільчих пунктів до електроприймачів застосуємо кабелі типу АПВ.

Провідникова продукція АПВ – провід з алюмінієвою жилою, з ізоляцією із ПВХ пластику, що буває різних кольорів. Забарвлення буває суцільним або нанесеним у вигляді двох подовжніх смуг на ізоляцію натурального кольору. Для дротів, які використовуються тільки для цілей заземлення, ізоляція має зелено-жовте забарвлення.

Провід АПВ застосовуються для електричних установок при стаціонарній прокладці в освітлювальних і силових мережах, а також для монтажу електроустаткування, машин, механізмів і верстатів на номінальну напругу до 450 В частотою до 400 Гц або на постійну напругу до 1000 В.

Кабель марки АПВ призначений для прокладки у сталевих трубах, пустотних каналах будівельних конструкцій, для монтажу електричних ланцюгів, укладки на лотках, тощо.

Апаратура розподільчої мережі

Силовий пункт – це закрита металева шафа, в якій вмонтовано апарати захисту, запобіжники або автоматичні вимикачі. Ці апарати з'єднані між собою линами. Силовий пункт має зажими для підключення кабелів або проводів.

Для прийняття та розподілення електроенергії до груп електроспоживачів застосовують СП (силові пункти). Використовуються силові пункти типу СПА77, із влаштованими автоматичними вимикачами на 400А на підходячих лініях і на 63, 100 А на відхідних лініях.

Шафи силові розподільчі типу СПА77 призначені для прийому та розподілу електричної енергії трифазного змінного струму напругою до 660 В частотою 50Гц в системах з глухо заземленою нейтраллю, а також для захисту відхідних ліній від перевантаження і струмів короткого замикання в промислових установках. Шафи призначені для встановлення на промислових, житлових, комунальних і громадських об'єктах з одностороннім обслуговуванням.

Вибір автоматичного вимикача від силового пункту до шинопроводу.

Умови вибору автоматичних вимикачів:

$$U_{ном}^{AB} \geq U_{ном}^{мер.}$$

$$I_{ном}^{розч} \geq I_{СП}^{\Sigma};$$

$$I_{ном}^{AB} \geq I_{ном}^{розч};$$

$$I_{спрац} \geq 1,25 * I_{нік}.$$

СПА77-5		
Дані АВ	Умова вибору	Розрахункові дані
380 В	=	380 В
400 А	>	205,7
400 А	>	365,6 А
40000 А	>	$1,25 \cdot I_{нік} = 2285 А$
ВА 57-35		

Розрахунок перерізів струмоведучих жил.

Тип приміщення – П II

У пожежонебезпечних приміщеннях застосовуються алюмінієві провідники. Марка проводу – АПВ-500

Умови вибору провідників:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{ном}}^{\text{П}} \cdot \frac{K_3}{K_n},$$

де K_3 – кратність струму для провідника відносно струму апарата захисту $K_3 = 1,0$

K_n – коефіцієнт прокладки $K_n = 1,0$

$$I_{\text{пр}} \leq I_{\text{пр}}^{\text{доп}}$$

Вибір магнітного пускача

Пускачі призначені для дистанційного керування (пуску, зупинки, реверса) трифазними асинхронними двигунами. У виконанні з тепловим реле пускачі здійснюють захисти електродвигунів від тривалих перевантажень, а також від струмів, які виникають при обриві однієї фази. Нереверсивні пускачі використовуються для включення і відключення інших видів трифазних навантажень.

В пускачах вбудовані теплові реле, які забезпечують захист від струмів перевантажень.

В пускачах вбудовані теплові реле, які забезпечують захист від струмів перевантажень.

Умови вибору магнітного пускача:

$$U_{\text{ном}}^{\text{п}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{п}} \geq I_{\text{розр}}$$

$$P_{\text{підкл}} \geq P_{\text{ном1}}$$

Для прикладу зробимо розрахунок магнітного пускача на підключення теплової завіси воріт :

$$U_{\text{ном}}^{\text{п}} = 380 \text{ В} \geq U_{\text{мережі}} = 380 \text{ В}$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{п}} = 38 \text{ А} \geq I_{\text{розр.}} = 21,5 \text{ А}$$

$$P_{\text{підкл}} = 40 \text{ кВт} \geq P_{\text{ном}} = 25,5 \text{ кВт}$$

Обираємо магнітний пускач серії ПМЛ-3100 з вмонтованим тепловим реле.

Вибираємо ввідний автомат освітлення.

Вибір струмів апаратів захисту з урахуванням пускових струмів джерел світла: співвідношення між тривало допустимими струмовими навантаженнями провідників і струмами захисних апаратів в силових і освітлювальних мережах повинні бути не менше зазначених у главі.

При захисті автоматами, які мають тепловий та комбінований розчіплювач, струм КЗ повинен бути не менше струму уставки помноженого на коефіцієнт 1,4 для автоматів до 100 А і на 1,25 для інших автоматів.

$$I_{\text{ном.розч.}} \geq 1,4 I_{\Sigma \text{св.}}$$

$$125 \text{ А} > 1,25 \cdot 91,57 = 114,5 \text{ А}$$

Отже, приймаємо до встановлення автоматичний вимикач ВА 51-35.

Тип	Номінальне значення		Число полюсів	Розчеплювач	Номінальний струм розчеплювача, А
	Напруга, В	Струм, А			
ВА 51-35	380	125	3	тепловий	125

Для захисту освітлювальних мереж слід застосовувати автомати з розчеплювачами, що мають зворотньо залежну від струму характеристику, а саме тепловими нерегульованими або комбінованими (тепловими та електромагнітними), як нерегульованими, так і регульованими.

Вибираємо щиток освітлення.

Щитки освітлювальні групові одностороннього обслуговування уніфіковані типу ОЩ призначені для розподілу електроенергії, захисту від перевантажень і струмів короткого замикання освітлювальних мереж змінного струму напругою 380/220 В. Щитки комплектуються ввідними пакетними вимикачами на номінальний струм 63 і 100 А або ввідними шинами, а на лініях, що відходять - автоматичними вимикачами на номінальний струм 25А і 63А. Кліматичне виконання У, Т, УХЛ.

Щитки освітлювальні типів ОП, ОЩ, ОЩВ (настінні) призначені для розподілу електроенергії, а також для захисту від перевантажень і струмів короткого замикання в освітлювальних групових лініях, в мережах з заземленою нейтраллю напругою до 380 В. Ступінь захисту IP20.

струму напругою 380/220 В. Щитки комплектуються ввідними пакетними вимикачами на номінальний струм 63 і 100 А або ввідними шинами, а на лініях, що відходять - автоматичними вимикачами на номінальний струм 25А і 63А. Кліматичне виконання У, Т, УХЛ.

Щитки освітлювальні типів ОП, ОЩ, ОЩВ (настінні) призначені для розподілу електроенергії, а також для захисту від перевантажень і струмів короткого замикання в освітлювальних групових лініях, в мережах з заземленою нейтраллю напругою до 380 В. Ступінь захисту IP20.

3.3. Аварійне освітлення

Аварійне освітлення служить для безпечної евакуації людей з приміщень при аварійному зникненні робочого освітлення. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість основних проходів не менше 0,5 лк.

Аварійне освітлення необхідне там, де при раптовому вимкненні робочого освітлення можливе виникнення вибуху або пожежі, масового травматизму, тривалого розладу технологічного процесу, а також порушення роботи відповідальних об'єктів (водопостачання, вузли зв'язку, пожежні пости, електрощитові). Це освітлення називається аварійним освітленням, для продовження роботи воно повинно створювати на робочих місцях 20% нормованого робочого освітлення при системі загального освітлення.

Евакуаційне освітлення для евакуації людей повинно забезпечувати освітлення не менше 0,5 лк. Воно обов'язкове в основних прохідних приміщеннях, коридорах і на сходах, які служать для евакуації людей, в приміщеннях де працює понад 50 чол. одночасно.

Світильники аварійного освітлення приєднуються окремими лініями до незалежного джерела живлення або переключаються на нього автоматично при раптовому вимкненні робочого освітлення. Крім того вони повинні відрізнятися від світильників робочого освітлення типом, розміром або спеціально нанесеним знаком.

Для аварійного та евакуаційного освітлення дозволяється використовувати люмінесцентні лампи і лампи розжарювання. При нормальному режимі вони не беруть участь у створенні нормованої освітленості приміщення і робочої поверхні.

В нашому випадку слід обладнати аварійним освітленням КТП, кімнати та коридор.

Оскільки, довжина коридору 28 м, а площа КТП 30 м² встановлюємо 21 лампу розжарювання на 200 Вт в світильнику НСП-05У-200-611Р54 (підвісний на гак, з решіткою) для забезпечення аварійного освітлення.

В нашому випадку слід обладнати аварійним освітленням КТП, кімнати та коридор.

Оскільки, довжина коридору 28 м, а площа КТП 30 м² встановлюємо 21 лампу розжарювання на 200 Вт в світильнику НСП-05У-200-611Р54 (підвісний на гак, з решіткою) для забезпечення аварійного освітлення.

Визначаємо розрахунковий струм однієї лампи розжарювання :

$$I_{CB1} = \frac{P_{св}}{U_{л} \cdot \cos \varphi} = \frac{200}{220 \cdot 0,91} = 0,99 \text{ A}$$

Знаходимо сумарний розрахунковий струм освітлювальної установки:

$$I_{\Sigma CB} = \frac{n \cdot P_{CB}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}} = \frac{5 \cdot 200}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1,6 \text{ A}$$

Вибираємо ввідний автомат:

$$I_{\text{ном,розч}} \geq 1,4 I_{\Sigma CB}$$

$$10 \text{ A} > 1,4 \cdot 1,6 = 2,24 \text{ A}$$

Отже, приймаємо до встановлення автоматичний вимикач ВА 47-100.

ВИСНОВКИ

Бакалаврську роботу присвячено проектуванню електропостачання електроапаратного заводу. У роботі був проведений розрахунок електричних навантажень на заводі методом коефіцієнта використання, вибір числа та потужності цехових трансформаторних підстанцій. Повна потужність підприємства становила $S_{p0,4} = 17827$ кВА. Економічне доцільне число трансформаторів дорівнює $N_{\text{тобто}} = 18$. Для розрахунку було обрано трансформатор марки ТМЗ-1000-10/0,4.

Також у роботі було розглянуто питання компенсації реактивної потужності та вибір кількості та потужності компенсуючих пристроїв, до яких відносяться батареї конденсаторів. Для компенсації на шинах ГПП вибираємо конденсаторні батареї типу УК-038-300 УЗ.

Після розрахунку компенсації реактивної потужності було зроблено уточнений розрахунок навантажень по заводу, після якого повна потужність склала $S_p = 16592$ кВА.

