

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)
«___» _____ 2023 р.

**Кваліфікаційна робота
магістра**

на тему Розробка заходів із покращення основних енергетичних характеристик на ділянці електромережі 10/0.4 кВ.

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛКм-22
(шифр групи)
спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

СОСЄДОВ Данило
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)
Керівник зав. каф. «ЕлІн», к.т.н., доц., О. КОЛЛАРОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль:

Е. НЕМЦЕВ
(підпис)

(дата)

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

Студент(-ка) _____ (підпис)

(дата)

ЛУЦЬК – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Данилу СОСЄДОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка заходів із покращення основних енергетичних характеристик на ділянці електромережі 10/0.4 кВ.

керівник роботи Олександр КОЛЛАРОВ, канд. техн. наук, доцент
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Електрична схема мережі, що включає джерело живлення з $U_{ном}=10$ (кВ), ТП: 10/0.4(кВ), тип і величину потужності приймачів у ланці навантаження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз методів із підвищення якості напруги у розподільних ЕМ. Огляд технологій побудови сучасних розподільчих мереж. Аналіз досліджуваного Виробництва.

2. Проведення розрахунку і вибору електричних компонентів цехових ТП, забезпечення компенсації реактивної потужності у частині 0.4 кВ. Розрахунок навантаження у ланці 10 (кВ), розрахунок і вибір обладнання на ГПП.

3. Складання загальної схеми електропостачання із системою керування. Розрахунок струмів КЗ і вибір апаратів для РЗ. Визначення показників якості електроенергії, впровадження систем з покращення даних параметрів в ЕМ.

4. Побудова математичної моделі спроектованої енергосистеми.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Дванадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1–4	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф. ЕлІн		
Нормоконтроль	Е. НЕМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 02 жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	02.10–09.10.23	
2.	Розділ 2	10.10–01.11.23	
3.	Розділ 3	02.11–23.11.23	
4.	Розділ 4	24.11–15.12.23	

Студент _____
(підпис)

Данило СОСЄДОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олександр КОЛЛАРОВ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

СОСЄДОВ Д., «Розробка заходів із покращення основних енергетичних характеристик на ділянці електромережі 10/0.4 кВ.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2023.

У роботі поставлено завдання із проектування та впровадження системи електричного постачання виробництва ремонтного заводу. Об'єктом дослідження у роботі є електрична мережа, котра надає живлення основному електрообладнанню (або приймачами) в різних цехах виробництва.

У рамках виконуваного проекту розглядаються такі завдання:

1) Аналіз сучасних електричних мереж (спосіб їх побудови, наявні пристрої управління, діагностики, захисту) виробництва у машинобудівній галузі в цілому, та у кожному цеху підприємства зокрема.

2) Проведення розрахунку електричних навантажень у кожній технологічній ланці підприємства, вибір та розробка схеми підключення трансформаторних підстанцій, підбір силових трансформаторів, проведення компенсація реактивної потужності, вибір та розрахунок обладнання підстанцій і релейного захисту трансформаторів, проведення захисного заземлення та розгляд питання про забезпечення автономності живлення.

3) Створення математичної моделі системи електричного постачання, що дозволить оптимізувати електричне споживання та забезпечити надійне та ефективне функціонування виробництва.

Ключові слова: ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, ЕЛЕКТРОМЕРЕЖА, ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ, РЕКОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ, РОЗПОДІЛЕНА ЕНЕРГЕТИКА.

ANNOTATION

SOSYEDOV D., «Development of measures to improve the main energy characteristics in the section of the 10/0.4 kV power grid.» / Graduation qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 "Electroenergetics, electrical engineering and electromechanics" - State Technical University DonNTU, Lutsk, 2023.

In the researched work, the task of designing and implementing the electrical supply system for the production of the repair plant was set. The object of research in the paper is an electrical network that supplies power to the main electrical equipment (or receivers) in various production shops.

The following tasks are considered within the framework of the ongoing project:

1) Analysis of modern electrical networks (method of their construction, available control, diagnostic, and protection devices) of production in the machine-building industry as a whole, and in each workshop of the enterprise in particular.

2) Calculation of electrical loads in each technological link of the enterprise, selection and development of the connection scheme of transformer substations, selection of power transformers, compensation of reactive power, selection and calculation of substation equipment and relay protection of transformers, protective grounding and consideration of the issue of ensuring power autonomy.

3) Creation of a mathematical model of the electricity supply system, which will allow to optimize electricity consumption and reliable ensure and operation efficient of production.

Keywords: OPTIMIZATION OF THE ENERGY SYSTEM, ELECTRICAL NETWORK, LOSS REDUCTION, RECONSTRUCTION OF NETWORK ELECTRICAL, MODELING MATHEMATICAL, ELECTRICAL ENERGY ANALYSIS, DISTRIBUTED ENERGY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 10/0.4 КВ. ОПИС ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, АНАЛІЗ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКУ..	13
1.1 Підвищення якості електричної енергії у електромережах 0.4 кВ.	13
1.2 Коливання напруги у електромережі, причини та методи боротьби.	17
1.3 Аналіз несинусоїдальних режимів у електропостачанні.	21
2. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ У ТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ.	26
2.1 Опис досліджуваного виробництва, аналіз вхідних параметрів розрахунку.	26
2.2 Проведення компенсації РП.	37
3. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ, ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ У ЛАНЦІ ЕМ 10 КВ.	44
3.1 Визначення електричних навантажень у споживачів в ланці ЕМ 10 кВ.	44
3.2 Виконання розрахунку втрат у ЦТ.	48
3.3 Визначення розрахункових навантажень загалом по заводу	50
3.4 Розв'язання задавання за реактивної КП у ланці ВН.	52
3.5 Вибір потужності і кількості на ГЗП трансформаторів.	54
3.6 Проектування навантажувальної картограми заводу, визначення місця для розташування ГЗП, ЦТП, РП.	56

4. ПРОЕКТУВАННЯ І АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДІЛЯНКИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ.	62
ВИСНОВКИ.	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	74
ДОДАТОК А.	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВНП - вихідна напруга;

ДВЗ - дистанційне вимкнення захисту;

ВЛ - високовольтна лінія;

ТП - трансформаторна підстанція;

ВРП - внутрішньостанційний розподільний пристрій;

МЗР - мультифункціональне захисне реле;

ОПЗ - операторська зона;

ТС - технічна специфікація;

КА - контролер автоматики;

НМІ - інтерфейс людини і машини.

ВСТУП

Головною метою дипломної роботи виступає проектування і впровадження, у математичній моделі, системи електричного постачання виробництва, а саме ремонтного заводу. Даний проект в себе включає виконання таких завдань: визначення навантажень електричних підприємства, вибір проектування трансформаторних підстанцій і відповідно обрання самих силових трансформаторів, розв'язання питань пов'язаних із компенсацією реактивної потужності (як у окремих цехах, так і у загальному для всього заводу). Додатково досліджується, розраховується та обирається електрообладнання підстанцій і релейний захист трансформаторів, виконується захисне заземлення, а також проводиться розглядається питання, щодо забезпечення автономності живлення.

Під проектуванні системи постачання енергії для промислового виробництва приймається до уваги гнучкість системи, і проводиться оптимізація її параметрів, завдяки підбору номінальних величин напруг, вимог приєднання до загальної енергосистеми, раціонального підбору трансформаторів за їх кількістю та потужністю, вибору сучасного апаратури і електрообладнання, оптимальної схеми цехових і розподільних електричних мереж, системи обслуговування та виконання регулювання напруги.

Особлива увага у роботі приділяється і питанням пов'язаним із підвищенням надійності постачання, забезпеченню за задовільною якістю електроенергії на виробництві, селективності і швидкодії обладнання релейного захисту і автоматики, а також узгодження технічних рішень, що стосуються компонування і розміщення підстанцій, здійснюється відповідно до вимог, які установлені за ПУЕ.

Якщо розглядати структуру виробництва за потужністю, то найбільш потужним є тепловий цех, де проводиться обробка термічна металів, до прикладу загартування і відпуск. Одні із основних пристроїв тут, котрі використовують електроенергію, є верстати, печі опору, індукційні установки, вентилятори, підйомні й транспортні механізми, теплові завіси, а також насоси. Більшість цих

пристроїв працює у тривалому режимі, за винятком транспортних і підйомних механізмів. Тут живлення здійснюється від електромережі змінного струму із напругою 380 (В).

В цеху ливарному виконується переробка первинна металу, котра включає розливання і переплавку металу у машинах із безперервним литтям заготовок.

В заготівельному та штамповому цеху виконується підготовка металу для наступного оброблення у групі механічних цехів. Даний процес включає такі етапи, як розвантаження та навантаження заготовок, різання й сортування металу.

В цехах механізації проводиться власне механічне оброблення деталей. Головними споживачами електроенергії у даних цехах виступають різні верстати, печі опору, дугове зварювання, транспортні та підйомні механізми і також насоси. Багато з пристроїв працюють у повторно режимі (короткочасному), зі винятком транспортних та підйомних механізмів, а також дугового зварювання. Живлення тут забезпечується трифазною змінною напругою величиною 380 (В).

В виробничих складських приміщеннях здійснюється процес складання вже кінцевої продукції. У цьому цеху, як споживачі електроенергії виступають, верстати (наприклад фрезерні чи токарні), вентилятори, автоматичні лінії, дугове зварювання, насоси, транспортні та підйомні механізми і опірні печі. Робочі режими цеху можуть бути тривалими чи включати короткочасні періодичні режими. Тут для живлення використовується знову змінна трифазна напруга величиною 380 (В).

Цех із випробування моделей (заготівок) призначений для проведення перевірки готової продукції і додаткових випробувань із нею. Робочі режими цього цеху можуть включати короткочасні періодичні режими або бути тривалими. Живлення тут забезпечується трифазною змінною напругою величиною 380 (В).

Цех електроремонтний забезпечує виконання усіх видів ремонтних робіт для енергообладнання, а також займається ремонтом у електричній частині обладнання технологічного. Робочі режими цього цеху електроремонтного можуть бути такі ж, як і у цеху із випробування моделей, система живлення також.

Цех ремонтно-механічний має на меті виконувати ремонт заводського обладнання, такого як трансформатори, верстати, електричні пристрої. В цьому цеху основними приймачами виступають дугове зварювання і металорізальні верстати. До електроприймачів допоміжних відносяться механізми із підйому та транспортування, насоси і вентилятори. Самі приводи механізмів переважно працюють у тривалому режимі, проте є виключення, а саме дугове зварювання і механізми транспортні, що здатні працювати у короткочасному режимі із повторенням, величина напруги живлення та ж сама, як і у попередньо розглянутому цеху.

Цех покриття лакофарбових виробів має призначення для застосування декоративних і захисних покриттів на металевому виробі, а також і на металоконструкції. Тут головним приймачами цеху виступають технологічна лінія із нанесення фарби і печі сушильні. Саме ж електрообладнання у цеху працює у тому ж режимі, що і у цеху із випробування моделей

На цьому цеха закінчуються, проте слід розглянути ще декілька важливих компонентів виробництва без яких не можуть нормально функціонувати цехи, які були розглянуті вище.

Так компресорна призначена для генерації стиснутого повітря, котре потрібне для технологічного процесу, зокрема приладів оброблення металу під час тиску і для пресів. Основними приймачами компресорної виступають вентилятори і компресори. Електроприводи компресорів й вентиляторів працюють в тривалому робочі режимі, при цьому графік навантаження майже постійний. Величина напруга живлення така ж, як і у цехах.

В той же час складський комплекс має призначення зберігати готову продукцію. Так на складах встановлено крани і конвеєри із метою

транспортування певних вантажів. Приймачі на складах ті ж самі, що й у звичайних цехах.

В корпусі адміністративному і конструкторському бюро головними споживачами енергії виступають підсистеми освітлення, вентилятори, а також побутова й оргтехніка. Тут вже напруга живлення становить 220 (В).

Цехове електроосвітлення є однофазним споживачем. Напруга живлення для освітлення становить 220 (В). У цехах асі світильники розташовуються на трьох фазах, рівномірно, що призводить до зниження т. з. «миготіння» у джерелах світла, а також усуває несиметрію за напругою у електромережах цеху.

Варто додати, що у машинобудівній галузі переважна більшість споживачів відносять до другої категорії із точки зору надійності електроживлення, тобто вони можуть тимчасово припиняти отримання електроенергії на час активації резервного живлення, що потребує участі обслуговуючого персоналу чи спеціальної(оперативної) бригади.

Проте такі електроприймачі на розглянутому виробництві, як: котельні і компресорні, засоби зв'язку, аварійне освітлення і пожежна сигналізація відносяться до навантажень першої категорії.

Випускна кваліфікаційна робота обсягом 76 машинописних сторінок, що складається зі вступу, 4 основних розділів, переліку використаної літератури, що нараховує 13 найменувань і загальних висновків. Робота має 1 додаток, 13 таблиць і 26 рисунків.

1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 10/0.4 КВ. ОПИС ДОСЛІДЖУВАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, АНАЛІЗ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКУ.

1.1 Підвищення якості електричної енергії у електромережах 0.4 кВ.

Ще не так давно, проблема якості електроенергії турбувала переважно великих промислових споживачів та компанії, які електрифікували свій транспорт. Однак зараз це питання вже стосується всіх без винятку споживачів, включаючи комунальну інфраструктуру, державні установи і населення. Один з ефективних методів збереження енергії, який може призвести до заощадження до 45-50% електроенергії є використання приводів зі частотним регулюванням у насосних станціях (включно із системами гарячого водопостачання), котельнях, для будівель, державних установ, міських споруд та житлового сектору, а також у технологічних процесах на підприємствах, котрі виконують регульовану діяльність.

Іншим важливим заходом для збереження енергії є використання альтернативних джерел, наприклад вітрових станцій чи фотоелектричних. У обох випадках спостерігається поява певних спотворення за формами кривих у напрузі, що означає, що струми та напруга стають несинусоїдальними. Проте в розрахунках економії електроенергії та енергоефективності, спричинені цим спотворенням якості електроенергії, а також спричинені іншими заходами, не враховуються [4].

Низька якість електроенергії представляє собою потенціал для збереження енергії. Загально відомо, що низьке значення якості електрики призводить до збільшення й втрат електроенергії, що, в свою чергу, спонукає до зменшення показників за енергетичної ефективності електричних мереж. Важливо визначити, наскільки велика частка втрат електроенергії пов'язана з низькою якістю електроенергії і чи можна розглядати ці втрати як потенціал для енергозбереження.

Наукові дослідження, зокрема [2, 7], показують, що в електричних мережах середньої напруги із потужними джерелами вищих гармонік, технічні витрати потужності присутні у трансформаторах силових, які пов'язані з енергосистемою, значно зростають. Наприклад, при поточному коефіцієнті спотворення кривої синусоїдальності напруги на рівні 7(%) у комунально-побутових споживачів, що живляться від мережі 0.4 кВ, ці втрати становлять близько 20% навантаження в силовому трансформаторі. А при значенні коефіцієнту спотворення кривої синусоїдальності напруги на рівні 10%, ці втрати зростають від 30% до 65%.

Тому, доцільно визначати потенціал для енергозбереження в умовах низької якості електроенергії на основі обчислення додаткових втрат електроенергії, які виникають внаслідок цієї низької якості. Існують розроблені методики для визначення цих додаткових технічних та метрологічних втрат, які надають достовірні результати.

Послідовність розв'язання завдання із покращення енергетичної ефективності ЕМ шляхом покращення якості електрики включає у свій комплекс декілька етапів [5].

Першим етапом є ідентифікація джерел, які спотворюють якість електроенергії та визначення їх місця розташування. Це можливо здійснити шляхом проведення енергоаудиту, контролю якості електроенергії або розрахунково-аналітичними методами. Далі, в залежності від типу джерел, які спотворюють якість, визначають параметри та показники якості електроенергії, які характеризують ці спотворення. Це можна зробити шляхом вимірювань або розрахунків. Параметри якості електроенергії, які досліджуються, включають відхилення від заданої напруги, певні коливання амплітудного значення напруги, несинусоїдність струмів і напруг, а також несиметрію струмів і напруг [4]. Далі, проводиться аналіз цих параметрів якості електроенергії на різних вузлах мережі, з урахуванням їх змін в часі. Вибір конкретних вузлів для вимірювань і визначення параметрів якості електроенергії залежить від конкретної структури мережі і розташування джерел спотворення, і може включати точки постачання

електроенергії на роздрібному ринку, точки передачі електроенергії і точки загального приєднання [3, 6].

Розрахунок потенціалу для збереження енергії, обумовленого низькою якістю електроенергії, передбачає врахування структури цього потенціалу [2]. Наступним кроком є вибір вузлів електричної мережі для впровадження заходів щодо поліпшення загальної якості електроенергії. Для цих обраних вузлів, спочатку визначається можливість використання організаційних заходів, які можуть бути невеликими за витратами. Вибір конкретних організаційних заходів залежить від показників якості електроенергії, які не відповідають чинним стандартам. Потім проводиться оцінка їхньої економічної доцільності, і визначається, яку частину потенціалу енергозбереження вдалося реалізувати, виражену у відсотках зменшення втрат через низьку якість електроенергії [4, 6].

