

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ПРОЕКТУВАННЯ СЕП ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ КОВАЛЬСЬКО- ШТАМПУВАЛЬНОГО ЦЕХУ МЕТАЛООБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е21+Е22пр.

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Віктор УШУЛЬНИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Електротехніки та електроенергетики

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електричні станції, системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.М. Чернюк
підпис ініціали, прізвище

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)

Ушульному Віктору Євгенійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості

керівник роботи Буданов Павло Феофанович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “11” квітня 2025 року № 4801-5/925

2. Строк подання студентом роботи 19.06.2025

3. Перелік питань, які потрібно розробити
Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкта; Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ; Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху; Вибір схеми живлення цехових трансформаторів; Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ; Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань); Вибір марки і перетину струмоведучих частин; Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ; Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП; Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкта
2	Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ
3	Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ
4	Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів
5	Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ
6	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху
7	Вибір схеми живлення цехових трансформаторів
8	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою
9	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)
10	Вибір марки і перетину струмоведучих частин
11	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ
12	Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП
13	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

В. С. Ушульний

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

П.Ф. Буданов

ініціали, прізвище

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	
ВСТУП.....	
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЯКИЙ ПРОЕКТУЄТЬСЯ.....	
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	
2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ.....	
2.2. Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ....	
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умови вибору оптимальної кількості цехових трансформаторів.....	
2.2.2. Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетоками РП	
2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху...	
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ.....	
2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах	
2.6. Вибір марки і перерізу струмоведучих частин.....	
2.7. Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів КЗ.....	

					ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ			
Зм	Лист	П.І.Б.	Під-	Дата				
Розробив	Ушульний				Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості	Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Буданов							
						ДЕА-Е21+Е22пр		
Н контр								
Затвер.	Чернюк							

2.8. Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП.....	
2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання цеху промисловості.....	
ВИСНОВКИ.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕП	–	електроприймач
СЕП	–	система електропостачання
ТП	–	трансформаторна підстанція
КТП	–	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	–	підстанція
ГЗП	–	головна знижувальна підстанція
ПГВ	–	підстанція глибокого вводу
КРП	–	компенсація реактивної потужності
ЯЕЕ	–	якість електричної енергії
ДЖ	—	джерело живлення
ККУ	–	комплектна конденсаторна установка
ДРП	–	джерело реактивної потужності
РП	–	реактивна потужність
КУ	–	конденсаторна установка

ВСТУП

Даний проект присвячений проектуванню СЕП ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості

Актуальність теми дипломного проектування визначається тим, що останнім часом виробництво оптимізує режими роботи своїх об'єктів (зокрема режим енергоспоживання), а так само в економічній ситуації, що склалася в Україні, при дефіциті енергетичних ресурсів необхідно намітити в існуючому виробництві комплексні заходи щодо енергозбереження.

Основним завданням дипломного проекту є освоєння методів вирішення комплексних інженерних завдань по електропостачанню промислових підприємств з використанням сучасних досягнень науки і техніки.

Вирішенню завдань щодо зниження втрат електроенергії в мережах сприяє оптимальне завантаження елементів СЕС - електроприводів, силових трансформаторів; вибір доцільних пристроїв з компенсації реактивної потужності (КРП) і раціональному їх розміщенню в СЕС.

При проектуванні були використані наступні енергозберігаючі заходи: використання принципу ГВ і дроблення п/ст; раціональне розміщення трансформаторів на площі цеху; використання КУ в мережі до 1 кВ, що знизило втрати активної потужності в елементах СЕП; використання швидкодіючих захисних апаратів, що в значній мірі підвищує надійність системи внутрішньоцехового електропостачання.

Однією з найголовніших завдань при проектуванні є її економічність. Спроектowana схема повинна використовувати мінімум капіталовкладень і при цьому володіти достатньою надійністю і гнучкістю.

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Аналіз технологічного процесу є важливим етапом в проектуванні системи електропостачання цеху. Він дає можливість виявити вузли із специфічним навантаженням, визначити категорійність електроприймачів кожного вузла з метою подальшої побудови надійної системи електропостачання. Початкові умови для проектування СЕП конверторного цеху металургійної промисловості представлені на рис. 1.1 та в таб. 1.1.

Таблиця 1.1

Встановлених потужностей характерних груп електроприймачів

Електроприймачі напру- гою до 1 кВ	$\frac{n}{P_H}$	$\frac{P_{n_{MIN}}}{P_{n_{MAX}}}$	F, m^2
Електромагнітні преси	$\frac{40}{900}$	$\frac{3}{80}$	
Кривошипні преси	$\frac{230}{750}$	$\frac{0,5}{10}$	
Вентилятори	$\frac{70}{560}$	$\frac{5}{20}$	
Насоси, компресори	$\frac{15}{1100}$	$\frac{10}{200}$	
Крани, тельфери, ПВ = 25%	$\frac{25}{250}$	$\frac{5}{40}$	
Крани, тельфери, ПВ = 40%	$\frac{45}{860}$	$\frac{5}{45}$	
Зварювальні машини шо- вного зварювання (потуж- ність дана в кВА)	$\frac{80}{900}$	$\frac{10}{40}$	
Елеватори, конвеєри збло- ковані	$\frac{50}{1000}$	$\frac{3}{100}$	
Площа цехів			12000