У роботі було здійснено розрахунок струмів короткого замикання та обрано обладнання на напругу 10 кВ. Зокрема обрані вступні та секційні вимикачі, трансформатори струму та напруги, вимикачі навантаження, силові кабелі відхідних лінії, шини, ізолятори. Всі вибрані обладнання відповідають стандартам і якостям сучасних технологій. Здійснено розрахунок втрат напруги в елементах мережі при мінімальному та максимальному режимах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коваль І.О. Електричні апарати напругою понад 1 кВ сучасних виробників. Довідкові матеріали для курсового та дипломного проектування. Навчальний посібник. – К.: Київський енергетичний коледж, 2008.
2. Правила улаштування електроустановок / Мінпаливенерго України – 3-тє перероб. і доп. Київ, 2011.–736 с.
3. Зеркалов Д.В. Енергозбереження в Україні [Електронний ресурс] : У п'яти книгах. Книга друга: Організація використання енергоресурсів. Довідник / Д. В. Зеркалов. – Електрон. дані. – К. : Основа, 2009.
4. М.С. Сегеда «Електричні мережі та системи». Підручник - Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»,2007.
5. Зорін В.В., Штогрін Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл.– Ніжин ТОВ “Видавництво”Аспект-поліграф”, 2011. – 248 с
6. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. — К.: Либідь, 2005. — 680 с.
7. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотіло, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
8. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005. – 678 с.
9. Зеленов А.Б. Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник. – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
- 10.Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За ред. М.Г. Поповича. – К.: Либідь, 2005. – 672 с.

ДОДАТКИ

1 DESIGNING SYSTEMS ELECTRICAL SUPPLY ELECTRICAL APPARATUS PLANT

1.1 Brief description of production technology

The enterprise is located in an industrially developed area. The electrical equipment plant receives power from the district power plant, designed for the integrated production of thermal and electrical energy. At the enterprise, mainly category 1 and 2 electricity consumers are used, therefore, the enterprise can be classified as category 2 in terms of uninterrupted power supply - we will accept two-transformer workshop substations for installation.

Electrical apparatus construction is one of the most complex industries. This is due to the wide variety of types, series and types of devices produced, the variety of materials, equipment and technological processes used in production. Specialized electrical equipment factories are characterized by the presence of a powerful tool base and strong technological services, which is explained by the need for a large number of special tools, technological installations, and testing equipment.

Electricity supply to shops is carried out from built-in step-down substations. The power supply scheme of the plant allows to continue powering the receivers with energy even in an emergency situation. The technological production process is not continuous and a short-term lack of electricity does not cause much damage.

The electrical equipment plant is an enterprise that provides the production of parts for equipment and products of general use. According to its structure, the plant has main, procurement, auxiliary shops and acid production.

Auxiliary shops include a repair and mechanical shop; hardware shop; electrical shop

The procurement shops include the procurement and welding shop; plastics shop; workshop of normals; stamping shop; workshop of asbestos cement slabs.

The main shops include the shop of magnetic stations; electroplating shop.

Acid production: neutralization station; acid sewage treatment; composition of acids; cooling tower

Other purpose: compressor; pump; dining room; plant management

The workshop of magnetic stations is an assembly shop in which magnetic stations are arranged and assembled, which are solutions for controlling several drives with different voltages.

The procurement and welding workshop performs welding of the main components of the frame and roof on slipways, rolling of roof cladding and side walls, manufacturing of frames. Welding works and mechanisms make it possible to obtain equally high-quality welding on each unit. In welding shops, various metalworking and welding works are performed: welding of DC motor skeletons, production of welded casings, welding to skeletons of legs when making them from a pipe, welding of crosspieces.

The plastic workshop deals with stamping and assembly of plastic products. The plastics shop specializes in plastic injection molding. Using the method of pressing, insulating plastic gaskets for contact rings are obtained from layered and powder materials, and reinforcing rings are pressed with plastic for collectors on plastic.

The hardware shop manufactures automatic switches, low-voltage equipment and plastic products.

The workshop of normals is designed for the production of normalized fastening parts, lifting screws, small axles and rollers and other parts processed from bars on automatic lathes.

The stamping shop makes stamping of core sheets, copper collector plates, parts of brush holders, sheets of the main pole.

The workshop of asbestos-cement plates is designed for the creation of materials for the manufacture of electrical switchboards, parts and foundations of electrical machines and devices. As well as housings of arc extinguishing chambers, gaskets and plates of induction furnaces, fences of electric furnaces, etc., where protection and operation at high voltages are required.

An electroplating shop is a production facility in which parts and products are coated with a thin layer of metal by electrolysis. Electrolysis takes place in special devices - electrolyzers or galvanic baths.

The repair and mechanical shop is a complex for the production of spare parts, technological equipment, non-standard equipment, cargo handling devices. Also, one of the main tasks of the workshop is the repair of lifting mechanisms of the main and auxiliary workshops of the plant. The technological equipment of the repair and mechanical workshop includes: metalworking, forging and pressing, lifting and welding equipment.

The neutralization station is a complex of facilities and devices designed for neutralization of oxidizer and fuel vapors, effluents from the starting position containing oxidizer and fuel, and release of neutralization products for evaporation, a site where rainfall and water evaporation occur. The composition of the neutralization station includes tanks for neutralization of effluents, adsorbers for capturing oxidizing and fuel vapors, a pumping station and units for preparing neutralizing solutions.

A pumping station is a complex system for pumping liquids from one place to another, including a building and equipment: pumping units (working and standby) — pumps, pipelines and auxiliary devices (for example, pipe fittings).

Electrical workshop - installation, dismantling and repair of equipment. At the production facilities, direct and alternating current electric motors, various types of insulation, welding transformers, and generators are repaired. Winding sections of electric machines are produced.

Cooling tower - a device for cooling a large amount of water with a directed flow of atmospheric air. Cooling towers are used for air conditioning, for cooling machine-formers of plastic masses, for chemical purification of substances.

The acid warehouse receives, stores and transfers the following products: sulfuric acid; of orthophosphoric acid The structure of the facility includes: pump room and control room; storage park of orthophosphoric acid; sulfuric acid tank park Products are delivered to the warehouse in railway tanks. Products are received by

pumps. Storage is carried out in containers heated by steam. Delivery of goods to production is carried out by pumps. Supplying the warehouse with nitrogen for blowing and nitrogen breathing, compressed air for blowing and KVP air, steam for heating containers is carried out from the enterprise's general plant networks.

The compressor station is designed to receive compressed gases. The resulting compressed gas or air can be used as an energy carrier (for a pneumatic tool), a raw material (obtaining individual gases from the air), a cryogenic agent (nitrogen). The station consists of a compressor and auxiliary (additional) equipment. The compressor station is a block box in which all the installed equipment is placed with a strapping.

1.2 Output data

Information on electrical loads in the plant's workshops - table 1.1.

The power supply of the plant can be carried out from the substation of the power system, which is equipped with two three-winding transformers with a capacity of 40 MVA with a voltage of 115/37/10.5 kV. Transformers work separately. The power of the system is 800 MVA, the reactive resistance for 115 kV is attributed to the system power of 0.4. The distance from the substation to the plant is 3 km. The plant works in two shifts [2] .

Table 1.1 - Electrical loads

No No n/p	Name	Kolvo EP, n	Installed power, kW	
			One EP, P _n	R _n
1	Workshop of magnetic stations	280	1-100	6500
2	Procurement and welding workshop	200	10-100	8200
3	Plastics shop	100	1-120	2100
4	Hardware shop	100	10-80	1700
5	Workshop of normals	70	1-50	1850
6	Stamping shop	100	10-100	3800

7	Workshop of asbestos-cement slabs	50	10-40	850
8	Composition of finished products	15	1-20	85
9	Composition of metal waste	15	1-14	70
10	Electroplating shop	50	10-40	1200
11	Repair and mechanical shop	39	4-35	1500
12	Neutralization station	10	10	100
13	Acid sewer cleaning	3	10	30
14	Pump	8	40-100	560
15	Dining room	30	1-40	270
16	Electrical workshop	25	1-40	150
17	Factory management	20	1-20	130
18	Cooling tower	2	10-20	30
19	Composition of acids	2	10-20	30
20	Compressor: a) 0.4 kV	15	10-40	200
	b) CD 10 kV	4	800	3200

1.3 Calculation of lighting load

The calculation of the lighting load in relation to the load of the enterprise is made by a simplified method according to the specific density of the lighting load per square meter of the production area and the coefficient demand [2]

According to this method, the estimated lighting load is taken equal to the average lighting power for the busiest shift .

Розрахунок ведеться за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту. Для визначення розрахункових навантажень за цим методом необхідно знати встановлену потужність групи електроприймачів, коефіцієнти потужності та попиту цієї групи, що визначаються за довідковими матеріалами.

Розрахункове навантаження для однорідних за режимом роботи приймачів визначається наступним чином:

$$P_p = K_p \cdot P_{\text{ном}}, \quad (1.1)$$

де K_p - коефіцієнт попиту;

$P_{\text{ном}}$ - сумарна номінальна потужність електроприймачів цеху, кВт.

Розрахункове реактивне навантаження, квар

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \quad (1.2)$$

Розрахункове навантаження електричного освітлення визначається за формулою, кВт

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{н.о}} \cdot K_{\text{п.о}}, \quad (1.3)$$

де $K_{\text{п.о}}$ - коефіцієнт попиту на освітлювальну установку.

$P_{\text{н.о}}$ - сумарна номінальна потужність освітлювального навантаження, кВт

$$P_{\text{н.о}} = P_{\text{пит.о}} \cdot F, \quad (1.4)$$

де $P_{\text{пит.о}}$ - питома щільність навантаження на 1 м² виробничої площі, кВт / м²;

F - площа відповідного цеху, м².

Повне розрахункове навантаження цеху, кВт·А

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о}})^2 + Q_p^2}, \quad (1.5)$$

where S is the area of the production premises to be determined according to the general plan of the plant, m²; ρ_0 – specific calculated power, kW/ m².

1.4 Calculation of electrical loads at the plant

The calculation of electric loads with a voltage of up to 1 kV is carried out by the workshops of the plant using the method of "Ordered diagrams" in a simplified way.

