

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання
рудозбагачувальної фабрики №2 ПрАТ «ПІВНГЗК»

Здобувачка групи ЗЕЕМ-23ск _____ Світлана ГОЛОВАНЬ

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Олексій МИХАЙЛЕНКО

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Олексій МИХАЙЛЕНКО

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2026

Факультет: *електротехнічний*

Освітній рівень: *бакалавр*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Головань Світлани Миколаївни

1. Тема роботи: Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання рудозбагачувальної фабрики №2 ПрАТ «ПівніГЗК»

2. Строк подання здобувачем роботи: 10 червня 2026 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: обґрунтування, розрахунок та верифікація системи компенсації реактивної потужності для зниження втрат електроенергії, покращення якості напруги та підвищення надійності електропостачання РЗФ-2

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити): характеристика РЗФ-2 ПрАТ «ПівніГЗК», як об'єкту електропостачання; електропостачання РЗФ-2 ПрАТ «ПівдГЗК»; компенсація реактивної потужності на РЗФ-2 ПрАТ «ПівніГЗК»

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): технологічна схема секцій 1-8 РЗФ-2 ПрАТ «ПівніГЗК»; спрощена схема СЕП РЗФ-2; пристрій компенсації реактивної потужності; симуляційна модель керованого компенсаційного пристрою в Simulink/SPS; графіки симуляцій роботи пристрою компенсації реактивної потужності

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олексій МИХАЙЛЕНКО		
II	Олексій МИХАЙЛЕНКО		
III	Олексій МИХАЙЛЕНКО		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Загальна частина	18.05.26–24.05.26
2	Спеціальна частина	25.05.26–30.05.26
3	Проектна розробка	31.05.26–31.05.26
4	Оформлення пояснювальної записки	01.06.26–10.06.26
5	Оформлення презентації	11.06.26–15.06.26

Дата видачі завдання: 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____

Світлана ГОЛОВАНЬ

Керівник роботи _____

Олексій МИХАЙЛЕНКО

Реферат

Мета роботи: обґрунтування, розрахунок та верифікація системи компенсації реактивної потужності для зниження втрат електроенергії, покращення якості напруги та підвищення надійності електропостачання РЗФ-2.

Застосовані методи: аналіз технологічного процесу та структури електроспоживання; розрахунок електричних навантажень методом коефіцієнта попиту; інженерні розрахунки вибору трансформаторів, кабельних ліній, комутаційного та захисного обладнання; розрахунок струмів короткого замикання; комп'ютерне моделювання динамічних режимів у середовищі MATLAB/Simulink.

Проаналізовано технологічний цикл РЗФ-2 та встановлено, що основними споживачами реактивної потужності є асинхронні електродвигуни насосних, транспортних та збагачувальних агрегатів, що працюють переважно на напрузі 0,4 кВ із коефіцієнтом потужності 0,75...0,9. Виконано комплекс розрахунків електропостачання: визначено розрахункові навантаження, обрано силові трансформатори ТРДНС-25000/35/6 та ТМ-1000/6/0,4, кабельні лінії марок ААШв, ААБл, АВВГ, комутаційну апаратуру та засоби релейного захисту.

Обґрунтовано доцільність компенсації реактивної потужності на низькій напрузі (0,4 кВ) та визначено необхідну потужність компенсуючих пристроїв. Обрано автоматизовану установку УКРМ(АКУ)-0,4-200-20, доповнену керованою схемою «фіксований конденсатор – тиристорний реактор».

Розроблено імітаційну модель керованого компенсаційного пристрою в MATLAB/Simulink, що підтвердила коректність алгоритмів керування та відсутність небезпечних перехідних процесів. Досягнуто підвищення коефіцієнта потужності з 0,89 до 0,9806, що забезпечує зниження втрат електроенергії, розвантаження мереж, стабілізацію напруги та економію коштів за рахунок уникнення штрафів за споживання реактивної енергії. Запропоновані технічні рішення можуть бути впроваджені на РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК». Розроблена модель може використовуватися для подальших досліджень динаміки електроенергетичних систем гірничо-металургійних підприємств.

Ключові слова: реактивна потужність, коефіцієнт потужності, компенсація, конденсаторна батарея, тиристорний керований реактор, електропостачання, рудо-збагачувальна фабрика, MATLAB/Simulink, енергоефективність.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.Р	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зміст

Реферат.....	4
Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Характеристика РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК», як об'єкту електропостачання	8
1.1 Загальні відомості про ПрАТ «ПівнГЗК»	9
1.2 Робота 1-8 секцій РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК»	11
1.3 Характеристика споживачів РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК» з позиції споживання реактивної потужності.....	14
1.4 Аналіз способів компенсації реактивної потужності на РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК».....	15
Висновки.....	17
РОЗДІЛ 2. Електропостачання РЗФ-2 ПрАТ «ПівдГЗК»	18
2.1 Характеристика джерел електроживлення РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК»	19
2.2 Прорахунок електричних навантажень РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК»	19
2.3 Вибір напруги розподільних мереж та мереж живлення	22
2.4 Обрання силових трансформаторів	23
2.5 Обрання проводів і кабельних ліній.....	24
2.6 Розрахунок струмів короткого замикання	25
2.7 Вибір електричних апаратів і розподільчих пристроїв	29
2.7.1 Вибір ввідного роз'єднувача.....	29
2.7.2 Вибір вимикачів	29
2.7.3 Вибір запобіжника	31
2.7.4 Вибір трансформаторів струму.....	31
2.7.5 Вибір трансформаторів напруги.....	34
2.7.6 Вибір ізоляторів.....	34

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		5

2.8	Енергозбереження на РЗФ-2	35
	Висновок	37
РОЗДІЛ 3. Компенсація реактивної потужності на РЗФ-2 ПрАТ «ПівніГЗК»...		38
3.1	Загальні положення за розрахунками компенсації реактивної потужності	39
3.2	Компенсація реактивних навантажень.....	41
3.3	Визначення потужності батарей конденсаторів, встановлюваних у мережі до 1 кВ.....	42
3.4	Моделювання роботи компенсаційного пристрою.....	43
	Висновки	48
	Список використаних джерел	51

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.3	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вступ

Рудо-збагачувальні фабрики м. Кривого Рогу належать до категорії енергоємних підприємств із безперервним циклом роботи, де основну частину електроспоживання формують потужні асинхронні електродвигуни приводів, насосних установок, вентиляторів, конвеєрів та іншого технологічного обладнання. Такі електроприймачі характеризуються значним споживанням реактивної потужності, що призводить до зниження коефіцієнта потужності та збільшення повної потужності, яку необхідно передавати по електричних мережах.

Важливою складовою є економічний аспект проблеми, оскільки енергопостачальні організації встановлюють нормативні вимоги до коефіцієнта потужності, і при його зниженні підприємство несе додаткові фінансові витрати у вигляді штрафів або підвищених тарифів за споживання реактивної енергії.

Компенсування реактивної потужності шляхом застосування батарей статичних конденсаторів, синхронних компенсаторів або сучасних автоматизованих установок із тиристорним керуванням дозволяє значно підвищити коефіцієнт потужності, скоротити втрати електроенергії та стабілізувати рівень напруги. Це сприяє підвищенню надійності електропостачання, покращенню режимів роботи технологічного обладнання та збільшенню терміну його експлуатації. Крім того, оптимізація режимів споживання реактивної потужності створює передумови для вивільнення резервів пропускної здатності електричних мереж без необхідності їх дорогого розширення або модернізації.

Таким чином, компенсування реактивної потужності на рудо-збагачувальній фабриці є важливим напрямком підвищення енергоефективності роботи підприємства у гірничо-металургійній галузі.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.ВС	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1.
Характеристика РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК», як об’єкту
електропостачання

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.3Ч			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Характеристика РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК», як об’єкту електропостачання	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Головань С.М.				Н	8	
Перевір.		Михайленко О.Ю.				ЗЕЕМ-23ск		
Конс.								
Н.контр.		Михайленко О.Ю.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

1.1 Загальні відомості про ПрАТ «ПівнГЗК»

ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» є великим промисловим підприємством гірничо-металургійної галузі, діяльність якого зосереджена на видобутку та переробці залізорудної сировини з подальшим отриманням залізорудного концентрату і котунів. Основу сировинної бази підприємства складають поклади залізистих кварцитів, зосереджені на Першотравневій ділянці та в межах Ганнівського родовища, які розташовані у північній частині Криворізького залізорудного басейну. Розробка родовищ здійснюється відкритим способом із використанням сучасної циклічно-поточної технології, що забезпечує ефективну організацію процесу видобутку та транспортування гірничої маси [1].

Раніше, підприємство дозволяло виробляти 14,2 млн. тонн концентрату і 11,1 млн. тонн котунів. Сьогоднішні потужності невідомі.

Основою технології збагачення на підприємстві є магнітна сепарація у слабкому полі, яка забезпечує ефективне вилучення залізовмісних компонентів із рудної маси. Загальна технологічна схема переробки характеризується багатостадійністю і включає чотири етапи попереднього дроблення, три стадії подрібнення та п'ять послідовних стадій магнітного збагачення, що дозволяє досягати високих показників якості концентрату. Виробнича структура підприємства сформована з урахуванням повного циклу, від видобутку сировини до отримання готової продукції.

Гірничий комплекс представлений Першотравневим і Ганнівським кар'єрами, де видобуток ведеться відкритим способом із застосуванням сучасної техніки та технологій. Першотравневий кар'єр характеризується значними габаритами, його довжина перевищує три кілометри, ширина сягає близько двох з половиною кілометрів, а фактична глибина становить приблизно 400 метрів при проектному значенні 650 метрів, причому нижній горизонт розташований на від'ємній позначці. Ганнівський кар'єр також має значні розміри і забезпечує видобуток сирової руди на рівні близько десяти мільйонів тонн на рік. У процесі ведення гірничих робіт застосовуються бурові

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

установки шарошечного та термошарошечного типу, а також потужні кар'єрні екскаватори і бульдозери, що виконують розкривні та видобувні операції.

Переробний комплекс включає декілька дробильних фабрик, робота яких організована таким чином, щоб забезпечити безперервність технологічного процесу. Частина руди після первинного дроблення транспортується між фабриками, а також здійснюється переробка розкривних порід із отриманням щебеневої продукції. Важливу роль відіграє застосування циклічно-потокової технології, яка дозволяє ефективно транспортувати гірничу масу між різними рівнями кар'єру. Процеси дроблення реалізуються із використанням потужних конусних дробарок різних типів, що забезпечують необхідну крупність матеріалу для подальшого подрібнення [1].

Подальша переробка здійснюється на рудо-збагачувальних фабриках (РЗФ), де руда проходить декілька стадій подрібнення у кульових і самоподрібнювальних млинах з подальшим збагаченням на магнітних сепараторах. Отриманий концентрат додатково піддається операціям дешламації та фільтрації для покращення його якісних характеристик. Технологічне обладнання, що використовується на цих стадіях, включає різноманітні типи млинів, гідроциклонів, сепараторів, вакуум-фільтрів та насосного обладнання, що забезпечує безперервність і ефективність процесу.

Окремим напрямком діяльності є виробництво котунів, яке реалізується у спеціалізованих цехах і включає цілий комплекс операцій – від підготовки шихтових матеріалів і добавок до формування, випалу, сортування та складування готової продукції. Ці виробничі ланки оснащені відповідним обладнанням для транспортування, змішування, огрудкування та термічної обробки матеріалів, а також системами очищення газів.

Функціонування всього виробничого комплексу забезпечується допоміжними підрозділами, до яких належать служби водопостачання та шламового господарства, електротехнічні служби, підрозділи автоматизації, контролю якості, диспетчеризації, транспортного забезпечення та підготовки виробництва.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Робота 1-8 секцій РЗФ-2 ПрАТ «ПівніЗК»

Технологічний процес збагачення на РЗФ-2 [2, 3] характеризується послідовною багатостадійною обробкою рудної сировини (рис. 1.1), що починається ще на етапі кар'єрного дроблення, де матеріал подрібнюється до крупності –350 мм за один цикл. Після цього руда проходить операцію грохочення з відокремленням фракції +100 мм, далі надходить на подальшу переробку, яка включає дві стадії подрібнення із застосуванням млинів типу ММС і МГР. У технологічному ланцюзі передбачено також дворазове видалення шламів, що сприяє підвищенню ефективності наступних операцій, а завершальним етапом є три стадії мокрої магнітної сепарації, в результаті яких отримується концентрат необхідної якості.