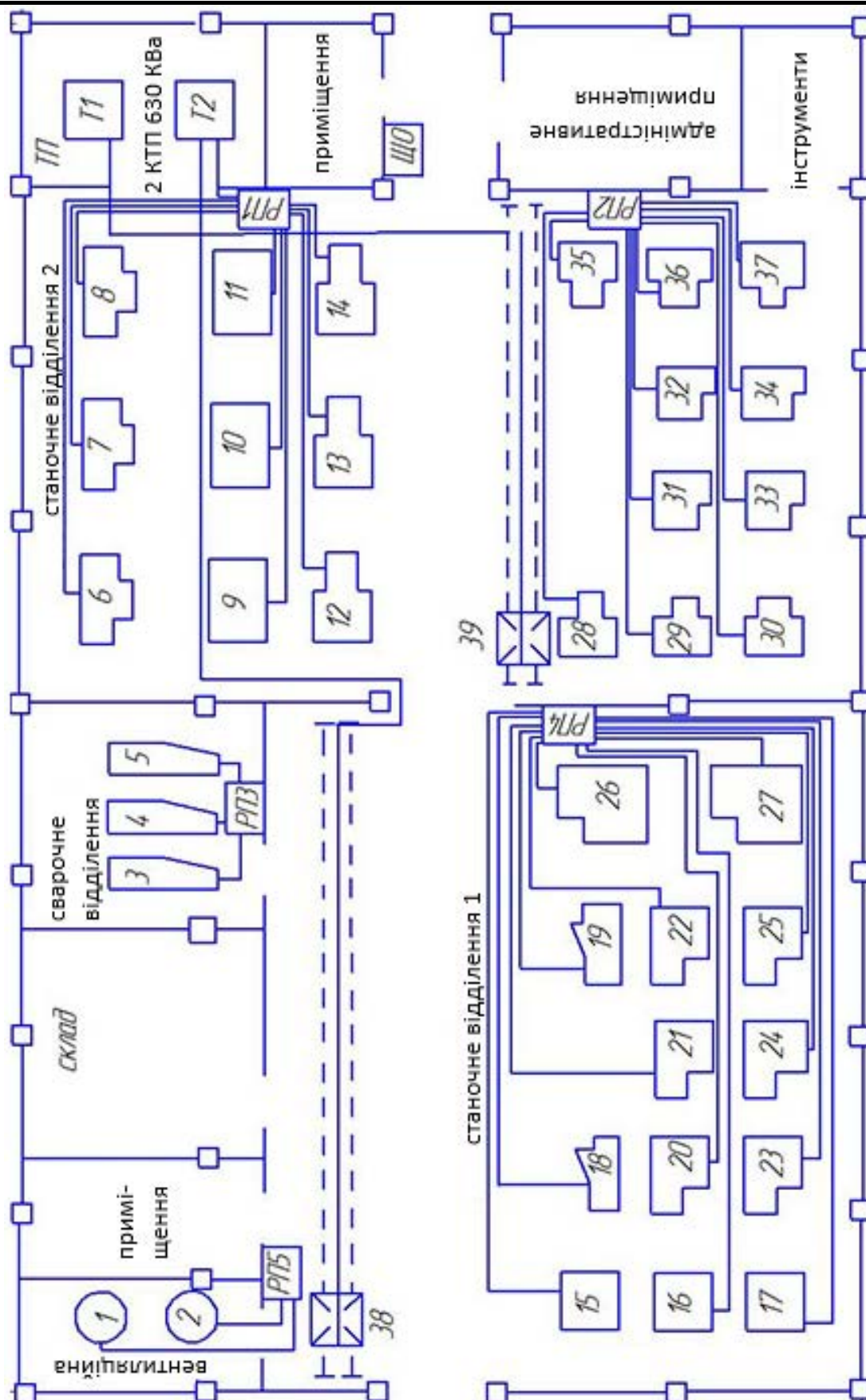


Рис.1.1 - План розташування силового обладнання в цеху

В цеху переважають споживачі другої категорії. До споживачів другої категорії відносяться електроприймачі, перерва живлення яких приводить до масового недоотпуску продукції, простою робочих і механізмів. Наприклад, загально цехова витяжна вентиляція, транспортери, освітлювальні установки промислових ділянок, ліфти і т.д.

ЕП другої категорії надійності електропостачання повинні мати два джерела живлення. Перерва харчування у таких ЕП допускається на час, необхідний для ручного включення резервного живлення черговим персоналом.

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Ступінь точності визначення величини очікуваних електричних навантажень впливає на техніко-економічні показники СЕП, що проектується. Як завищення електричних навантажень, так і їх заниження призводить до погіршення техніко-економічних показників об'єкту, що проектується.

Враховуючи електричну віддаленість проектного вузла навантаження, визначувану числом рівнів трансформації між цеховими трансформаторними підстанціями і основними ДЖ – шинами вторинної напруги 6(10) кВ головної знижувальної підстанції (ГЗП) або підстанції глибокого вводу (ПГВ), визначення величини очікуваних електричних навантажень здійснюємо по методиці, приведеній в «Вказівках за розрахунком електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), введеній в дію з 01.1993 року.

У розрахунку використовуємо метод впорядкованих діаграм, який зараз є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання.

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ

Згідно вихідних даних (табл.1.2.) електроприймачі цеху класифікуються по характерним групам (з однаковим коефіцієнтом використання K_u і коефіцієнтом активної потужності $\cos \varphi$).

Наводимо паспортні данні окремих груп ЕП, які працюють в ПКР (зварювальні машини шовного зварювання і підйомно-транспортне обладнання), до номінальної потужності в кВт за виразом:

$$P_H = P_{насп} \sqrt{ПВ} = 250 \cdot \sqrt{0,25} = 125, \text{ кВт}$$

$$P_H = P_{насп} \sqrt{ПВ} = 860 \cdot \sqrt{0,4} = 543,9, \text{ кВт}$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \varphi \sqrt{ПВ} = 900 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{1} = 315, \text{ кВт}$$

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

і заносимо ці значення у відповідну колонку табл. 2.1.

Складаємо встановлені потужності вузла:

$$P_{H_{\Sigma}} = 900 + 750 + 560 + 1100 + 125 + 543,9 + 315 + 1000 = 5293,9, \text{ кВт}$$

По кожній характерній групі ЕП визначаємо середнє змінне навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{cm_1} = P_{H_1} \cdot Ku_1 = 900 \cdot 0,3 = 270, \text{ кВт}$$

$$Q_{cm_1} = P_{cm_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 270 \cdot 1,17 = 315,7, \text{ квар}$$

де $\operatorname{tg} \varphi_1$ - відповідає середньому значенню $\cos \varphi$ для характерної групи ЕП (див. табл. 2.1). По інших групах розрахунки аналогічні, розраховуємо їх та результати заносимо до таблиці 2.1.

Складаємо середньо змінне навантаження по вузлу:

$$P_{cm_{\Sigma}} = 270 + 225 + 392 + 770 + 22,5 + 97,9 + 94,5 + 600 = 2471,9, \text{ кВт}$$

$$Q_{cm_{\Sigma}} = 315,7 + 263,1 + 294,0 + 577,5 + 44,7 + 194,3 + 252,9 + 612,1 = 2554,2, \text{ квар}$$

Визначаємо середньо важений (груповий) коефіцієнт використання по вузлу навантаження:

$$Ku_{gr.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} = \frac{2471,9}{5293,9} = 0,47$$

Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{ni}}{P_{n \max}} = \frac{2 \cdot 5293,9}{200} = 53,$$

По значенням групового коефіцієнту використання і ефективного числа ЕП визначаємо значення коефіцієнту розрахункового навантаження K_P .

$$K_P = 0,75$$

Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi} = 0,75 \cdot 2471,9 = 1853,9, \text{ кВт}$$

Враховуючи особливість споживання реактивної потужності ЕП, яка мало залежить від завантаження ЕП активною потужністю приймаємо:

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi} = 2554,2, \text{ квар}$$

Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1853,9^2 + 2554,2^2} = 3156,1, \text{ кВА}$$

Визначаємо встановлену потужність освітлювальних ЕП:

$$P_{H.O.} = P_{уд.О.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 1200 \cdot 10^{-3} = 240 \text{ кВт}$$

Визначаємо розрахункове навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{ПРА} = 240 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 250,8, \text{ кВт}$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 250,8 \cdot 0,33 = 82,8, \text{ квар}$$

Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП, розрахункові реактивні потужності розраховуються і вносяться до відповідних граф табл. 2.1.

2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

в мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність ККУ напругою до 1 кВ визначається по мінімуму приведених витрат двома послідовними розрахунковими етапами:

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1.

Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

Вихідні дані																
№ п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кіль кість , шт	Паспортні дані ЕП, кВт		Ном. потужні сть характе рних гр. ЕП	Коеф. викор истан ня, Kи	Довідкові дані		Середні змінні навантаженн я за найбільше завантажену зміну		Ефект ивне число ЕП, из	Коеф. розрах -ого навант аженн я, Kp	Розрахунковий максимум навантаження			Розра хунко вий струм, Iр, А
			Одн.ЕП Р _{н.мін} / Р _{н.макс} , кВт	Загаль на Р _{пасп.} , кВт			cos φ	tg φ	Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1.	Електромагнітні преси	40	3/80	900	900	0,3	0,65/1,17	270	315,7							
2.	Кривошипні преси	230	0,5/10	750	750	0,3	0,65/1,17	225	263,1							
3.	Вентилятори	70	5/20	560	560	0,7	0,8/0,75	392	294,0							
4.	Насоси, компресори	15	10/200	1100	1100	0,7	0,8/0,75	770	577,5							
5.	Крани, тельфери, ПВ = 25%	25	5/40	250	125	0,18	0,45/1,98	22,5	44,7							
6.	Крани, тельфери, ПВ = 40%	45	5/45	860	543,9	0,18	0,45/1,98	97,9	194,3							
7.	Зварювальні машини шовного зварювання, Sн, кВА	80	10/40	900	315,0	0,3	0,35/2,68	94,5	252,9							
8.	Елеватори, конвеєри, зблоковані	50	3/100	1000	1000	0,6	0,7/1,02	600	612,1							
9.	Всього силові ЕП:	555	-	-	5293,9	K _{и, эк} = 0,47	-	2471,9	2554,2	53	0,75	1853,9	2554,2	3156,1	728,9	
10.	Освітлювальні ЕП: (площа цеху F=9600 м)	-	-	-	240,0	-	0,95/0,33	-	-	-	K _{осв} = 0,95	250,8	82,8	264,1	61,0	
11.	Всього по цеху:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2104,7	2637,0	3420,2	789,9	

Н.

Затверд.

№докум.

Підпис

Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ

Лист

- вибором економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП), тобто визначення потужності ККП – 0,38 кВ, що забезпечує оптимальне число цехових трансформаторів, $Q_{нк1}$, квар;
- визначення додаткової потужності ККУ – 0,38 кВ в цілях оптимального зниження втрат в трансформаторах цехових ТП і мереж, що живлять їх, напругою вище 1 кВ, $Q_{нк2}$, квар, викликаних перетіканнями РП через цехові ТП.

Сумарна реактивна потужність ККУ – 0,38 кВ дорівнює:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар}$$

де $Q_{нк1}$ і $Q_{нк2}$ – сумарні потужності ККУ – 0,38 кВ, визначаємо на двох вказаних етапах розрахунку.

Сумарна потужність ККУ – 0,38 кВ розподіляється між окремими трансформаторами цехових ТП пропорційно їх реактивної потужності.

2.2.1. Визначення потужності компенсуючи пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Виходячи з результатів розрахунку електричних навантажень напругою до 1 кВ, маємо наступні значення навантажень (силове і освітлювальне):

$$P_{p\Sigma} = 2104,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = 2637 \text{ квар}$$

Вибираємо із шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{н.тр} = 1000$ кВА.

Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т.мин} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{2104,7}{0,705 \cdot 1000} = 2,99 + 0,01 = 3 \text{ шт}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів:

$$N_{опт} = N_{т.мин} + m, \text{ шт}$$

Визначаємо додаткове число трансформаторів $m = 0$, тоді

$$Nonm = Nm_{\text{мин}} = 3 \text{ шт}$$

Найбільша реактивна потужність, квар, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Qm = \sqrt{(\beta \cdot N_{ont} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2} = \sqrt{(0,705 \cdot 3 \cdot 1000)^2 - 2104,7^2} = 208,5$$

квар

Сумарна потужність НБК, квар, для даної групи трансформаторів, яка забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Qm = 2637 - 208,5 = 2428,5 \text{ квар}$$

Потужність НБК, яка приходить на один цеховий трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{Nonm} = \frac{2428,5}{3} = 809,5 \text{ квар}$$

По цій величині вибираємо із табл. 9.2. [1] типорозмір ККУ-0,38 кВ: ККУ-0,38-500-150+ ККУ-0,38-300-150

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок буде складати:

$$Q''_{НК1.СПР} = Nonm \cdot Q'_{НК1.СПР} = 3 \cdot 800 = 2400 \text{ квар}$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетоками РП

Не скомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР} = 2637 - 2400 = 237 \text{ квар}$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{НК2}$, з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{НК2} = Q_{неск} - \gamma \cdot N_{тЭ} \cdot S_{HT} = 237 - 0,44 \cdot 3 \cdot 1000 = -1083, \text{ квар}$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, визначаємо за кривими 4.9. [1], виходячи зі значень K_1 (табл.4.6. [1]) и K_2 (табл.4.7. [1])

$$K_1 = 12; \quad K_2 = 7; \quad \gamma = 0.44;$$

Оскільки $Q_{HK2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність Q_{HK2} приймається рівною нулю.

2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху

Місце розташування цехових трансформаторів визначається щільністю електричних навантажень цеху, розташуванням технологічного устаткування в цеху (з врахуванням можливого внутрішньо цехового розміщення компенсуючих пристроїв), а також умовами мікроклімату в цеху, визначуваного особливостями технологічного процесу.

Досвід проектування, монтажу і експлуатації цехових трансформаторних підстанцій (ТП), а також дані теоретичних досліджень дають досить конкретні вказівки по вибору місця розташування ТП. Перш за все рекомендується вживання КТП (комплектні трансформаторні підстанції), що забезпечують не залежний від будівельної частини індустріальний монтаж. Розміщення КТП в можливій близькості до центрів навантаження забезпечить максимальну економію кольорового металу і зниження втрат електроенергії в цехових мережах.

Система дроблення підстанцій з їх максимально можливим наближенням до центрів навантажень дає можливість вже на стадії проектування вирішувати питання електрозбереження.

Залежно від умов довкілля і особливостей технологічного процесу компоновка цехових ТП може бути: внутрішньо цеховою, вбудованою, прибудованою і окремо розташованою.

Оскільки даний вузол навантаження представлений конверторним цехом, то до установки прийнята схема внутрішньо цехового розміщення трансформато-

рів. Слід врахувати, що внутрішньо цехові ТП розташовують в в мертвій зоні роботи мостових кранів.