Якщо потенціал для збереження енергії не було повністю використано, подальший крок - це аналіз можливостей і доцільності впровадження схемних заходів, оцінка їхньої економічної вигідності та також визначення відсотку зменшення втрат через низьку якість електроенергії [2, 3].

Щодо розглянутих заходів із покращення енергетичної ефективності ЕМ шляхом покращення якості електрики, доцільно створити бібліотеку таких заходів для їх подальшого використання. Ця бібліотека може включати організаційні заходи, схемні рішення та технічні рішення і поділити їх на відповідні групи.

Групи схемних та технічних рішень можна розділити на підгрупи, враховуючи різні параметри якості електроенергії та їх комбінації, такі як несинусоїдність та несиметрія струмів та напруги, несинусоїдність та коливання напруги і таке інше. Наприклад, для параметра несинусоїдності напруги в групу схемних рішень включають такі методи: окреме живлення лінійних і нелінійних навантажень, підвищення пульсації випрямлячів, підключення до мереж більшої номінальної напруги. Цей приклад (рис. 1.1) показує, що рекомендується використовувати відомі та перевірені способи та технічні рішення, які забезпечують необхідну якість електроенергії в мережі.

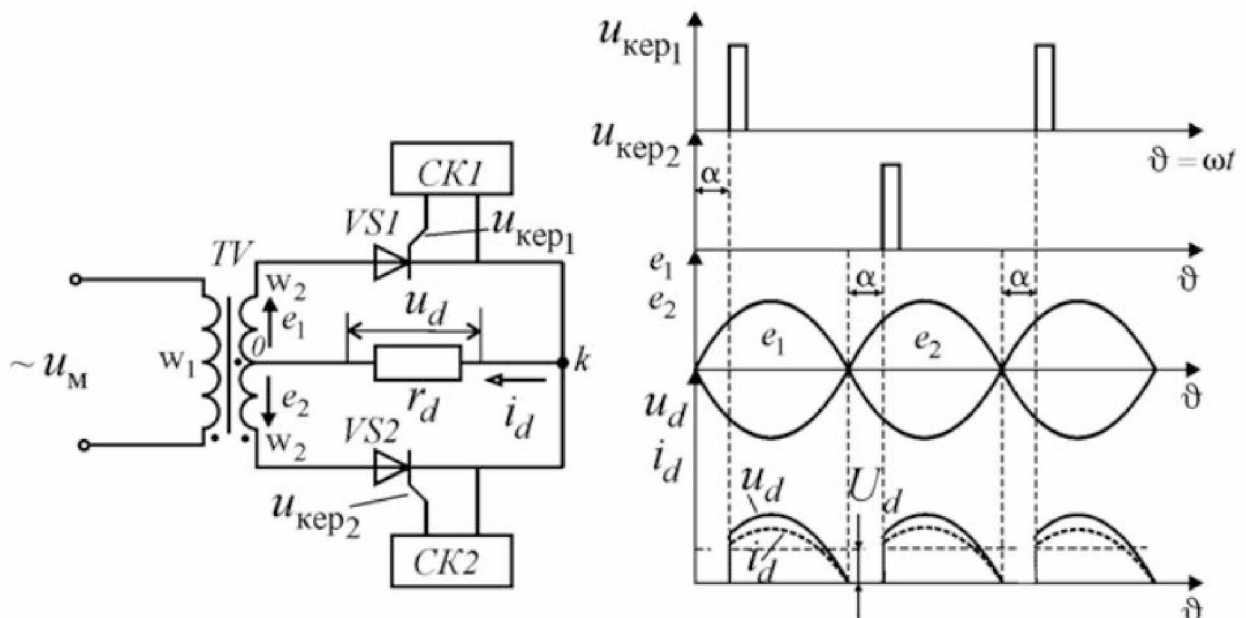


Рисунок 1.1 – Приклад підвищення пульсації випрямлячів [4]

Кожен такий захід слід описувати в певній послідовності, включаючи такі аспекти: інструкція, призначення заходу, тип заходу, сфера застосування, коротка характеристика заходу, нормативні документи, методика оцінки економічної ефективності та інструкція до застосування. У призначенні заходу вказується, які саме втрати електроенергії цей захід спрямований знизити: технічні чи метрологічні. У типі заходу зазначається, до якої групи він належить: організаційний, схемний чи технічний. У сфері застосування вказується, який саме показник чи групу показників якості електроенергії цей захід спрямований покращити, у яких мережах і на яких елементах його можна впровадити. У короткій характеристиці надається опис самого заходу, зазначаються методи вибору технології або технічного засобу (або кількох таких), вимоги до них, перелік технічних засобів, що їх забезпечують, та їх технічні характеристики. У нормативних документах перелічуються документи, які регулюють застосування цього заходу, у тому числі стандарти, та інші нормативні документи в галузі енергозбереження, які стосуються даного заходу.



Рисунок 1.2 – Види втрат електрики в розподільних електромережах

1.2 Коливання напруги у електромережі, причини та методи боротьби.

Коливання напруги представляють собою короткочасні зміни напруги, які виникають в результаті включення потужних навантажень зі змінним графіком споживання електроенергії. Серед таких навантажень можна виділити, наприклад, поршневі компресори, дугові печі й установки для електричного зварювальна та інші [4, 7].

Коли навантаження раптово зменшується, відбувається миттєва зміна втрат напруги в лініях живлення, що призводить до різкого підвищення напруги. При миттєвому зростанні у групі навантаження спостерігається й різке збільшення за втратами у напрузі для споживачів, що живляться. Це призводить до різкого зниження напруги у вузлі споживання [4].

Показниками і чинниками якості електроенергії, що відносяться до коливань напруги, є тривала доза флікера – $P_{\text{тр.дз}}$, яка вимірюється протягом 1,5–2 (годин), і короткочасна доза флікера – $P_{\text{тк.дз}}$, яка вимірюється протягом 10-15 (хвилин).

Для цих показників якості електроенергії встановлено наступні норми:

- Тривала доза флікера $P_{\text{тр.дз}}$, котра не повинна перевищувати 1,0 протягом 100% часу, протягом одного тижня [6].
- Короткочасна доза у флікера $P_{\text{тк.дз}}$ не повинна перевищувати 1.4.

Флікер, або мерехтіння, визначається як суб'єктивне сприйняття оператором змін освітленості від джерела світла, спричинені коливаннями $U_{\text{ем.ном}}$ електромережі. Доза флікера визначає за міру впливу у флікера протягом певного періоду часу.

Амплітуда під час т.з. «розмаху» у зміні напруги розраховується як різниця між найвищим і найнижчим значеннями напруги протягом певного часового інтервалу. Для цього беруться значення максимальне й мінімальне напруги, які слідує одне за одним у визначений проміжок часу.

$$\delta U_{(t)} = \frac{(U_{\text{max.д}} - U_{\text{min.д}}) \cdot 100\%}{U_{\text{ном.п.ф}}} \quad (1.1)$$

де $U_{\text{max.д}}$ – діюче максимальне значення за напругою;

$U_{\text{ном.п.ф}}$ – міжфазна (або фазна) номінальна напруга;

$U_{\text{min.д}}$ – діюче мінімальне значення за напругою.

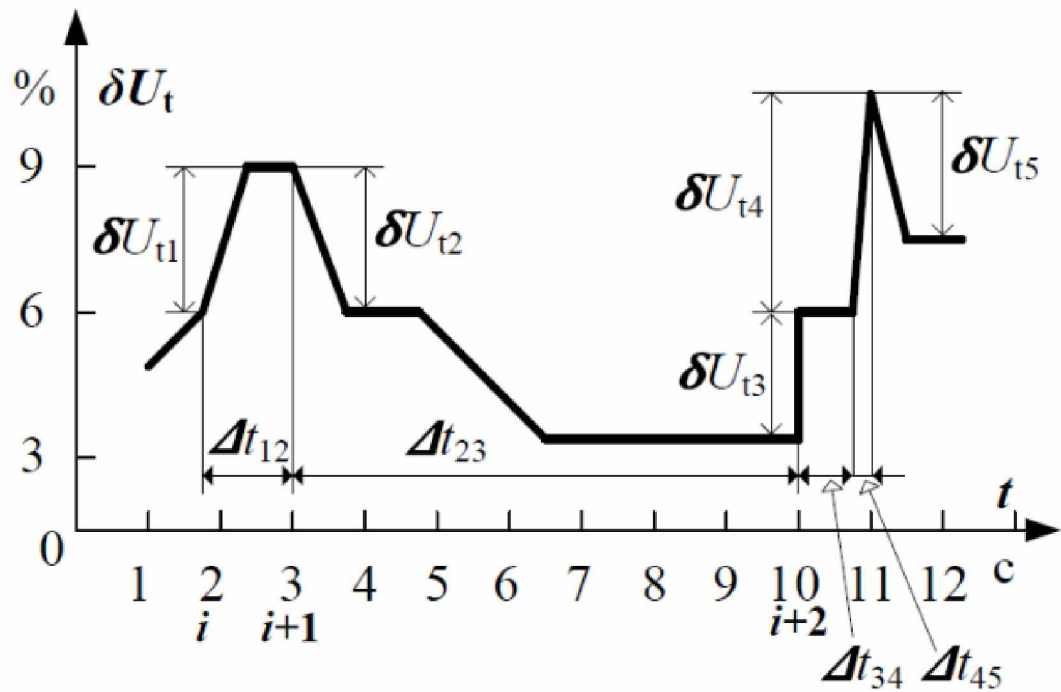


Рисунок 1.1— Приклад коливань за напругою, п'ять змін амплітуд

Коливання напруги в першу чергу істотно впливають на освітлювальні установки. У процесі наявного коливання напруги виникає флікер-ефект. При рівних коливаннях у напрузі лампи розжарювання мають більший вплив, ніж газорозрядні. Дослідження показали [5, 7], що при миготінні з частотою (4-10) Гц з'являється найбільш сильний вплив на людину. Починаючи з 0,25% від номінального. Коливання напруги більше 10% суттєво впливають на роботу газорозрядних ламп та можуть призвести до згасання ламп. Їхня робота відновлюється лише через кілька секунд або навіть хвилин. Крім того, при високих коливаннях з розмахом понад 15% від номінальної напруги можливе відпускання системи магнітних пускачів, що призведе до порушення технологічного процесу. Також коливання в діапазоні 10-15% можуть викликати вихід з ладу відмову конденсаторів та випрямляльних агрегатів.

Чинить вплив коливання за напругою й на АД з малою $S_{н.АД}$. На підприємствах з технологіями високої точності, таких як швейні фабрики, паперові та інші виробництва коливання напруги можуть призвести до бракованої продукції внаслідок не точності частоти обертання приводів.

Коливання напруги обв'язують вплив на контактне зварювання. Вплив виявляється як у процес зварювання і надійність роботи схеми управління. Для зварювання жароміцних металів накладається обмеження $\pm 3\%$ розмаху зміни напруги, але в зварювання сталей $\pm 5\%$.

Існують різні методи зниження залежності від наявного впливу у момент змінних різко навантажень, що викликають коливання. Найбільш простим методом є живлення ЕП із змінними різко(миттєво) навантаженням від ДЖ за допомогою окремих ліній. Із застосуванням здвоєного реактора можливе живлення спокійного та різко змінного навантаження від одного джерела живлення. Навантаження підключаються до різних секцій реактора (рис. 1.2).

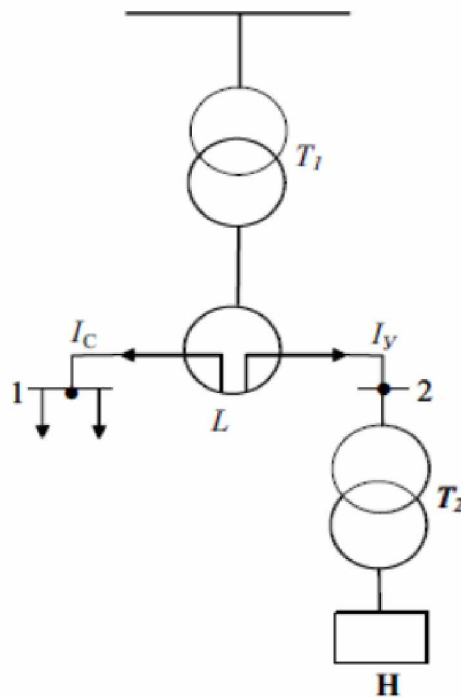


Рисунок 1.2 – Схематичне вирішення від застосування здвоєного реактора

У мережах напругою 6–10 кВ використовують трансформатори силові із розділеними обмотками для відокремлення стабільних та змінних великих навантажень. Одну з обмоток низької напруги підключають до стабільних навантажень, тоді як іншу - до навантажень, що різко змінюються. Оскільки активний опір мережі електропостачання зазвичай значно менший, ніж реактивний опір, то можна виразити величину коливань наступним чином:

$$\delta U = \frac{\pm \Delta Q}{S_{K3}} \quad (1.2)$$

де $\pm \Delta Q$ – зміна показнику реактивної потужності;

S_{K3} – потужність КЗ у [МВА] в точці електромережі.

Із аналізу (1.2) стає зрозумілим, що рівень напругових коливань залежить від змін реактивної потужності та потужності КЗ в мережі. Тому доцільно підключати навантаження, які різко змінюються, до гілки обмотки трансформатора з найвищою потужністю короткого замикання в мережі.

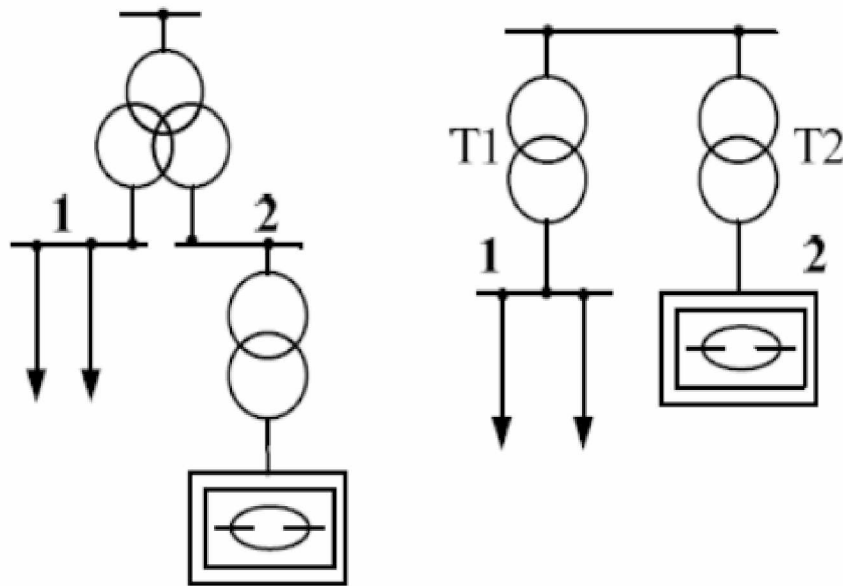


Рисунок 1.3 – Поділ у навантаженні завдяки: трансформатору із розщепленими обмотками й окремого трансформатора

Також можна розглянути використання трансформаторів із розділеними обмотками. Цей метод дозволяє розподілити стабільні та різко змінні навантаження між відповідними гілками розділеної обмотки (рис. 1.3).

1.3 Аналіз несинусоїдальних режимів у електропостачанні.

За росту використання новітніх технологій на підприємствах спостерігається збільшення застосування різноманітних пристроїв, таких як електродугові печі, однофазні та трифазні зварювальні установки, вентильні перетворювачі, а також електромагнітні та електронні баласты для освітлення, а також інших пристроїв, котрі мають нелінійні ВАХ. Сюди також газорозрядні лампи, входять трансформатори силові, та магнітні підсилювачі. Нелінійність у ВАХ вказаних пристроїв призводить до спотворень в кривій змінного струму або в несинусоїдальній формі напруги в системі електропостачання, яка відрізняється від необхідної форми (див. рисунок 1.4).