Втрати в цехових трансформаторах, кВт, квар.

$$\Delta P_{ц,т} = 0,02 \cdot S_{рц,т}, \quad (1.6)$$

$$\Delta P_{ц,т} = 0,02 \cdot 7674,73 = 153,49 = 275,83$$

$$\Delta Q_{ц,т} = 0,1 \cdot S_{рц,т}, \quad (1.7)$$

$$\Delta Q_{ц,т} = 0,1 \cdot 7674,73 = 767,47$$

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв по підприємству в цілому, квар

$$Q_{кп} = Q_{р\Sigma 0,4кВ} + \Delta Q_{ц,т} - Q_e, \quad (1.8)$$

де Q_e - значення реактивної потужності, що видається підприємству енергосистемою, квар

$$Q_{кп} = 4760 + 767,47 - 1654,06 = 3873,41$$

Нескомпенсована реактивна потужність заводу, яка віднесеться до шин 10 кВ ГПП з урахуванням коефіцієнта різночасності максимуму силового навантаження, буде рівна, квар

$$Q_{10} = Q_{р\Sigma 0,4кВ} \cdot K_{рм} - Q_{кп}, \quad (1.9)$$

де $K_{рм}$ - коефіцієнт різночасності максимуму

$$Q_{10} = 4760 \cdot 0,9 - 3873,41 = 410,59$$

Втрати активної потужності в батареях статистичних конденсаторів, кВт

$$\Delta P_{\text{кп}} = P_{\text{пв}} \cdot Q_{\text{кп}}, \quad (1.10)$$

де $P_{\text{пв}}$ - питомі втрати в БСК, кВт / кВар.

$$\Delta P_{\text{кп}} = 0,002 \cdot 3873,41 = 7,75$$

Активна сумарна потужність заводу, віднесена до шин 10кВ ГПП з урахуванням коефіцієнта різночасності максимального силового навантаження, кВт

$$P_{10} = P_{\text{р}\Sigma} \cdot K_{\text{рм}} + P_{\text{ро}} + \Delta P_{\text{кп}} + \Delta P_{\text{цт}}, \quad (1.11)$$

$$P_{10} = 6904 \cdot 0,9 + 1366,3 + 7,75 + 275,83 = 7741,14$$

Повна сумарна потужність на шинах 10кВ ГПП, кВ·А

$$S_{10} = \sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2}, \quad (1.12)$$

$$S_{10} = \sqrt{7741,14^2 + 410,59^2} = 7752,02$$

Втрати потужності в трансформаторах ГПП визначаємо приблизно, кВт,

$$\Delta P_{\text{т.ГПП}} = 0,02 \cdot S_{10}, \quad (1.13)$$

$$\Delta P_{\text{т.ГПП}} = 0,02 \cdot 7752,02 = 155,04$$

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП}} = 0,1 \cdot S_{10}, \quad (1.14)$$

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП}} = 0,1 \cdot 7752,02 = 775,2$$

Повна розрахункова потужність заводу на стороні вищої напруги ГПП,
кВ·А

$$S_{\text{р.вн}} = \sqrt{(P_{10} + \Delta P_{\text{т.ГПП}})^2 + (Q_{10} + \Delta Q_{\text{т.ГПП}})^2}, \quad (1.15)$$

$$S_{\text{р.вн}} = \sqrt{(7741,14 + 155,04)^2 + (410,59 + 775,2)^2} = 7984,72$$

1.5 Selection of the number of workshop transformers and compensation of reactive power at a voltage of 0.4 kV

The correct determination of the number and power of workshop transformers is possible only through technical and economic calculations taking into account the following factors: reliability category of power supply to consumers; compensation of reactive loads at a voltage of up to 1 kV; overload capacity of transformers in normal and emergency modes; steps of standard powers ; economic modes of operation transformers, depending on the load schedule. [2] Data for calculation:

$$P_{\text{р0.4}} = 13745.1 \text{ kW};$$

$$Q_{\text{р0.4}} = 11672.3 \text{ kvar} ; S_{\text{р0.4}} = 17,827 \text{ kVA} .$$

The electrical equipment plant belongs to the 2nd category of consumers, the plant works in two shifts, hence the load factor of the transformers

$T_o = 0.8$. With a load density of 380 V up to 0.2-0.3 kVA / m² we accept a transformer with a power of $S_{\text{nt}} = 1000 \text{ kVA}$.

For each technologically concentrated group of workshop transformers of the same capacity, the minimum number of transformers required to power the largest calculated active load is calculated by the formula:

$$N_{T \min} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \times S_{HT}} + \Delta N = \frac{13475,1}{0,8 \times 1000} + 0,156 = 17,$$

where $P_{r0,4}$ is the total calculated active load;

K_c is the load factor of the transformer;

S_{nt} - accepted nominal power of the transformer;

ΔN is an addition to the nearest whole number.

The economically feasible number of transformers is determined by the following formula:

$$N_{T,3} = N_{\min} + m,$$

where m is the additional number of transformers;

$N_{i.e.}$ – is determined by the specific costs of reactive transmission capacity, taking into account the constant components of capital costs

$$3^*_{n/ct} = 0,5; \kappa_3 = 0,8; N_{\min} = 6; \Delta N = 0,669,$$

then we determine m from the curve guide, for our case $m=1$, so $N_{i.e.} = 17+1=18$ transformers.

Based on the selected number of transformers, the largest reactive power Q_1 is determined, which is advisable to transfer through transformers to the network with a voltage of up to 1 kV, determined by the formula [2]:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{T3} \times S_{HT} \times K_3)^2 - P_{p0,4}^2} = \sqrt{(18 \times 1000 \times 0,8)^2 - 13475,1^2} = 5077,5 \text{ кВар.}$$

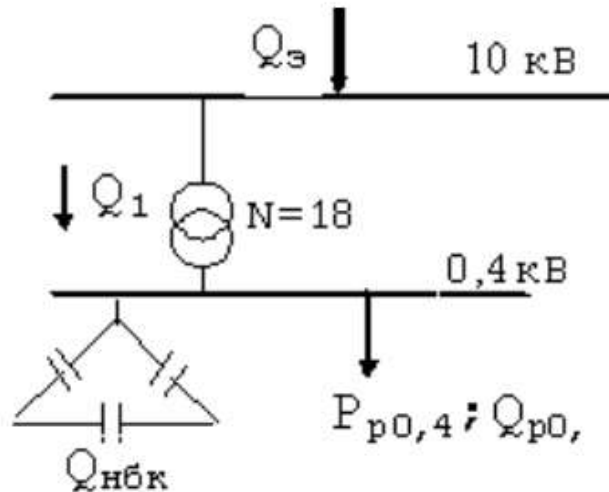


Figure 1.1 – Substitution scheme

From the condition of reactive power balance on 0.4 kV buses, we determine the value of Q_{nbk1} :

$$Q_{нбк1} + Q_1 = Q_{p0,4},$$

$$Q_{нбк1} = Q_{p0,4} - Q_1 = 11672 - 5077,5 = 6594,5 \text{ квар.}$$

Additional power $Q_{nbk2} < 0$, I assume $Q_{nbk2} = 0$, it follows that

$$Q_{нбк} = Q_{нбк1} + Q_{нбк2} = 6594,5 + 0 = 6594,5 \text{ квар.}$$

Let's determine the power of one battery of capacitors, which corresponds to each transformer:

$$Q_{нбк\text{ III}} = \frac{Q_{нбк}}{N_{T3}} = \frac{6594,5}{18} = 366,36 \approx 300 \text{ квар.}$$

We accept NBK: KK-0.38-300 U3[3]

ТП1, ТП2: $Q_{p\text{ ТП } 1,2} = 2764,73$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 1,2} = X$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 1,2} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 1,2}}{Q_{p0,4}} = \frac{2764,73 \times 6594,5}{11672,3} = 1562 \text{ квар.}$$

ТП3, ТП4 : $Q_{p\text{ ТП } 3,4} = 2220,3$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 3,4} = X$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 3,4} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 3,4}}{Q_{p0,4}} = \frac{2220,3 \times 6594,5}{11672,3} = 1255 \text{ квар.}$$

ТП5, ТП6, ТП7 : $Q_{p\text{ ТП } 5,6,7} = 4738,9$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 5,6,7} = X$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 5,6,7} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 5,6,7}}{Q_{p0,4}} = \frac{4738,9 \times 6594,5}{11672,3} = 2677,5 \text{ квар.}$$

ТП8, ТП9 : $Q_{p\text{ ТП } 8,9} = 1948,3$ квар, $Q_{p\text{ нбк ТП } 8,9} = X$, ТОГДА

$$Q_{p\text{ нбк ТП } 8,9} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p\text{ ТП } 8,9}}{Q_{p0,4}} = \frac{1948,3 \times 6594,5}{11672,3} = 1100,8 \text{ квар.}$$

the calculated data on the distribution of Q_{NBK} by TP in Table 1.2.

Table 1. 2 - Refined distribution of Q_{nbk} by TP

No. TP	$Q_{\text{rtp}}, \text{sq}$	$Q_{\text{mbctp}}, \text{sq}$	$Q_{\text{fact nbktp}}, \text{kvar}$	$Q_{\text{non-standard}}, \text{sq}$
TP1, TP2	2764.3	1562	4x300+2x150	1214.7
TP3, TP4	2220.3	1254.5	4x300	1020.3
TP5, TP6, TP7	4738.9	2677.5	8x300+4x75	2038.9
TP8, TP9	1948.9	1100.8	4x300	748.3
TOGETHER	11672.3	6537.75	6650	5022.3

1.6 Calculation of electrical loads on 10 kV buses

1.6.1 Determination of power losses in workshop transformers

We choose TMZ-1000-10/0.4 type transformers. [3]

Passport data: $S_{nt} = 1000 \text{ kVA}$; $I_x = 1.4\%$; $I_n \text{ kZ} = 5.5\%$; $\Delta R_{xx} = 2.1 \text{ kW}$; $\Delta R_{kz} = 12.6 \text{ kW}$.

ТП1, ТП2: $K_3 = 0,82$; $N = 4$;

$$\sum \Delta P_r = (2,1 + 12,6 \times 0,82^2) \times 4 = 42,4 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_r = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,82^2 \right) \times 4 = 204 \text{ квар};$$

ТП3, ТП4: $K_3 = 0,76$; $N = 4$;

$$\sum \Delta P_r = (2,1 + 12,6 \times 0,76^2) \times 4 = 37,6 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_r = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,76^2 \right) \times 4 = 183,2 \text{ квар};$$

ТП5, ТП6, ТП7: $K_3 = 0,85$; $N = 6$;

$$\sum \Delta P_r = (2,1 + 12,6 \times 0,85^2) \times 6 = 67,2 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_r = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,85^2 \right) \times 6 = 322,2 \text{ квар};$$

ТП8, ТП9: $K_3 = 0,8$; $N = 4$;

$$\sum \Delta P_r = (2,1 + 12,6 \times 0,8^2) \times 4 = 40,6 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta Q_r = \left(\frac{1,4}{100} \times 1000 + \frac{5,5}{100} \times 1000 \times 0,8^2 \right) \times 4 = 196,8 \text{ квар};$$

Total power losses:

$$\sum_1^8 \Delta P_{mp} = 187,8 \text{ кВт}; \quad \sum_1^8 \Delta Q_m = 906,2 \text{ квар}.$$

1.5.2 Determination of the estimated power of synchronous motors Estimated active power of CD:

$$P_{p \text{ сд}} = P_{н \text{ сд}} \times K_3 \times N.$$

Calculated reactive power of CD:

$$Q_{p \text{ сд}} = P_{н \text{ сд}} \times K_3 \times N \times \text{tg } \varphi.$$

Output data: $R_{нсд} = 800 \text{ kW}$; number of engines $N = 4$;
load factor $K_z = 0.8$; $\cos \varphi = 0.9$.

$$P_{p \text{ сд}} = 800 \times 0,8 \times 4 = 2560 \text{ кВт};$$

$$Q_{p \text{ сд}} = 800 \times 0,8 \times 4 \times 0,48 = 1228,8 \text{ квар.}$$

1.5.3 Determination of the capacity of high-voltage capacitor batteries . Let's make the reactive power balance equation on 10 kV buses:

$$Q_{вбк} = Q_{p0,4} + \Sigma \Delta Q_{тр} + Q_{рез} - Q_3 - Q_{нбк} - Q_{сд}.$$

Reserve power:

$$Q_{рез} = 0,1 \times \Sigma Q_{расч} = 0,1 \times (Q_{p0,4} + \Sigma \Delta Q_{тр}) = 0,1 \times (11672,3 + 906,2) = 1258 \text{ квар.}$$

Power from the power system:

$$Q_3 = (0,23 - 0,25) \times \Sigma P_p = 0,25 \times (P_{p0,4} + \Sigma \Delta P_{тр} + P_{p \text{ сд}});$$

$$Q_3 = 0,25 \times (13475,1 + 187,8 + 2560) = 4055 \text{ квар.}$$

From the equation of the reactive power balance, we find $Q_{вбк}$:

$$Q_{вбк} = 11672,3 + 906,2 + 1257,9 - 4054,7 - 6650 - 1228,8 = 1902,9 \text{ квар.}$$

Since $Q_{is \text{ included}} = 1902.9 \text{ kvar}$, then the power of one battery is 900 kvar ,

$$Q_{incl} = 2 \times 900 = 1800 \text{ sq} .$$

1.7 Choosing an external power supply scheme

The plant can be powered from the substation of the power system. The substation has two three-winding transformers with a capacity of 40 MVA and a voltage of 115/37/10.5 kV. Transformers work separately. The distance from the power system substation is up to 3 km. [2]

III variant: 115 kV.