Для додаткової переробки відходів у вигляді скрапу та галі використовується окрема схема, яка передбачає їх попереднє до дроблення, після чого матеріал також проходить дві стадії подрібнення, дворазове знешламлення та триступеневу магнітну сепарацію у водному середовищі. Концентрат, що утворюється як у основних секціях, так і на дільницях доопрацювання скрапу, об'єднується у вигляді пульпи, піддається фільтрації та далі спрямовується на огрудкувальну фабрику для складування або відвантаження споживачам [2].

Відходи збагачення транспортуються у хвостосховище, розташоване на відстані до півтора кілометра від фабрики, де відбувається їх осадження. Освітлена вода після відстою повертається у виробничий цикл і використовується повторно, що дозволяє знизити витрати водних ресурсів [2].

Більш детально розглядаючи процес отримання концентрату, слід зазначити, що на першу стадію подрібнення надходить руда із максимальною крупністю до 100 мм. Подрібнення здійснюється у млинах типу ММС-90×30, які працюють у замкнутому циклі разом із двоспіральними класифікаторами. Крупні частинки після класифікації повертаються назад у млин для додаткового подрібнення, тоді як дрібна фракція у вигляді зливу спрямовується на першу стадію магнітної сепарації [2].

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

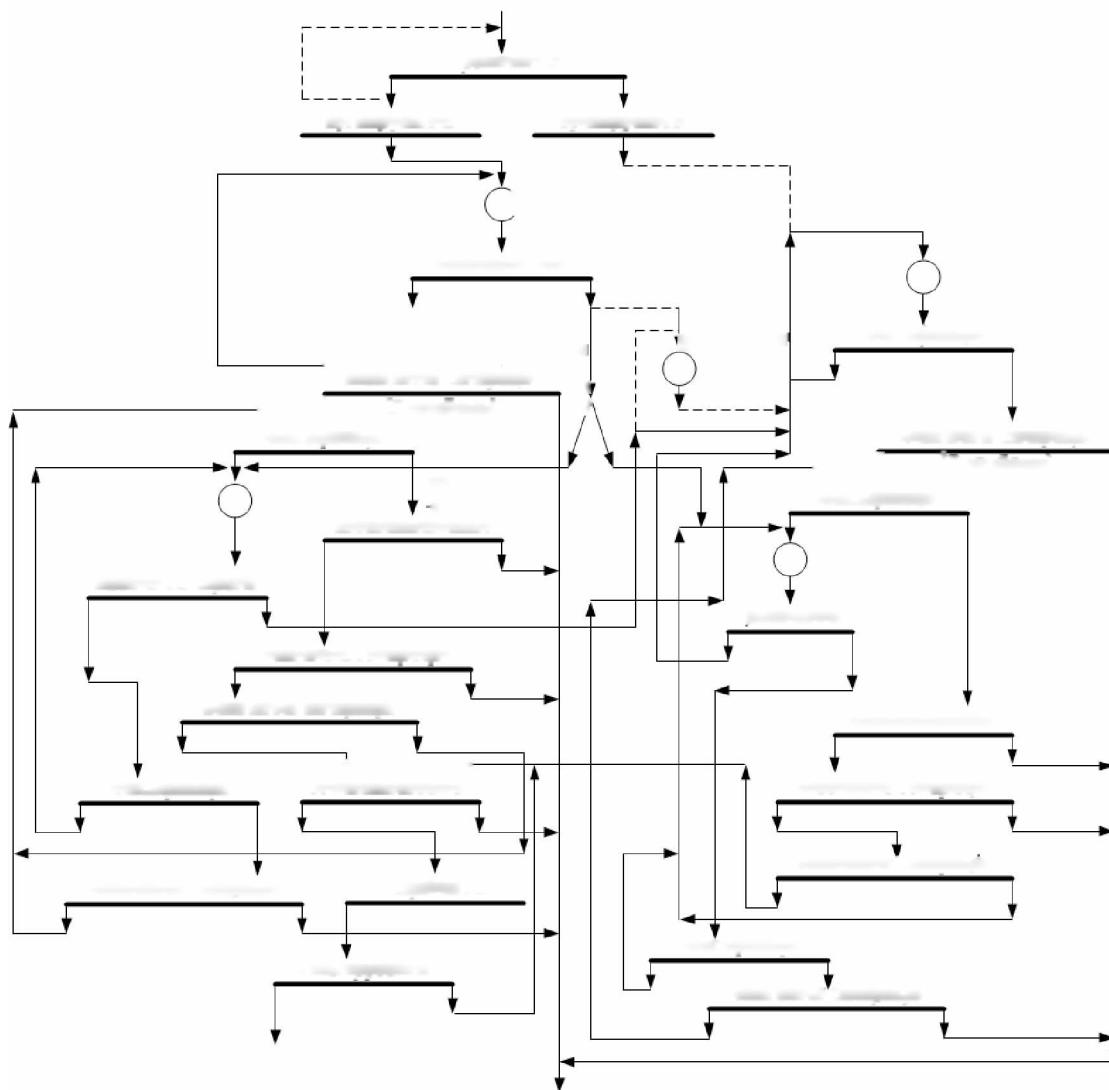


Рисунок 1.1 – Технологічна схема секцій 1-8 РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК»

Друга стадія подрібнення на збагачувальній фабриці виконується у млинах великої продуктивності МШРГУ-4500×6000 та МГР-5500×7500, які працюють у безперервному замкнутому циклі разом із гідроциклонами ГЦ-710. У цей контур надходить проміжний продукт після першої та частково другої стадій магнітного збагачення, що дозволяє стабілізувати гранулометричний склад живлення та підвищити ефективність подальшого розділення. Після виходу з млина матеріал направляється на класифікацію, де крупні фракції повертаються на повторне подрібнення, а тонкодисперсний продукт переходить на наступний етап магнітної сепарації. Магнітні продукти також додатково обробляються в гідроциклонах, де відбувається їх розподіл за крупністю: злив спрямовується на знешламлення, а піски повертаються в цикл

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

подрібнення. Процес ведеться до досягнення високого ступеня подрібнення, при якому основна маса матеріалу представлена класом менше 0,074 мм. При цьому технологічні параметри пульпи підтримуються в заданих межах, що забезпечує стабільну роботу обладнання та оптимальні умови класифікації [2].

Магнітне збагачення на фабриці реалізується у три послідовні стадії з використанням барабанних сепараторів типу ПБМ різних модифікацій. Перша стадія виконується у два проходи з проміжним перечищенням магнітного продукту, що дозволяє відокремити відвальні хвости та отримати проміжний концентрат. Живленням цієї стадії є злив класифікатора, а ефективність процесу забезпечується підтриманням оптимальної густини пульпи та рівномірною подачею промивної води на барабани сепараторів. Друга стадія також здійснюється у безперервному режимі, де злив класифікатора, що працює в замкнутому циклі з млином, надходить на сепарацію з подальшим виділенням проміжного продукту та хвостів, при цьому важливим є точне регулювання водного режиму для стабільності процесу розділення. Третя стадія передбачає обробку знешламленого продукту після гідроциклонування і дешламації, де в результаті дворазового перечищення отримують кінцевий концентрат та відвальні хвости за умови підтримання заданої щільності живлення та рівномірної подачі води [2].

Окремим етапом є процес знешламлення, який здійснюється в магнітних дешламаторах, куди надходить злив гідроциклонів. У результаті цього процесу виділяється піщана фракція та відвальні шлами, при цьому забезпечується необхідне навантаження на обладнання та стабільність гідравлічного режиму. Завершальною операцією технологічного циклу є зневоднення магнітного продукту на дискових вакуум-фільтрах, де концентрат третьої стадії сепарації підготовлюється до подальшого транспортування або відвантаження.

Усі ці процеси в сукупності забезпечують отримання якісного залізорудного концентрату.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.3 Характеристика споживачів РЗФ-2 ПрАТ «ПівніЗК» з позиції споживання реактивної потужності

Споживачі електроенергії рудо-збагачувальної фабрики (за винятком млинів) переважно належать до категорії індуктивних навантажень із значним споживанням реактивної потужності, що обумовлено наявністю асинхронних електродвигунів, насосних агрегатів, механічних приводів і систем транспортування пульпи та матеріалів. З точки зору режимів реактивного навантаження їх можна охарактеризувати як джерела стабільного або змінного індуктивного навантаження з низьким і середнім коефіцієнтом потужності, який без компенсації зазвичай знаходиться в діапазоні 0,75...0,9 залежно від режиму роботи та ступеня завантаження.

Приводи конвеєрів та двох дробарок КМДТ характеризуються відносно сталим споживанням реактивної потужності, оскільки працюють переважно з асинхронними двигунами великої та середньої потужності. При пуску та часткових навантаженнях вони формують підвищені значення реактивного струму, що призводить до погіршення $\cos\varphi$ у перехідних режимах. У сталому режимі їх реактивна складова є відносно стабільною, але суттєво впливає на сумарне навантаження фабричної мережі.

Насосні установки гідротранспорту, гідроциклонів і водопостачання є одними з найбільш значущих споживачів реактивної потужності, оскільки працюють у тривалому режимі з високим навантаженням і використовують асинхронні двигуни великої потужності. Вони формують постійний індуктивний характер навантаження, а при зміні продуктивності (дроселювання, регулювання подачі) коефіцієнт потужності додатково погіршується через неефективне використання встановленої потужності двигунів.

Системи магнітної сепарації, що включають барабанні сепаратори та допоміжні приводи, також є споживачами реактивної потужності, однак їх внесок є менш значним у порівнянні з насосами та транспортними механізмами. Їх електроприводи характеризуються відносно рівномірним

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

навантаженням, але через велику кількість однотипних двигунів малої та середньої потужності вони формують розосереджене індуктивне навантаження по всій електромережі фабрики.

Гідравлічні системи, зокрема гідроциклонні установки та зумпфові насосні групи, відрізняються змінним характером споживання реактивної потужності, що залежить від густини пульпи, навантаження на цикл та гідравлічного опору системи. У таких умовах спостерігаються коливання реактивної складової струму, що негативно впливає на стабільність напруги в локальних вузлах живлення.

Допоміжні механізми, включаючи вентилятори, компресори, вакуумні системи фільтрації та транспортні приводи, також мають індуктивний характер навантаження. Особливо це стосується вакуум-фільтраційних установок і димососного обладнання, де асинхронні двигуни працюють у тривалому режимі з високим коефіцієнтом завантаження, формуючи значну частку реактивної потужності в загальному балансі фабрики.

У сукупності всі перелічені споживачі формують характерну для РЗФ-2 індуктивну структуру навантаження, що призводить до зниження загального коефіцієнта потужності та обґрунтовує необхідність застосування систем компенсації реактивної потужності для підвищення енергоефективності та стабільності електропостачання.

Також відзначу, що більша частина споживачів реактивної потужності працюють на рівні напруги 0,4 кВ.

1.4 Аналіз способів компенсації реактивної потужності на РЗФ-2 ПрАТ «ПівніГЗК»

Основні способи компенсації на рудо-збагачувальній фабриці можна поділити на індивідуальну, групову та централізовану, а також на нерегульовану та автоматично регульовану залежно від характеру навантаження.

Найпростішим і найпоширенішим є індивідуальне компенсування, яке передбачає встановлення конденсаторних батарей безпосередньо біля окремих

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

потужних електродвигунів або технологічних механізмів, таких як конвеєри, дробарки, насоси та сепаратори. Його перевагою є зменшення реактивного струму вже на рівні джерела споживання, що знижує навантаження на кабельні лінії та трансформатори. Однак у випадку змінного режиму роботи обладнання ефективність такого підходу може бути обмеженою, оскільки компенсація є фіксованою і не завжди відповідає реальному навантаженню.