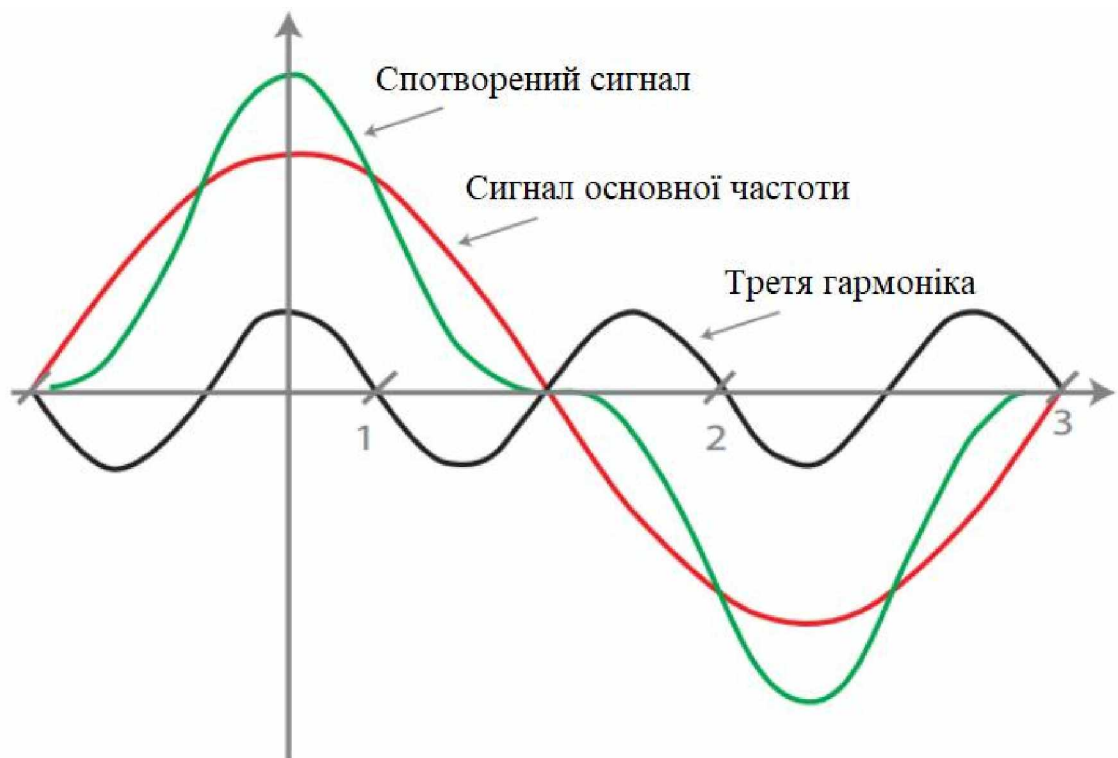


Рисунок 1.4 – Графік появи несинусоїдальної частини у напрузі

Криві напруги у трифазній системі напруги характеризуються тим, що зсунуті на одну третину періоду щодо один одного – $2/3 \cdot \pi$. Гармоніки класифікуються за трьома параметрами: порядком, типом послідовності та частотою.

В Україні основною частотою мережі є $f=50$ (Гц), порядок гармоніки показує число, скільки разів частота гармоніки перевищує основну частоту. Порядок гармоніки визначається відношенням частоти до основної частоти:

$$n = \frac{f_m}{f_{50}} \quad (1.3)$$

Частота гармонічних коливань визначається як результат множення порядку гармоніки на основну частоту. Парні гармоніки виявляються у несиметричних мережах, в той час як непарні гармоніки можуть зустрічатися в будь-якому виді виробництва.

З точки зору впливу на електричну мережу, гармоніки прямої послідовності та гармоніки зворотної послідовності мають схожий ефект і є шкідливими, незалежно від типу послідовності.

Характер несинусоїдальності напруги можна визначити за двома показниками:

- Показником гармонійної складової $N_{\text{н}}$ у напрузі.
- Показником із спотворення кривої синусоїдальності у напрузі – k_U .

Ці показники мають різний вплив на роботу електроприймачів і енергосистеми. Струми, спричинені спотворенням синусоїдальності, впливають на збільшення електричних втрат в мережі та приймачах. Гармонійні складові також можуть викликати резонанс в електроустановках. Це може призвести до збільшення напруги чи струму на будь-якій з гармонік, що може призвести до надмірного нагрівання та можливої пробіи ізоляції.

Величина коефіцієнту синусоїдальності спотворення гармонійної складової $N_{\text{н}}$ визначається як відношення чинного значення гармонійної складової $N_{\text{н}}$ до чинного значення основної складової кривої змінної напруги.

Норми для коефіцієнта спотворення синусоїдальності n -ї гармонійної складової напруги встановлені для точок приєднання із електромереж із різною номінальною величиною напруги $U(n)$.

Вищі гармоніки в струмах та напрузі негативно впливають на системи електропостачання. Вони можуть призводити до підвищеного нагрівання та швидкого зносу електроустаткування та ізоляції проводів.

Одним із певних негативних наслідків наявності гармонік вищих в машинах із обертанням постає додаткові енергетичні втрати. Ці втрати призводять до підвищення температури власне електричної машини та місцевого перегрівання в її окремих ділянках.

Стикування струмів гармонік у статорі може створити рушійну силу, яка викликає появу крутих моментів на валу машини. Ці моменти можуть спричинити вібрації та нестабільність в роботі машини. В цілому несинусоїдальні напруги або струми можуть мати такі наслідки:

- Пришвидшене старіння у трансформаторах, ізоляції кабелів та електромашин.
- Зміна коефіцієнта потужності електроприймачів.
- Вплив на моменти та електромагнітні поля в асинхронних двигунах, що може погіршити характеристики машини.
- Порушення роботи пристроїв телемеханіки, автоматики та комп'ютерної техніки.
- Неточне вимірювання електроенергії через похибки в приладах обліку.
- Додаткові втрати потужності у трансформаторах.
- Перегрів та можливий вихід з ладу конденсаторних установок через додаткові втрати.

Для зменшення несинусоїдальності напруги в мережах електропостачання застосовують наступні методи та засоби, які можна розділити на три групи:

а) Схемні рішення:

- Використання окремого живлення для приймачів електрики із нелінійною ВАХ.
- Подача живлення нелінійним навантаженням від окремих трансформаторів або підключення їх до окремих обмоток трансформатора.

- Підключення навантаження до більш потужної системи живлення.
- Групування перетворювачів відповідно до схеми множення фаз.
- б) Використання фільтрів для вищих гармонік (фільтрокомпенсуючі пристрої (чи ФКП, ФСП), джерела із реактивної потужності (або ДРП)).
- в) Використання обладнання з низьким рівнем генерації вищих гармонік.

2. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ У ТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ.

2.1 Опис досліджуваного виробництва, аналіз вхідних параметрів розрахунку.

Промислові підприємства використовують приблизно 65% енергії, яка виробляється в Україні. Системи із електричного постачання промислових підприємств складаються із власне електричних мереж, трансформаторних підстанцій, а також перетворювальних підстанцій. Обрання даних елементів залежить від розрахункових електричних навантажень.

Недооцінка навантажень розрахункових може призвести до перегріву елементів системи електричного постачання і їх послідовному швидкому зносу, а переоцінка навантажень розрахункових може призвести до непотрібних витрат на системи електричного постачання. Відтак стає зрозуміло, наскільки важливим є розробка із впровадженням науково обґрунтованих й точних розрахункових методів навантажень електричних при проектуванні електропостачання.

Метод розрахунку електричних навантажень заснований даних із практичних досліджень та узагальненнях, котрі отримані завдяки методам теорії ймовірності і знанням математичної статистики [4].

Сам розрахунок розпочинається з знаходження величини потужності номінальної за кожним електроприймачем в незалежності від його технологічного процесу, параметру потужності середньої (а саме потужності, котра є витраченою на протязі самої завантаженої зміни) й показника і розрахункової максимальної потужності вузла, певної ділянки мережі, цеху чи навіть підприємства в цілому.

В табл. 2.1 наведено вихідні параметри для розрахунку навантажень напругою 0.4 (кВ).

У випадку відсутності показників про величину електричних приймачів, можна використовувати методологію коефіцієнту попиту (k_n). Даний метод є простим і поширеним та полягає у застосуванні наступного положення:

$$k_n = \frac{P_{\max}}{P_n} \quad (2.1)$$

Тоді за заданою (початково відомою) величиною P_n й значенням за табл. 2.1 показника K_ϵ , можна визначити:

$$P_n \cdot K_\epsilon = P_{\max} = P_p; \quad (2.2)$$

$$P_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi = Q_{\max}$$

де: $\operatorname{tg} \varphi$ – величина середньо квадратичного коефіцієнту потужності за цеховим навантаження або й цілої ділянки [8].

Можливо обрати за [4] K_ϵ і $\cos(\varphi)$ використовуємо відповідні значення.

До прикладу, під час розрахунку верстатів металорізальних розташованих у механічному цеху №1:

$$P_p = 5200 \cdot 0.175 = 910 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p = 788 \cdot 1.733 = 1365,61 \text{ (квар)} \quad (2.3)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{910^2 + 1365,61^2} = 1641.04 \text{ (кВА)}$$

Технічне та економічне обґрунтований вибір значення кількості та величини потужності груп трансформаторів силових є доволі важливим аспектом для раціональної організації схем електропостачання промислового. Із

метою гарантування зручності, щодо експлуатації систем промислового електричного постачання, рекомендується застосовувати лише дві-три стандартні потужності трансформаторів. Це дозволяє скоротити обсяг складського резерву та спрощує взаємну заміність трансформаторів.

Залежно від питомого показника густини навантаження розрахункового, для цехових знижувальних трансформаторів ($S_{н.е}$) можна визначити економічно вигідну номінальну потужність трансформаторів s_n .

$$\begin{aligned} S_{н.е} &= 2500 \text{ (кВА) під час } > 0,3 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right); \\ S_{н.е} &= 1600 \text{ (кВА) при } = 0,2 \div 0,3 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right); \\ S_{н.е} &= 1000 \text{ (кВА) під час } < 0,2 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \end{aligned} \quad (2.4)$$

У момент $s_n \geq 0,4 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right)$ слід використовувати підстанції двох трансформаторні із незалежними від поточної категорії безперебійності за живленням.

Знайти S_{Π} можна за виразом:

$$S_{\Pi} = \frac{S_{p.\max}}{F_{цх}} \quad (2.5)$$

де $S_{p.\max}$ — показник розрахункового максимального навантаження у цеху, (кВА);

$F_{цх}$ — цехова площа, (м^2).

Таблиця 2.1 – Показники вхідних параметрів навантаження до розрахунку

Найменування груп та вузлів електричних приймачів	$P_{\text{ном}}$, (кВт)
Механічний цех №1	
1. Металорізальні верстати	5200
2. Зварювання дугове	510
3. Печі опору	375
4. Теплові завіси й вентилятори	325
5. Преси	280
6. Насоси	190
7. Транспортні та підйомні механізми	160
8. Освітлення цех	90
Механічний цех №2	
1. Верстати металорізальні	4550
2. Насоси	510
3. Зварювання дугове	430
4. Теплові завіси й вентилятори	275
5. Транспортні та підйомні механізми	210
6. Освітлення цеху	75
Складський корпус виробництва	
1. Верстатне обладнання	2850
2. Складальне електрообладнання	1750
3. Автоматизовані лінії	880
4. Печі опору	540
5. Зварювання дугове	390
6. Теплові завіси й вентилятори	345
7. Транспортні та підйомні механізми	230
8. Насоси	185

9. Освітлення даної частини виробництва	115
Цех із заготівельного та штампованого виробництва	
1. Пресове електрообладнання	2000
2. Обладнання для різання металу	850
3. Ділянка для заготівки (у складі ножиці, гільйотини і т.п.)	765
4. Верстатне обладнання	310
5. Вентилятори	185
6. Транспортні та підйомні механізми	150
7. Насоси	87
8. Освітлення цеху	45
Ливарний цех	
1. Ливарні машини (0.4 кВ)	1450
2. Транспортні та підйомні механізми	920
3. Теплові завіси й вентилятори	865
4. Насоси	550
5. Освітлення цеху	90
Термічний цех	
1. Індукційні установки (0,4 кВ)	4200
2. Печі опору (0.4 кВ)	4050
3. Верстатне обладнання	470
4. Насоси	340
4. Теплові завіси й вентилятори	290
5. Транспортні та підйомні механізми	110
6. Освітлення цеху	75
Корпус із випробування моделей	
1. Випробувальні установки	3220
2. Насоси	570
3. Транспортні та підйомні механізми	221
4. Верстатне обладнання	135

5. Теплові завіси й вентилятори	95
6. Освітлення корпусу	60
Електроремонтний цех	
1. Випробувальні установки	360
2. Випробувальні установки й стенди	115
3. Транспортні та підйомні механізми	70
4. Теплові завіси й вентилятори	65
5. Зварювання дугове	30
6. Освітлення цеху	20
Цех із покриттів лакофарбових	
1. Сушильні печі	2125
2. Лінії фарбування	727
3. Транспортні та підйомні механізми	178
4. Теплові завіси й вентилятори	124
5. Освітлення цеху	30
Механічний та ремонтний цех	
1. Верстатне електрообладнання	427
2. Транспортні та підйомні механізми	108
3. Зварювання дугове	63
4. Насоси	17
5. Освітлення цеху	10
Котельня	
1. Насоси (0.4 кВ)	624
2. Димососи й вентилятори	96
3. Освітлення котельні	23
Компресорна підстанція	
1. Компресори (0.4 кВ)	625
2. Насоси	55
3. Вентилятори	23

4. Освітлення підстанції	5
Конструкторське бюро та корпус адміністрації	
1. Побутова та оргтехніка	65
2. Освітлення бюро	34
3. Освітлення корпусу адміністративного	25
4. Вентилятори	14

За кожною групою трансформаторів цехових із однаковою потужністю, котрі спрямовані на технологічні цілі, мінімальна кількість трансформаторів, що необхідна для надання живлення для найбільшого активного розрахункового навантаження $P_{p.max}$:

$$N_{m.min} = \frac{S_p}{k_{з.т} \cdot S_{нз}} + \Delta n \quad (2.6)$$

де Δn – залишок (або округлення);

$k_{з.т}$ – показник завантаження у трансформаторах, даний коефіцієнт пропонується приймати наступним чином:

– $k_{з.т} = 0.6 \div 0.7$ – у випадку двотрансформаторних підстанцій й наявного переважання споживачів (навантажень) першої категорії із урахуванням рівня неперебійного живлення.

$k_{з.т} = 0.7 \div 0.8$ – для випадку двотрансформаторних підстанцій і наявних споживачів із категоріями II й III.

$k_{з.т} = 0.86 \div 0.95$ – при використанні підстанцій однострансформаторних і з навантаженням другої та третьої категорій.

Тоді для подальших розрахунків приймаємо:

– для виробництв й цехів із наявними споживачами тільки першої категорії безперебійності $k_{з.т} = 0.7$.

– для виробництва та цехів, де присутні лише споживачі другої і третьої категорії $k_{з.т} = 0.85$.

Як основну величину навантаження цеху можливо використовувати середнє навантаження протягом місяця. Кількість оптимальну трансформаторів в залежності від точки економічної ефективності можна визначити, за

$$N_{m.t} = N_{m.min} + m \quad (2.7)$$

де m – кількість додаткових трансформаторів.

Тоді значення коефіцієнту фактичного завантаження можна знайти за виразом:

$$k_{зв.фм} = \frac{S_p}{S_{T.ном} \cdot N_{m.e}} \quad (2.8)$$

Для досягнення оптимальної складової у схемі електричного постачання, об'єднуємо декілька цехів й майданчиків із невеликим споживання у одну живильну підстанцію. Тоді приклад для визначення параметрів трансформаторної групи для першого механічного цеху має наступний вигляд:

$$S_{II} = \frac{2924,41}{17280} = 0,169 \text{ (кВА)};$$

$$N_{m.min} = \frac{2924,41}{0,85 \cdot 1000} + 0,56 = 4; \quad (2.9)$$

$$k_{з.ф} = \frac{2924,41}{1000 \cdot 4} = 0,731.$$

У таблиці 2.3 наведені результати обрання трансформаторів. Після цього буде проведено уточнення потужності групи трансформаторів, яке враховує

необхідність у компенсації реактивної потужності й обрання відповідних типів компенсуючих пристроїв.

Таблиця 2.2 – Результати обрання трансформаторів

Показники, одиниці виміру							Назва цеху
$F_{ц}, м^2$	$S_p,$ (кВА)	$S_{п},$ кВА/ $м^2$	$S_{T.ном},$ (кВА)	$N_{m.min}$	m	$k_{з.ф}$	
10541	2682	0,139	1000	3	0,54	0,894	Механічний цех №1
7906	2673	0,165	1600	2	0,0791	0,835	Механічний цех №2
5600	1977	0,172	1600	2	0,5612	0,618	Складський корпус виробництва
7093	1078	0,171	1000	2	0,7357	0,539	Цех із заготівельного та штампованого виробництва
9223	2913	0,155	1000	4	0,2169	0,728	Ливарний цех
22062	6700	0,149	1000	8	0,2989	0,838	Термічний цех
5600	2474	0,095	1000	3	0,6325	0,825	Корпус із випробування моделей
703	166	0,115	1000	1	0,5226	0,263	Електроремонтний цех
5710	2032	0,174	1600	2	0,781	0,635	Цех із покриттів лакофарбових
1318	335	0,124	1000	1	0,593	0,335	Механічний та ремонтний цех
1932	899	0,228	1000	1	0,2025	0,899	Котельня
2108	689	0,160	1000	1	0,3423	0,689	Компресорна підстанція

2900	216	0,023	1000	1			Конструкторське бюро та корпус адміністрації
					0,915	0,216	

Як показано в таблиці 2.3, для окремих цехів (Ц) й комплексів із невеликим навантаженням – 0.4 (кВ), коефіцієнт завантаження у ЦТ є надто низьким, що є неефективним як з практичних огляду, так із економічних аспектів. Оскільки у великих цехах є невикористаний резерв потужності, живлення даних менших Ц й комплексів із низьким навантаженням проводиться від шини 0.4 (кВ) головних Ц. Вибір потужності й кількості ЦТП, із вирахуванням розподілу за навантаження поміж цехами, подано у табл. 2.4.