IV variant: 37 kV.

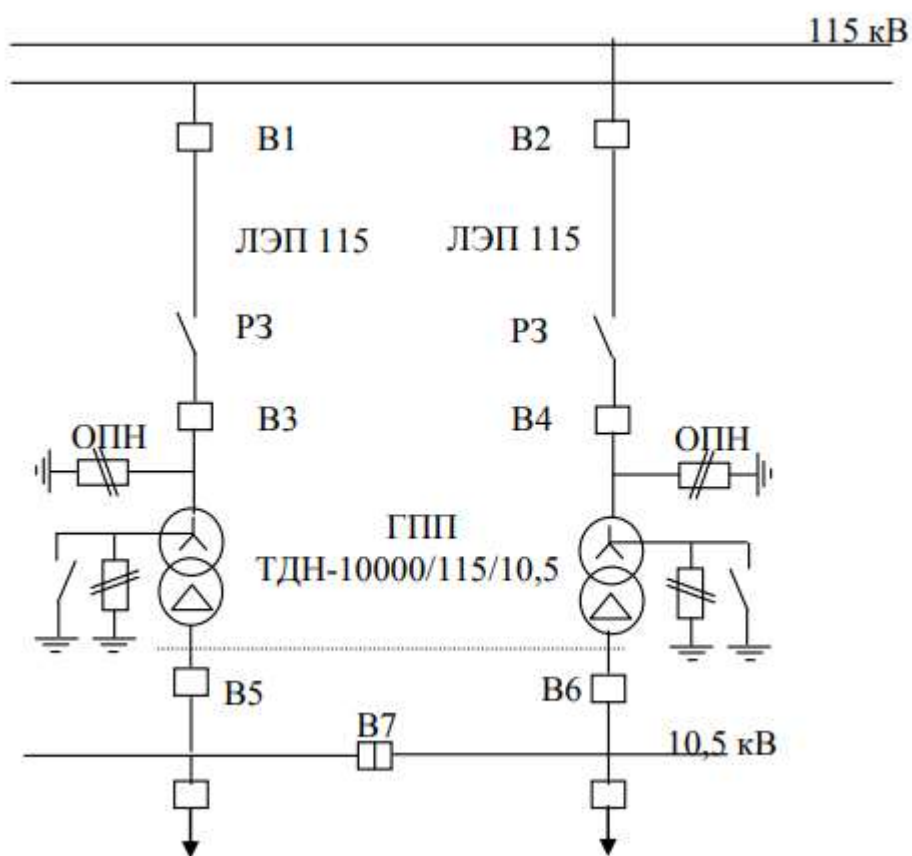


Figure 1.4 – The first version of the power supply scheme

3. We choose GPP transformers:

$$S_{\text{тр.гпп}} = \sqrt{P_p^2 + Q_s^2} = \sqrt{16350,6^2 + 4055^2} = 16592 \text{ kVA.}$$

We choose 2 transformers with a capacity of 16,000 kVA .

Loading factor:

$$K_3 = \frac{S_{penn}}{2 \cdot S_{imp}} = \frac{16592}{2 \cdot 10000} = 0,83.$$

Finally, we accept 2 transformers of the TDN-10000/110 type.

Passport data of transformers:

$S_n = 10000$ kVA ; University of = 110 square meters ; $U_{nn} = 10.5$ kV; $\Delta R_{xx} = 14$ kW;

$\Delta R_{kz} = 58$ kW; $I_{nkz} = 10.5\%$; $I_{xx} = 0.9\%$.

Let's calculate the power losses in these transformers:

$$\Delta P_{\text{тр.групп}} = 2(\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3} \cdot K_3^2) = 2(14 + 58 \cdot 0,83^2) = 107,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр.групп}} = 2\left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{HT} + \frac{U_{k3}}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2\right) = 2\left(\frac{0,9}{100} \cdot 10000 + \frac{10,5}{100} \cdot 10000 \cdot 0,83^2\right) = 1626,7 \text{ квар.}$$

Let's determine the loss of electrical energy in the transformers of the GPP:

With a two-shift mode of operation, the number of hours of operation $T_{incl} = 4000$ h and the number of hours of maximum active load use $T_m = 3000$ hours

$$\Delta W_{\text{тр.групп}} = 2 \times (\Delta P_{xx} \times T_{BKЛ} + \tau \times \Delta P_{k3} \times K_3^2),$$

where $\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1574,8$ h - time of maximum losses.

$$\Delta W_{\text{тр.групп}} = 2(14 \cdot 4000 + 58 \cdot 1574,8 \cdot 0,83^2) = 237849 \text{ кВт·ч.}$$

4. We choose the cross-section of the 110 kV power line wires: We determine the power passing through the power line:

$$S_{\text{лэн}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{мрэнн}})^2 + Q_s^2} = \sqrt{(16350,6 + 107,9)^2 + 4055^2} = 16950,6 \text{ кВА.}$$

Estimated current of one line:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{16950,6}{2\sqrt{3} \cdot 115} = 42,5 \text{ A.}$$

Emergency current: $I_{\text{ав}} = 2 I_r = 2 \cdot 42,5 = 85 \text{ A.}$

a) Determine the current density cross section :

$$F_e = I_p / J_e = 42,5 / 1,1 = 38,7 \text{ mm}^2;$$

$$J_e = 1,1 \text{ A/mm}^2 \text{ (Al, Tm = 4000 hours).}$$

We choose a wire with a cross section of 50 mm^2 .

b) Under the condition of corona losses for PL-110 kV, the cross-section should be

not less than 70 mm^2 .

We accept AC-70 wire, $I_{\text{add}} = 265 \text{ A.}$

c) Let's check the wire according to the operating current:

$$I_{\text{доп пров}} \geq I_p \text{ (265 A > 42,5 A).}$$

d) Let's check the wire in emergency mode:

$$I_{\text{доп ав}} \geq I_{\text{ав}},$$

where $I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{add}} = 1,3 \cdot 265 = 344,5 \text{ A, (344,5 A > 85 A).}$

Let's determine the electricity losses in the 110 kV transmission line:

$$\Delta W_{\text{лэн}} = 2(3I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau) = 2 \cdot 3 \cdot 42,5^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 23608 \text{ kW hours}$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,46 \cdot 3 = 1,38 \text{ ohms .}$$

3. Before choosing devices, we will draw up a substitution diagram and calculate the short-circuit current.

Let's make a substitution scheme:

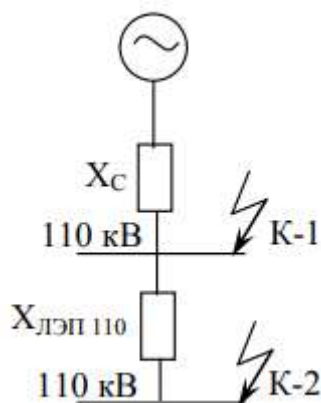


Figure 1.5 - Scheme substitution for calculating short-circuit currents

$$S_6=1000 \text{ MBA}; U_6=115 \text{ кВ}; X_c=0,4 \text{ o.e.}$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = 5,02 \text{ кА.}$$

Power line resistance:

$$X_{\text{ЛЭП}} = X_0 \cdot l \cdot S_6 / U_{\text{cp}}^2 = 0,343 \cdot 1000 / 115^2 = 0,077.$$

Let's calculate the effective value of the current kz at point K1:

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_6}{X_c} = 0,5 / 0,4 = 1,25 \text{ кА.}$$

Impulse current kz :

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,25 = 3,1 \text{ кА.}$$

Actual value of current kz at point K2:

$$I_{\text{к2}} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{ЛЭП}}} = \frac{0,5}{0,4 + 0,077} = 1,24 \text{ кА.}$$

Impulse current kz :

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,24 = 3,15 \text{ кА.}$$

Power kz at point K1:

$$S_{k1} = \sqrt{3} U_6 I_{k1} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 1,25 = 248 \text{ MBA.}$$

Power kz at point K2:

$$S_{k2} = \sqrt{3} U_6 I_{k2} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 1,24 = 246 \text{ MBA.}$$

5. Selection of switches and disconnectors for $U = 115 \text{ kV}$

Table 1. 3 - We select switches of type 121PM40-20B of the ABB firm

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 110 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 20 \text{ kA}$ $I_{\text{Dean}} = 52 \text{ kA}$	$U_r = 110 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 85 \text{ A}$ $I_{k1} = 1.25 \text{ kA}$ $i_{\text{ud1}} = 3.15 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq I_{\text{av}}$ $I_{\text{off}} \geq I_{k1}$ $I_{\text{Dean}} \geq i_{\text{ud1}}$

Let's choose 110 kV disconnectors:

Table 1. 4 - We select disconnectors of the RND3-110/630 U1 type

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 110 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{square amp.}} = 80 \text{ kA}$ And popper. therm. Art . = 31.5 kA	$U_r = 110 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 85 \text{ A}$ and $i_{\text{ud2}} = 3.15 \text{ kA}$ $I_{k2} = 1.25 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq I_{\text{av}}$ $I_{\text{square amp.}} \geq i_{\text{ud2}}$ And before the term . Art $\geq I_{k2}$

Let's select switches B3, B4:

Table 1. 5 - We select switches of type 121PM40-20B of the ABB firm

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 110 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 20 \text{ kA}$ $I_{\text{Dean}} = 52 \text{ kA}$	$U_r = 110 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 85 \text{ A}$ $i_{\text{ud2}} = 3.15 \text{ kA}$ $I_{k2} = 1.25 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq I_{\text{av}}$ $I_{\text{off}} \geq I_{k1}$ $I_{\text{Dean}} \geq i_{\text{ud1}}$

Surge limiters:

overvoltage limiters of the OPNP-110/420/56-10 UHL1 type,

$U_H = 110 \text{ KV}$. [10]