Групова компенсація застосовується для декількох однотипних або технологічно пов'язаних споживачів, наприклад для насосних станцій, дробильних відділень або ділянок магнітної сепарації. У цьому випадку конденсаторні установки встановлюються на розподільчих щитах або групових шинопроводах, що дозволяє більш гнучко реагувати на зміну навантаження порівняно з індивідуальною компенсацією. Такий підхід є компромісом між ефективністю та вартістю і часто використовується в середніх вузлах фабричної мережі.

Централізована компенсація реалізується на рівні головних розподільчих підстанцій або шин 6...10 кВ і призначена для загального підвищення коефіцієнта потужності підприємства. Вона зазвичай виконується у вигляді автоматичних конденсаторних установок з регулюванням ступенів включення залежно від поточного навантаження. Такий спосіб дозволяє зменшити реактивні потоки в зовнішніх мережах і трансформаторах, однак не знижує внутрішні втрати в низьковольтних мережах підприємства так ефективно, як локальна компенсація.

Окремо слід виділити сучасні керовані системи компенсації на основі тиристорних установок (SVC) або статичних компенсаторів (STATCOM), які забезпечують швидке динамічне регулювання реактивної потужності. Вони особливо ефективні на ділянках зі швидкозмінним навантаженням, наприклад у системах подрібнення, гідротранспорту та магнітної сепарації, де відбуваються різкі коливання струму і напруги.

Щодо місць встановлення компенсуючих пристроїв на рудо-збагачувальній фабриці, найбільш доцільними є кілька рівнів. Перший рівень –

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

безпосередньо біля великих електродвигунів насосних станцій, конвеєрів, дробарок та вакуум-фільтрів, де досягається максимальне зменшення локальних втрат. Другий рівень – на розподільчих щитах цехів, таких як дробильні відділення, збагачувальні фабрики та цехи огрудкування, де доцільна групова автоматична компенсація. Третій рівень – на головних підстанціях підприємства, де встановлюються централізовані автоматичні конденсаторні батареї або статичні компенсатори для підтримання загального балансу реактивної потужності всієї фабрики.

Таким чином, вибір оптимальної системи компенсації на рудо-збагачувальній фабриці є важливою задачею. Для РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК» компенсування потрібно роботи на напрузі 0,4 кВ, так як на цьому класі напруги знаходяться основні активно-індуктивні споживачі фабрики.

Висновки

У розділі проаналізовано технологічні особливості ПрАТ «ПівнГЗК» та роботу РЗФ-2, яка характеризується складним багатостадійним циклом переробки залізної руди. Встановлено, що електрогосподарство РЗФ базується на потужних асинхронних електродвигунах насосних агрегатів, турбоповітродувок, конвеєрів та сепараторів. Таке обладнання формує значне індуктивне навантаження з низьким коефіцієнтом потужності, генеруючи великі обсяги реактивної потужності, що призводить до додаткових втрат енергії, перевантаження мереж та погіршення якості напруги. Проаналізовані існуючі методи компенсації реактивної потужності. Так як переважно активно-індуктивні споживачі працюють на напрузі 0,4 кВ, тому доцільно компенсувати реактивну потужність саме на цьому класі напруги.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.01.34	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 2.
Електропостачання РЗФ-2 ПрАТ «ПівдГЗК»

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Електропостачання РЗФ-2 ПрАТ «ПівдГЗК»	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Головань С.М.				Н	18	
Перевір.		Михайленко О.Ю.						
Конс.								
Н.контр.		Михайленко О.Ю.						
Затверд.		Пересунько І.І.				ЗЕЕМ-23ск		

2.1 Характеристика джерел електроживлення РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК»

Зовнішнє електропостачання ПрАТ «ПівнГЗК» забезпечується через інфраструктуру Дніпровської енергосистеми НЕК «Укренерго», а саме через дві магістральні підстанції напругою 330 кВ – «Рудну» та «Першотравневу». Обидва ці об'єкти, кожен з яких має потужність 750 МВА, оснащені трьома автотрансформаторами, що понижають напругу з 330 до 154 кВ. Базовим генеруючим джерелом для живлення цих підстанцій переважно виступає Криворізька ТЕС, у складі якої працюють десять енергоблоків по 800 МВА. Внутрішня система електропостачання комбінату включає три головні знижувальні підстанції: ГЗП-3, ГЗП-4 та ГЗП-5. При цьому ГЗП-3 живиться від обох магістральних центрів: від ПС «Першотравнева» до неї підключені повітряні лінії 154 кВ Л-133 і Л-134, а від ПС «Рудна» – лінії Л-155 і Л-156. Живлення ГЗП-5 реалізоване виключно через підстанцію «Рудна» за допомогою двох аналогічних повітряних ліній напругою 154 кВ, позначених як ЛПЖРК-1 та ЛПЖРК-2.

2.2 Прорахунок електричних навантажень РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК»

На рудозбагачувальній фабриці №2 ПрАТ «ПівнГЗК» ключовими електроприймачами напругою 6 кіловольт виступають такі агрегати, як дробарки моделі КМД-2200Т, а також кульові млини серій ММС-90х30, МШРГУ-4500х6000 і МГР-5500х7500, тоді як у низьковольтній мережі 0,4 кВ задіяні турбоповітродувки моделей ТВ-80-1,8 та ТВ-175-1,6. Детальний опис усього парку технологічного устаткування даного підприємства, що включає конкретні значення номінальної потужності, рівня живильної напруги та коефіцієнта потужності для кожної одиниці техніки, систематизовано у табл. 2.1 з посиланням на відповідні джерела [5, 6].

Щодо розрахунку електричних навантажень, необхідного для проектування внутрішньоцехових мереж та підбору трансформаторного

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

обладнання, фахівці зазвичай радять застосовувати методику середньої споживаної потужності або розрахунок за коефіцієнтом максимуму. Однак у межах цього конкретного проекту для об'єктів, що функціонують у тривалому режимі, найбільш виправданим та ефективним є використання методу коефіцієнта попиту, що також підтверджується спеціалізованою літературою [7]. Додатково варто зазначити, що однолінійна принципова схема досліджуваної підстанції була винесена в окрему презентаційну частину проектних матеріалів для забезпечення кращої наочності.

Потужності споживані на напрузі 6 і 0,4 кВ:

$$P_{заг.сн} = n_{сн} \cdot \kappa_{нон} \cdot P_{сн}; \quad (2.1)$$

$$S_{заг.сн} = \frac{P_{заг.сн}}{\cos \varphi_{сн}}; \quad (2.2)$$

$$Q_{заг.сн} = \sqrt{S_{заг.сн}^2 - P_{заг.сн}^2}. \quad (2.3)$$

Таблиця 2.1 – Електроприймачі РЗФ-2

Електроприймач	$n, шт.$	$P_{ном},$ $кВт$	$U_{ном},$ $кВ$	$\cos \varphi$	η	$\kappa_{нон}$
Млин ММС-90х30	2	4000	6	0,9	0,96	0,8
Млин МШРГУ-4500х6000	4	2500	6	0,9	0,955	0,8
Дробарка КМД-2200Т	2	250	6	0,76	0,923	0,45
Млин МГР-5500х7500	4	3200	6	0,9	0,96	0,8
Турбоповітродувка ТВ-175- 1,6	1	250	0,4	0,92	0,952	0,8
Турбоповітродувка ТВ-80-1,8	1	200	0,4	0,89	0,94	0,8
Дешламатор МД-9	16	3	0,4	0,8	0,825	0,8
Магнітний сепаратор ПБМ-П-90/250	60	4	0,4	0,87	0,855	0,5
Класифікатор 2КСН-24А	10	30	0,4	0,89	0,915	0,8

Магнітний сепаратор ПБМ-ПП-90/250	32	4	0,4	0,87	0,825	0,5
Система освітлення	1	175	0,4	1	0,9	0,9
Вакуумфільтр Д-68-2,5У	48	4,75	0,4	0,85	0,81	0,7

Таблиця 2.2 – Розрахункові споживання 6 кВ РЗФ-2

Електроприймач	$P_{cn},$ кВт	$Q_{cn},$ квар	$S_{cn},$ кВА	$\cos \varphi$
Млин ММС-90х30	6400	3099,66	7111,11	0,9
Млин МШРГУ-4500х6000	8000	3874,58	8888,89	0,9
Дробарка КМД-2200Т	225	192,41	296,05	0,76
Млин МГР-5500х7500	10240	4959,46	11377,78	0,9
Всього	24865	12126,11	27673,83	

Таблиця 2.3 – Розрахункові споживання 0,4 кВ РЗФ-2

Електроприймач	$P_{cn},$ кВт	$Q_{cn},$ квар	$S_{cn},$ кВА	$\cos \varphi$
Турбоповітродувка ТВ-175-1,6	200	85,2	217,39	0,92
Турбоповітродувка ТВ-80-1,8	160	81,97	179,78	0,89
Дешламатор МД-9	38,4	28,8	48	0,8
Магнітний сепаратор ПБМ-П-90/250	120	68,01	137,93	0,87
Класифікатор 2КСН-24А	240	122,96	269,66	0,89
Магнітний сепаратор ПБМ-ПП-90/250	105,6	59,85	121,38	0,87
Система освітлення	157,5	0	157,5	1
Вакуумфільтр Д-68-2,5У	159,6	98,91	187,76	0,85
Всього	1181,1	545,69	1319,4	

Прорахунок середньозваженого $\cos \varphi$:

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

$$\cos \varphi_{\text{ср.зв}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{заг.і}} \cdot \cos \varphi_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{заг.і}}}; \quad (2.4)$$

$$\cos \varphi_{\text{ср.зв6}} = \frac{22347}{24865} = 0,89873; \quad (2.5)$$

$$\cos \varphi_{\text{ср.зв0,4}} = \frac{1060,15}{1181,1} = 0,8976. \quad (2.6)$$

2.3 Вибір напруги розподільних мереж та мереж живлення

У системах внутрішнього електропостачання збагачувальних підприємств, згідно з джерелами [5], традиційно застосовують змінний струм у діапазоні від 12 до 10 кВ, а також постійний струм напругою 110 та 220 В. Зокрема, напруга 12 В є оптимальною для організації освітлення в агресивних або складних умовах експлуатації, таких як зони навколо трубних сушарок чи котлів. Для стандартного освітлення та ручних переносних ламп у приміщеннях із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом передбачено використання 36 вольт, тоді як ланцюги сигналізації зазвичай функціонують на напрузі від 48 до 60 вольт. Щодо силового обладнання з напругою до одного кіловольта на другій рудозбагачувальній фабриці, доцільним є застосування рівнів 220, 380 або 660 вольт.

Живлення та розподіл енергії в мережах вище 1000 В здійснюється на рівні 6 або 10 кВ, причому саме 6 кВ обрано для живлення таких потужних агрегатів, як кульові млини, дробарки та магістральні конвеєрні лінії. Натомість мережі на 10 кВ виконують переважно розподільчі функції, що зумовлено техніко-економічною доцільністю: для електродвигунів потужністю до 1500 кВт зі швидкістю обертання близько 750 обертів на хвилину вартість машин на 6 кВ є на 30-40 відсотків нижчою, а їхній коефіцієнт корисної дії перевищує показники десятикіловольтних аналогів на 1-1,5 відсотка. Враховуючи загальну кількість приєднань, у проєкті обрано типові принципові рішення для розподільчих пунктів, які передбачають наявність двох робочих

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

систем шин, секціонованих вимикачем, на стороні 150 кВ, чотирьох робочих систем шин, попарно секціонованих вимикачем, на стороні 6 кВ, а також двох робочих систем шин, секціонованих вимикачем, на низьковольтній стороні 0,4 кВ.

2.4 Обрання силових трансформаторів

Потрібно намітити два трансформатори 35/6 кВ і два трансформатори 6/0,4 кВ.