Таблиця 2.3 – Вибір потужності й кількості КТП із вирахуванням розподілу за навантаження поміж цехами

Показники, о. в.							Назва цеху
$F_{ц}, м^2$	$S_p,$ (кВА)	$S_{T.ном},$ (кВА)	N_T	m	$k_{з.ф}$	КТП	
22062	6700	1000	8	0,299	0,838	КТП 1-4	Термічний цех
7906	2673	1600	2	0,079	0,835	КТП 5	Механічний цех №2
5600	2474	1000	3	0,633	0,825	КТП 6-7	Корпус із випробування моделей
1932	899	1000	1	0,203	0,899	КТП 8	Котельня
10541	2682	1000	3	0,54	0,894	КТП 9-10	Механічний цех №1
5710	2032	1600	2	0,781	0,635	КТП 11	Цех із покриттів лакофарбових
9223	2913	1000	4	0,217	0,728	КТП 12- 13	Ливарний цех

10696	1470	1000	2	0,523	0,663	КТП 14	Електроремонтний цех. Цех із заготівельного та штампованого виробництва, конструкторське бюро та корпус адміністрації
6918	2315	1600	2	0,6	0,723	КТП 15	Складський корпус виробництва; механічний та ремонтний цех
2108	689	1000	1	0,342	0,689	КТП 16	Компресорна підстанція

Для забезпечення електропостачання у цехах виробництва та інших корпусів, а також зовнішніх установок застосовуються КТП – тобто комплектні ТП. В даних підстанціях необхідно встановлені трансформатори із вводами закритого типу, які можуть бути наступного типу:

- ТМЗ – трифазні трансформатори, масляні із негорючим діелектриком.
- ТНЗ - трифазні трансформатори, із ізоляцією негорючою рідиною.
- ТСЗ – трифазні трансформатори, сухі.

Таблиця 2.4 - Технічні показники трансформаторів

Тип обладнання	$S_{\text{ном}}$, (кВА)	Втрати, Вт		Номінальна напруга обмоток, кВ		Напруга КЗ, (%)	Струм х.х., (%)
		КЗ	Х.Х.	ВН	НН		
ТМЗ – 1600/10	1600	17000	3400	10	0.4	5.75	1.5

ТМЗ –1000/10	1000	11500	2500	10	0.4	6	1.6
--------------	------	-------	------	----	-----	---	-----

Із огляду на те, що обирається група для цехового електропостачання й корпусів загальних, прийнято використовувати тип трансформаторів ТМЗ.

Тоді у табл. 2.4 наведемо технічні параметри даних трансформаторів.

2.2 Проведення компенсації РП.

Передавання за реактивною потужністю призводить до додаткових втрат на розширення перерізу у мережевих провідників і збільшення потужності трансформаторів, а також призводить до втрат електроенергії. Окрім цього, реактивна складова впливає на втрати напруги внаслідок реактивного навантаження й індуктивного опору, що погіршує якість напруги в системах електричного постачання підприємства. Тому збільшення коефіцієнту потужності й компенсація реактивних навантажень у енергосистемах постачання підприємства має велике значення.

У частині компенсації розуміється установлення локальних джерел реактивної потужності, що сприяє до підвищення здатності пропускної електромереж і трансформаторів та зменшенню втрат у електриці.

Розрахункова потужність конденсаторних батарей в електромережах із напругою до 1 (кВ) визначається наступним чином:

За умови, що кількість трансформаторів $n_T \leq 3$, то величина показник визначається за коефіцієнтом власне реактивної потужності – $\text{tg}(\varphi_e)$, під час розрахунку прийнято – $\text{tg}(\varphi_e)=0.49$.

За умови ж, що кількість трансформаторів $n_T > 3$, тоді застосуються такі два критерії:

1. Мінімізація сумарних витрат, що спостерігаються на конденсаторній установці і ЦТП.

2. Мінімізація сумарних витрат, що спостерігаються на конденсаторній

установці й втрат електрики у мережі підприємства 10 (кВ) та у трансформаторах.

Тоді для першого випадку величина ($Q_{к.у.Ц}$) потужності самих конденсаторних установок може бути визначена завдяки виразу:

$$Q_{к.у.Ц} = (\operatorname{tg}(\varphi_u) - \operatorname{tg}(\varphi_{EC})) \cdot P_{р.нв.ц}, \quad (2.10)$$

де $P_{р.нв.ц}$ – значення розрахункового цехового активного навантаження цеху або їх груп, [кВт];

$\operatorname{tg}(\varphi_{EC})$ – величина коефіцієнту реактивної потужності, котра задана енергосистемою $\operatorname{tg}(\varphi_e)=0.49$.

$\operatorname{tg}(\varphi_u)$ – величина коефіцієнту цехової реактивної потужності до виконання компенсації, може бути визначена як:

$$\operatorname{tg}(\varphi_u) = \frac{Q_{р.нв.ц}}{P_{р.нв.ц}}, \quad (2.11)$$

де $Q_{р.нв.ц}$ – реактивне розрахункове навантаження у цеху чи цехової групи, [квар];

У іншому випадку, для систем напругою до 1 (кВ), головна потужність у установок конденсаторних можна визначити за першим критерієм, в той час як додаткова потужність знаходиться за другим критерієм, котрий враховує мінімізацію втрат електрики у промисловій мережі 10 (кВ).

Загальна потужність, котра включає як основну так і додаткову обчислюється за допомогою наступного виразу:

$$Q_{к.у.Ц} = Q_{k1} + Q_{k2} \quad (2.12)$$

Спочатку, за першим критерієм, визначаємо потужність конденсаторних установок для ЕМ напругою до 1(кВ). Це робиться із метою зменшення кількості трансформаторів цехових чи для зменшення їх потужності номінальної при збереженні поточної кількості трансформаторів.

Після вибору кількості (N_T) трансформаторів обчислюємо надалі максимальну реактивну потужність, котру слід передавати даними трансформаторами у мережу до 1 (кВ):

$$Q_T = \sqrt{(k_T \cdot N_T \cdot S_{T.ном.})^2 - P_{max.Ц}^2} \quad (2.13)$$

За величиною Q_T , визначається загальна (або сумарна) потужність конденсаторів із напругою до 1(кВ), котру варто встановити для дослідної групи трансформаторів у відповідності із до першим критерієм. Вираз для цього обчислення буде наступним:

$$Q_{k1} = Q_{max.Ц} - Q_T \quad (2.14)$$

де $Q_{max.Ц}$ – загальне (чи максимальне) реактивне розрахункове навантаження у цеху, [кВар];

При умові, що буде $Q_{k1} < 0$, тоді у відповідності до першого критерію, установлення конденсаторів не потрібне, а саме значення приймається $Q_{k1} = 0$

Через застосування другого критерію визначення сумарної додаткової потужності для дослідної трансформаторної групи виконується за:

$$Q_{k2} = Q_{max.Ц} - N_T \cdot \gamma \cdot S_{T.ном} - Q_{k1} \quad (2.15)$$

де γ – є розрахунковим коефіцієнтом, цей показник залежить від величини k_1 та k_1 й схеми для живлення ЦП та визначається через довідник [4].

Величини ж $S_{T.ном}$ та N_T були обрані в ході розрахунку табл. 1.4

Розрахунок типу КРМ для електромережі із 0.4 (кВ) застосовується за наступним методом: коли у підстанції наявні більше трьох трансформаторів, а це КТП 1-4 та КТП 12-13, другий метод розрахунку; коли ж менше (всі інші) – перший метод розрахунку. Результати даних обчислень винесемо до табл. 2.6.

В цій таблиці подані результати розрахунку потужності компенсуючих пристроїв. Тут у якості джерел за реактивною потужністю були обрані комплектні конденсаторні установки (рис. 2.1) типу КРПН-0.4-360У3. Кількість же конденсаторних установок при цьому повинна бути не нижчою за кількість від цехових трансформаторів.

Для наочності розглянемо розрахунок НН низьковольтних компенсуючих пристроїв для механічного цеху та складського корпусу виробництва. Величина $\text{tg}_{\text{кут.зсуву.фази}}$ є необхідною для здійснення компенсації за реактивною потужністю, та визначається у такий спосіб:

$$\text{tg}(\varphi_{p.ц}) = \frac{928,5}{1977} = 0.4696 \quad (2.16)$$

Потрібна величина сумарної потужність у компенсуючих пристроях $Q_{к.п.}$, (кВар):

$$Q_{к.п.} = 1977 \cdot (0.4696 - 0.49) \approx 0 \text{ (квар)} \quad (2.17)$$

На рис. 2.1 представлено монтаж конденсаторної установки обраного типу в електричній мережі 0,4 кВ.



Рисунок 2.1 – Монтаж конденсаторної установки обраного типу в електричній мережі

Після цього є можливим обрати і пристрої компенсації разом із уточненням, щодо розрахункового навантаження $Q_{\text{р.р.нв.ц}}$ за (2.18)

$$Q_{\text{р.р.нв.ц}} = Q_{\text{РН}} \Sigma - Q_{\text{КП}} \Sigma \quad (2.18)$$

де: $Q_{\text{РН}} \Sigma$ – реактивна величина сумарного навантаження, яке розраховане за цехом, [кВар];

$Q_{\text{КП}} \Sigma$ – величина сумарної потужності КП, [кВар];

Тоді використовуємо комплексні конденсаторні системи, котрі розташовані на шинах 0.4 (кВ) у ТП, як джерела реактивної потужності. Результати із вибору даних пристроїв для виконання компенсації РП і докладні визначення РП за цехами наведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Обрання пристроїв КП і уточнення визначення РП за цехами підприємства

Показники, одиниці виміру						Назва цеху
$Q_{\text{КП}},$ кВар	$Q_{\text{КП}} \Sigma$ кВар	$Q_{\text{р.р.нв.ц}},$ кВар	$Q_{\text{РН}} \Sigma$ кВар	Кількість	Тип КП	
—	—	2903.4	2903.4	—	—	Термічний цех
100	123	2523	2400	4	КРМ-0,4-20-10У3	Механічний цех №2
20	58.4	1958.4	1938.4	1	КРМ-0,4-25-5 У3	Корпус із випробування моделей
303	322.5	1385	1082	3	КРМ-0,4-25-5 У3	Котельня
60	73	2242,4	2182,4	5	КРМ-0,4-30-5 У3	Механічний цех №1
—	—	842.35	842.35	—	—	Цех із покриттів лакофарбових
—	—	1432,5	1432,5	—	—	Ливарний цех
240	182,7	1282,7	1042,7	2	КРМ-0,4-20-10У3	Електроремонтний цех
—	—	817.2	817.2	—	—	Складський корпус виробництва; механічний і ремонтний цех
360	383,5	1433,5	1073,5	4	КРМ-0,4-30-5 У3	Компресорна підстанція
—	—	1134.5	1134.5	—	—	Цех із заготівельного та штампованого виробництва, конструкторське бюро та корпус адміністрації

Вже після уточнення за величину навантажень розрахункових у цеху, тоді уточнюємо обрання кількість і потужності у ЦТ.

Звідси розрахункове максимальне навантаження можливо за виразом:

$$S_{\text{р.р.нв.ц}} = \sqrt{Q_{\text{р.р.нв.ц}}^2 + P_{\text{р.ц}}^2} \quad (2.19)$$

де: $P_{\text{р.ц}}$ – величина активне розрахункове навантаження за цехом, [кВт];

Величина коефіцієнту $k_{\text{зв.Т}}$ завантаження у трансформатору розраховується:

$$k_{\text{зв.Т}} = \frac{S_{\text{р.р.нв.ц}}}{N_T \cdot S_{\text{н.Т}}} \quad (2.20)$$

де: N_T – кількість ЦТ [шт];

$S_{\text{н.Т}}$ – повна потужність номінальна у трансформатору, [кВт];

3. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ, ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ У ЛАНЦІ ЕМ 10 КВ.

3.1 Визначення електричних навантажень у споживачів в ланці ЕМ 10 кВ.

Розрахунок електричних навантажень споживачів за ланкою ЕМ 10 кВ виконуємо згідно методу коефіцієнта використання.

Тоді активна розрахункова потужність складає:

$$P_{\text{рз.в}} = k_{\text{е}} \cdot \sum_1^n P_0 = k_{\text{е}} \cdot n_{\text{ЕП}} \cdot P_{\text{н.ЕП}} \quad (3.1)$$

де: $P_{\text{н.ЕП}}$ – активна потужність номінальна у постачанні, у [кВт];

$k_{\text{е}}$ – коефіцієнт використання;

$n_{\text{ЕП}}$ – кількість приймачів електрики, [кВт];

Звідси показник реактивної розрахункової потужності становить:

$$Q_{\text{рз.в}} = \text{tg}(\varphi) \cdot P_{\text{рз.в}} \quad (3.2)$$

А повна потужність:

$$S_{\text{рз.в}} = \sqrt{P_{\text{рз.в}}^2 + Q_{\text{рз.в}}^2} \quad (3.3)$$

Планується застосовувати АД для високовольтних систем.

При виборі конкретного типу АД, будемо враховувати і його призначення у цехах. Також є важливо враховувати, що при рівній потужності ЕД із більшою кількістю обертів мають менше значення маси, менший об'єм та нижчу вартість. Крім того, вони мають вищий $\cos\varphi$ та ККД.

Критерії для обрання потужності номінальної ЕД виходять із наступної умови:

$$P_{н.ЕД} \geq P_{0.ЕД} \quad (3.4)$$

Підставляючи отримані раніше значення у (3.4) отримуємо, що для цехів будуть такі $P_{н.ЕД}$:

- Корпус із випробування моделей: $P_{н.ЕД} = 2500$ (кВт)
- Ливарний цех: $P_{н.ЕД} = 400$ (кВт)

Згідно каталогу [4, 6] обираємо тип АД для цеху (корпус із випробування моделей): 4АЗМ-3150/6000 УХЛ4, а для ливарного цеху: 4АЗМ-315/6000 УХЛ4

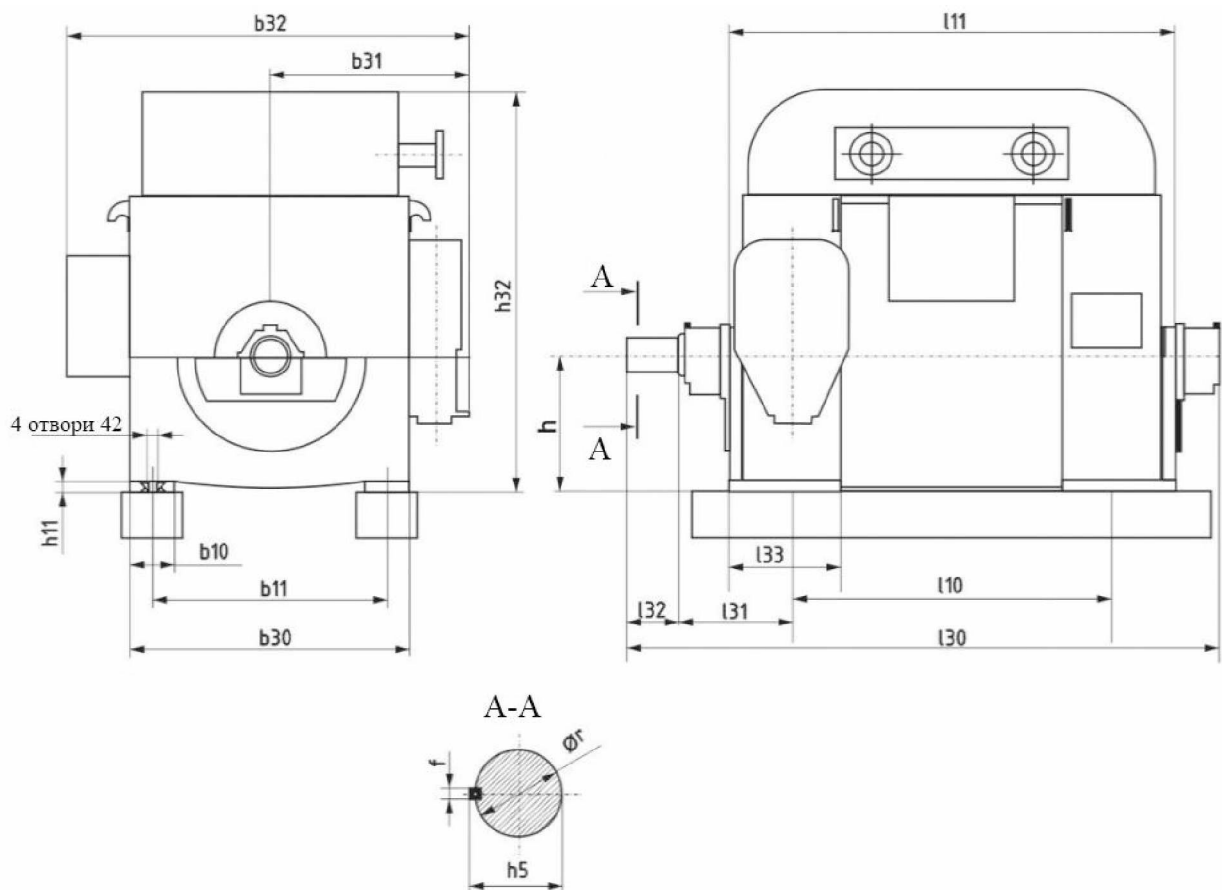


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд та габарити обраного типу АД

Так, як обрано було АД одного типу у цехах, тоді зовнішній вигляд вони будуть мати однаковий (рис. 3.1) різними будуть габарити та номінальні показники. На рис. 3.1 спеціально габарити були позначені літерами у табл. 3.1 наведено розміри кожного АД окремо.