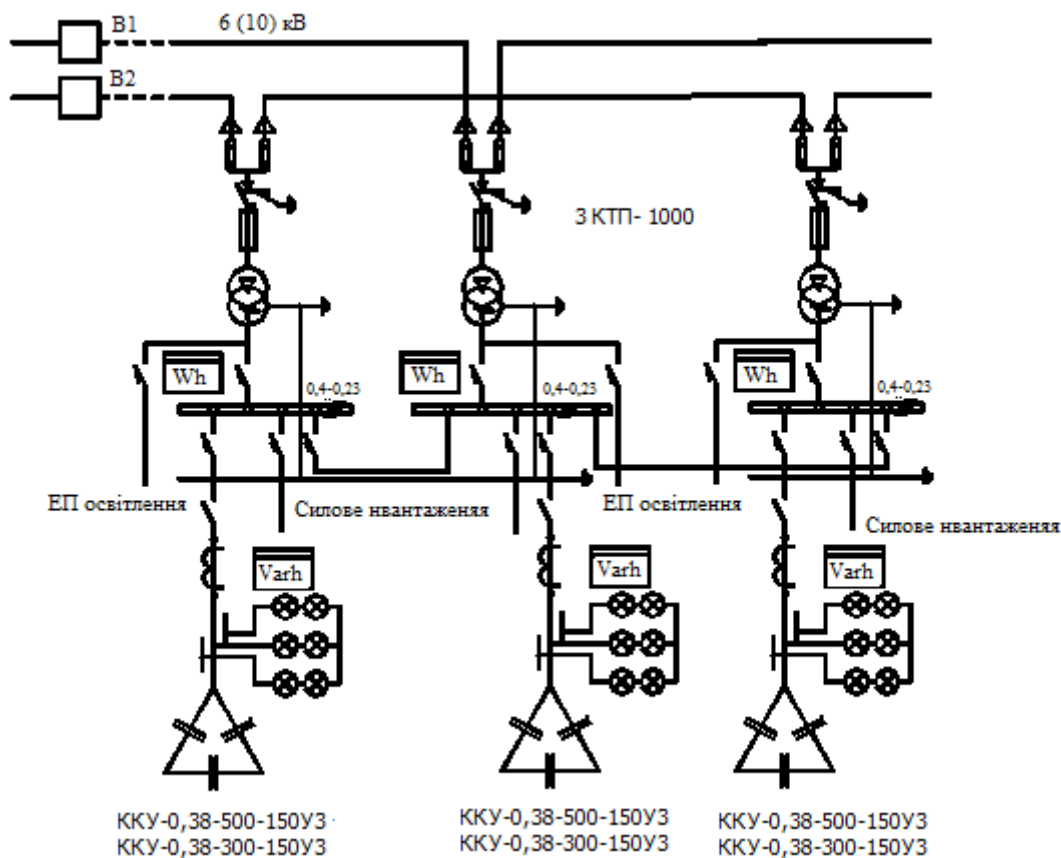


Рис. 2.1 - Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів визначається їх числом, розташуванням на площі цеху, категорійністю живлених ними навантажень. рекомендується цехові трансформатори жити по подвійних різних магістралях з числом трансформаторів в магістралі: 2-3 трансформатора при їх встановленій потужності 1600 – 2500 кВА і 3-4 трансформатора меншої потужності. При двох трансформаторах їх живлення здійснюється по радіальним лініям.

В останній час при розташуванні ТП в центрах електричних навантажень в мережі до 1 кВ получила розповсюдження схема БТМ – блок трансформатор – магістраль, рис. 2.2.

Виконана за схемою БТМ шинопроводів мережа спрощується, оскільки КТП може бути виконана без розподільчого пристрою низької напруги (РП НН). В цьому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровід (ШМА), призначений для передачі електроенергії декільком розподільчим шинопроводам (ШРА) або декільком ЕП. Схеми БТМ широко застосовують для живлення цехових мереж механічних цехів машинобудівних підприємств з поточним виробництвом.

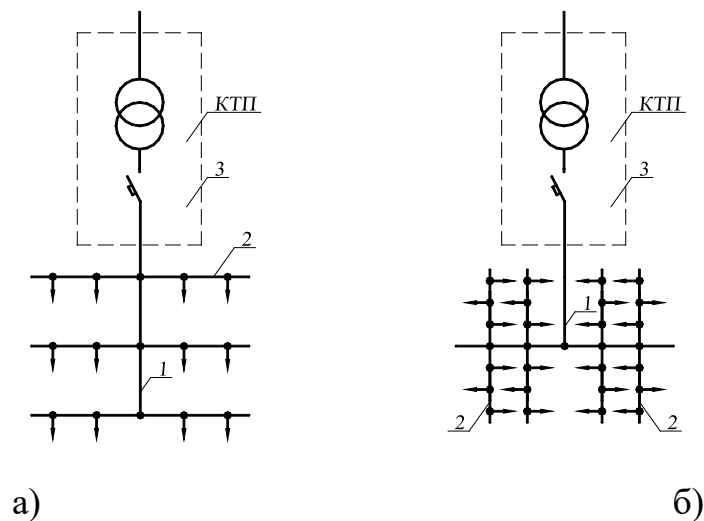


Рис. 2.2 - Схеми БТМ

б – вихід магістралі в одному напрямку;

в – вихід магістралі в двох напрямках;

1 – магістраль, що живить; 2 – розподільчі шинопроводи; 3 – апаратура управління та захисту.

По своїй структурі схеми шинопроводів мереж можуть бути радіальними, магістральними і змішаними (рис. 2.3).

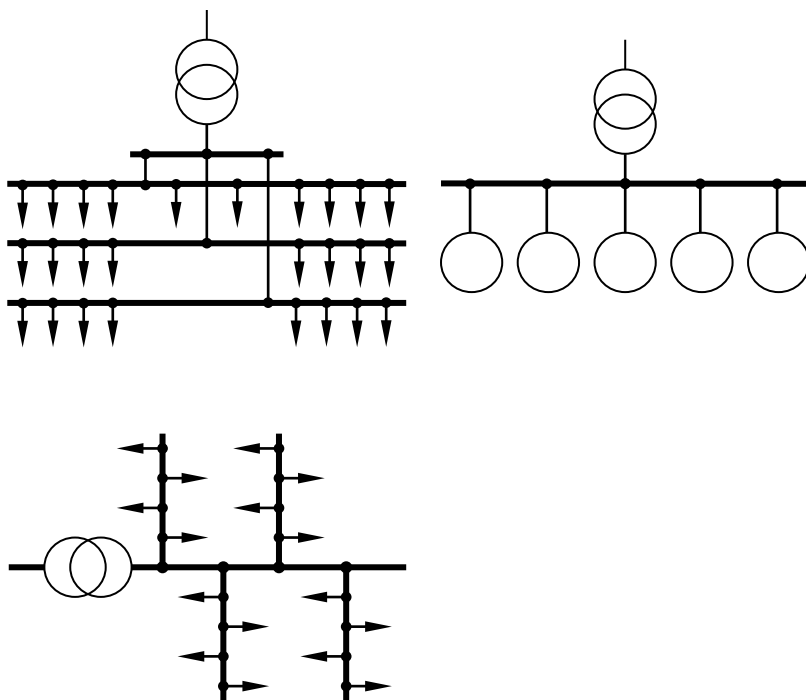


Рис. 2.3 – Схема живлення ЕП: радіальна, магістральна, змішана схема живлення ЕП

2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах

Вибір параметрів і типу автоматів, виходячи з розрахункової схеми, рис. 2.4, де вказані місця розміщення автоматів і їх призначення.

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№ докum.	Підпис	Дата		

Автомат QF8 – ввідний, параметри якого визначаються встановленою потужністю трансформатора з врахуванням можливих перевантажень, допустимих ГОСТ 14209-85.

Автомат QF9 – секційний, параметри якого по ввідному автомату.