Прорахункова потужність одного трансформатора 35/6 кВ:

$$S_{ном тр} \geq \frac{\sum S}{\eta_m \cdot \kappa_n}; \quad (2.7)$$

$$S_{ном тр} = \frac{27673,83}{1,4 \cdot 0,95} = 20807,39 \text{ кВА.}$$

Намічаємо до установки трансформатори ТРДНС-25000/35/6 див.табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Паспортні дані трансформатора 35/6 кВ

Тип трансформатора	$S_{ном}$, кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	$u_{кз}$, %	i_{xx} , %
ТРДНС-25000/35/6	25000	35	6	25	115	9,5	0,5

Прорахункова потужність одного трансформатора 6/0,4 кВ:

$$S_{ном тр} = \frac{1319,4}{1,4 \cdot 0,95} = 992,03 \text{ кВА.}$$

Намічаємо до установки трансформатори ТМ-1000/6/0,4 див. табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Паспортні дані трансформатора 6/0,4 кВ

Тип трансформатора	$S_{ном},$ кВА	$U_{ВН},$ кВ	$U_{НН},$ кВ	$\Delta P_{xx},$ кВт	$\Delta P_{кз},$ кВт	$u_{кз},$ %	$i_{xx},$ %
ТМ-1000/6/0,4	1000	6	0,4	4	12,2	6,5	0,8

2.5 Обрання проводів і кабельних ліній

Проводи і кабельні лінії обираються за економічною щільністю струму.

$$S_{ек} = \frac{I_n}{j_{ек}}, \quad (2.8)$$

тут:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (2.9)$$

З метою надійного електропостачання споживачів РЗФ-2 напругою 6(10) кВ у роботі передбачено застосування кабелів марки ААШв, які характеризуються наявністю алюмінієвих струмопровідних жил, просоченої паперової ізоляції, алюмінієвої оболонки та додаткового захисного шланга з полівінілхлориду. Паралельно з ними використовуються кабелі ААБл, що мають аналогічну основу з алюмінієвих жил, паперової просоченої ізоляції та алюмінієвої оболонки, але додатково оснащені бронею зі сталеві стрічки для підвищеного механічного захисту.

Зазначені кабельні вироби спеціально розроблені для живлення стаціонарного технологічного обладнання, що функціонує від мереж змінного струму частотою 50 Гц із номінальною напругою до 10 кВ. Для забезпечення ж низьковольтних навантажень на рівні 0,4 кВ обрано кабельну продукцію марки АВВГ, конструкція якої включає алюмінієві жили з полівінілхлоридною ізоляцією та зовнішньою ПВХ оболонкою, що повністю відповідає вимогам безпечної експлуатації в електромережах змінного струму напругою до 1 кВ та стандартною частотою 50 Гц.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Результати прорахунків див. у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Перерізи проводів і кабельних ліній живлення електроприймачів РЗФ-2

Електроприймач	I_n , А	Марка кабелю	$I_{доп}$, А	$j_{ек}$, А/мм ²	$S_{ек}$, мм ²
Млин ММС-90х30	445,49	АВВГ-3х240	515	1,4	367,86
Млин МШРГУ-4500х6000	279,89	ААШв-3х120	281	1,4	200,71
Дробарка КМД-2200Т	34,29	АВВГ-3х4	37	1,7	21,76
Млин МГР-5500х7500	356,39	ААШв-3х240	359	1,4	256,43
Класифікатор 2КСН-24А	53,17	АВВГ-3х10	59	1,7	34,71
Турбоповітродувка ТВ-175-1,6	412,00	АВВГ-3х240	515	1,4	367,86
Дешламатор МД-9	6,56	АВВГ-3х2,5	21	1,7	12,35
Турбоповітродувка ТВ-80-1,8	345,06	ААШв-3х240	359	1,4	256,43
Магнітний сепаратор ПБМ-П-90/250	7,76	АВВГ-3х2,5	21	1,7	12,35
Вакуумфільтр Д-68-2,5У	9,96	АВВГ-3х2,5	21	1,7	12,35
Магнітний сепаратор ПБМ-ПП-90/250	26,54	АВВГ-3х4	37	1,7	21,76
Система освітлення	445,49	АВВГ-3х240	515	1,4	367,86

2.6 Розрахунок струмів короткого замикання

Прорахунок струмів короткого замикання (кз) [8] провадимо для вибору апаратів, кабелів, ізоляторів та шин. У роботі як розрахункові було обрано такі точки кз: К1 – від шини РП 6 кВ до трансформатору 6/0,4 кВ; К2 – від шини РП 0,4 кВ до приводу споживача 0,4 кВ (наприклад, повітродувки).

Для прорахунку струмів кз складемо спрощену схему СЕП РЗФ-2 (рис. 2.1).

Прораховуємо базисний струм:

$$I_{\phi 1} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi 1}} = \frac{100}{1,73 \cdot 6} = 9,63 \text{ kA}.$$

де $S_{\delta} = 100 \text{ MBA}$; $U_{\delta 1} = 6 \text{ KB}$.

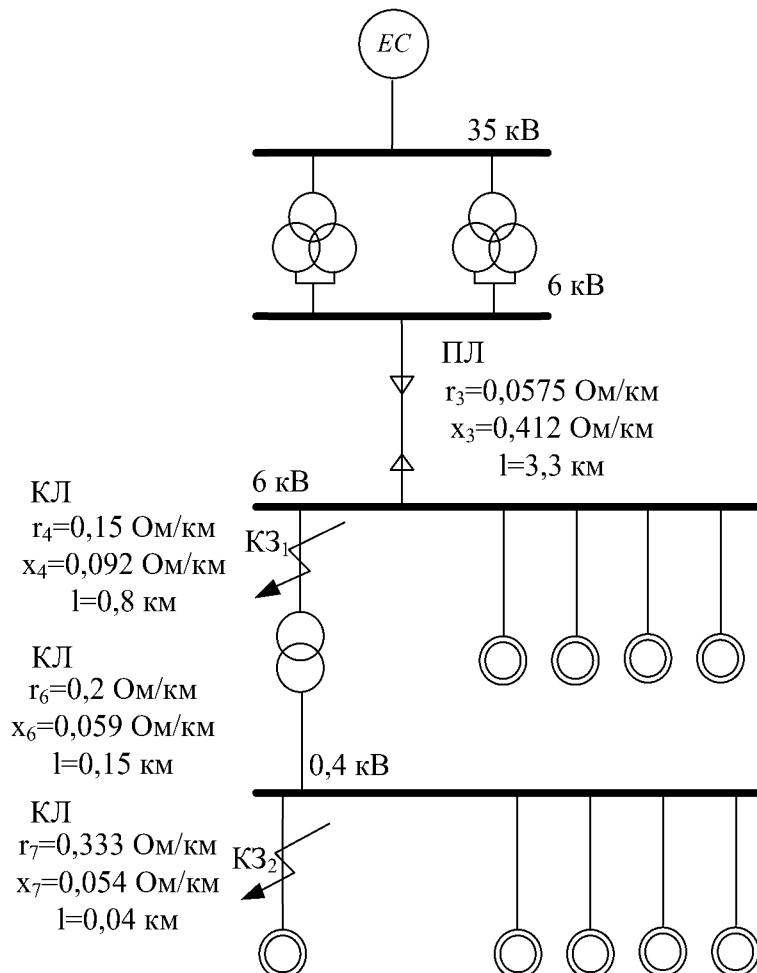


Рисунок 2.1 – Спрощена схема СЕП РЗФ-2

Подальші прорахунки робитимемо за схемою рис. 2.2.

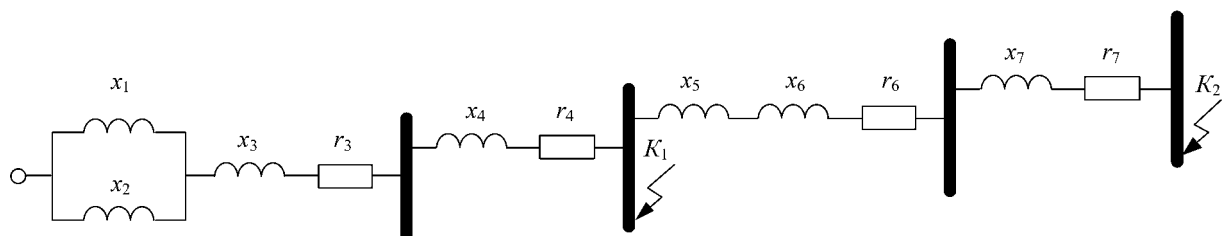


Рисунок 2.2 – Заступна схема СЕП РЗФ-2 для прорахунку струмів кз

Прораховуємо активні і реактивні опори до точок кз на ВН:

$$x_1 = x_2 = \frac{U_{кз}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{нтр}} = \frac{9,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,38 \text{ в.о.} \quad (2.10)$$

$$x_3 = X_{нл} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 0,412 \cdot 3,3 \cdot \frac{100}{6^2} = 3,78 \text{ в.о.}; \quad (2.11)$$

$$r_3 = R_{нл} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 0,0575 \cdot 3,3 \cdot \frac{100}{6^2} = 0,527 \text{ в.о.} \quad (2.12)$$

$$x_4 = X_{кл} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 0,092 \cdot 0,8 \cdot \frac{100}{6^2} = 0,204 \text{ в.о.}; \quad (2.13)$$

$$r_4 = R_{кл} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 0,15 \cdot 0,8 \cdot \frac{100}{6^2} = 0,333 \text{ в.о.} \quad (2.14)$$

Опори до першої точки:

$$x_{\Sigma \kappa_1} = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2} + x_3 + x_4 = \frac{0,38 \cdot 0,38}{0,38 + 0,38} + 3,78 + 0,204 = 4,17 \text{ в.о.}; \quad (2.15)$$

$$r_{\Sigma \kappa_1} = r_3 + r_4 = 0,527 + 0,333 = 0,86 \text{ в.о.} \quad (2.16)$$

Для прорахунку струму кз в точці електромережі 0,4 кВ наводимо опір системи 6 кВ до наружи 0,4 кВ:

$$x_{\Sigma_H} = x_{\Sigma_B} \cdot \left(\frac{U_{ном_H}}{U_{ном_B}} \right)^2 = 4,17 \cdot \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 = 0,019 \text{ в.о.}; \quad (2.17)$$

$$r_{\Sigma_H} = r_{\Sigma_B} \cdot \left(\frac{U_{ном_H}}{U_{ном_B}} \right)^2 = 0,86 \cdot \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 = 3,82 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.}; \quad (2.18)$$

$$I_{\bar{\sigma}2} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,3 \text{ кА.} \quad (2.19)$$

Прораховуємо активні і реактивні опори до точок кз на НН:

$$x_5 = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{1} = 9,5 \text{ в.о.}$$

$$x_6 = X_{кл} \cdot l_6 \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,059 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{0,4^2} = 5,53 \text{ в.о.}; \quad (2.20)$$

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$r_6 = R_{\kappa\ell} \cdot l_6 \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} = 0,2 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{0,4^2} = 18,7 \text{ в.о.} \quad (2.21)$$

Від шини 0,4 кВ до асинхронного двигуна:

$$x_7 = X_{\kappa\ell} \cdot l_7 \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,054 \cdot 0,04 \cdot \frac{100}{0,4^2} = 1,35 \text{ в.о.}; \quad (2.22)$$

$$r_7 = R_{\kappa\ell} \cdot l_7 \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,333 \cdot 0,04 \cdot \frac{100}{0,4^2} = 8,32 \text{ в.о.} \quad (2.23)$$

Опори до другої точки:

$$x_{\Sigma\kappa_2} = x_5 + x_6 + x_7 + x_{\Sigma H} = 9,5 + 5,53 + 1,35 + 0,019 = 16,4 \text{ в.о.}; \quad (2.24)$$

$$r_{\Sigma\kappa_2} = r_6 + r_7 + r_{\Sigma H} = 18,7 + 8,32 + 3,82 \cdot 10^{-3} = 27,02 \text{ в.о.} \quad (2.25)$$

Струми трифазного КЗ:

$$I_{K_1}^{(3)} = \frac{I_{\bar{\sigma}1}}{\sqrt{x_{\Sigma\kappa_1}^2 + r_{\Sigma\kappa_1}^2}} = \frac{9,63}{\sqrt{4,17^2 + 0,86^2}} = 2,26 \text{ кА}; \quad (2.26)$$

$$I_{K_2}^{(3)} = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{x_{\Sigma\kappa_2}^2 + r_{\Sigma\kappa_2}^2}} = \frac{144,3}{\sqrt{16,4^2 + 27,02^2}} = 4,56 \text{ кА}. \quad (2.27)$$

Струми двофазного КЗ:

$$I_{K_1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K_1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 2,26 = 1,96 \text{ кА}; \quad (2.28)$$

$$I_{K_2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K_2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 4,56 = 3,95 \text{ кА}. \quad (2.29)$$

Ударні струми кз:

$$I_{K_1}^{y\partial} = \kappa_{y\partial 1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K_1}^{(3)} = 1,51 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,26 = 4,82 \text{ кА}; \quad (2.30)$$

$$I_{K_2}^{y\partial} = \kappa_{y\partial 2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K_2}^{(3)} = 1,08 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,56 = 6,97 \text{ кА}. \quad (2.31)$$

тут ударні коефіцієнти [[8]]:

$$\text{у } K_1: \frac{x_{\Sigma\kappa_1}}{r_{\Sigma\kappa_1}} = \frac{4,17}{0,86} = 4,849, \text{ тоді } \kappa_{y\partial 1} = 1,51.$$

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\text{у } K_2: \frac{x_{\Sigma K_2}}{r_{\Sigma K_2}} = \frac{16,4}{27,02} = 0,607, \text{ тоді } \kappa_{y\partial 2} = 1,08.$$

Для усунення дій струмів кз потрібні струмообмежуючі реактори. Їх обов'язково використовують на ЛЕП, котрі під'єнані до шин підстанції.