Таблиця 3.1 Розміри габаритні для обраних АД

Позначення на схемі (рис. 3.1)	Для АД із випробування моделей (мм)	Для АД із ливарного цеху (мм)	Позначення на схемі (рис. 3.1)	Для АД із випробування моделей (мм)	Для АД із ливарного цеху (мм)
b32	1635	1285	h	560	355
b31	825	665	l33	465	325
h32	1620	1050	l10	1400	900
h11	1000	630	l32	210	140
b10	185	200	l31	500	280
b11	1000	630	l30	2920	1615
b30	1160	800	h5	127	75
l11	2060	1075	r	120	70

Стосовно головних характеристик даних АД то вони зведені до табл. 3.2

Таблиця 3.2 – основні показники цехових АД

Для АД із випробування моделей	Для АД ливарного цеху	Показник, од. вимір.
3150	315	Потужність, кВт
6		Напруга, кВ
96,6	95	ККД, %
2973		Частота обертання ЕД, (об/хв)

352	36,3	Струм статора, (А)
0,89	0,88	$\cos(\varphi)$, у в.о.
0,9	0,9	S – ковзання (в.о.)
5,5	5,3	Іп/Ін (в.о.)
2,2	2,3	Мп/Мн (в.о.)
0,9	0,9	М0/Ін (в.о.)

Далі виконаємо визначення (3.5) навантажень у ланці 10 кВ для ВН двигунів із корпусу для виконання випробування моделей.

$$P_{p.k.vp} = 0,88 \cdot 3150 \cdot 2 = 5544 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.k.vp} = 5544 \cdot 0.475 = 2633.4 \text{ кВар}; \quad (3.5)$$

$$S_{p.k.vp} = \sqrt{5544^2 + 2633.4^2} = 6137.65 \text{ (кВ} \cdot \text{А)}$$

Тоді застосовуючи вираз (3.5) можна провести визначення навантажень у ланці 10 кВ для інших приймачів електрики за аналогією.

А відповідні результати записати до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Електричне навантаження у споживачів ланки у 10 кВ

ЕД у корпусі із випробування моделей		Для ЕД ливарного цеху				Усього	Параметр
ВВ ЕД	Усього за цехом	ВВ ЕД	ЕД серії «ДСП»	ЕД у серії «ІСТ»	Усього за цехом		
2x3150	6300	4x315	4x750 2x1500	2x1000 2x1600	12460	18760	P_n , кВт

0,89		0,88	0,86	0,94			$\cos(\varphi)$
0,8		0,8	0,55	0,7			k_H
0,475		0,482	0,542	0,355			$\operatorname{tg}(\varphi)$
2633,4	2633,4	1108,8	5160	4888	11156,8	13790,2	$Q_{p.n.вп},$ кВар
5544	5544	522,25	2796,7	1735,4	5054,4	10598,4	$P_{p.n.вп},$ кВт
6137,65	6137,65	1225,6	5869	5186,9	12281,5	13507,1	$S_{p.n.вп},$ кВА

3.2 Виконання розрахунку втрат у ЦТ.

Для здійснення оцінки втрат потужності у ЦТ, будемо оперувати за наступними методами і даними паспортними цехових трансформаторів.

1) Втрати ΔP_T за активною потужністю у ЦТ визначаються наступним шляхом:

$$\Delta P_T = (\Delta P_{T.к.з.} \cdot K_{зв.Т}^2 + \Delta P_{T.x.x.}) \cdot N_T \quad (3.6)$$

де: $\Delta P_{T.к.з.}$ – втрати потужності у КЗ, (кВт);

$K_{зв.Т}$ – завантаження у ЦТ, (в.о);

$\Delta P_{T.x.x.}$ – втрати потужності у ХХ (кВт);

N_T – кількість трансформаторів у ЦТ (шт) ;

Тоді втрати ΔQ_T за реактивною потужністю у ЦТ трансформаторах будуть становити:

$$\Delta Q_T = \left(\frac{K_{зв.Т}^2 \cdot U_{T.к.з.} \cdot S_{н.Т}}{100} + \sqrt{\left(\frac{S_{н.Т} \cdot I_{x.x.}}{100} \right)^2 - \Delta P_{T.x.x.}^2} \right) \cdot N_T \quad (3.7)$$

де: $U_{Т.к.з.}$ – напруга у КЗ, (%);

$I_{х.х}$ – струм при ХХ (%);

$S_{н.Т}$ –потужність номінальна ЦТ, (кВА).

Для прикладу знову визначимо втрат у потужності для дослідного термічного цеху за (3.7) і (3.8)

$$\Delta P_T = (0.728^2 \cdot 10.5 + 2.55) \cdot 4 = 32.46 \text{ (кВт)};$$

$$\Delta Q_T = \left(\frac{0.728^2 \cdot 5.75 \cdot 1000}{100} + \sqrt{\left(\frac{1.4 \cdot 1000}{100} \right)^2 - 2.55^2} \right) \cdot 4 = 177.28 \text{ кВар.} \quad (3.8)$$

За аналогією до (3.8) виконуємо визначення цих показників для інших цехів і результати цих дій вносимо до табл. 3.4

Таблица 3.4 – Визначення втрат потужності у ЦТП

Показники, о. в.					Назва цеху
$S_{Т.ном}$, (кВА)	N_T	$k_{з.ф}$	ΔP_T кВт	ΔQ_T кВар	
1000	8	0,838	79,39	433,16	Термічний цех
1600	2	0,835	19,89	189,55	Механічний цех №2
1000	3	0,825	30,97	163,77	Корпус із випробування моделей
1000	1	0,899	10,91	60,32	Котельня
1000	3	0,894	33,13	185,21	Механічний цех №1
1600	2	0,635	13,87	118,71	Цех із покриттів лакофарбових
1000	4	0,728	32,39	182,37	Ливарний цех

1000	2	0,663	14,87	78,06	Електроремонтний цех. Цех із заготівельного та штампованого виробництва, конструкторське бюро та корпус адміністрації
1600	2	0,723	16,24	144,88	Складський корпус виробництва; механічний та ремонтний цех
1000	1	0,689	7,67	13,78	Компресорна підстанція
			259,36	1569,83	Усього

3.3 Визначення розрахункових навантажень загалом по заводу

Величини реактивної, активної і повного навантаження у U_n 10 кВ на у заводській ЕМ можна визначити:

$$P_{\Sigma p.зв} = \sum_{i=1}^m P_{p.ВН.сп} + \sum_{i=1}^n P_{p.НН.ц} + \sum_{i=1}^k \Delta P_{ЦТi} \quad (3.9)$$

$$P_{p.зв} = K_{ч.М} \cdot P_{\Sigma p.зв} \quad (3.10)$$

$$Q_{p.зв} = \sum_{i=1}^m Q_{p.ВН.сп} + \sum_{i=1}^n Q_{p.НН.ц} + \sum_{i=1}^k \Delta Q_{ЦТi} \quad (3.11)$$

$$S_{p.звp} = \sqrt{P_{p.зв}^2 + Q_{p.звp}^2} \quad (3.12)$$

де: $Q_{p.HH.ц}$, $P_{p.HH.ц}$ – реактивна і активна розрахункові потужності у НН споживачів.

$\Delta Q_{цТi}$, $\Delta P_{цТi}$ – втрати реактивної і активної потужності наявні у трансформаторах ЦП;

$Q_{p.BH.сп}$, $P_{p.BH.сп}$ – реактивна і активна потужності розрахункові у ВВ споживачах.

n – кількість цехів на заводі, шт;

k – кількість наявних ЦТ, шт;

m – кількість споживачів у ланці із ВВ, шт;

$K_{ч.М}$ – коефіцієнт максимумів у навантаженні різних за часом протікання;

Провівши розрахунки за кожним заводським цехом у навантаженнях 10 кВ та загалом для виробництва результати отримані розміщуємо у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Навантаження на боці ВВ і в цілому на підприємстві

Показники, о. в.						Назва цеху
$P_{p.HH.ц}$ (кВт)	$Q_{p.HH.ц}$ (кВар)	ΔP_T кВт	ΔQ_T кВар	$P_{\sum p.BH.ц}$ (кВт)	$Q_{p.BH.ц}$ (кВар)	
4231.7	2142,3	79,39	433,16	4416,73	2371,56	Термічний цех
1276.6	786,4	19,89	189,55	1321,62	914,48	Механічний цех №2
1345,6	1862,3	30,97	163,77	1413,52	2086.23	Корпус із випробування моделей
1656.4	863,3	10,91	60,32	1692,23	975,62	Котельня
2120,6	2207,6	33,13	185,21	2197,43	2435,39	Механічний цех №1
1723,1	875,3	13,87	118,71	1785,27	956,17	Цех із покриттів лакофарбових
2352.4	1423.2	32,39	182,37	2407,82	1618.94	Ливарний цех

1923.5	1327,2	14,87	78,06	1997,56	1493,35	Електроремонтний цех. Цех із заготівельного та штампованого виробництва, конструкторське бюро та корпус адміністрації
1529,4	751.9	16,24	144,88	1606.74	890,14	Складський корпус виробництва; механічний та ремонтний цех
1222.8	956.3	7,67	13,78	1294,35	1178,46	Компресорна підстанція
$P_{p.BH} = 16673.88 \text{ (кВт)}$				18526.5	11215,2	Усього

За даними із табл. 3.4 було визначено, що повне навантаження складає:

$$S_{p.звр} = \sqrt{16673.88^2 + 11215.2^2} = 20094.7 \text{ (кВА)} \quad (3.13)$$

3.4 Розв'язання задавання за реактивної КП у ланці ВН.

У мережах у 10 кВ підприємств промисловості застосовуються основних два типи пристроїв для реактивної КП, це синхронні електродвигуни і установки конденсаторні.

Для вирішення задачі, щодо реактивної КП використовуємо КБ для ВН [5].

Тоді енергосистемою установлюється оптимальна економічно величина коеф-та потужності для підприємств він становить $\text{tg}(\varphi_{\text{ек}})=0.48$. Оптимальна

економічно величина РП, котре є підприємству наданим у період максимального навантаження ЕС, і визначається:

$$Q_{ек} = P_{р.ВН} \cdot tg(\varphi_{ек}) = 16673.88 \cdot 0.48 = 8003,47 \text{ кVar} \quad (3.14)$$

Сумарна потужність розрахункова у ВН установок конденсаторних визначається із метою забезпечення балансу потужності реактивної. І виконується це так:

$$Q_{КУ} = Q_{р.ВН.ц} - Q_{ек} = 11215.2 - 8003,47 = 3211,74 \text{ кVar} \quad (3.15)$$

Як компенсуючі пристрої використовуються комплектні КУ із серії ККУ-04-10-2,5-21У3 а кількість КУ у неї буде становити 4 одиниці відповідно. Тоді потужність сумарна цих КУ складає:

$$Q_{ВН.КУ} = 2200 \cdot 4 = 8800 \text{ (кVar)} \quad (3.16)$$

Загальна РП на шинах у 10 кВ складає:

$$Q_{рз.ІІІН} = Q_{р.ВН.ц} - Q_{ВН.КУ} = 11215.2 - 8800 = 2415.2 \text{ (кVar)} \quad (3.16)$$

Далі проводиться уточнення величини розрахункової повної потужності:

$$S_{ут.рз} = \sqrt{P_{р.ВН}^2 + Q_{рз.ІІІН}^2} = \sqrt{11215,2^2 + 2415,2^2} = 11472.3 \text{ (кВА)} \quad (3.17)$$

На рис. 3.2 наведено спосіб виконання реактивної КП разом із комутаційною апаратурою.



Рисунок 3.2 – Виконання реактивної КП разом із комутаційною апаратурою.

3.5 Вибір потужності і кількості на ГЗП трансформаторів

Оскільки на розглянутому підприємстві присутні в тому числі і споживачі категорії I, для котрих є важлива неперервність у електропостачанні, на ГЗП встановлюється 2 трансформатори. Зазвичай, номінальне навантаження кожного із трансформаторів цієї ПС обирається із вираховування аварійного робочого ПС. Під час встановлення 2 трансформаторів їх потужність має визначається так, аби у разі недієздатності одного трансформатора, міг інший продовжувати роботу із аварійним припустимим навантаженням, а також забезпечити електропостачання нормальне для споживачів.

Приймаючи це до уваги, номінальну потужність трансформатору (кожного) обчислюється за:

$$S_{\text{ном.Т}} \geq S_{\text{роз.Т}};$$

(3.18)

$$S_{\text{роз.Т}} = \frac{S_{\text{роз.зв}}}{K_{\text{зв.Т}} \cdot N_T};$$

де: $S_{\text{роз.Т}}$ – визначає розрахункову потужність у трансформатора у (кВА);

N_T – показує кількість трансформаторів на ГЗП, шт;

$K_{\text{зв.т}}$ – представляє коефіцієнт завантаження трансформаторів під час нормального робочого режиму. Зазвичай, і для споживачів категорії I і II коефіцієнт завантаження перебуває у межах 0.6–0.7, тоді, як для споживачів категорії II і III він складає 0.73–0.85.

Тоді для даного випадку, приймаємо $K_{\text{зв.Т}} = 0.7$.

$S_{\text{роз.зв}}$ – відображає розрахункову загальну потужність заводу у (кВА);

У разі аварійних ситуацій, дозволяється тимчасово навантажити трансформатори на 40(%) на максимальному протязі до 6 (год) із добовою загальною тривалістю, котра не має перевищувати 5 діб.

$$S_{\text{ном.Т}} \geq S_{\text{роз.Т}} = 8194.5 \text{ (кВ} \cdot \text{А)};$$

(3.19)

$$S_{\text{роз.Т}} = \frac{11472.3}{0.7 \cdot 2} = 8194.5 \text{ (кВ} \cdot \text{А)},$$

Із різних паспортних потужностей трансформаторів можемо обрати трансформатор двообмотковий, конкретно серія – ТРДН-10000/110 із $S_{\text{ном.Т.}} = 10$ (МВА), усі технічні характеристики обраного трансформатора подаються у табл. 3.5.

Також варто додати, що РПН складає $\pm 9 \cdot 1.76(\%)$

Таблиця 3.6 - Технічні показники обраного трансформатору

Тип обладнання	$S_{\text{ном}}$ (МВА)	Втрати, кВт		Номинальна напруга обмоток, кВ		Напруга КЗ, (%)	Струм х.х., (%)
		КЗ	Х.Х.	НН	ВН		
ТРДН-10000/110	10	31	125	10,5	115	10.25	0.85

Тоді величина коефіцієнту завантаження трансформатору у стандартному режимі:

$$K_{\text{зв.Т.ст}} = \frac{S_{\text{роз.зв}}}{N_T \cdot S_{\text{ном.Т}}} = \frac{11472.3}{2 \cdot 10000} = 0.574 \quad (3.20)$$

Тоді величина коефіцієнту завантаження трансформатора при аварійному режимі:

$$K_{\text{зв.Т.ав}} = \frac{S_{\text{роз.зв}}}{N_N \cdot S_{\text{ном.Т}}} = \frac{11472.3}{1 \cdot 10000} = 1.147 \quad (3.21)$$

3.6 Проектування навантажувальної картограми заводу, визначення місця для розташування ГЗП, ЦТП, РП.

Вірний вибір потужності і типології трансформаторів та належне розташування ПС на підприємстві є основою для організації раціональної розподільної схеми електроенергії [4].