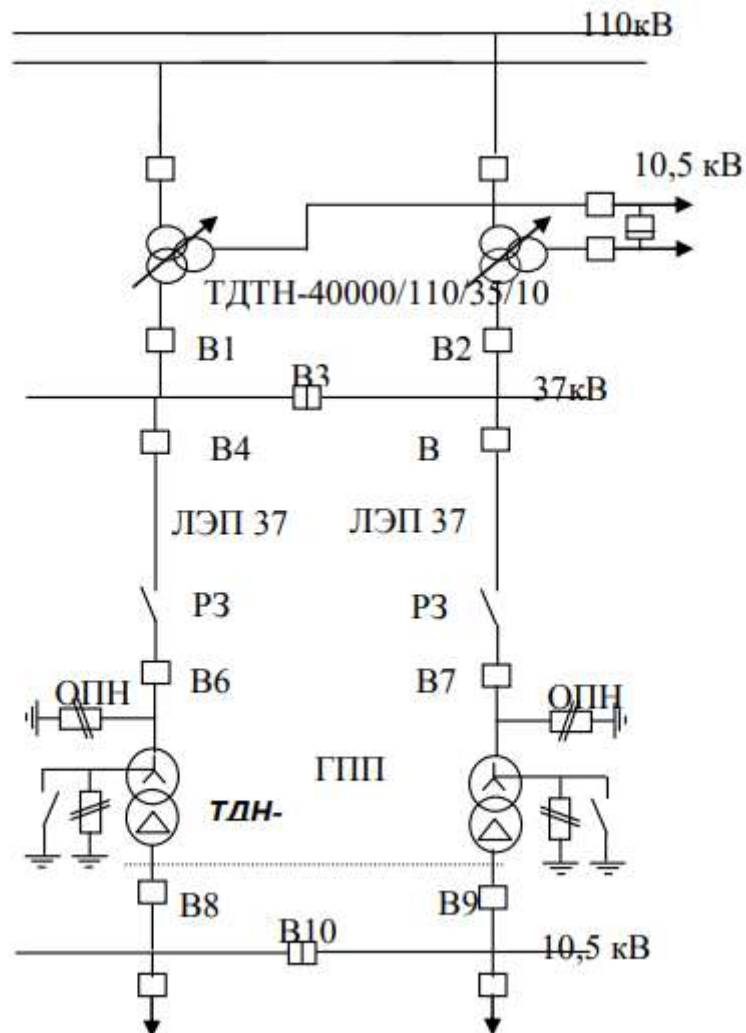


Figure 1.6 – The second version of the power supply scheme

3. Selection of GPP transformers:

We select two transformers of the TДН-10000/35 type; $S_{n \text{ tr}} = 10000 \text{ kVA}$;

$K_{\text{with}} = 0.82$. [10]

Passport data of transformers: $S_n = 10000 \text{ kVA}$; $U_{\text{of}} = 37 \text{ kV}$;

$U_{\text{nn}} = 11 \text{ kV}$; $\Delta R_{\text{xx}} = 12 \text{ kW}$; $\Delta R_{\text{kz}} = 60 \text{ kW}$; $I_{\text{nkz}} = 8\%$; $I_{\text{xx}} = 0.75\%$. Let's calculate the power losses in these transformers:

$$\Delta P_{\text{тр гпп}} = 2(\Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{kz}} \cdot K_3^2) = 2(12 + 60 \cdot 0,83^2) = 106,6 \text{ кВт};$$

Let's find the power losses in GPP transformers:

With a two-shift mode of operation, the number of hours of operation $T_{incl} = 3000$ h and the number of hours of use of the maximum active load

$$T_m = 4000 \text{ hours}$$

$$\Delta W_{\text{тр. транс}} = 2(\Delta P_{\text{xx}} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \times K_3^2),$$

where $\tau = (0,124 + \frac{T_M}{10000})^2 \cdot 8760 = 1574,8$ h is the time of maximum losses.

$$\Delta W_{\text{тр. транс}} = 2(12 \cdot 4000 + 60 \cdot 1574,8 \cdot 0,83^2) = 226189 \text{ kW hours}$$

4. Let's choose the intersection of the 35 kV transmission line : Determine the power passing through the transmission line:

$$S_{\text{лэн}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{мрэн}})^2 + Q_s^2} = \sqrt{(16350,6 + 10,67)^2 + 4055^2} = 16949 \text{ кВА.}$$

Estimated current of one line:

$$I_p = \frac{S_{\text{лэн}}}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{16949}{2\sqrt{3} \cdot 37} = 132,2 \text{ A.}$$

Emergency current:

$$I_{av} = 2 \cdot I_r = 2 \cdot 132,2 = 264,4 \text{ A.}$$

a) Determine the current density cross section :

$$F_3 = I_p / J_3 = 132,21,1 = 120 \text{ мм}^2.$$

$$J_3 = 1,1 \text{ A/мм}^2 \text{ (Al, } T_M = 4000 \text{ ч).}$$

We choose a wire with a cross section of 120 мм^2 ($I_{add} = 380 \text{ АНД}$).

We accept AC-120 type wire.

b) Let's check the wire for bandwidth:

$$I_{\text{add}} \geq I_{\text{year}};$$

$$(380\text{A} > 132.2\text{A}).$$

c) Let's check the wire in emergency mode: $I_{\text{add Av}} \geq I_{\text{av}}$,

$$\text{where } I_{\text{add Av}} = 1.3 \cdot I_{\text{add}} = 1.3 \cdot 380 = 493\text{A}, (493\text{A} > 264.4\text{A}).$$

Let's determine the electricity losses in the 35 kV transmission line:

$$\Delta W_{\text{лпн}} = 2(3I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau) = 2 \cdot 3 \cdot 132,2^2 \cdot 0,81 \cdot 10^{-3} \cdot 1574,8 = 133837 \text{ кВт}$$

$$R = r_0 \cdot l = 0.27 \cdot 3 = 0.81 \text{ Ohm}.$$

5. We select power system transformers: We select two TDTN-40000/110 type transformers. [10]

Passport data of transformers:

$$S_n = 40000 \text{ kVA}; U_{\text{н}} = 115 \text{ kV}; U_{\text{дрем}} = 38.5 \text{ kV}; U_{\text{нн}} = 11 \text{ kV}; \Delta R_{\text{xx}} = 43 \text{ kW}; \Delta R_{\text{kz}} = 200 \text{ kW}; U_{\text{кв-н}} = 17.5\%; U_{\text{кв-н}} = 6.5\%; U_{\text{кв-з}} = 10.5\%.$$

Let's find γ_1 - the coefficient of participation of the planned plant in the capacity of transformers of the power system:

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{лпн 35}}}{2 * S_{\text{нн.тп}}} = \frac{16592}{2 * 40000} = 0,2.$$

Share participation in losses ΔR and ΔQ in power system transformers is neglected.

6. We choose switches, disconnectors, 35 kV surge arresters: To select the equipment, we calculate the DC current :

$$X_c = 0,4 \text{ o.e.}; S_6 = 1000 \text{ MBA}; U_6 = 37 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = 15,6 \text{ кА}.$$

$$X_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{вс}} \times S_6}{100 \times S_{\text{н.тп}}} = \frac{10,5 \times 1000}{100 \times 40} = 2,63 \text{ o.e.};$$

Let's make a substitution scheme:

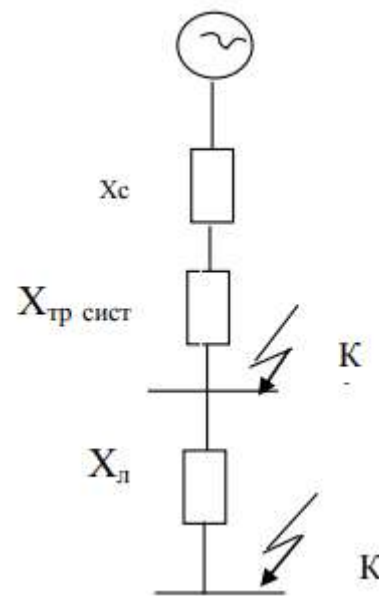


Figure 1.7 – Substitution scheme for calculating short-circuit currents

Power line resistance:

$$X_{\text{лэп}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_0}{U_{\text{cp}}^2} = 0,32 \cdot 8 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,07 \text{ o.e.}$$

Let's calculate the effective value of the current kz at point K1:

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_0}{X_c + X_{\text{mp}}} = \frac{15,6}{1,1 + 2,63} = 11,1 \text{ кА.}$$

Impulse current kz :

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 11,1 = 28,17 \text{ кА.}$$

Actual value of current kz at point K2:

$$I_{\text{к2}} = \frac{I_0}{X_c + X_{\text{mp}} + X_{\text{лэп}}} = \frac{15,6}{0,4 + 2,63 + 0,07} = 7,8 \text{ кА.}$$

Impulse current kz :

$$i_{yd2} = \sqrt{2} K_{yd} \cdot I_{k2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,8 = 19,79 \text{ kA.}$$

Power kz at point K1:

$$S_{k1} = \sqrt{3} U_6 \cdot I_{k1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 1,11 = 768,1 \text{ MBA.}$$

Power kz at point K2:

$$S_{k2} = \sqrt{3} U_6 \cdot I_{k2} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 7,8 = 499,2 \text{ MBA.}$$

7. Switches B1, B2 are selected according to the emergency current of the system transformers.

We assume that the power on the two secondary windings of the transformer is distributed by 50%, therefore the emergency power of the transformers is equal to $2 \times 20 = 40 \text{ MVA}$. Let's find the current passing through switches B1 and B2:

$$I_{abB1,B2} = \frac{S_{emp}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 624,9 \text{ A.}$$

Table 1.6 - We select switches B1, B2 type VMUE-35B-25/1250UHL1

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 37 \text{ kV}$ $I_n = 1250 \text{ A}$ $I_{off} = 25 \text{ kA}$	$U_r = 35 \text{ kV}$ Author $I_{system} = 624,9 \text{ A}$ $I_{k1} = 7,8 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq \text{Author } I_{system}$ $I_{off} \geq I_{k1}$

Section switch B3 is selected with a current 2 times less than the emergency current. Let's find the current passing through the switch B3:

$$I_{B3} = \frac{I_{as}}{2} = \frac{624,9}{2} = 312,45 \text{ A.}$$

Table 1.7 - Select a switch type BMUE-35B-25/650UHL1

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 37 \text{ kV}$ $I_n = 650 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 25 \text{ kA}$	$U_r = 35 \text{ kV}$ $I_{\text{rtr system}} = 312.45 \text{ A}$ $I_{k1} = 7.8 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq I_{\text{rtr system}}$ $I_{\text{off}} \geq I_{k1}$

$$\gamma_{2B1,B2} = \frac{I_{a6306}}{I_{\text{НО.МБ.К1}}} = \frac{258,8}{1000} = 0,25;$$

$$\gamma_{3B3} = \frac{I_{p306}}{I_{\text{НО.МБ.3}}} = \frac{129,4}{630} = 0,2.$$

We choose switches B4-B7 according to the emergency current of the plant.

$$I_{\text{av zav}} = 264.4 \text{ A.}$$

Table 1.8 - We select switches of the BMUE-35B-25/650UHL1 type

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 37 \text{ kV}$ $I_n = 650 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 25 \text{ kA}$	$U_r = 35 \text{ kV}$ $I_{\text{avsav}} = 264.4 \text{ A}$ $I_{k1} = 7.8 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq I_{\text{avsav}}$ $I_{\text{off}} \geq I_{k1}$

Table 1.9 – Choosing disconnectors of the RNDZ-2-35/1000U1 type

Passport data	Calculated data	Selection conditions
$U_n = 35 \text{ kV}$ $I_n = 1000 \text{ A}$ $I_{\text{qv . ampl .}} = 63 \text{ kA}$ $\text{And popper. therm. Art .} = 25 \text{ kA}$	$U_r = 35 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 264.4 \text{ A}$ $i_{\text{ud2}} = 19.78 \text{ kA}$ $I_{k2} = 7.8 \text{ kA}$	$U_n \geq U_r$ $I_n \geq I_{\text{av}}$ $I_{\text{qv . ampl .}} \geq i_{\text{ud2}}$ $\text{And popper. therm. Art} \geq I_{k2}$

8. Overvoltage limiters OPNp-35/400/40.5-10 UHL1, $U_n = 35 \text{ kV}$.

Table 1.10 - Results of PER

Options	U_n , kV	K_{Σ} , thousand U.O.	AND_{Σ} , thousand U.O.	WITH_{Σ} , thousand U.O.
I	115	202.16	38,21	62.47
II	37	176.66	43.61	64.82

Conclusion: the first option passes according to the minimum stated annual costs.