2.7 Вибір електричних апаратів і розподільчих пристроїв

2.7.1 Вибір ввідного роз'єднувача

Намічаємо РВДЗ-16-III-10/2000УЗ:

Варто розрахувати струм термічної стійкості:

$$I_{\text{тсрозр}} = I_{n0K2} \sqrt{\frac{t_{\phi}}{t}}; \quad (2.32)$$

$$I_{\text{тсрозр}} = 6,97 \sqrt{\frac{0,75}{3}} = 3,485 \text{ кА}.$$

Таблиця 2.7 – Підбір роз'єднувачів

Найменування	РВДЗ-16-III-10/2000УЗ	
Умови вибору	кат.	розр.
$I_{\text{дин}} \geq I_{y\partial K2}, \text{ кА}$	80	4,82
$I_n \geq I_{p\phi 2}, \text{ А}$	2000	1489
$U_n \geq U_{\text{уст}}, \text{ кВ}$	10	6
$I_{\text{тс}} \geq I_{\text{тсрозр}}, \text{ кА}$	31,5	3,485

Отже, РВДЗ-16-III-10/2000УЗ можна прийняти до установки.

2.7.2 Вибір вимикачів

Намічаємо вимикач ВВ/TEL-10-1000/20 для приводів млинів:

Варто розрахувати струм термічної стійкості:

$$I_{\text{тсрозр}} = \sum I_{n0K5} \sqrt{\frac{t_{\phi}}{t}}; \quad (2.33)$$

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$I_{\text{тсрозр}} = 4,82 \sqrt{\frac{0,25}{3}} = 1,39 \text{ кА.}$$

За аналогією виконуємо прорахунок для інших електроприймачів підстанції див. в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Підбір вимикачів

Умови вибору	Млини ММС		Млини МШРГУ		Млини МГР	
	кат.	роз.	кат.	роз.	кат.	роз.
$I_{\text{нв}} \geq I_{\text{рн}}, \text{А}$	1000	445,5	1000	279,9	400	356,4
$I_{\text{д}} \geq I_{\text{уд}}, \text{кА}$	51	15,422	51	13,87	32	13,68
$I_{\text{відкл}} \geq I_{\text{у}}, \text{кА}$	20	4,82	20	6,97	12,5	6,32
$I_{\text{тс}} \geq I_{\text{тсрозр}}, \text{кА}$	20	1,39	20	1,43	12,5	1,36
$U_{\text{нв}} \geq U_{\text{уст}}, \text{кВ}$	10	6	10	6	10	6
Тип вимикача	ВВ/TEL-10-1000/20		ВВ/TEL-10-1000/20		ВВ/TEL-10-400/12,5	

За аналогією підбираємо секційний та ввідний вимикачі див. в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Підбір ввідного та секційного вимикачів

Умови вибору	Ввідний		Секційний	
	кат.	роз.	кат.	роз.
$U_{\text{нв}} \geq U_{\text{уст}}, \text{кВ}$	10	6	10	6
$I_{\text{нв}} \geq I_{\text{рн}}, \text{А}$	1600	1489	1000	706,86
$I_{\text{відкл}} \geq I_{\text{у}}, \text{кА}$	20	4,82	20	4,82
$I_{\text{д}} \geq I_{\text{уд}}, \text{кА}$	51	6,97	51	6,97
$I_{\text{тс}} \geq I_{\text{тсрозр}}, \text{кА}$	20	1,51	20	1,51
Тип вимикача	ВВ/TEL-10-1600/20		ВВ/TEL-10-1000/20	

2.7.3 Вибір запобіжника

Намічаємо запобіжники ПКТ-101-6-16-20УЗ.

Перевіряємо:

$$U_{нзп} = 6 \text{ кВ} \geq U_{н} = 6 \text{ кВ};$$

$$I_{нзп} = 16 \text{ А} \geq I_{рвп} = 5,15 \text{ А};$$

$$I_{відкл} = 20 \text{ кА} \geq I_{п0вп} = 6,97 \text{ кА}.$$

Отже, ПКТ-101-6-16-20УЗ можна прийняти до установки.

2.7.4 Вибір трансформаторів струму

Процес підбору трансформаторів струму (ТС), які забезпечують живлення вимірювальної апаратури, базується на ретельному аналізі кількох ключових параметрів, зокрема номінальної напруги, розрахункових значень первинного й вторинного струмів, допустимого вторинного навантаження та необхідного класу точності. Окремою важливою вимогою є перевірка цих виробів на здатність витримувати динамічні та термічні навантаження в аварійних режимах короткого замикання. Водночас найбільш специфічним аспектом вибору є диференціація за класом точності залежно від конкретного призначення обладнання. Так, для вузлів комерційного обліку, за показниками яких здійснюються фінансові розрахунки, обов'язковим є використання трансформаторів з високим класом точності 0,5. Для потреб суто технічного обліку дозволяється застосовувати менш точні пристрої з показником 1. У випадку підключення до вторинних кіл стандартних електровимірювальних приладів мінімально допустимим вважається клас точності 3, тоді як для комплектації систем релейного захисту традиційно використовуються спеціалізовані трансформатори струму з класом точності 10Р.

Розрахункове навантаження:

$$Z = Z_{\Sigma} + Z_{np}. \quad (2.34)$$

Опір приладів:

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$z_{\Sigma} = \frac{S_2}{I_{2n}^2}. \quad (2.35)$$

У РП 6-10 кВ застосовують ТС з $I_{2n} = 5 \text{ А}$.

Комплекс вимірювальної апаратури, яка живиться від ТС на вводі 6...10 кВ силового трансформатора промислової підстанції, включає необхідний спектр контрольно-облікових пристроїв. Зокрема, до його складу входять амперметри для відстеження струмових параметрів, ватметри й варметри для моніторингу активної та реактивної складових потужності, а також відповідні лічильники, що забезпечують точний облік спожитої активної і реактивної електричної енергії.

Опір найбільш завантаженої фази на боці ВН $z_{\Sigma} = 0,25 \dots 0,3 \text{ Ом}$.

Приблизний загальний опір найбільш завантаженої фази (НН):

$$z_{\Sigma} = \frac{3}{5^2} = 0,12 \text{ Ом}.$$

Опір з'єднувальних проводів:

$$z_{np} = \frac{\rho \cdot L_p}{q}; \quad (2.36)$$

$$z_{np} = z_{2n} = \frac{0,0175 \cdot 35}{1,5} = 0,408 \text{ Ом}.$$

L_p береться орієнтовно:

РП 6...10 кВ, установлення приладів у шафах КРУ $L_p = 4,6 \text{ м}$;

РП 6...10 кВ, установлення приладів на щит керування $L_p = 30 \dots 40 \text{ м}$.

Якщо за мінімально допустимому перерізу виявляється $z > z_n$, прораховують допустимий опір проводів:

$$z_{np.\partial} = z_{2n} - z_{\Sigma}.$$

Для ВН:

$$z_{np.\partial} = 0,408 - 0,26 = 0,15 \text{ Ом}.$$

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для НН:

$$z_{np.\partial} = 0,408 - 0,12 = 0,28 \text{ Ом.}$$

Допустимий перетин:

$$q_{доп} = \frac{\rho \cdot L_p}{z_{np.\partial}}. \quad (2.37)$$

Для ВН:

$$q_{доп} = \frac{0,0175 \cdot 40}{0,15} = 4,7 \text{ мм}^2.$$

Для НН:

$$q_{доп} = \frac{0,0175 \cdot 40}{0,28} = 2,5 \text{ мм}^2.$$

Беремо більший найближчий переріз: $q \geq q_{доп}$.

Умови вибору ТС див. у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Підбір трансформаторів струму

Найменування	Увідний		Секційний		Млини	
Умови вибору	кат.	роз.	кат.	роз.	кат.	роз.
$U_n \geq U_{уст}, \text{кВ}$	10	6	10	6	10	6
$I_n \geq I_{pf}, \text{А}$	1500	1489	1000	706,86	500	445,5
$I_{2n}, \text{А}$	5	5	5	5	5	5
Клас точності	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$z_n \geq z_2$	2,5	0,56	0,8	0,68	0,8	0,68
$I_{дин} > I_y, \text{кА}$	81	4,82	81	4,82	50	6,97
Тип ТС	ТПОЛ-10-1500/5		ТПЛ-10-1000/5		ТПЛ-10-500/5	

2.7.5 Вибір трансформаторів напруги

Визначення необхідного класу точності для трансформаторів напруги (ТН) здійснюється за тим самим принципом, що й для трансформаторів струму, тобто безпосередньо залежить від функціонального призначення під'єднаної вимірювальної апаратури. Головною умовою для збереження заявленого класу точності під час експлуатації є суворе обмеження вторинного навантаження: сумарна потужність усіх підключених пристроїв не повинна перевищувати граничне значення номінальної потужності.

Що стосується боку ВН, то від трансформатора напруги тут живляться такі контрольно-вимірювальні пристрої, як вольтметри, ватметри й варметри, лічильники для фіксації активної та реактивної електроенергії, а також відповідні реле напруги.

На стороні вищої напруги до трансформатора напруги приєднуються такі прилади як: вольтметр, ватметр, варметр, лічильники активної та реактивної енергії та реле напруги.

Разом прилади ВН споживають $S_{pBH} = 25...30BA$.

На боці НН є ватметр, вольтметр, лічильник.

Разом прилади НН споживають $S_{pBH} = 10...15BA$.

Умови вибору ТН див. в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір трансформаторів напруги

Параметри ТН	ВН		НН	
$U_n = U_{уст}$	35	35	6	6
Клас точності	0,5	0,5	0,5	0,5
$S_n > S$	150	30	75	15
Тип	НАМИ-35		НТМИ-6	

2.7.6 Вибір ізоляторів

Прорахуємо навантаження опорних ізоляторів:

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$F_{розр} = 0,176 \frac{i_{удК2}^2 \cdot L}{a}; \quad (2.38)$$

$$F_{розр} = 0,176 \frac{6,97^2 \cdot 4}{1} = 34,2 \text{ Н};$$

$$F_{розр6} = 0,6 \cdot F_{розр}; \quad (2.39)$$

$$F_{розр6} = 0,6 \cdot 34,2 = 20,52 \text{ Н}.$$

Намічаємо і перевіряємо ИО-10-375УЗ:

$$U_{ніз} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н} = 6 \text{ кВ}.$$

$$F_{н} = 375 \text{ Н} > F_{розр6} = 20,52 \text{ Н}.$$

Отже, ИО-10-375УЗ можна прийняти до установки.