Вибір параметрів автоматів QF1- QF3 – починаємо з визначення номінальних струмів двигунів, що захищаються автоматами. Визначуваний (по довіднику [3]) тип і потужність двигунів, а по ним – номінальні струми двигунів:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А};$$

$$I_{н.дв.} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 93,9 \text{ А};$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

За довідником [3] визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів:

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, \text{ А};$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 93,9 = 563,4 \text{ А};$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типа АЗ710 з номінальними параметрами (таблиця. 10.4. [2]). При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

$$I_{н.расц.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, \text{ А};$$

$$I_{н.расц.} = \frac{93,9}{0,85} = 110,5 \text{ А};$$

Вибираємо розчеплювача з номінальним струмом $I_{н.расц.} = 120 \text{ А}$.

Встановлюємо неможливість спрацювання (відстроюємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{ср.эл.} = 1,25 \cdot I_{пуск}, \text{ А};$$

$$I_{ср.эл.} = 1,25 \cdot 563,4 = 704,2 \text{ А}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 1000А.

Розраховуємо навантаження шинопроводу ШРА-73-1.

При підключенні до шинопроводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів:

$$I_{P,ШРА-1} = \sum_1^3 I_{НОМ.ДВ.} = 202 \text{ А};$$

Піковий струм шинопроводу визначається виходячи з умови пуску найбільше потужного двигуна, який приєднано до шинопроводу:

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + \sum_1^{n-1} I_{ном.дв.} = 563,4 + 60,9 + 47 = 671,3 \text{ А}$$

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з врахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{н.расц.} \geq I_{P,ШРА-1}$$

Перевіряємо неможливість спрацьовування автоматів при пуску найбільш потужного двигуна (настройки від пускових струмів):

$$1,25 \cdot I_{пик} \leq I_{ср.эл.расц.}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Вибір ввідного автомата. Ввідні автомати вибирають по встановленій потужності цехових трансформаторів з врахуванням їх можливого перевантаження в післяаварійному режимі, згідно ГОСТ 14209 89.

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2129 \text{ А.}$$

По струму післяаварійного режиму з врахуванням поправочного теплового коефіцієнта вибираємо номінальний струм селективного автомата з незалежною від величини струму витримкою часу при к.з.:

$$\frac{I_{н.ав.}}{0,85} \leq I_{ном расц}$$

$$2500 < 2500$$

Приймаємо до установки автомат ЭО-25, $I_{н.а.} = 2500 \text{ А.}$

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2

Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№	Назва автоавтомата (місце в схемі)	Ном. потужність, Рн, кВт / Розрах-ве наван-уя Рр, кВт; Sp, кВА	Ном. струм, I_n, A / Розр. струм I_p, A	Крат. ність пуск-пик. го струму, МУ, Кл	Пуск. струм, I_n, A	Тепл. попр. ав. коеф. $\frac{I_p}{I_n}$, А	Темп. $I_{ном}^{0,85}$, А	Ном. струм розч. ювача, $I_{расч} \geq 1,25 I_{расп}$, А	Струм уставки розч. ювача, $I_{расч} \geq 1,25 I_{расп}$, А	Тип автомата, $I_{н.а}, A$	Коеф. захисту, Кз	Доп. струм СВЧ, I_d, A	Перевірка вибраного перерізу $I_{ал.ном} \geq K_j \cdot I_j$	Остаточна вибраної марка і переріз СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF1	ШРА-1-АД-1	50	93,9	6	563,4	0,85	110,5	120	1000	A3710/1601	1	93,9	200	ABBG(3*25)	6,5
QF2	ШРА-1-АД-2	32	60,9	6	365,4	0,85	71,6	100	1000	A3710/1601	1	60,9	200	ABBG(3*25)	7,1
QF3	ШРА-1-АД-3	22	47	6	282	0,85	55,3	60	630	A3710/60	1	47	90	ABBG(3*16)	3,2
QF4	ШМА-ШРА-1	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/4001	1	400		ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА-2	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/4001	1	400		ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА-3	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/4001	1	400		ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА-4	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/4001	1	400		ШРА-73	
QF8	Тр-р-ШМА	1000	2129	-	-	-	-	2500	4000	ЭО-25	-	2500		ШМА-73	
QF9	Секційний	-	1503	-	-	-	-	1600	3000	ВА-55-43/1600	-	1600		ШМА-73	

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на рівень нижче за ввідний автомат:

$$I_{p.секции} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{н.ав.}}{0,85}, \text{ А}$$

Приймаємо до установки автомат типа ВА – 55 – 43, $I_{н.ав.} = 1600 \text{ А}$.

2.6. Вибір марки і перерізу струмоведучих частин

Підбираємо по таблиці. 5.6. [2] трижильний кабель з алюмінієвими жилами марки АВВГ перетином 35 мм^2 , для якого тривало допустимий струм дорівнює 200 А. Підставляючи числові значення в співвідношення:

$$I_{дл доп} \geq k_3 \cdot I_3$$

$$110,5 \geq 1 \cdot 120 \text{ А}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Аналогічно вибираємо переріз проводів до двигунів АД2 і АД3.

Далі вибираємо переріз шинопроводу розподільчий типу ШРА – 73, $I_{ном} = 400 \text{ А}$, за тими ж умовами, що і кабель.

Здійснимо перевірку вибраних переріз по втраті напруги:

$$\Delta U_{действ} = \sqrt{3} \cdot 110,5 \cdot 0,05 \cdot (0,92 \cdot 0,62 + 0,06 \cdot 0,79) = 4,2 \text{ В}$$

Оскільки КУ підключені до шин вторинної напруги цехові ТП, перетоки РП знижуються в мережі до місця їх приєднання і не впливають на режим РП в мережі 0,38 кВ. Тому значення коефіцієнту активної потужності $\cos \varphi$ визначаємо по розрахунковому силовому навантаженню (табл. 2.1.):

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{2104,7}{3420,2} = 0,62; \quad \sin \varphi = 0,79$$

Розрахунки показали, що вибрані перетини дротів задовольняють необхідним умовам. Всі розрахунки зведені в таблицю 2,2.

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Оскільки характер навантаження в цехах різний, умови довкілля так само неоднакові, то для забезпечення надійного внутрішньоцехового електропостачання необхідно перевірити вибрані перетини струмоведучих частин з врахуванням цих особливостей.

2.7. Розрахунок струмів К.З. в мережі до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання

Метою розрахунку струмів к.з. у мережах до 1 кВ є перевірка вибраних автоматів і шинопроводів на стійкість дії струмів к.з., всіх видів захисних апаратів (автоматів і запобіжників) – по граничному струму відключення і на чутливість захистів.

Особливістю розрахунків струмів кз. у мережах до 1 кВ є, те, що

- розрахунок проводиться в іменованих одиницях;
- при розрахунку струмів к.з. необхідно враховувати активні і індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутому ланцюгу, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, дуги, контактів і контактних з'єднань.

Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

Опори (питомі) елементів мережі наведені в таблиці 2.3

Опори (питомі) елементів мережі

Опо- ри пос- лідо- внос- тей	Пи- томі опори мОм/м	СВЧ			Трансфор- матори струму		Автомати		
		ШМ А 1600 (Ш1) (35м)	ШР А 400 (Ш2) (20м)	Кабель АВВГ (3*35) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/ 5	Q F3	QF 4	Q F 8
Пря ма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,65	0,1 4
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,0 8
Ну- льова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фа- за- нуль	r _{Ф-0}	0,067	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,294	0,15					

$$x_c = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,5} = 0,8 \text{ мОм}$$

Параметри трансформатора ТМ-1000-10/0,4; U_к = 5,5 %, ΔP_{к. з.} = 7,6 кВт.