Також доволі важливим виступає питання про розташування у ГЗП, котра і визначає усю структуру підприємства. Проектування систем ЕП складає частину невід'ємну від загального плану у підприємстві, на якому відображені

цехи виробничі і окремі ділянки у підприємстві. Цехове розташування на загальному плані підприємства обумовлюється технологічним процесом самого виробництва та вимогами експлуатації [5].

Місце розташування ГЗП має визначатися на основі центру геометричного навантажень за підприємством. Отже, для визначення центру геометричного навантажень створюється карта навантажень (див. рисунок 3.3).

Також передбачається, що цехове навантаження розподілені рівномірно за площею цехів, що дозволяє об'єднувати навантаження розрахункове $S_{p.ц}$ із центром геометричним кожного цеху.

Із метою візуалізації навантажень за цехами, вони зображуються у вигляді кола, де центр співпадає із центром геометричним цеху [4], а радіус кола кожного розраховується за відповідним виразом:

$$R_i = \sqrt{\frac{S_{p.ц}}{m_{не} \cdot \pi}} \quad (3.22)$$

де: $m_{не}$ – масштаб за навантаженням (тоді масштаб приймаємо $m = 0,5$ кВ*А/мм²).

У тих цехах, де відбувається навантаження має живлення понад 1кВ, застосуються два різні масштаби для побудови кіл.

Центр геометричний для навантажень для повного підприємства визначається наступним чином, використовуючи координати за центрами навантажень (X_i, Y_i) кожного цеху та загальну кількість (n) цехів:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n S_{p.ц(i)} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n S_{p.ум.ц(i)}} \quad (3.23)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n S_{p.Ц(i)} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n S_{p.Ц(i)}} \quad (3.24)$$

Тоді результати даних розрахунків зведемо до табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Показники для побудови картограми за електричними навантаженнями

Показники, о. в.						Назва цеху
S_p , (кВА)	R_i , м	X_i , м	Y_i , м	$S_{p.Ц(i)} \cdot X_i$ кВА	$S_{p.Ц(i)} \cdot Y$ кВА	
Навантаження у лінії 0.4 (кВ)						
6700	53,75	117,6	181,2	787920	1214040	Термічний цех
2673	32,53	258,4	94,6	690703,2	252865,8	Механічний цех №2
1977	11,23	232,4	226,3	459454,8	447395,1	Складський корпус виробництва;
335	25,7	307,55	217,3	103029,3	72795,5	Механічний і ремонтний цех
899	18,72	117,2	23,8	105362,8	21396,2	Котельня
2682	34,85	252,32	194,7	676722,2	522185,4	Механічний цех №1
2032	31,21	46,2	112,4	93878,4	228396,8	Цех із покриттів лакофарбових
703	12,25	123,4	225,7	86750,2	158667,1	Електроремонтний цех.

1078	36,85	305,2	44,7	329005,6	48186,6	Цех із заготівельного та штампованого виробництва,
2474	11,2	43,2	217,6	106876,8	538342,4	Конструкторське бюро та корпус адміністрації
689	689	308,9	195,3	212832,1	134561,7	Компресорна підстанція
Навантаження у лінії 10кВ						
2474	27,35	315,7	103,4	781042	255811,6	Корпус із випробування моделей
2913	44,62	127,8	96,5	372281,4	281104,5	Ливарний цех
27629				4805859	4175749	Усього

На картограмі позначені номерами наступні цехи, котрі розшифровані у табл. 3.7

Таблиця 3.7 – Позначення цехів за картограмою

№ на картограмі	Назва цеху	№ на картограмі	Назва цеху
1	Механічний цех №1	8	Цех із заготівельного та штампованого виробництва
2	Механічний цех №2	9	Термічний цех
3	Механічний і ремонтний цех	10	Ливарний цех
4	Електроремонтний цех	11	Цех із покриттів лакофарбових

5	Складський корпус виробництва	12	Компресорна підстанція
6	Корпус із випробування моделей	13	Котельня
7	Конструкторське бюро та корпус адміністрації		

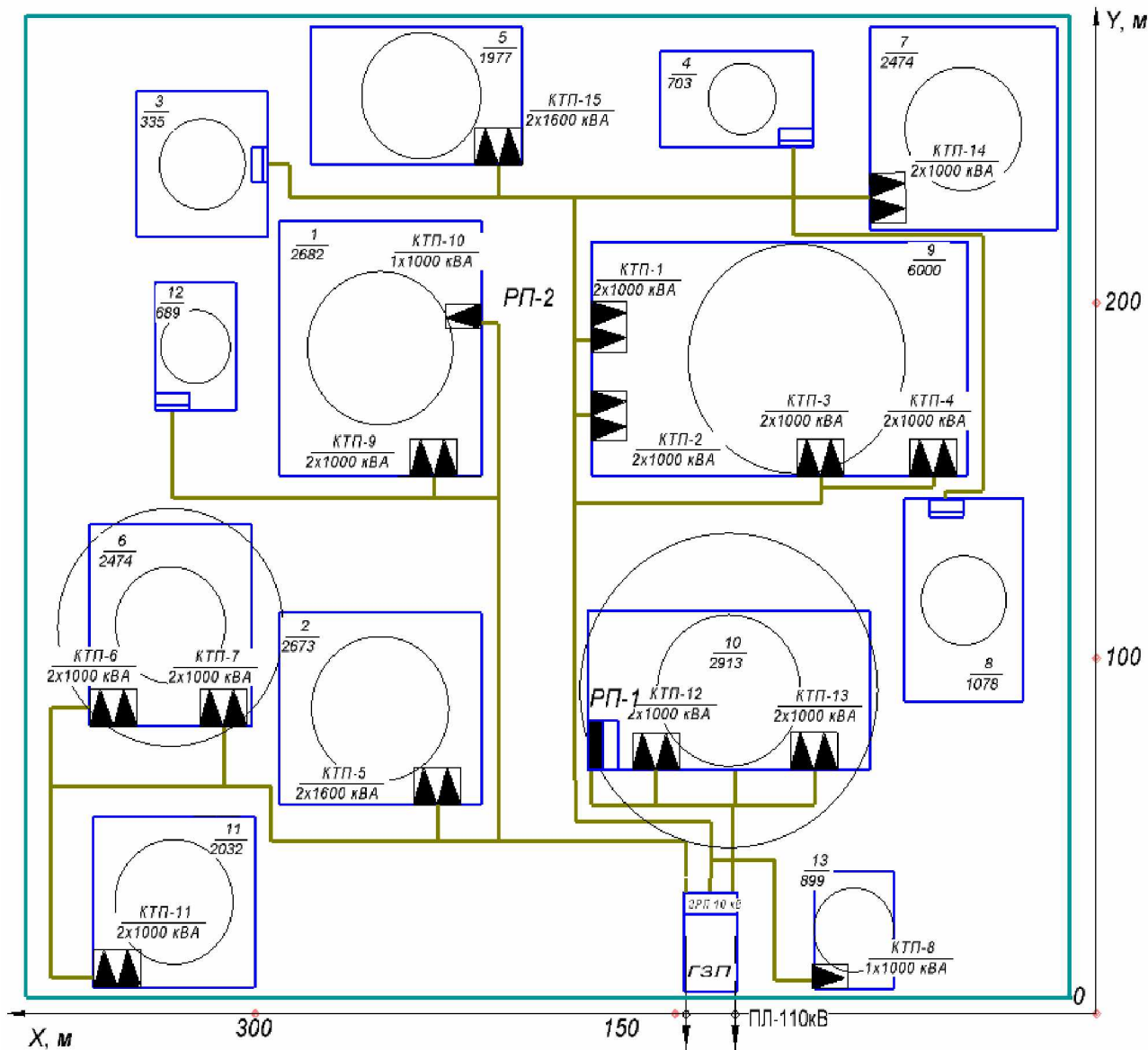


Рисунок 3.3 – Картограма цехових навантажень

Центр із навантажень розташований у точці із наступними координатами:

$$X_0 = \frac{4805859}{27629} = 173.94 \text{ (м)} \quad (3.25)$$

$$Y_0 = \frac{4175749}{27629} = 151.14 \text{ (м)} \quad (3.26)$$

Отже, центр навантажень розташовується із (3.25-3.26) на дорозі центральній поміж декількома механічними цехами, у відповідності до розрахункових даних. Однак дане місце не є придатним для розташування ГЗП. Тоді ГЗП розташовується нижче за вісю Y , і має такі нові координати: $X_0' = 132.45(\text{м})$ $Y_0' = 48.23(\text{м})$

Відстань поміж шинами 10 кВ у ГЗП та споживачів гілки ВН, котрі розташовані у ливарному цеху не перевищує максимальних 300 м (відстань складає приблизно 124 м), тому дані споживачі здатні мати живлені від ГЗП. Однак, із огляду на те, що у цьому цеху є багато приймачів у 10 кВ, вирішено надати їм живлення їх від РП.

Відстань поміж шинами 10кВ ГЗП та споживачів гілки ВН, котрі розташовані у корпусі із випробування моделей становить близько 170 (м), дані споживачі також мають бути живлені від РП.

ЦТ наявні у ПС варто розміщувати всередині цехів або вбудовувати їх у будівлі. Розташовувати їх варто якомога ближче до центра геометричного навантажень у цеху і розміщуватися за напрямком від ГЗП, із метою уникнення зворотних перетоків за потужністю.

4. ПРОЕКТУВАННЯ І АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДІЛЯНКИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ.

Зроблені теоретичні припущення у роботі мають бути перевірені на математичній моделі, де є можливість уточнити основні показники електромережі, дослідити перехідні процеси, перевірити роботу систему у ненормальних режимах.

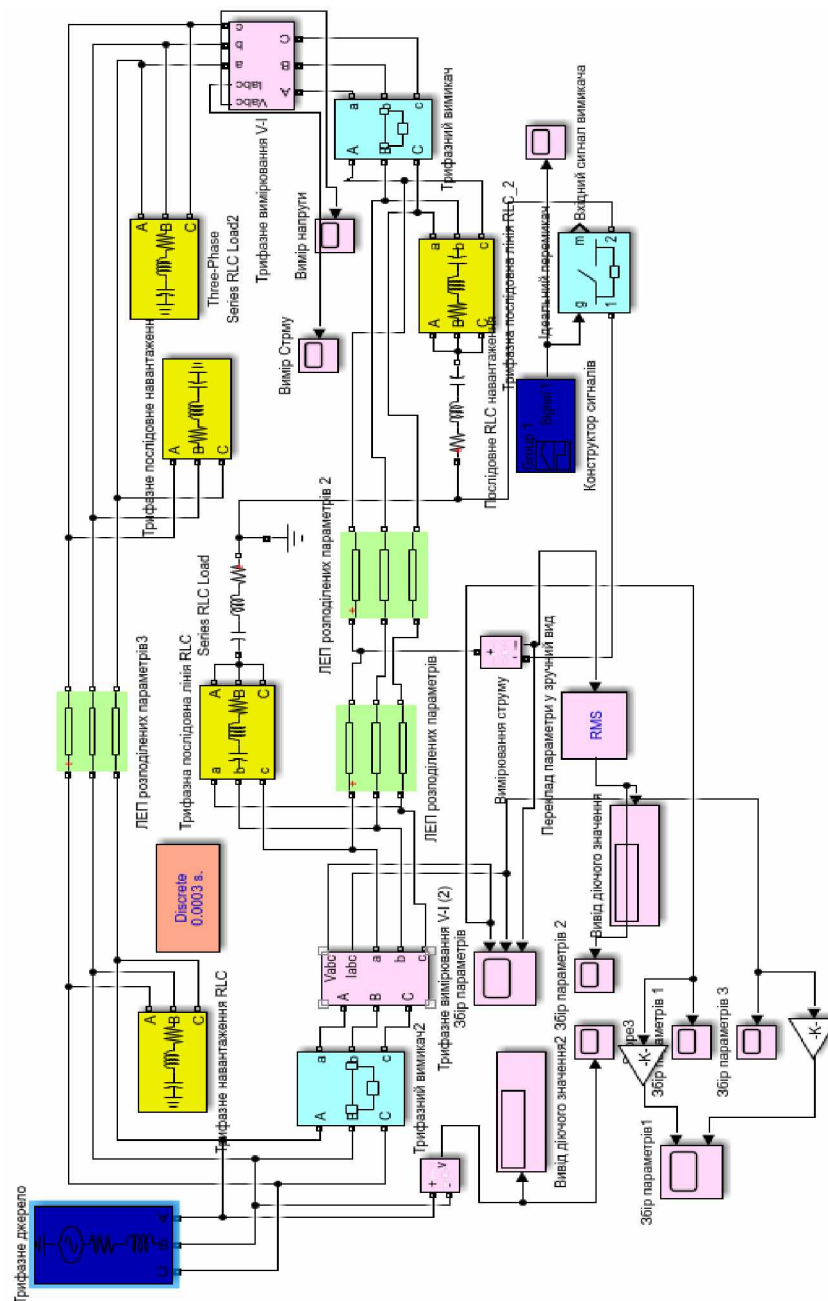


Рисунок 4.1 – Математична модель досліджуваної мережі електропостачання

Отже перевірка результатів покращення енергетичних показників відбувалась на мат. моделі рис. 4.1, так були отримані характеристики у різних частинах мережі.

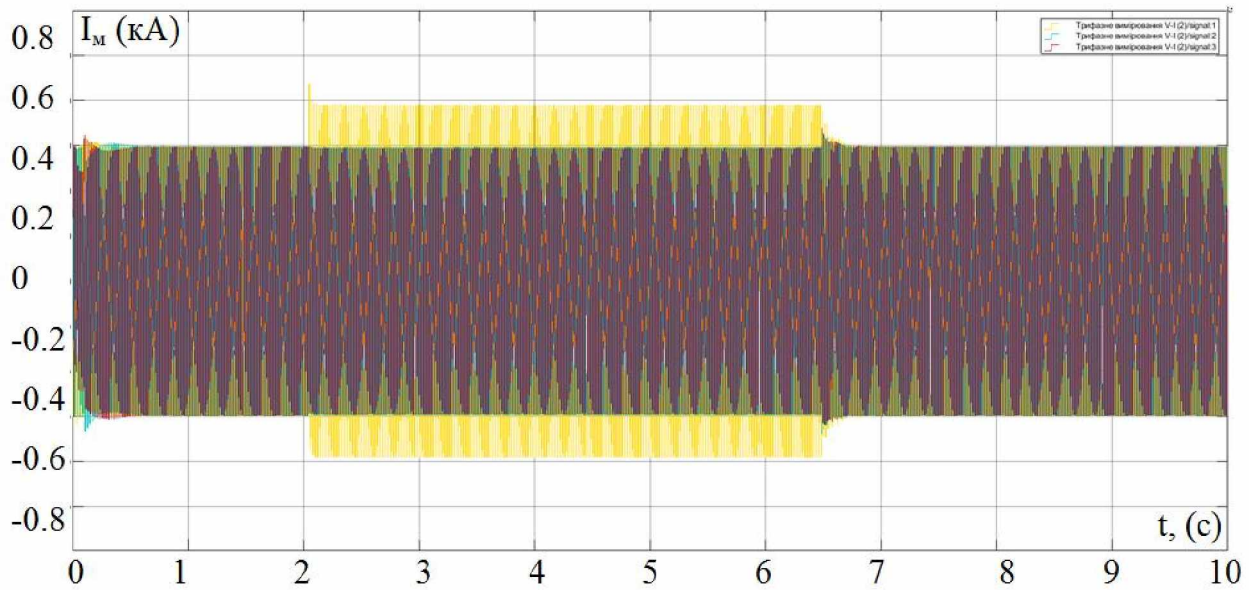


Рисунок 4.2 – Струм на трифазному вимикачі, біля ДЖ

Рис 4.2 показує струм на трифазному вимикачі поблизу ДЖ (який показано на схемі 4.1). Рис. 4.3: відображає напругу на трифазному вимикачі поблизу ДЖ (також зі схеми рис 4.1).