Прохідні ізолятори обираються за тими ж критеріями:

$$F_{розр} = 0,176 \frac{i_{удК2}^2 \cdot L}{a}; \quad (2.40)$$

$$F_{розр} = 0,176 \frac{6,97^2 \cdot 4}{1} = 34,2 \text{ Н};$$

$$F_{розр6} = 0,6 \cdot 34,2 = 20,52 \text{ Н}.$$

Перевірка прохідного ізолятора ИП-10/1600-3000.

$$I_{ніз} = 1600 \text{ кВ} \geq I_{н} = 1489 \text{ кВ}.$$

$$U_{ніз} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н} = 6 \text{ кВ}.$$

$$F_{н} = 3000 \text{ Н} > F_{розр6} = 20,52 \text{ Н}.$$

Отже, ИП-10/1600-3000 можна прийняти до установки.

2.8 Енергозбереження на РЗФ-2

Енергозбереження на рудозбагачувальній фабриці є критично важливим завданням, оскільки процеси подрібнення та транспортування руди споживають колосальні обсяги електроенергії, що становить левову частку

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

собівартості кінцевого продукту. Найбільш ефективним шляхом зниження енерговитрат є модернізація стадії дроблення та подрібнення, на яку припадає до половини всього енергоспоживання підприємства. Впровадження сучасних технологій попереднього збагачення та використання валкових пресів високого тиску дозволяє значно зменшити розмір живлення млинів, що безпосередньо знижує навантаження на кульові та напівсамоподрібнюючі млини. Крім того, оптимізація самого процесу подрібнення шляхом встановлення інтелектуальних систем автоматичного керування та експертних систем дає змогу підтримувати ідеальні режими роботи обладнання, уникаючи перевитрат енергії на надмірне подрібнення руди. Важливим аспектом є також застосування високоефективних футерівок та оптимізація форми та складу мелювальних тіл, що підвищує коефіцієнт корисної дії млинів і зменшує питому витрату електроенергії на тонну переробленої сировини.

Наступним критичним напрямком є підвищення енергоефективності електродвигунів та насосно-вентиляційного обладнання, яке забезпечує циркуляцію пульпи, води та хвостів. Масове впровадження частотних перетворювачів на асинхронні двигуни потужних насосів, дробарок та вентиляторів дозволяє плавно регулювати продуктивність агрегатів відповідно до реальних технологічних потреб, усуваючи втрати енергії, які виникають при дроселюванні потоку або роботі на холостому ході. Перехід на сучасні електродвигуни класів енергоефективності IE3 та IE4, а також використання систем рекуперації енергії на стрічкових конвесрах, що рухаються під ухилом, забезпечує повернення частини електроенергії назад у мережу. Окремої уваги заслуговує комплексна автоматизація та цифровізація виробничих процесів, де встановлення онлайн-аналізаторів гранулометричного складу та густини пульпи в поєднанні з сучасними системами АСУ ТП дозволяє мінімізувати людський фактор і стабілізувати роботу фабрики в оптимальному енергетичному режимі. Не варто також ігнорувати допоміжні системи, адже заміна застарілого освітлення на сучасні світлодіодні світильники з інтелектуальними датчиками, своєчасне усунення витоків у системах

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

стисненого повітря та впровадження систем рекуперації тепла від компресорного обладнання для обігріву приміщень формують додатковий, але вкрай важливий внесок у загальний баланс енергозбереження, забезпечуючи фабриці суттєву економію ресурсів.

Висновок

У розділі було вирішено завдання, починаючи з визначення розрахункових електричних навантажень із застосуванням методики коефіцієнта попиту. Окрім цього, було технічно обґрунтовано та здійснено вибір номінальної потужності й оптимальної кількості ввідних трансформаторів для проектованої підстанції. Важливим етапом роботи стало проведення детального розрахунку струмів короткого замикання, результати якого дозволили компетентно підібрати відповідне комутаційне та захисне електричне обладнання, а також визначити необхідні характеристики кабельних ліній, типів ізоляторів і параметрів шинних конструкцій для гарантування надійної та безпечної експлуатації всієї електромережі.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.02.СЧ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 3.
Компенсація реактивної потужності на РЗФ-2 ПрАТ «ПівніЗК»

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Компенсація реактивної потужності на РЗФ-2 ПрАТ «ПівніЗК»	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Головань С.М.				Н	38	
Перевір.		Михайленко О.Ю.				ЗЕЕМ-23ск		
Конс.								
Н.контр.		Михайленко О.Ю.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

3.1 Загальні положення щодо прорахунку реактивної потужності

Підбір засобів для компенсації реактивної потужності на промислових об'єктах із приєднаною потужністю від 750 кВА регламентується технічними вказівками РТМ 36.18.32.6-92 щодо проектування відповідних установок у мережах загального призначення. Головними джерелами такої потужності на виробництвах традиційно слугують низьковольтні батареї статичних конденсаторів до одного кіловольта та синхронні електродвигуни, розраховані на шість або десять кіловольт, хоча також обов'язково враховується доцільність отримання частини реактивної потужності безпосередньо з централізованої енергосистеми. Використання конденсаторних установок з напругою понад один кіловольт допускається виключно на підприємствах з безперервним технологічним циклом і лише за умови детального технічного обґрунтування, оскільки необхідність частих комутацій ємнісних навантажень створює суттєві експлуатаційні труднощі, що й обумовлює суворі обмеження на застосування високовольтних конденсаторних батарей (ВКБ).

У процесі інженерних розрахунків компенсації синхронні двигуни високої напруги умовно поділяють на дві категорії, причому до першої відносять найбільш енергоефективні агрегати з певними характеристиками одиничної потужності $P_{дн} > 2500 \text{ кВт}$ або частоти обертання ротора $n > 1000 \text{ хв}^{-1}$. Доступна реактивна потужність цих двигунів приймається до використання в повному обсязі без потреби в додаткових обґрунтовувальних розрахунках. Під цим поняттям мається на увазі максимальна реактивна потужність, яку синхронний двигун здатен генерувати за номінального струму збудження та номінальної напруги статора, коли фактичне навантаження за активною потужністю є нижчим за паспортне значення. Оскільки на практиці завантаження синхронних двигунів за активною потужністю зазвичай не перевищує 90 %, їхню доступну реактивну потужність дозволяється приймати на 20 % вищою за номінальну. При цьому слід обов'язково пам'ятати, що загальний обсяг реактивної потужності, який виробляється зазначеними

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

електродвигунами, має бути інтегрований у підсумковий розрахунок електричних навантажень всього промислового підприємства для забезпечення коректного проектування мережі [9].

До другої категорії відносять ті синхронні двигуни, які мають параметри $P_{дн} \leq 2500 \text{ кВт}$ і $n \leq 1000 \text{ об/хв}$, тому їх використання для компенсації реактивної потужності обов'язково потребує детального техніко-економічного обґрунтування.

Сам процес розрахунку компенсації реактивної потужності є багатоступеневим і починається з того, що РЗФ-2, доцільно розділити на кілька технологічно згрупованих ділянок, де використовуються цехові трансформатори однакової одиничної потужності. Всередині кожної такої групи всі трансформатори мають функціонувати з ідентичним коефіцієнтом завантаження та передбачати застосування однотипних компенсувальних пристроїв. На попередньому етапі обов'язково визначаються розрахункові навантаження цих трансформаторів із врахуванням граничних можливостей передачі електроенергії по лініях напругою до одного кіловольта. Для кожної виділеної групи трансформаторів встановлюються єдині показники номінальної потужності та коефіцієнта завантаження, що дозволяє визначити їх мінімально необхідну кількість [9].

Далі виконуються розрахунки встановленої потужності низьковольтних конденсаторних батарей (НКБ) для мереж до 1000 В як для окремих цехових трансформаторів, так і для всього підприємства загалом. Після цього проводиться уточнення активних і реактивних навантажень об'єкта з обов'язковим урахуванням втрат потужності в трансформаторному обладнанні, а також обчислюється економічно доцільний обсяг реактивної потужності, яку варто споживати безпосередньо з енергосистеми.

Дослідження балансу реактивної потужності на межі балансової приналежності промислового об'єкта та зовнішньої мережі дозволяє чітко визначити наступні кроки інженерних обчислень. У ситуації, коли сумарного обсягу реактивної потужності, яка генерується низьковольтними

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

конденсаторними батареями, синхронними електродвигунами високої напруги та надходить ззовні, виявляється замало для покриття потреб виробництва, виникає необхідність залучення додаткового резерву від синхронних машин, якщо на ранішніх стадіях проектування їхній потенціал був задіяний не в повному обсязі. Коли ж навіть такий крок не дає змоги досягти необхідного балансу, для об'єктів, що працюють у одну, дві чи три зміни, оцінюється можливість монтажу додаткових БНК, тоді як для виробництв із безперервним технологічним циклом розглядається варіант із застосуванням ВКБ. Якщо ж жоден із цих варіантів локального компенсування не є технічно чи економічно виправданим, наявний дефіцит реактивної потужності просто покривається за рахунок її споживання з централізованої енергетичної системи [9].

3.2 Компенсація реактивних навантажень

Так як основний акцент при компенсації реактивної потужності робиться на бік 0,4 кВ, тому прорахунки і симуляції робимо для цієї частини електромережі.

За (2.4) значення середньозваженого коефіцієнта потужності на боці 0,4 кВ $\cos \varphi_{\text{сєр.зв}0,4} = 0,8976$, або $\text{tg} \varphi_{\text{сєр.зв}} = 0,491$. Потрібно компенсацією збільшити $\cos \varphi$ $\cos \varphi_{\text{еф}} = 0,95$ [5].

Реактивна потужність, що має створюватись компенсуючими пристроями на 0,4 кВ:

$$Q_{KV} = P_{\text{заг}} (\text{tg} \varphi_{\text{сєр.зв}} - \text{tg} \varphi_{\text{еф}}); \quad (3.1)$$

$$Q_{KV} = 1181,1(0,491 - 0,328) = 192,5 \text{ квар.}$$

Обирається один компенсуючий пристрій УКРМ(АКУ)-0,4-200-20 з реактивною потужністю $Q_{\text{крм}} = 200 \text{ квар.}$

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.3 Прорахунок потужності конденсаторних батарей на напругу 0,4 кВ

Для кожної окремої групи цехових трансформаторів, які мають ідентичну номінальну потужність, здійснюється визначення мінімально необхідної кількості таких пристроїв, здатних надійно забезпечити живлення прорахованого активного навантаження, що обчислюється за допомогою відповідного розрахункового виразу:

$$N_{T\min} = \frac{P_{pn}}{\beta_T \cdot S_T}. \quad (3.2)$$

Величина прорахована по (3.1) доводиться до більшого найближчого цілого числа.

Реактивні потужності передаємі через трансформатори в електромережу 0,4 при $\beta_T \leq 0,9$:

- масляні трансформатори:

$$Q_T = \sqrt{(1,1S_T\beta_T N_{T\min})^2 - P_{pn}^2}, \quad (3.3)$$

- сухі трансформатори:

$$Q_T = \sqrt{(1,05S_T\beta_T N_{T\min})^2 - P_{pn}^2}, \quad (3.4)$$

Коефіцієнти 1,05 або 1,1 введені для врахування можливого постійного перевантаження трансформаторів.

Загальна потужність НБК :

$$Q_{HK1} = Q_{PH} - Q_T. \quad (3.5)$$

Якщо $Q_{HK1} < 0$, то береться $Q_{HK1} = 0$.

Q_{HK1} розподіляється між трансформаторами пропорційно реактивним навантаженням. Далі обираються потужності НКБ для кожного трансформатора в електромережі 0,4 кВ.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

3.4 Моделювання роботи компенсаційного пристрою

Оцінити результативність роботи обладнання для компенсації реактивної потужності, яке базується на використанні конденсаторних батарей, можна шляхом застосування методів комп'ютерного моделювання, що дає змогу детально проаналізувати його функціональні характеристики та загальну ефективність у різних умовах експлуатації без необхідності проведення складних натурних випробувань.