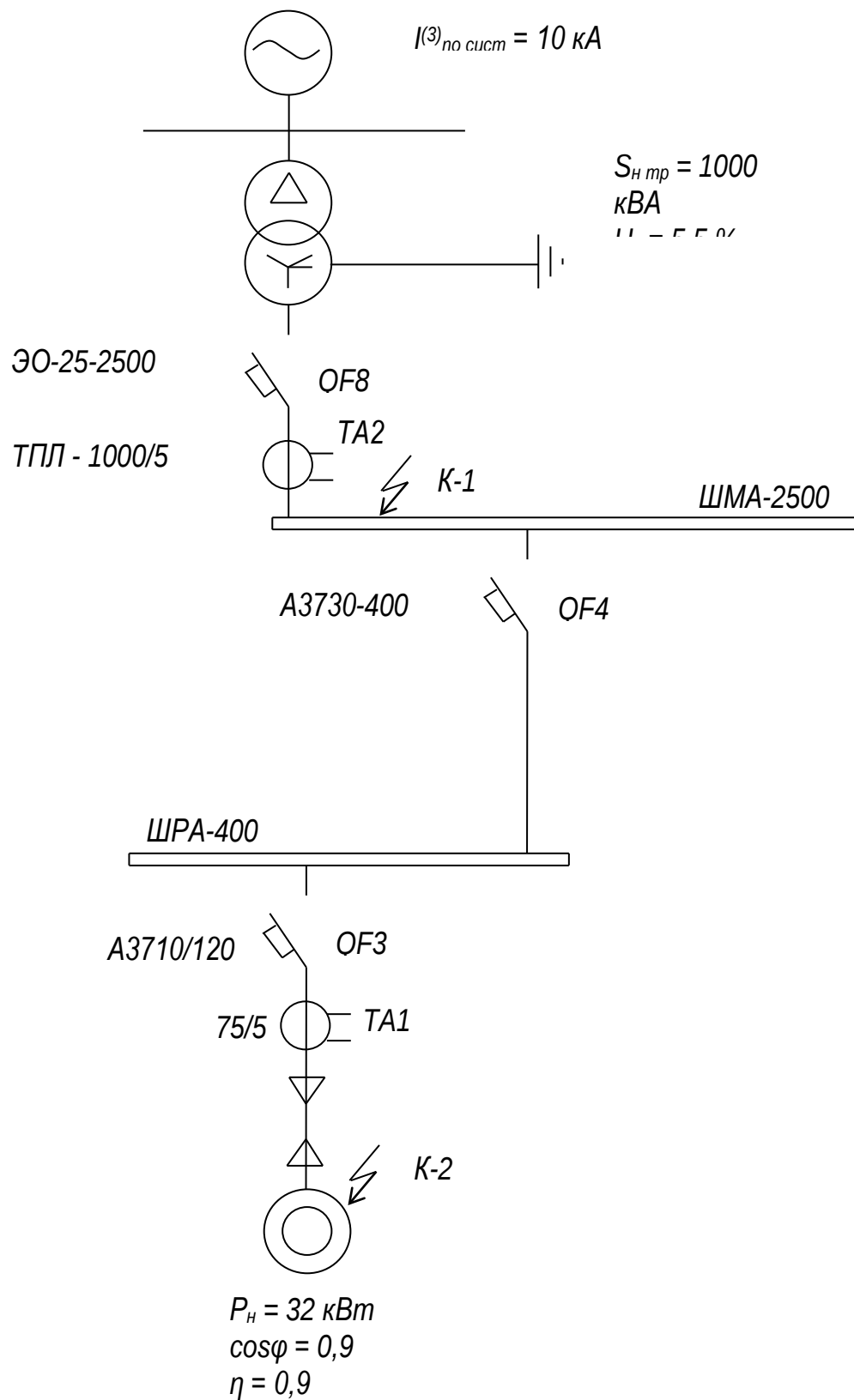


Рис. 2.5 – Розрахункова схема

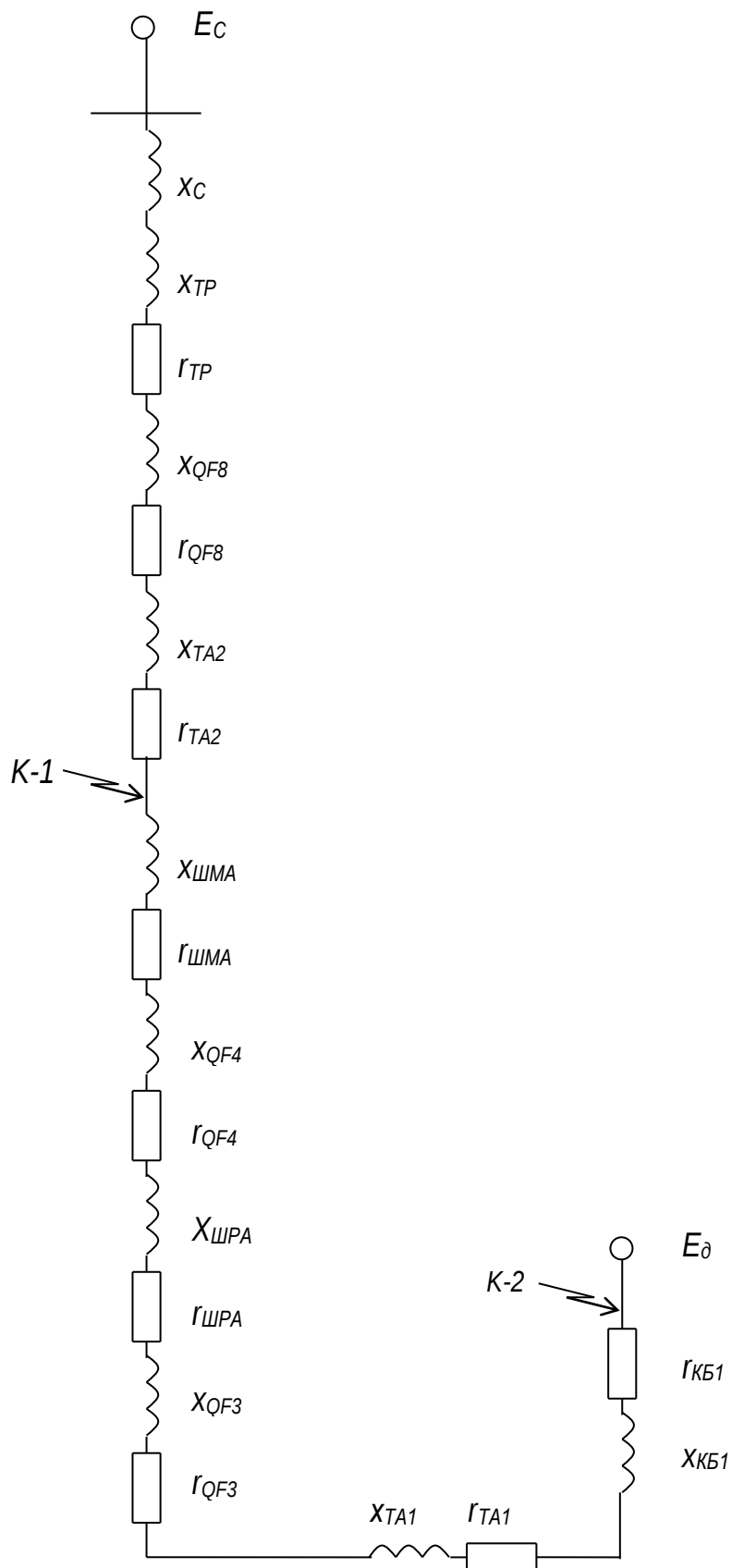


Рис.2.6 – Схема заміщення

$$r_{1T} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 2,07 \text{ мОм};$$