1.8 Selection of equipment and calculation of short-circuit currents $U > 1\text{kV}$

1.8.1 Calculation of short-circuit currents I_{kz} ($U = 10.5\text{ kV}$) taking into account feeding from the DC.

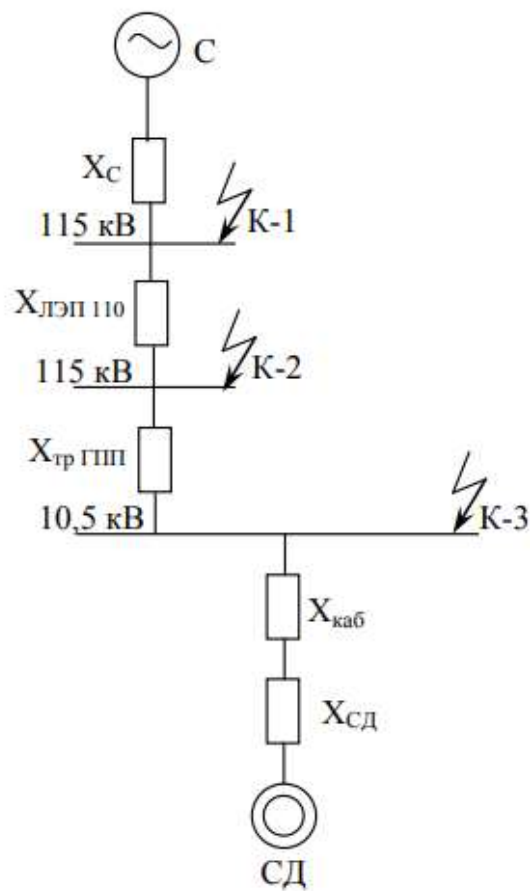


Figure 1.8 – Scheme of replacing the power supply of the PPP

$S_6=1000 \text{ MBA}; x_c=0,4; U_6=10,5 \text{ кВ};$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 10,5} = 54,9 \text{ кА};$$

$$x_{\text{лэп}} = \frac{x_0 \times L \times S_6}{U_{\text{сп}}^2} = \frac{0,34 \times 3 \times 1000}{115^2} = 0,13;$$

$$x_{\text{тр.лпш}} = \frac{U_{\text{кз}} \times S_6}{100 \times S_{\text{нт}}} = \frac{10,5 \times 1000}{100 \times 10} = 10,5;$$

$$I'_{\text{к-3}} = \frac{I_6}{x_c + x_{\text{лэп}} + x_{\text{тр.лпш}}} = \frac{54,9}{0,2 + 0,13 + 10,5} = 4,6 \text{ кА}.$$

Let's calculate the current from the CD:

Source data: $R_{\text{н CD}} = 800 \text{ kW}; \cos \varphi = 0,9; \text{NSD} = 4; \text{kz} = 0,85.$

$$S_{\text{нсд}} = \frac{P_{\text{нсд}}}{\cos \varphi} = \frac{800}{0,9} = 888 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{сд}} = \frac{S_{\text{нсд}} \times K_3}{\sqrt{3} \times U} = \frac{1388,8 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 64,9 \text{ А}.$$

We choose a CD cable:

a) from the economic current density:

$$F_9 = \frac{I_P}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{41,5}{1,4} = 29,6 \text{ мм}^2.$$

b) according to the minimum section:

$$F_{\text{min}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{привед}}} = 49,1 \text{ мм}^2.$$

We accept cable brand AASHv-10-(3 × 50)+(1 × 35), $I_{\text{additional}} = 140 \text{ А}.$

Cable data: $r_0 = 0,625 \text{ Ohm / km}; x_0 = 0,085 \text{ } \Omega / \text{km}.$

$$X_{\text{каб.кСД}} = \frac{x_0 \times L \times S_{\text{б}}}{2 \times U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,085 \times 3 \times 100}{2 \times 10,5^2} = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{сд}} = \frac{x_{\text{д}}'' \times S_{\text{б}}}{\sum S_{\text{н сд}}} = \frac{0,2 \times 100}{2 \times 0,888} = 11,26 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{экв.1}} = X_{\text{каб}} + X_{\text{сд}} = 0,11 + 11,26 = 11,37 \text{ о.е.}$$

Then the current from the motors will be equal to:

$$I_{\Sigma \text{кз СД}} = \frac{E_{\text{сд}} \times I_{\text{б}}}{x_{\text{экв.}}} = \frac{1,1 \times 5,5}{4,16} = 1,45 \text{ кА,}$$

где $E_{\text{сд}} = E_{\text{н}}'' \times U_{\text{н}} / U_{\text{б}} = 1,1 \times 10,5 / 10,5 = 1,1$.

The total short-circuit current at point K-3 on the 10 kV buses, taking into account the supply from the compressor and pump motors, will be equal to:

$$\Sigma I_{\text{кз}} = I'_{\text{к-3}} + I_{\Sigma \text{кз СД}} = 4,6 + 0,53 = 5,13 \text{ кА.}$$

Impulse current at point K-3:

$$i_{\text{уд3}} = K_{\text{уд}} \times \sqrt{2} \times \Sigma I_{\text{кз}} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 5,13 = 13 \text{ кА.}$$

1.8.2 Selection of circuit breakers Selection of input and section circuit breakers:

$$S_{\text{р.завода}} = 16021,3 \text{ кВА; } I_{\text{р.завода}} = \frac{S_{\text{р.завода}}}{2 \times \sqrt{3} \times U_{\text{н}}} = \frac{16845}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 463,1 \text{ А;}$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_{\text{р.завода}} = 2 \times 463,1 = 926,2 \text{ А.}$$

We choose a switch type ВБ/TEL-10-20/1000U2.

Section switch

$$I_{\text{р}} = \frac{I_{\text{ав}}}{2} = \frac{881,8}{2} = 440,9 \text{ А.}$$

Table 1.11 – We accept the BB/TEL-10-12.5/630U2 type switch

	Input switches		Section switch	
	Calculated	Passport	Calculated	Passport
$U_n, \text{ kV}$	10	10	10	10
$I_n, \text{ A}$	926.2	1000	463.1	630
$I_{rev}, \text{ kA}$	3.74	31.5	3.74	31.5

Selection of outgoing line switches:

7. GPP-TP1-TP2:

$$S_p = \sqrt{(3015,2 + 42,4)^2 + (1090,4 + 204)^2} = 3320,2 \text{ kBA};$$

$$I_p = \frac{3320,2}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 91,2 \text{ A}; \quad I_{ab} = 2 \times 91,2 = 182,6 \text{ A}$$

Table 1.12 - We select a switch type ББ/TEL-10-12,5/630U2:

Passport data	Calculated data
$U_n = 10 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{off} = 12.5 \text{ kA}$ $I_{sq} = 32 \text{ kA}$ $I^2 * t = (I_{off})^2 \times 4 = 625 \text{ kA}^2 \times \text{s}$	$U = 10 \text{ kV}$ $I_{av} = 182.6 \text{ A}$ $I_{kz} = 5.13 \text{ kA}$ $I_{stroke} = 13 \text{ kA}$ $B = (I_{kz})^2 \times 0.12 = 3.15 \text{ kA}^2 \times \text{s}$
The drive is electromagnetic	

8. GPP-TP3-TP4:

$$S_{P_{TP3,4}} = \sqrt{(2920,9 + 37,6)^2 + (1076,8 + 183,2)^2} = 3215,6 \text{ kBA};$$

$$I_p = \frac{3215,6}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 88,4 \text{ A}; \quad I_{ab} = 2 \times 88,4 = 176,8 \text{ A}$$

Table 1.13 - We select a switch type ББ/TEL-10-12,5/630U2:

Passport data	Calculated data
$U_n = 10 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 12.5 \text{ kA}$ $I_{\text{sq}} = 32 \text{ kA}$ $I^2 * t = (I_{\text{off}})^2 \times 4 = 625 \text{ kA}^2 \times \text{s}$	$U = 10 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 176.8 \text{ A}$ $I_{\text{kz}} = 5.13 \text{ kA}$ $I_{\text{stroke}} = 13 \text{ kA}$ $B = (I_{\text{kz}})^2 \times 0.12 = 3.15 \text{ kA}^2 \times \text{s}$
Electromagnetic drive	

9. GPP-TP5-TP6-TP7:

$$S_{P_{III5,6,7}} = \sqrt{(4590,3 + 67,2)^2 + (2038,9 + 322,2)^2} = 5221,8 \text{ kBA};$$

$$I_P = \frac{5221,8}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 143,5 \text{ A}; \quad I_{\text{ab}} = 2 \times 143,5 = 287 \text{ A}$$

Table 1.14 - We select a switch type ББ/TEL-10-12,5/630U2:

Passport data	Calculated data
$U_n = 10 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 12.5 \text{ kA}$ $I_{\text{sq}} = 32 \text{ kA}$ $I^2 * t = (I_{\text{off}})^2 \times 4 = 625 \text{ kA}^2 \times \text{s}$	$U = 10 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 287 \text{ A}$ $I_{\text{kz}} = 5.13 \text{ kA}$ $I_{\text{stroke}} = 13 \text{ kA}$ $B = (I_{\text{kz}})^2 \times 0.12 = 3.15 \text{ kA}^2 \times \text{s}$
The drive is electromagnetic	

10. GPP-TP8-TP9:

$$S_{P_{III8,9}} = \sqrt{(3078,4 + 40,6)^2 + (738,3 + 196,8)^2} = 3256,2 \text{ kBA};$$

$$I_P = \frac{3256,2}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 89,5 \text{ A}; \quad I_{\text{ab}} = 2 \times 89,5 = 179 \text{ A}$$

Table 1.15 - We select a switch type ББ/TEL-10-12,5/630U2:

Passport data	Calculated data
$U_n = 10 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 12.5 \text{ kA}$ $I_{\text{sq}} = 32 \text{ kA}$ $I^2 * t = (I_{\text{off}})^2 \times 4 = 625 \text{ kA}^2 \times \text{s}$	$U = 10 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 179 \text{ A}$ $I_{\text{kz}} = 5.13 \text{ kA}$ $I_{\text{stroke}} = 13 \text{ kA}$ $B = (I_{\text{kz}})^2 \times 0.12 = 3.15 \text{ kA}^2 \times \text{s}$
The drive is electromagnetic	