На рис. 3.1 показана схема керованого компенсаційного пристрою, у якості якого взяті НКБ з фіксованою ємністю і реактори керовані тиристорами [10].

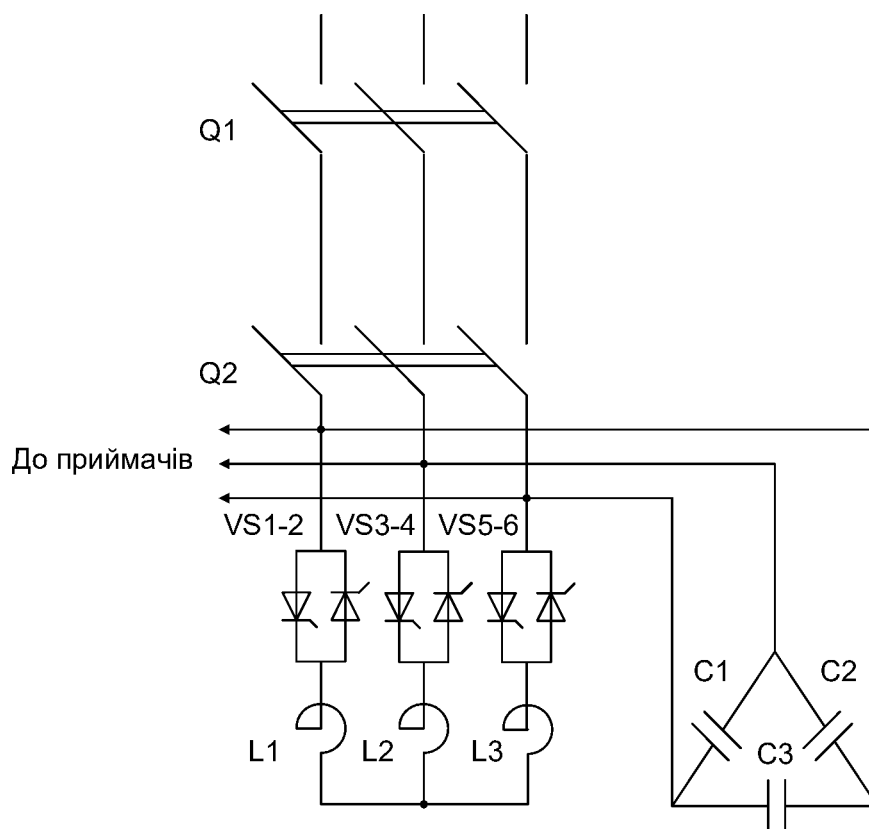


Рисунок 3.1 – Керований компенсаційний пристрій

Компенсація реактивної потужності в установках типу фіксований конденсатор – тиристорний керований реактор досягається завдяки динамічному балансуванню між незмінною генерацією ємнісної енергії та плавно регульованим споживанням індуктивної складової. У такій схемі батареї статичних конденсаторів працюють у безперервному режимі,

забезпечуючи базовий рівень підтримки напруги шляхом видачі фіксованої реактивної потужності в мережу. Паралельно їм підключається індуктивна гілка, оснащена тиристорними ключами, які споживають реактивну енергію, причому величина цього споживання безпосередньо залежить від кута затримки відкривання напівпровідникових приладів. Змінюючи момент подачі керуючих імпульсів на електроди тиристорів, система здатна миттєво та безступенево коригувати струм, що протікає через реактор, тим самим регулюючи обсяг поглинутої індуктивної потужності. Сумарний реактивний ефект усієї установки являє собою алгебраїчну різницю між постійною ємнісною складовою конденсаторів і змінною індуктивною складовою реактора. Коли навантаження мережі вимагає додаткової підтримки напруги, тиристори прикриваються, зменшуючи індуктивне споживання, і загальний баланс зміщується в бік видачі ємнісної потужності; навпаки, при надлишку напруги тиристори відкриваються ширше, реактор починає споживати більше енергії, компенсуючи надлишок ємнісної складової та переводячи загальний характер навантаження в індуктивну зону. Такий принцип взаємодії двох гілок забезпечує високошвидкісне, безперервне та точне регулювання реактивної складової, що дозволяє ефективно стабілізувати напругу у вузлах електричної мережі навіть за умов різких стрибків навантаження.

Для дослідження процесів компенсації реактивної потужності до трифазної мережі в середовищі MATLAB з використанням модулів Simulink та SimPowerSystems на основі віртуальної симуляційної моделі [11] було створено імітаційну схему див. рис. 3.2. Розроблена розрахункова структура активно застосовується на етапі проектування складних трифазних енергосистем, де присутні синхронні й асинхронні генератори, електродвигуни та змінні навантаження, оскільки дає змогу оцінити динамічну стійкість усієї мережі, виявити характер впливу компенсатора якості електроенергії та визначити зміни ємнісних параметрів ліній електропередачі. Архітектура моделі побудована навколо трифазного джерела живлення Three-Phase Source, еквівалентна схема якого імітує три джерела ЕРС. Споживач модельований

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

блоком Three-Phase Parallel RLC Load, параметри якого задають загальну для електроприймачів 0,4 кВ РЗФ-2 активну й реактивну потужності. Модель має вимірювальні блоки (Three-Phase V-I Measurement див. рис. 3.3), а також частину для вимірювання $\cos\varphi$ (див. рис. 3.4).

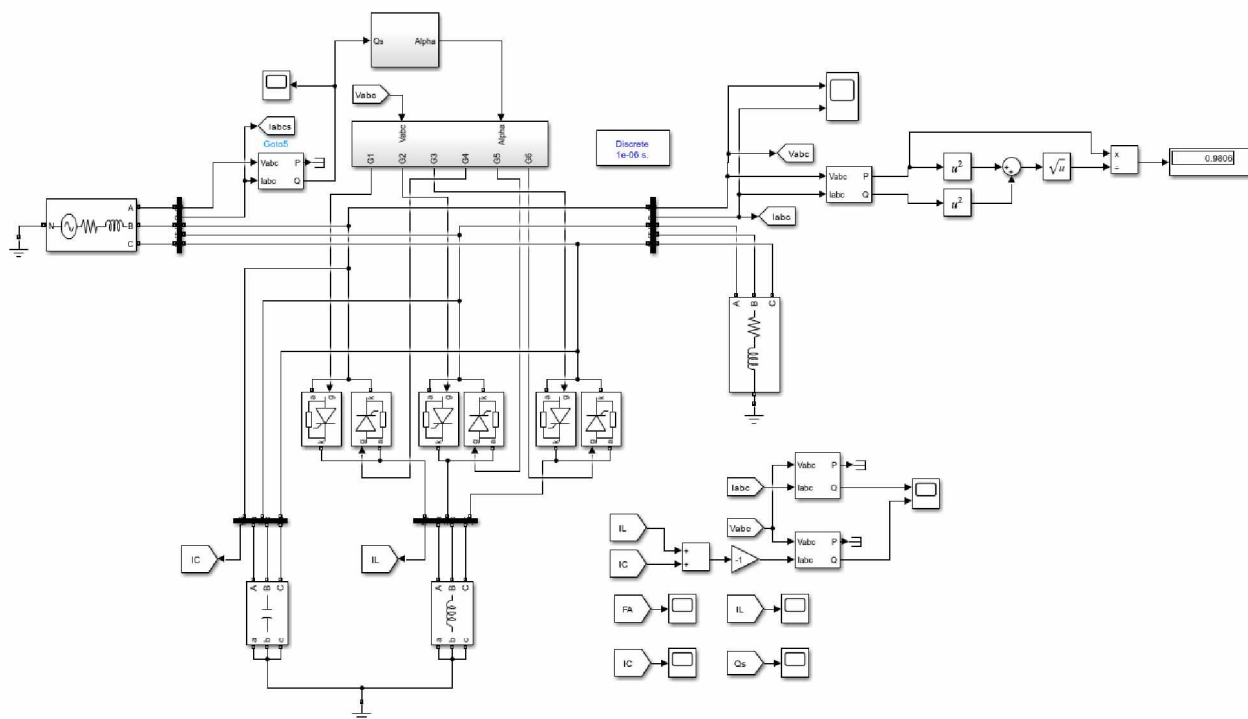


Рисунок 3.2 – Симуляційна модель керованого компенсаційного пристрою

НКБ з'єднана в трикутник. Реактор з'єднаний зіркою. Реактор включений через зустрічні тиристори. Відкриття тиристора ініціюється шляхом подачі відповідного керуючого імпульсу на його керуючий електрод, тоді як перехід у закритий стан відбувається автоматично в момент перетину кривою струму нульового значення. Під час розробки віртуальних моделей цих напівпровідникових приладів зазвичай застосовуються певні ідеалізації, а саме припускається, що комутація між режимами провідності та непрохідності відбувається абсолютно миттєво, без урахування перехідних затримок, а електричний опір ключа в обох станах задається як фіксована незмінна величина. Визначення моменту активації тиристорів базувалося на умові відставання фазного струму, який протікає через реактори, відносно фазної напруги рівно на дев'яносто електричних градусів.

Такий підхід до вибору оптимального часу вмикання в контурі керування дозволяє забезпечити комутацію без виникнення вільної складової струму під час перехідних процесів, що досягається завдяки тому, що вимушена складова струму перетинає нульову позначку безпосередньо в мить перемикавання напівпровідникових приладів.

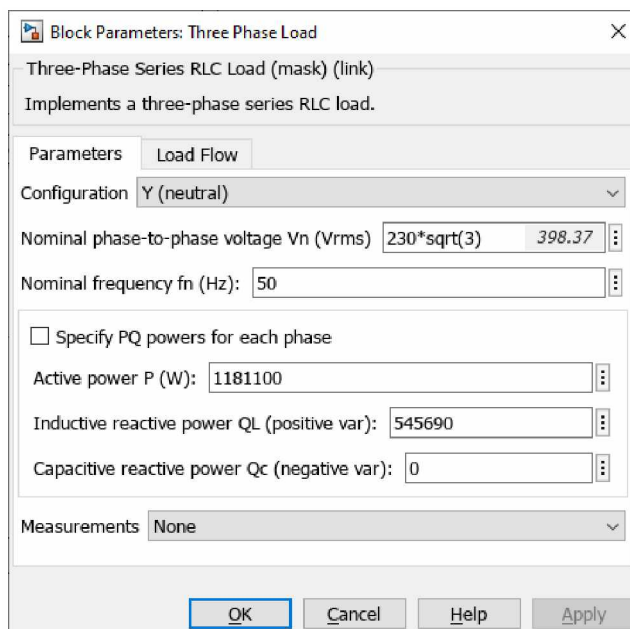


Рисунок 3.3 – Налаштування Three-Phase Parallel RLC Load

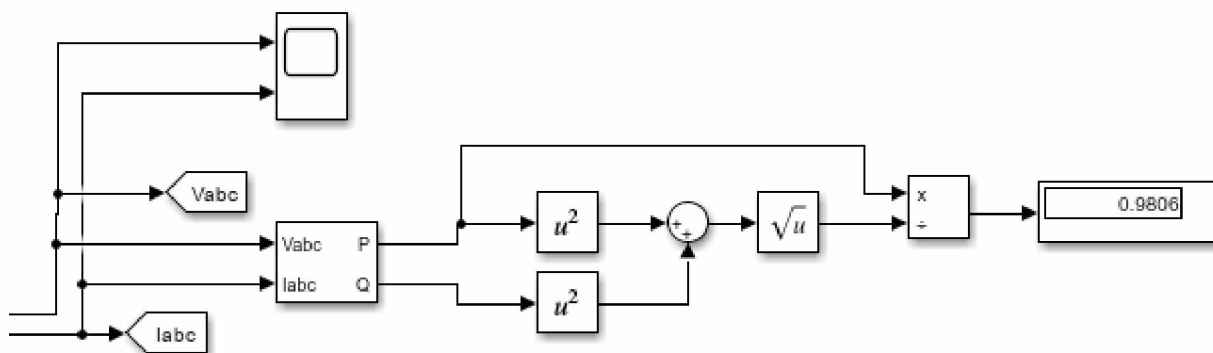


Рисунок 3.4 – Вимірювання коефіцієнту потужності

На рис. 3.5–3.7 наведені графіки роботи керованого компенсаційного пристрою.