$$x_{1m} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{1000} \right)^2} \cdot \frac{0,4^4 \cdot 10^2}{1000} = 9,2 \text{ мОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 2,07 + 0,14 + 0,05 = 2,26 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 9,2 + 0,08 + 0,07 = 10,65 \text{ мОм}.$$

$$I_{\text{по}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,26^2 + 10,65^2}} = 10,3 \text{ кА}.$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення:

$$I_{\text{но}} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \quad 225 \leq 0,1 \cdot 10300$$

Таким чином вплив двигуна в місці к.з. можна не враховувати.

Струм однофазного к.з. в точці К – 2 розраховується за формулою:

Якщо електропостачання електроустановки напругою до 1 кВ здійснюється від енергосистеми через знижуючі трансформатори, то значення періодичної складової струму однофазного К.З. від системи ($I_{\text{по}}^{(1)}$) в кіло амперах розраховують по наступній формулі:

$$I_{\text{но min}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{CP.HH}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}^1 + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma}^1 + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА}$$

$$I_{\text{но min}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 124,28 + 61,58)^2 + (2 \cdot 35,63 + 24,15)^2}} = 2,13 \text{ кА}.$$

де $r_{1\Sigma}$ і $x_{1\Sigma}$ - визначається:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{1KB}$$

$$r_{1\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 1,28 = 36,7 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,17 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,06 = 24,79 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-H.III1} + r_{\phi-H.III2} + r_{1KB}) = 36,7 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 124,28 \text{ мОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-H.III1} + x_{\phi-H.III2} + x_{1KB}) = 24,79 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 35,63 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 61,58 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0m} + X_{A8} + X_{TA2} + X_{0III1} + X_{A4} + X_{0III2} + X_{A3} + X_{TA1} + X_{0KB} =$$

$$= 13,7 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = 24,15 \text{ МОм.}$$

Перевірка автоматів по граничному струму відключення:

$$I_{пред.откл} \geq I_{П.О.}^{(3)},$$

де $I_{П.О.}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання.

$$75 \geq 10,3 \text{ кА}$$

Умова виконується, граничний струм відключення автомата А3710 -

$$I_{пред.откл} = 75 \text{ кА}$$

Перевірка автоматів на чуттєвість захисту:

$$I_{П.О.}^{(1)} \geq K \cdot I_y,$$

де $I_{П.О.}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. в електрично віддаленій ділянці мережі, що захищається,

$$2,13 \geq 1,25 \cdot 1,$$

Автомат задовольняє умові перевірки на чуттєвість захисту.

2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП

Нормально допустиме відхилення напруги в мережі низької напруги складає $\pm 5\%$, а максимально допустиме в мережах НН і ВН (напруга до 20 кВ) $\pm 10\%$.

$$S_{нтр} = 1000 \text{ кВА}; U_{кз} = 5,5\%; \Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт.}$$

Навантаження трансформатора розраховується за формулою:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{min}}$$

$$S_p = \frac{\sqrt{2104,7^2 + 237^2}}{3} = 697,1 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт активної потужності визначається, виходячи із значення коефіцієнта реактивної потужності

$$tg \varphi = \frac{Q_{неск}}{P_{p\Sigma}}$$

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{237}{2104,7} = 0,11.$$

Слід $\cos \phi = 0,99$, $\sin \phi = 0,11$.

Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4$ кВ.

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга 10 кВ ($U_1 = 5\%$, $U_n = 0$)

Відхилення напруги на стороні НН трансформатора при включенні його відгалуження $+2,5\%$ ($U_{01} = 2,5\%$, $U_{011} = 2,5\%$).

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\Delta U_m = \frac{697,1}{1000} \cdot \left(\frac{7,6}{1000} \cdot 0,99 + 0,055 \cdot 0,11 \right) = 0,009 = 0,9\%$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з врахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням $+2,5\%$.

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 0,9 = 4,1 \, \%.$$

Отримане значення знаходиться в межах норми.

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Етапи проектування внутрішньоцехових СЕП були викладені в ході виконання дипломного проекту.

Результатом проектування є однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання (рис.2.7) і розгорнута схема силової мережі ділянки цеху заводу – (рис.2.8)