11. GPP-VBK:

$$Q_p = 900 \text{ кВар};$$

$$I_{\text{РВБК}} = \frac{900}{\sqrt{3} \times 10,5} = 49,5 \text{ A.}$$

Table 1. 16 - We select a switch type ББ/TEL-10-12,5/630U2:

Passport data	Calculated data
$U_n = 10 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 12.5 \text{ kA}$ $I_{\text{sq}} = 32 \text{ kA}$ $I^2 * t = (I_{\text{off}})^2 \times 4 = 625 \text{ kA}^2 \times \text{s}$	$U = 10 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 49.5 \text{ A}$ $I_{\text{kz}} = 5.13 \text{ kA}$ $I_{\text{stroke}} = 13 \text{ kA}$ $B = (I_{\text{kz}})^2 \times 0.12 = 3.15 \text{ kA}^2 \times \text{s}$
The drive is electromagnetic	

12. GPP-SD:

$$S_{\text{РСД}} = \frac{800}{0,9} = 888 \text{ кВА}; \quad I_{\text{РСД}} = \frac{888 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 41,5 \text{ A.}$$

Table 1. 17 - We select a switch type ББ/TEL-10-12,5/630U2:

Passport data	Calculated data
$U_n = 10 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A}$ $I_{\text{off}} = 12.5 \text{ kA}$ $I_{\text{sq}} = 32 \text{ kA}$ $I^2 * t = (I_{\text{off}})^2 \times 4 = 625 \text{ kA}^2 \times \text{s}$	$U = 10 \text{ kV}$ $I_{\text{av}} = 41.5 \text{ A}$ $I_{\text{kz}} = 5.13 \text{ kA}$ $I_{\text{stroke}} = 13 \text{ kA}$ $B = (I_{\text{kz}})^2 \times 0.12 = 3.15 \text{ kA}^2 \times \text{s}$
The drive is electromagnetic	

1.8.3 Selection of current transformers

Current transformers are selected according to the following conditions:

7. according to the installation voltage:

$$U_{\text{НОМ ТТ}} \geq U_{\text{НОМ уст-ки}};$$

8. by current:

$$I_{\text{НОМ ТТ}} \geq I_{\text{расч}};$$

9. from electrodynamic stability:

$$K_{\text{дин}} \geq \frac{i_{\text{уд}}}{\sqrt{2} \times I_{\text{НОМТТ}}};$$

10. on secondary load:

$$S_{\text{н2}} \geq S_{\text{нагр расч}};$$

11. from thermal stability:

$$K_{\text{ТС}} = \frac{I_{\text{об}} \times \sqrt{t}}{I_{\text{НОМТТ}} \times t_{\text{HT}}};$$

12. by design and accuracy class.

Table 1. 18 - Selection of current transformers at the input and sectional switch

Instrument	Type	A, VA	V, VA	S, VA
A	E-350	0.5	0.5	0.5
Wh	SAZ-I681	2.5	2.5	2.5
Varh	SR4-I689	2.5	2.5	2.5
W	D-355	0.5	-	0.5
Var	D-345	0.5	-	0.5
Together		6.5	5.5	6.5

Table 1. 19 - Let's take a TL-10 U3 current transformer: $I_n = 1000 \text{ A}$; $U_n = 10 \text{ kV}$; $S_n = 10 \text{ VA}$;

Calculated values	According to the catalog
$U_n = 10 \text{ kV}$	$U_n = 10 \text{ kV}$
$I_{av} = 926.2 \text{ A}$	$I_n = 1000 \text{ A}$
$i_{ud} = 13 \text{ kA}$	$I_{din} = 81 \text{ kA}$
$S_{2r} = 9.87 \text{ VA}$	$S_{2n} = 10 \text{ VA}$

Let's calculate the secondary load of current transformers.

The resistance of the secondary load consists of the resistance of devices, connecting wires and the transient resistance of contacts:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}$$

The resistance of devices is determined by the following formula:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом};$$

$$r_{2н} = \frac{S_{2н\text{тг}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом},$$

where $S_{\text{approx.}}$ - Power consumed by devices; I_2 - Secondary nominal current of the device.

Permissible wire resistance:

$$r_{\text{доппр}} = r_{2н} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,26 - 0,1 = 0,04 \text{ Ом}.$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,04} = 0,035 \text{ мм}^2;$$

we receive the cable of AKR TV; $F = 2.5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,395 \times 52 = 9,87 \text{ ВА};$$

$$\text{де } R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,056 + 0,1 = 0,395 \text{ Ом}$$

Table 1.20 – We select the current transformer on the GPP bus sectional switch: $I_r = 440.9 \text{ A}$; TLM-10-U3-600/5: $I_n = 600 \text{ A}$; $U_n = 10 \text{ kV}$

Instrument	Type	A, VA	V, VA	S, VA
Ammeter	E-350	0.5	0.5	0.5
Together		0.5	0.5	0.5

Table 1.21 - TT selection condition

Calculated values	According to the catalog
$U_n = 10 \text{ kV}$	$U_n = 10 \text{ kV}$
$I_{av} = 463.1 \text{ A}$	$I_n = 600 \text{ A}$
$i = 13 \text{ kA}$	$I_{dyn} = 81 \text{ kA}$
$S_{2r} = 4.4 \text{ VA}$	$S_{2n} = 10 \text{ VA}$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом};$$

$$r_{2\text{н-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,02 - 0,1 = 0,28 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,28} = 0,5 \text{ мм}^2;$$

we receive the cable of AKR TV; $F = 2.5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,0,176 \times 52 = 4,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,02 + 0,056 + 0,1 = 0,176 \text{ Ом}.$$

b) Select the current transformer of the GPP line-(TP1-TP2); GPP-(TP3-TP4-TP5); GPP-(TP6-TP7); GPP-(TP-8-TP9)

Table 1.22 - Selection of equipment

Instrument	Type	A, VA	V, VA	S, VA
Ammeter	E-350	0.5	0.5	0.5
Wh	SAZ-I681	2.5	2.5	2.5
Varh	SR4-I689	2.5	2.5	2.5
Together		5.5	5.5	5.5

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{2 н-ка}} = \frac{S_{\text{2 нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доппр}} = r_{\text{2н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2;$$

we accept AKRTV cable; $F = 2.5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,376 \times 52 = 9,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,22 + 0,056 + 0,1 = 0,376 \text{ Ом}.$$

Table 1.23 - Current transformer of the GPP line-(TP1-TP2):

$I_{\text{ав}} = 182.6 \text{ A}$; let's take a TPLK-10 U3 current transformer: $I_n = 200 \text{ A}$; $U_n = 10 \text{ kV}$; $S_n = 10 \text{ VA}$; [1].

Calculated values	According to the catalog
$U_n = 10 \text{ kV}$	$U_n = 10 \text{ kV}$
$I_{\text{ав}} = 182.6 \text{ A}$	$I_n = 200 \text{ A}$
$i = 13 \text{ kA}$	$I_{\text{dyne}} = 74.5 \text{ kA}$
$S_{2r} = 9.4 \text{ VA}$	$S_{2n} = 10 \text{ VA}$

Table 1.24 - Current transformer of the GPP line-(TP3-TP4):

$I_{\text{ав}} = 176.8 \text{ A}$; let's take a TPLK-10 U3 current transformer: $I_n = 300 \text{ A}$; $U_n = 10 \text{ kV}$; $S_n = 10 \text{ VA}$; [1].

Calculated values	According to the catalog
$U_n = 10 \text{ kV}$	$U_n = 10 \text{ kV}$
$I_{\text{ав}} = 176.8 \text{ A}$	$I_n = 200 \text{ A}$
$i = 13 \text{ kA}$	$I_{\text{dyne}} = 74.5 \text{ kA}$
$S_{2r} = 9.4 \text{ VA}$	$S_{2n} = 10 \text{ VA}$

Table 1.25 - Current transformer of the GPP line-(TP5-TP6-TP7):

$I_{\text{ав}} = 287 \text{ A}$; let's take a TPLK-10 U3 current transformer: $I_n = 300 \text{ A}$; $U_n = 10 \text{ kV}$; $S_n = 10 \text{ VA}$; [1].

Calculated values	According to the catalog
$U_n = 10 \text{ kV}$	$U_n = 10 \text{ kV}$
$I_{\text{ав}} = 287 \text{ A}$	$I_n = 300 \text{ A}$
$i = 13 \text{ kA}$	$I_{\text{dyne}} = 74.5 \text{ kA}$
$S_{2r} = 9.4 \text{ VA}$	$S_{2n} = 10 \text{ VA}$

Table 1. 26 - Current transformer of the GPP line-(TP8-TP9): $I_{av}=179A$; let's take a TPLK-10 U3 current transformer: $I_n=200 A$; $U_n=10 kV$; $S_n=10 VA$; [1].

Calculated values	According to the catalog
$U_n=10 kV$	$U_n=10 kV$
$I_{av}=179 A$	$I_n=200 A$
$i=13 kA$	$I_{dync}=74.5 kA$
$S_{2r}=9.4 VA$	$S_{2n}=10 VA$

Table 1. 27 - Selection of measuring devices

Instrument	Type	A, VA	V, VA	S, VA
Ammeter	E-350	0.5	0.5	0.5
Ammeter	E-350	0.5	0.5	0.5
Ammeter	E-350	0.5	0.5	0.5
Varh	SR4-I689	2.5	2.5	2.5
Together		4	4	4

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ Ом};$$

$$r_{2\text{н-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,14} = 0,1 \text{ мм}^2;$$

we receive the cable of AKR TV; $F=2.5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,316 \times 52 = 7,9 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{прис}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,16 + 0,056 + 0,1 = 0,316 \text{ Ом}.$$

Table 1.28 - Current transformers on CD: $I_p = 41.5\text{A}$; let's take a TPLK-10 U3 current transformer: $I_n = 100 \text{ A}$; $U_n = 10 \text{ kV}$; $S_n = 10 \text{ VA}$

Calculated values	According to the catalog
$U_n = 10 \text{ kV}$	$U_n = 10 \text{ kV}$
$I_r = 41.5 \text{ A}$	$I_n = 100\text{A}$
$i_{ud} = 13 \text{ kA}$	$I_{dyne} = 74.5 \text{ kA}$
$S_{2r} = 7.9 \text{ VA}$	$S_{2n} = 10 \text{ VA}$

1.8.4 Selection of voltage transformers

Voltage transformers are selected according to the following conditions:

- according to installation voltage: $U_{\text{nom}} \geq U_{\text{lips}}$;
- on secondary load: $S_{\text{nom2}} \geq S_{\text{2nd race}}$;
- by accuracy class; - according to the design and connection scheme.