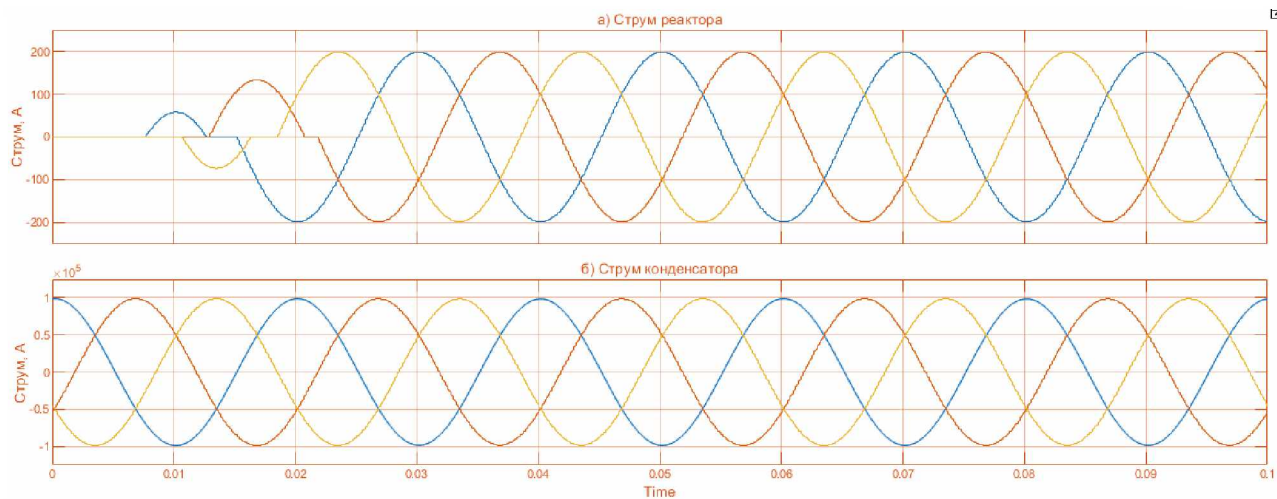


Рисунок 3.5 – Струми реактора та конденсаторної батареї

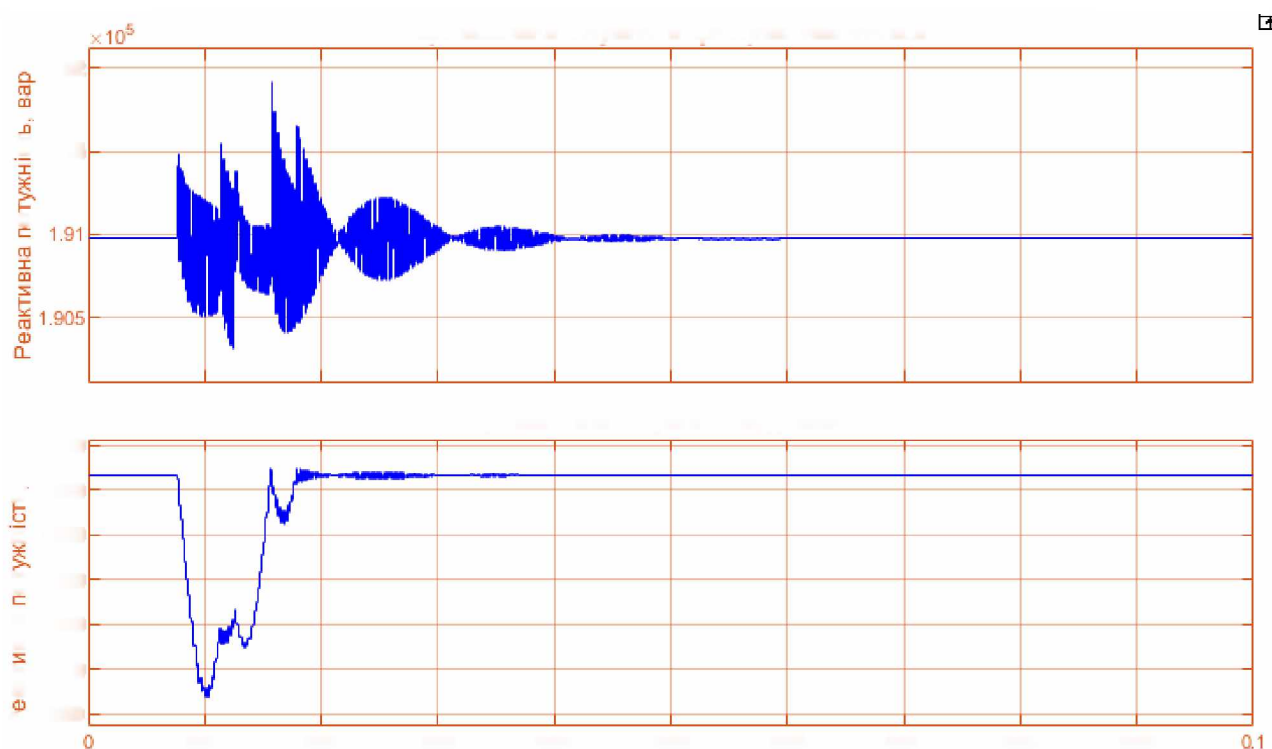


Рисунок 3.6 – Реактивні потужності пристрою компенсації (а) і споживані джерелом (б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КНУ.РБ.141.26.251с.05.03.ПР

Арк.

47

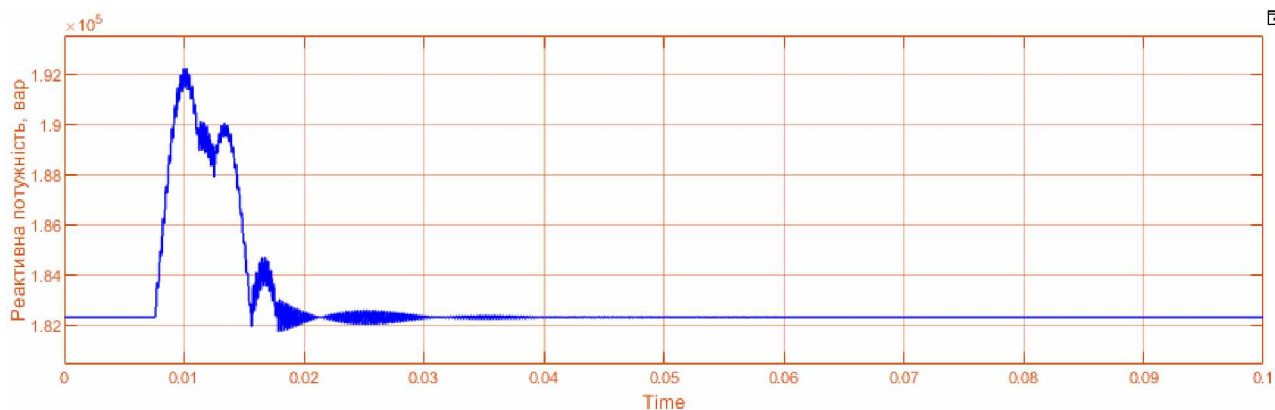


Рисунок 3.7 – Реактивна потужність електромережі

У результаті роботи вдалося досягти покращення коефіцієнта потужності з 0,89 до 0,9806. Тобто система працює.

Висновки

У розділі обґрунтовано та розраховано параметри компенсації реактивної потужності для об'єкта РЗФ-2. На основі нормативних вимог визначено доцільність встановлення низьковольтних конденсаторних батарей на боці 0,4 кВ з керуванням. За допомогою MATLAB/Simulink створено імітаційну модель керованого компенсаційного пристрою (схема «фіксований конденсатор – тиристорний реактор»), що дозволило дослідити динаміку регулювання та підтвердити стабільність роботи системи за змінних навантажень. Результати моделювання засвідчили ефективність запропонованого рішення: коефіцієнт потужності підвищено з 0,89 до 0,9806. Це підтверджує технічну доцільність впровадження розробленої системи для зниження втрат електроенергії та підвищення енергоефективності мережі підприємства.

Висновки

1. Досліджено технологічний цикл РЗФ-2 ПрАТ «ПівнГЗК» та встановлено, що основу електронавантаження формують потужні асинхронні двигуни насосних, транспортних та збагачувальних агрегатів. Їхня робота генерує значну індуктивну реактивну потужність, знижуючи середньозважений коефіцієнт потужності до 0,89, що призводить до перевантаження мереж, зростання втрат енергії та ризику фінансових санкцій з боку енергопостачальників.

2. Виконано повний комплекс інженерних розрахунків: визначено електричні навантаження за методом коефіцієнта попиту, обрано силові трансформатори (35/6 кВ та 6/0,4 кВ), кабельні лінії, комутаційне та захисне обладнання. Розраховано струми короткого замикання у контрольних точках, що підтвердило термічну та електродинамічну стійкість обраних апаратів і забезпечило надійність живлення технологічного обладнання.

3. На основі аналізу рівнів напруги та характеру навантажень доведено доцільність організації компенсації реактивної потужності на низькій напрузі (0,4 кВ). Визначено необхідну потужність компенсуючих пристроїв та обрано автоматизовану установку УКРМ(АКУ)-0,4-200-20, яку потім доповнено схемою «фіксована конденсаторна батарея – тиристорний керований реактор», яка забезпечує швидке та точне регулювання.

4. У середовищі MATLAB/Simulink розроблено динамічну імітаційну модель керованого компенсуючого пристрою. Симуляція підтвердила коректність роботи алгоритмів керування тиристорами, відсутність небезпечних перехідних процесів при комутації та здатність системи безступенево підтримувати заданий рівень реактивної потужності за умов різкої зміни технологічного навантаження.

5. Впровадження запропонованої системи компенсації дозволило підвищити коефіцієнт потужності мережі з 0,89 до 0,9806. Це забезпечує суттєве зниження втрат активної та реактивної енергії, розвантаження кабельних ліній і трансформаторів, стабілізацію напруги у вузлах живлення, а

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

також створює економічні передумови для уникнення штрафів та вивільнення резервів пропускної здатності існуючої електромережі підприємства.

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.В	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Список використаних джерел

1. Структура ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат». ТОВ «Метінвест холдинг». Режим доступу до ресурсу: <https://sevgok.metinvestholding.com/ua/about/structure>.
2. Bohdanov O.S. Spravochnyk po obohashcheniyu rud. Obohatyitelnye fabryky. M.: Nedra, 1984. 358 p.
3. Сергєєв П.В. Збагачення руд чорних металів. Донецьк: ДонНТУ, 2008. 68 с.
4. Reactive Power Compensation Technology: Principles and Applications. Chint Blog. URL: <https://www.chintglobal.com/global/en/about-us/news-center/blog/reactive-power-compensation-technology.html> (Дата звернення: 28.05.2026)
5. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
6. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. Дніпро: НГУ, 2015. 540 с.
7. Козирський В.В., Волошин С.М. Основи електропостачання: підруч. Київ: Компринт, 2021. 497с.
8. Сірий О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. К.: ІСДО, 1993. 592 с.
9. Рогальський Б.С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління: навч. посібн. І частина. Вінниця: ВДТУ, 2002. 119 с.
10. Gutierrez J., Montano J.C., Castilla M., Lopez A. Power-quality improvement in reactive power control using FC-TCR circuits. IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society. IECON 02, Seville, Spain, 2002. Vol. 2. Pp. 880–885. URL: <https://doi.org/10.1109/IECON.2002.1185388>

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.Л	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. Bhujel N. Fixed Capacitor Thyristor Controlled Reactor (FCTCR) for reactive power compensation. *MATLAB Central File Exchange*. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/64054-fixed-capacitor-thyristor-controlled-reactor-fctcr-for-reactive-power-compensation> (Дата звернення: 02.06.2026)

					КНУ.РБ.141.26.251с.05.00.Л	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		