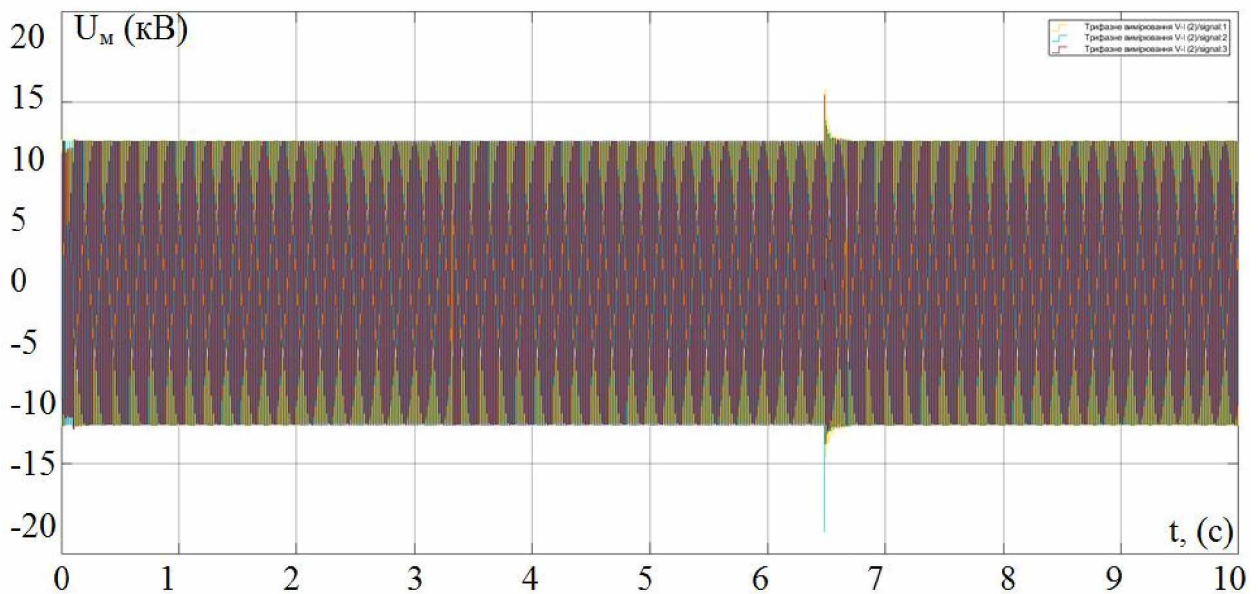


Рисунок 4.3 – Напруга на трифазному вимикачі, біля ДЖ

Рис 4.4 представляє струм однієї фази (фази А) на лінії електропередачі (ЛЕП).

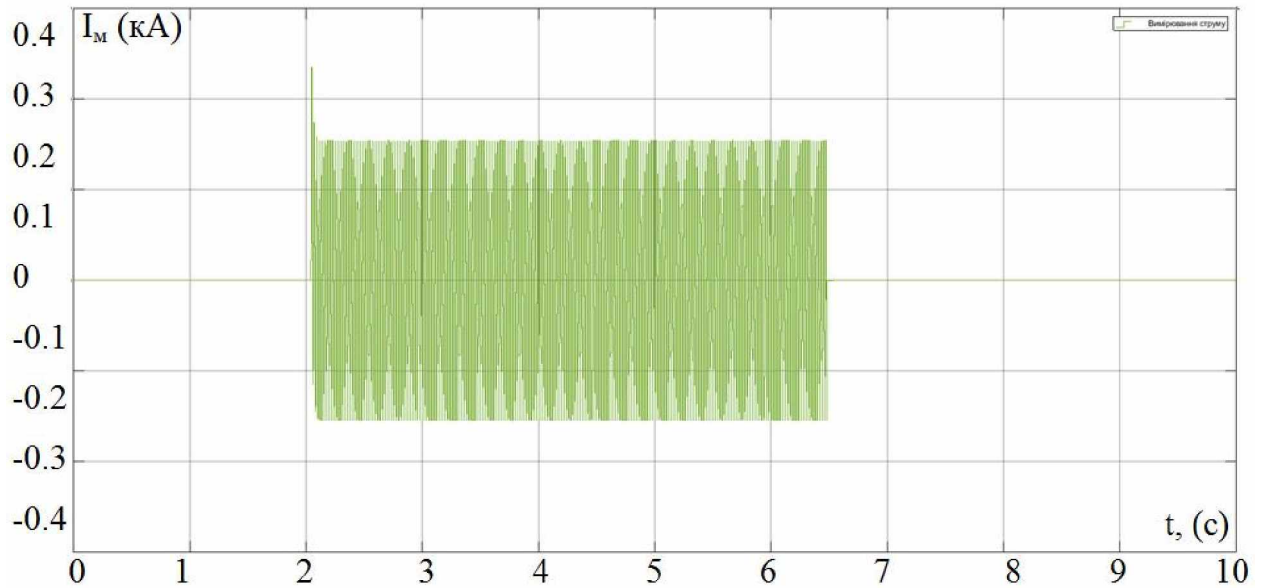


Рисунок 4.4 – Струм однієї із фаз (А) у ЛЕП (схема рис. 4.1)

Рис 4.5 показує напругу однієї з фаз (фази А) на ЛЕП (основної схеми на рис 4.1).

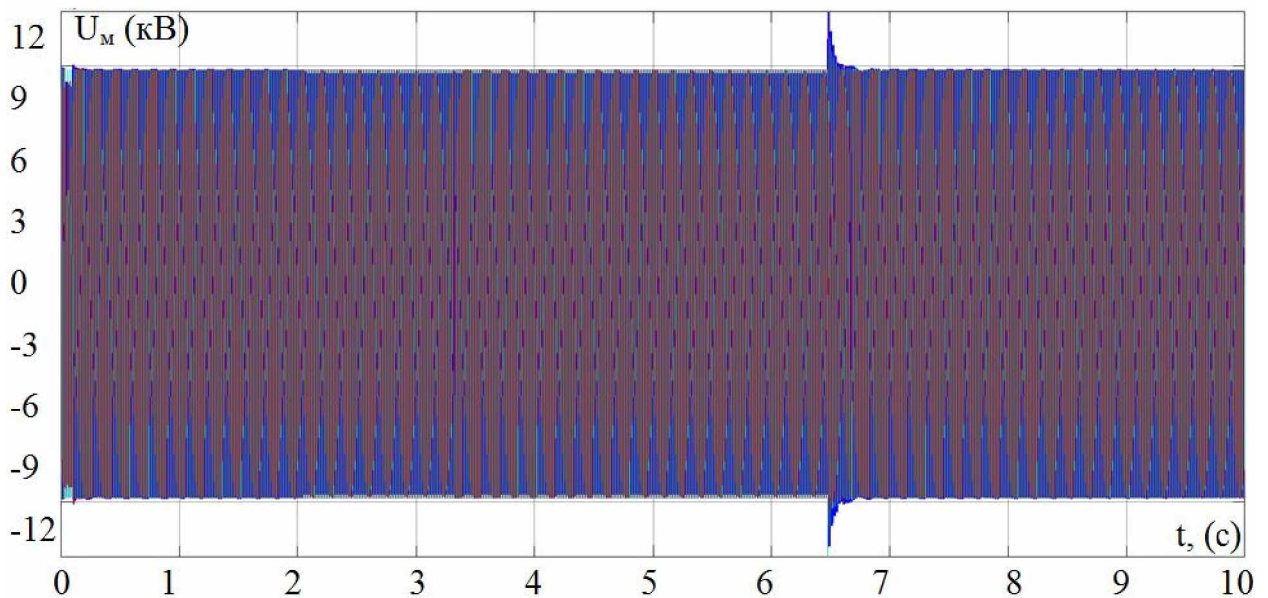


Рисунок 4.5 – Напруга однієї із фаз (А) у ЛЕП (схема рис. 4.1)

Цей графік (рис 4.6:) демонструє дійсний струм, виміряний у одній із фаз (як показано на схемі рис 4.1).

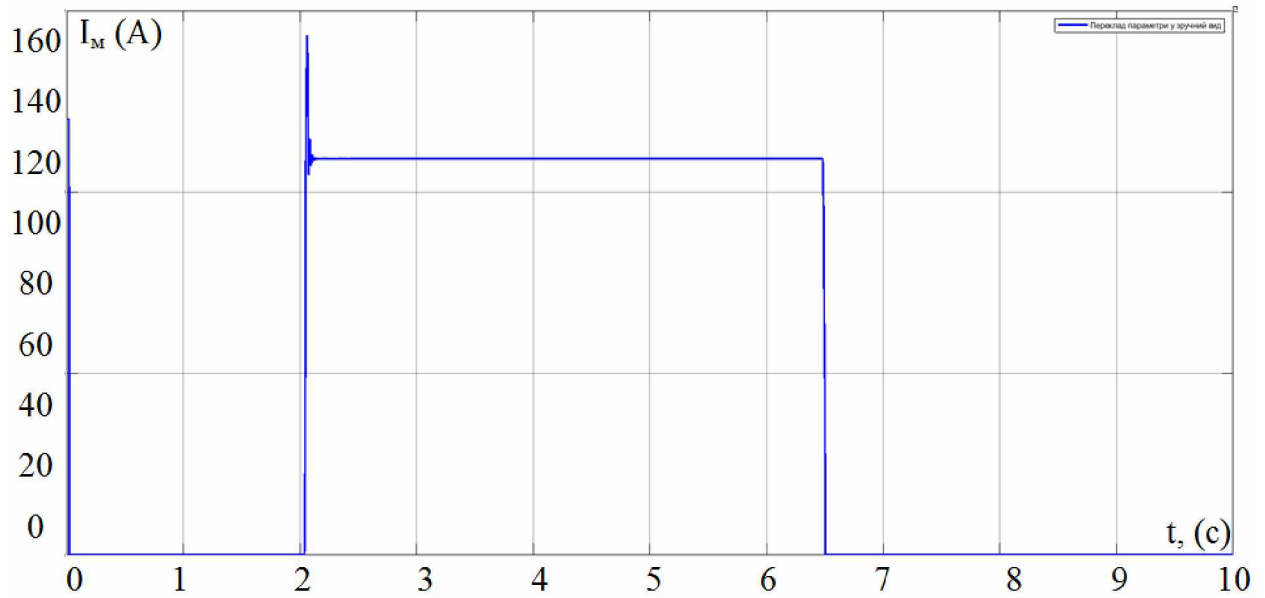


Рисунок 4.6 – Діаграма значень діючого струму, що був відміряний у фазі
(схема рис. 4.1)

На рис. 4.7 наведено струм на трифазному вимикачі поблизу навантаження – трифазної послідовної лінії RLC .

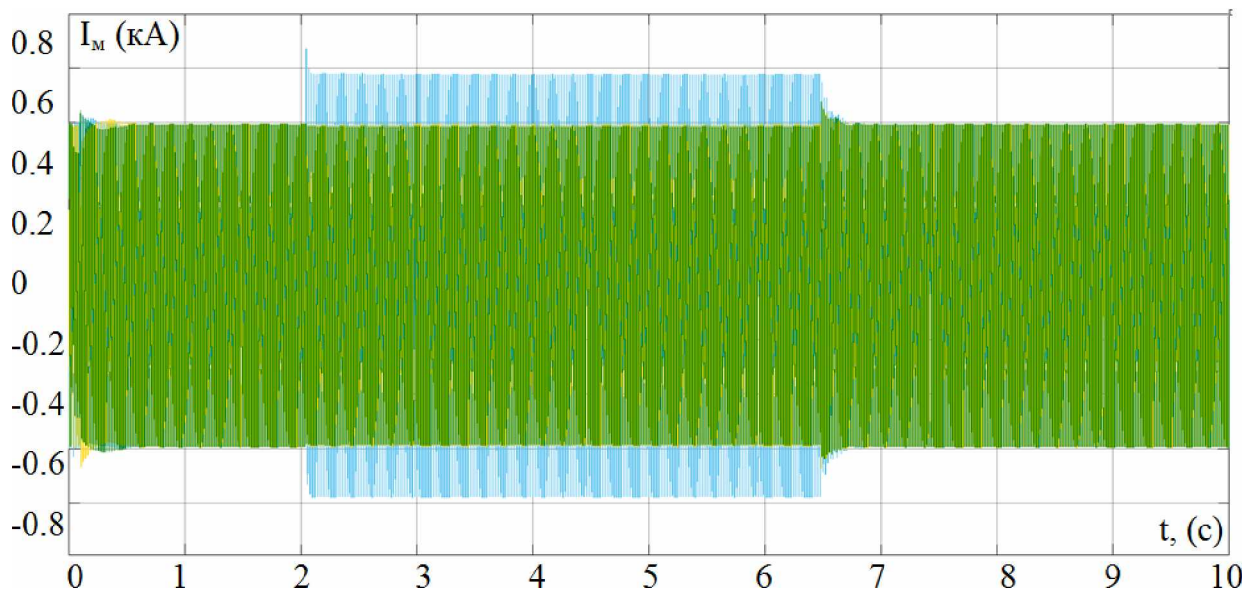


Рисунок 4.7 – Струм на трифазному вимикачі, біля навантаження –
трифазної послідовної лінії RLC (схема рис. 4.1)

Діаграма (рис. 4.8) напруги під час перемикання вимикачів у мережі без наявного РЗ.

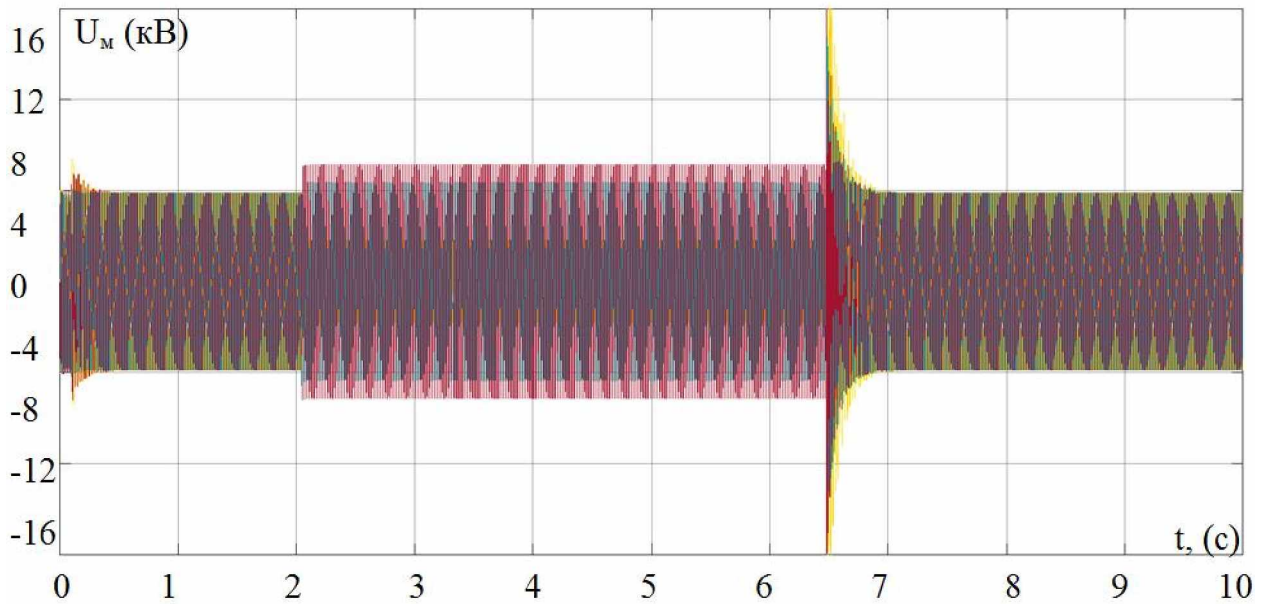


Рисунок 4.8 – Діаграма напруги під час переключення вимикачів у мережі без захисту

Діаграма (рис. 4.9) напруги під час перемикання вимикачів у захищеній електромережі.