Table 1.29 - Selection of measuring devices

Instrument	Type	$S_{\text{ob-ky}}$, VA	The number of ob-to	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Number of devices	R commune , Vt	Q var
V	E-335	2	2	1	0	2	8	-
W	D-335	1.5	2	1	0	1	3	-
Var	I-335	1.5	2	1	0	1	3	-
Wh	CA3-I681	3 W	2	0.38	0.925	6	36	87.63
Varh	SR4-I689	3 var	2	0.38	0.925	6	36	87.63
Together							82	175.3

Calculated secondary load:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{82^2 + 175,26^2} = 193,5 \text{ BA.}$$

Table 1.30 - We accept TN type NTMK-10-66-U3

$U_{nt} = 10 \text{ kV}$	$U_{nt} = 10 \text{ kV}$
$S_{n2} = 500 \text{ kVA}$	$S_{r2} = 193.5 \text{ VA}$
Scheme of connection of windings $Y/Y/-0$	

1.7.5 Selection of power cables of outgoing lines The selection of cables is carried out under the following conditions:

1. from the economic current density :

$$F_3 = \frac{I_p}{\gamma};$$

2. according to the minimum section:

$$F_{\min} = \alpha \times I_{k3} \times \sqrt{t_{\pi}};$$

6. under the condition of heating by operating current:

$$I_{\text{доп каб}} \geq \dot{I}_p;$$

7. in emergency mode:

$$I_{\text{доп ав}} \geq I_{\text{ав}};$$

8. by voltage loss:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{рас}}.$$

All calculated data for the selection of cables are listed in the table .

1.7.6 Selection of GPP tires

The cross-section of the tires is chosen according to the long-term permissible current and economic expediency. Tires are checked for electrodynamic and thermal resistance to short-circuit currents.

We choose hard-drawn aluminum tires with a rectangular section of the AT-80 × 6 brand ; $I_{\text{add}}=1150$ A (one strip per phase); $I_{\text{av}}=881.8$ A; $i=13$ kA.

a) $I_{\text{add}}=1150\text{A} \geq I_{\text{av}}=881.8$ A;

b) checking for thermal resistance up to I_{kz} :

$$F_{\text{min}}=\alpha \times I_{\text{kz}} \times \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \times 3,74 \times \sqrt{1} = 44,8 \text{ мм}^2 < 480 \text{ мм}^2 (80 \times 6);$$

c) check for dynamic resistance to $i_{\text{уд kz}} \sigma_{\text{add}}=700$ kgf /cm² :

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a} = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times 13^2 \times 100}{100} = 1,33 \text{ кгс};$$

$$W=0,167 \times b \times h^2=0,167 \times 0,8 \times 6^2=4,81 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \times L}{10 \times W} = \frac{1,33 \times 100^2}{10 \times 4,81} = 276 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < 700 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

where $L=100$ cm is the distance between insulators; $a=60$ cm - distance between phases; $b=0.8$ cm - Thickness of one strip; $h=6$ cm - width (height) of the tire.

It can be seen from the condition that the tires are dynamically stable.

Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання для першого варіанту

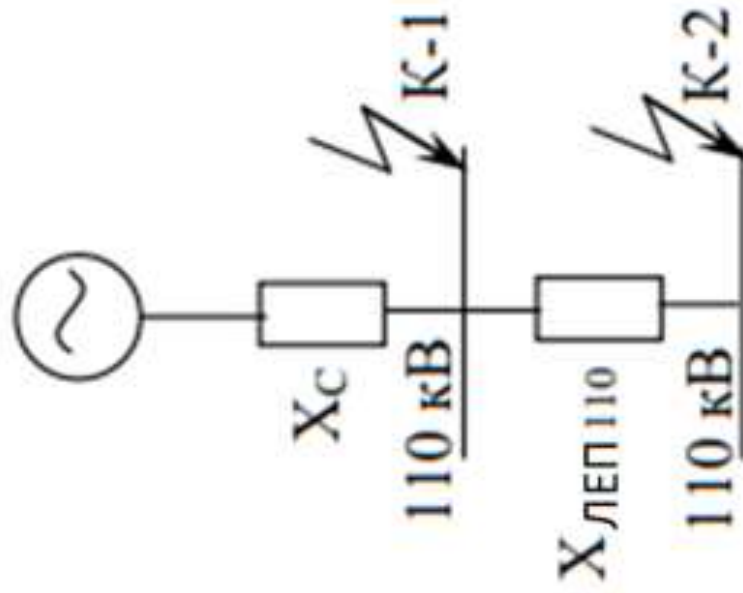


Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання для другого варіанту

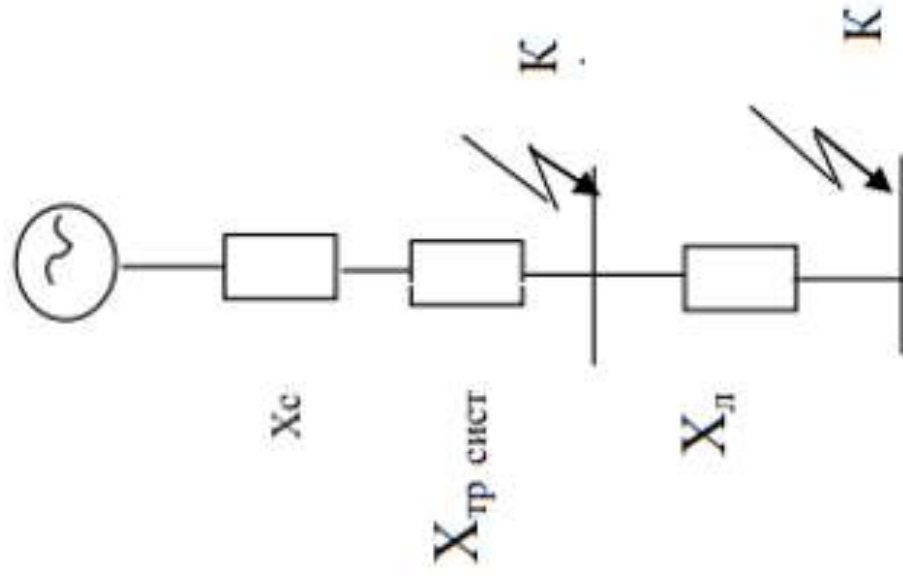
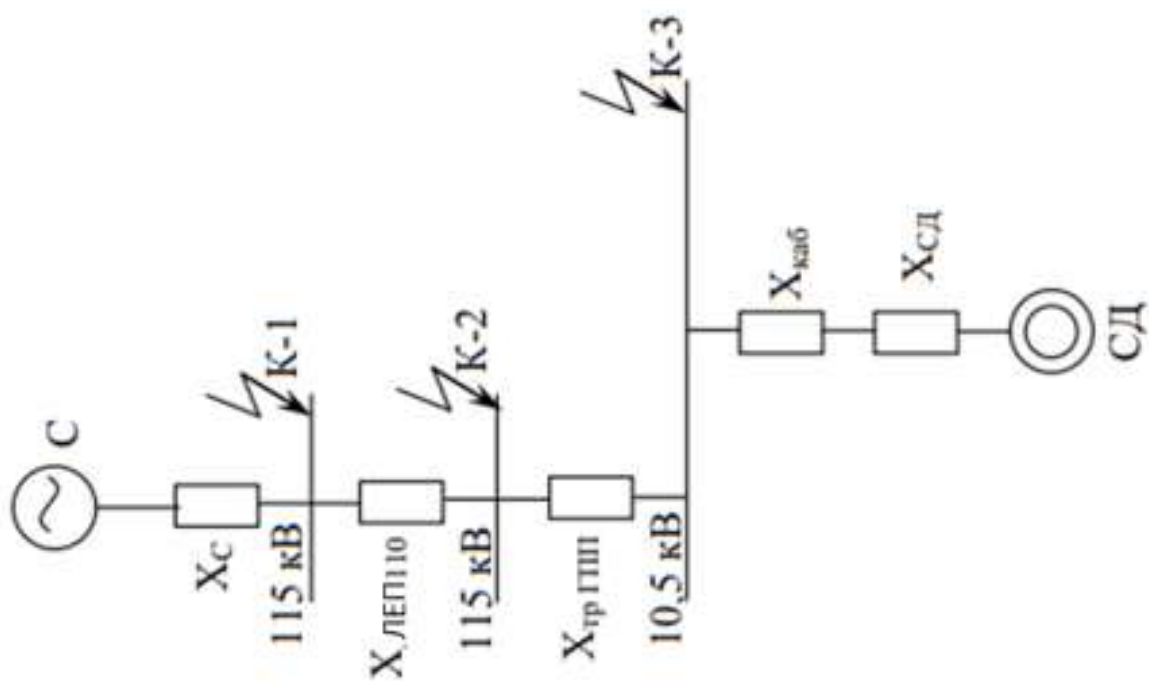
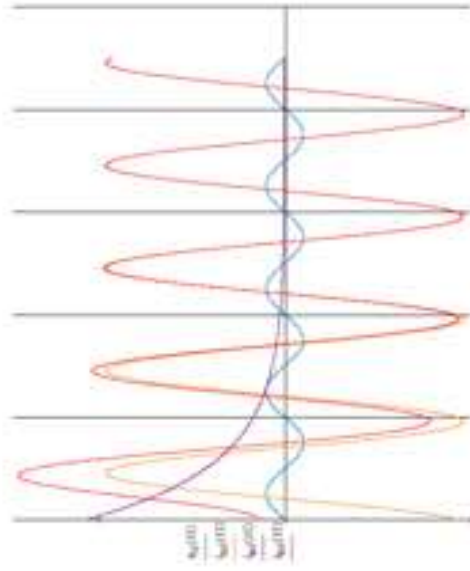


Схема заміщення електропостачання

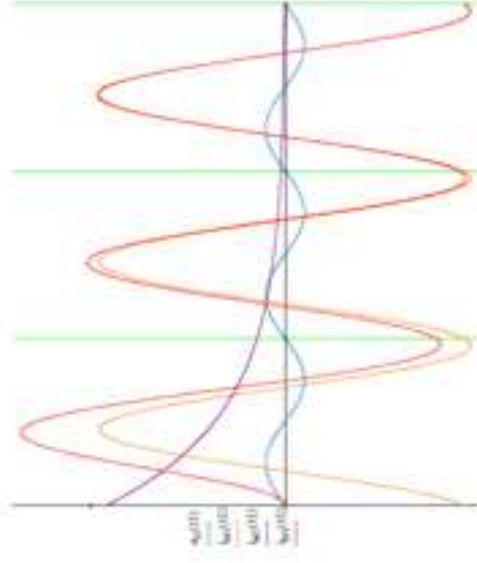
4



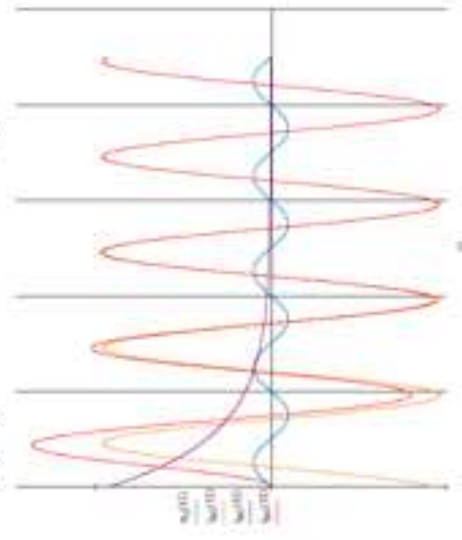
Осцилограма напруги та струмів
активно-ємнісного навантаження



Осцилограма напруги та струмів
активно-індуктивного навантаження



Осцилограма напруги та
струму холостого ходу



Осцилограма напруги та струму
активно-індуктивного навантаження