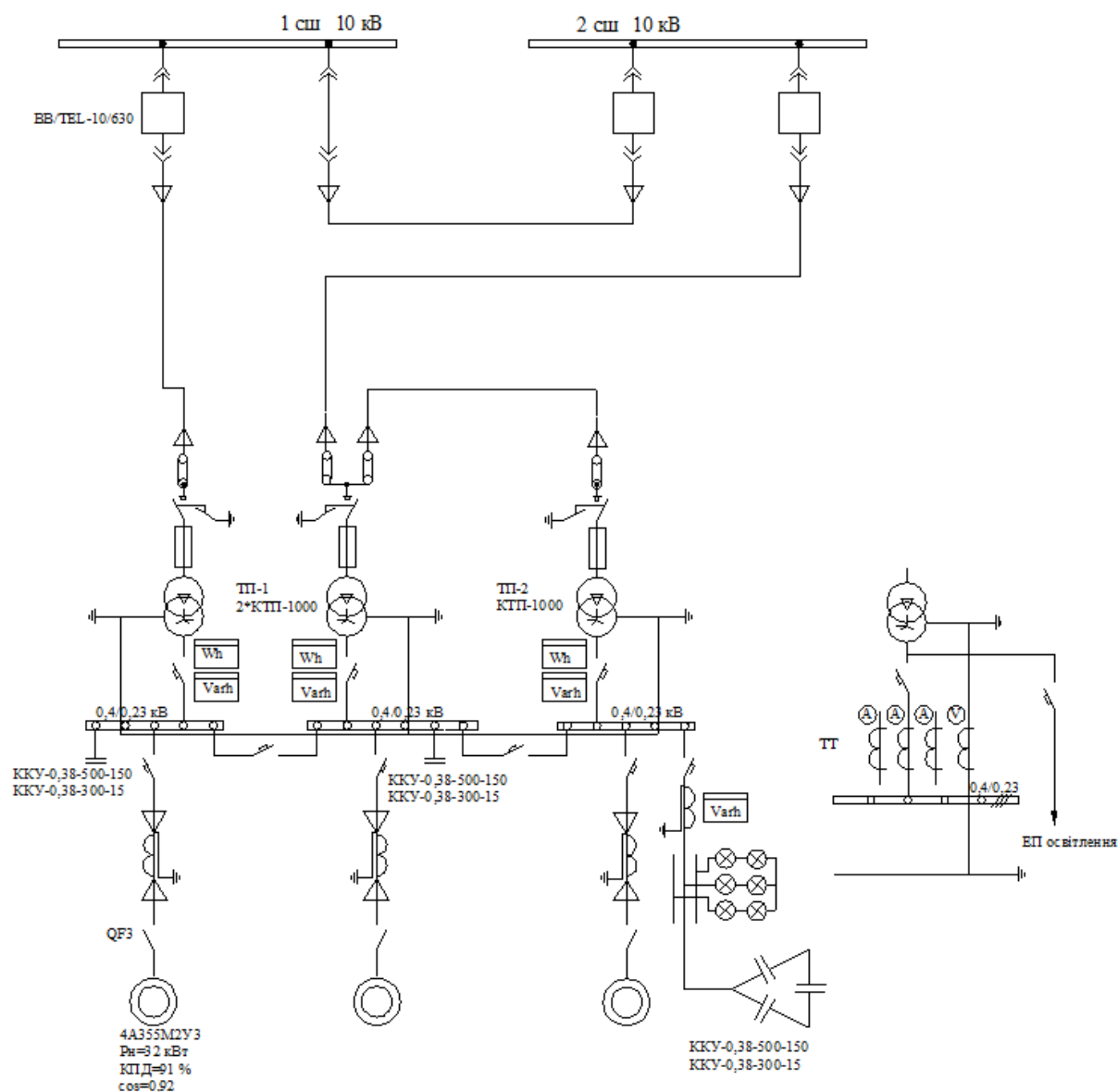


Рис.2.7. Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

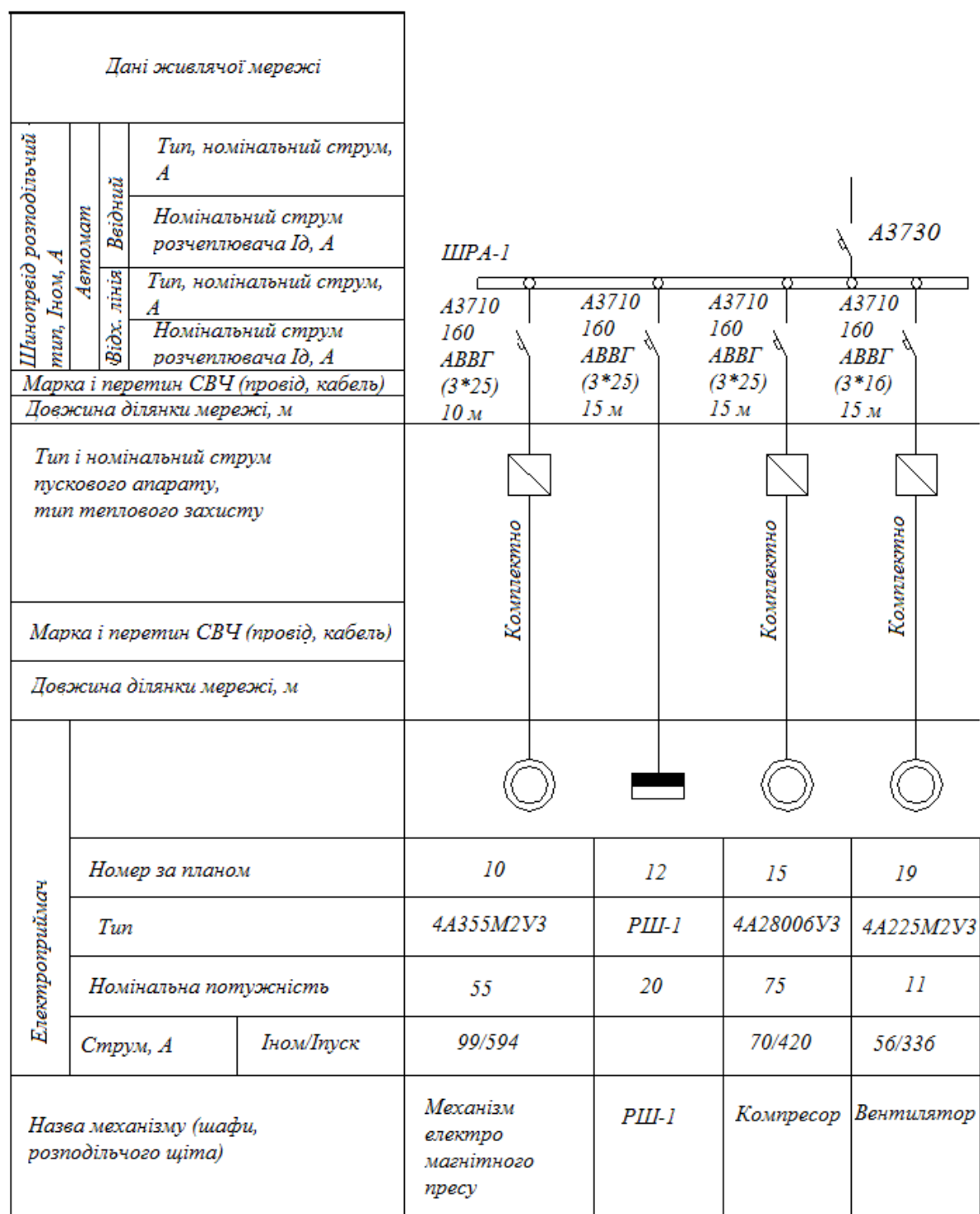


Рис. 2.8 Розгорнута схема силової мережі ділянки механічного цеху машинобудівного заводу

Висновки

Метою проектування внутрішньоцехової СЕП було забезпечення електроприймачів необхідною кількістю електроенергії при відповідній її якості з використанням при проектуванні енергозберігаючих заходів, а саме:

- використання принципу ГВ і дроблення п/ст;
- раціональне розміщення трансформаторів на площі цеху;
- використання КУ в мережі до 1 кВ, що знизило втрати активної потужності в елементах СЕП;
- використання швидкодіючих захисних апаратів, що в значній мірі підвищує надійність системи внутрішньоцехового електропостачання.

				ЕТ та ЕЕ 4815.013.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Діючі галузеві нормативні документи у галузі будівництва для використання на об'єктах електроенергетичної галузі. Показчик. Режим доступу: https://ua.energy/uchasnikam_rinku/dokumenty
2. СОУ-Н ЕЕ 20.178-2008 «Схеми принципів електричних розподільних установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова». Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66629
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненергугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
4. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання / Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: «Політехніка» НТУУ «КПІ» 2012 – 250 с.
5. Костишин, В.С. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. /В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
6. ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ, 2015. 31 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 20 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ 3582:2013 Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила. [Чинний від 2013-08-22]. Вид. офіц. Київ, 2014. 17 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ, 2005. 55с.