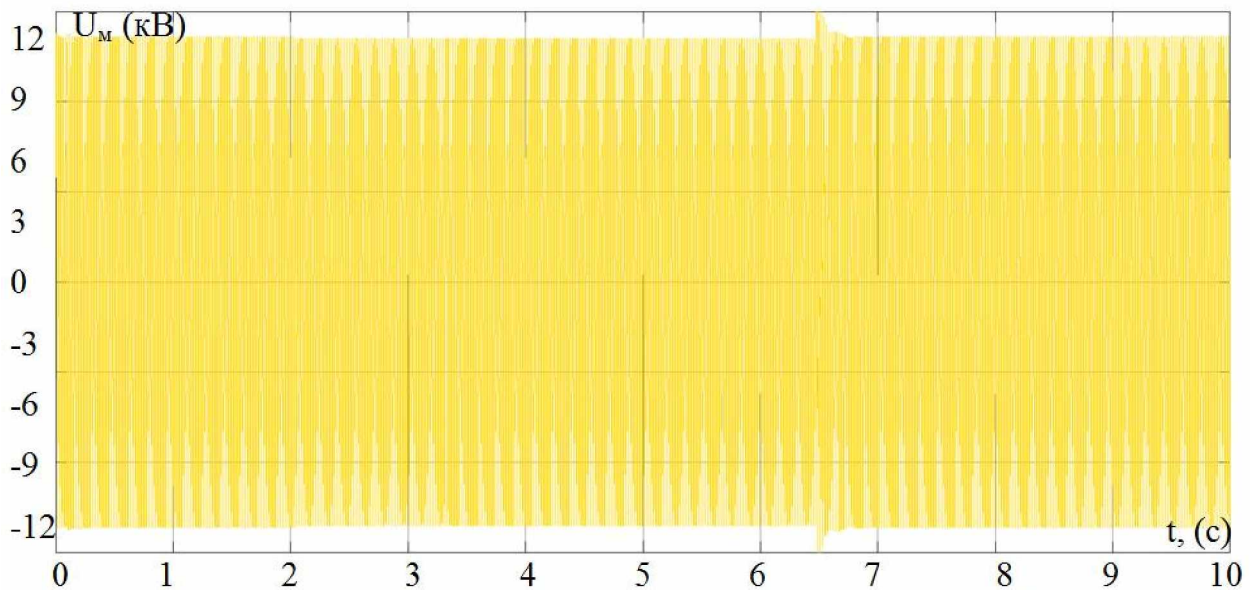


Рисунок 4.9 – Діаграма напруги при під час переключення вимикачів захищеній електромережі

Діаграма напруги на боці низької напруги (НН), котра на рис. 4.10. представлена

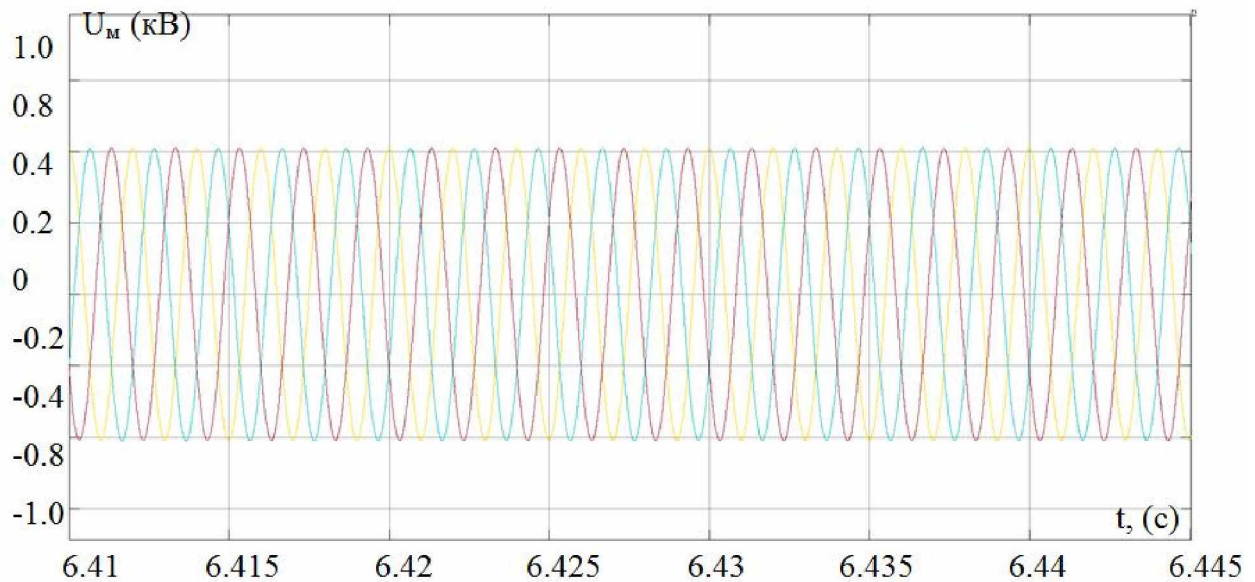


Рисунок 4.10 – Діаграма напруги на навантаженні із боку НН

На рис 4.11 показано перетворювач, котрий надає процес перетворення енергії з боку НН із використанням інвертора, котрих ПС струм у змінний сигнал.

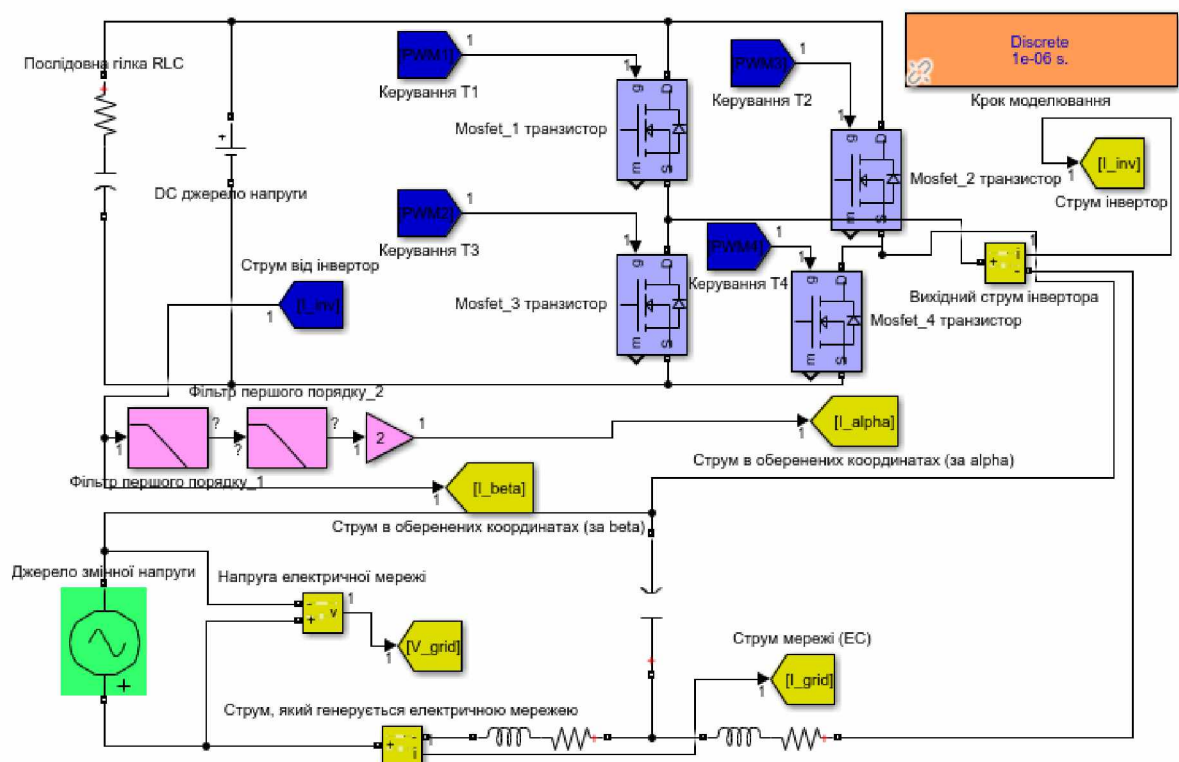


Рисунок 4.11 – Перетворення(конвертування) енергії з боку НН

Інвертор, що перетворює із постійного струму (сигнал на вході) у змінний струм (вихідний сигнал), підключений до електромережі, у топології використана повна мостова схема із використанням фільтра типу RCL для зменшення впливу гармонійних складових. Тоді рис. 4.12 наводить перетворення напруги на стороні НН в інверторі.

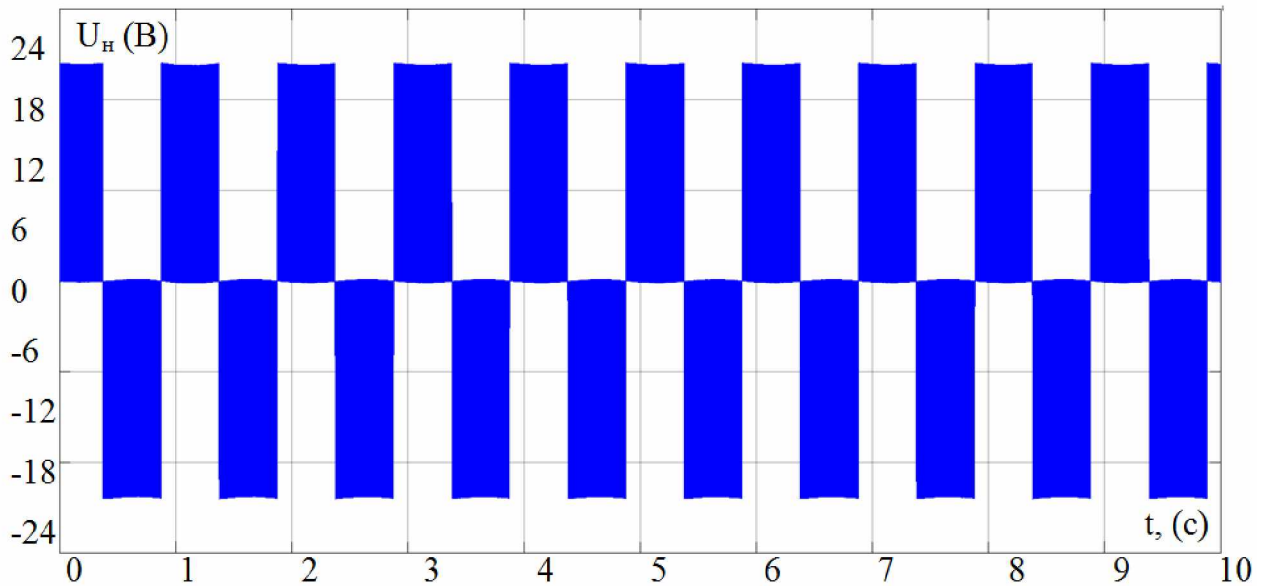


Рисунок 4.12 – Перетворення напруги на боці НН у інверторі

Рис. 4.13 наводить роботу мосту із прикладом з 4 транзисторів.

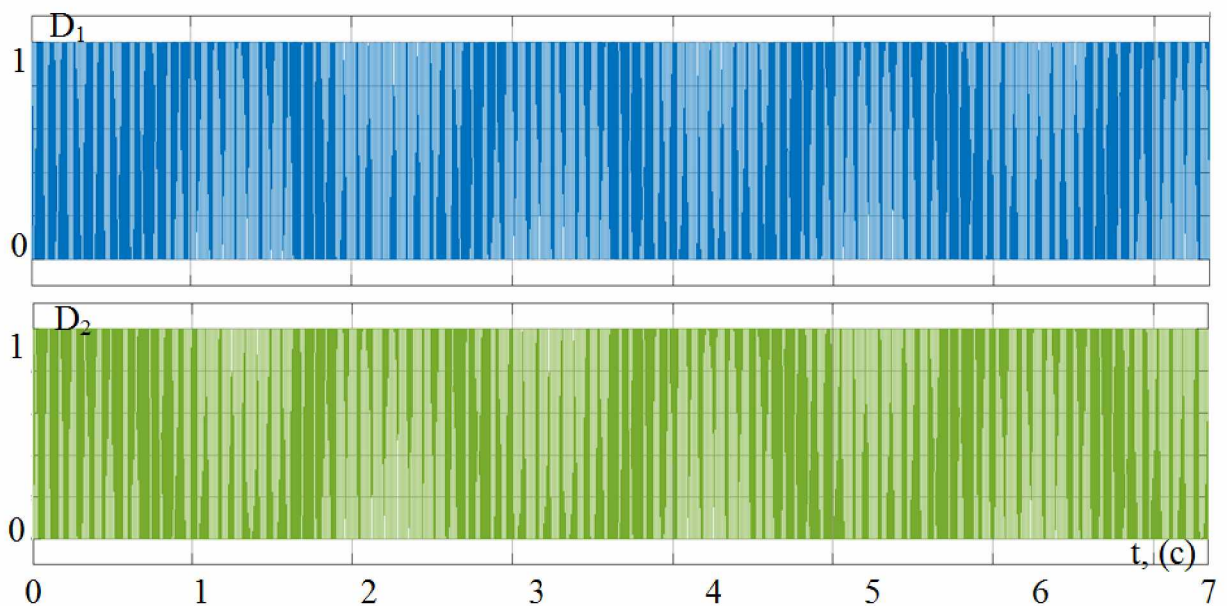


Рисунок 4.13 – Робота мостової схеми, наведений приклад 2 із 4 транзисторів

На рис 4.14 показано зміну викривлення графіку функції напруги від часу. Як бачимо протягом ПП у нас спостерігаються несуносоїдність, проте вона зникає, як тільки ЕС виходить на усталений режим.

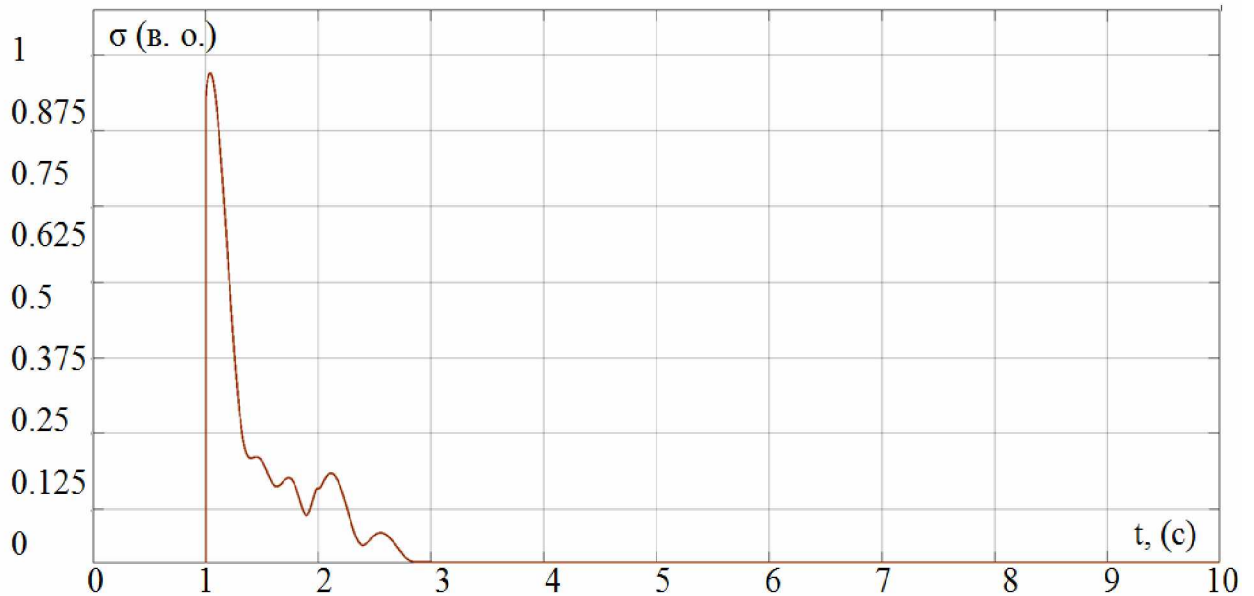


Рисунок 4.14 – Викривлення графіку функції напруги

На рис. 4.15 показано напругу на джерелі ПС в НН.

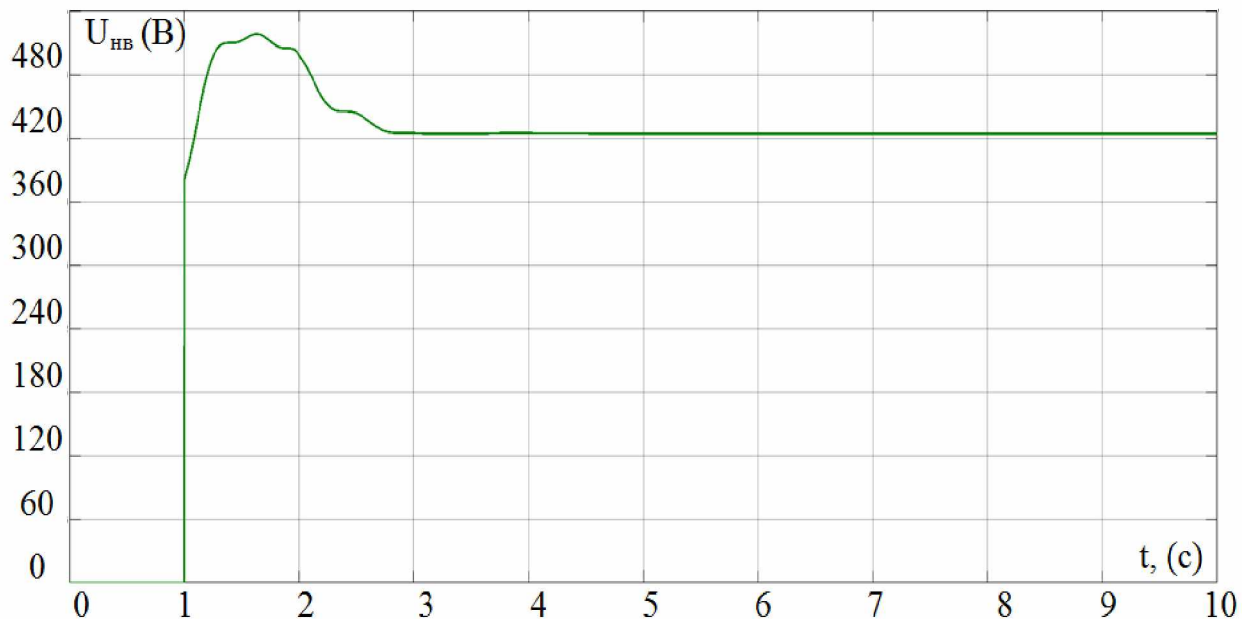


Рисунок 4.15 – Напруга на джерелі постійного струму у НН

Рис. 4.16 приводить характеристику струму на інверторі.

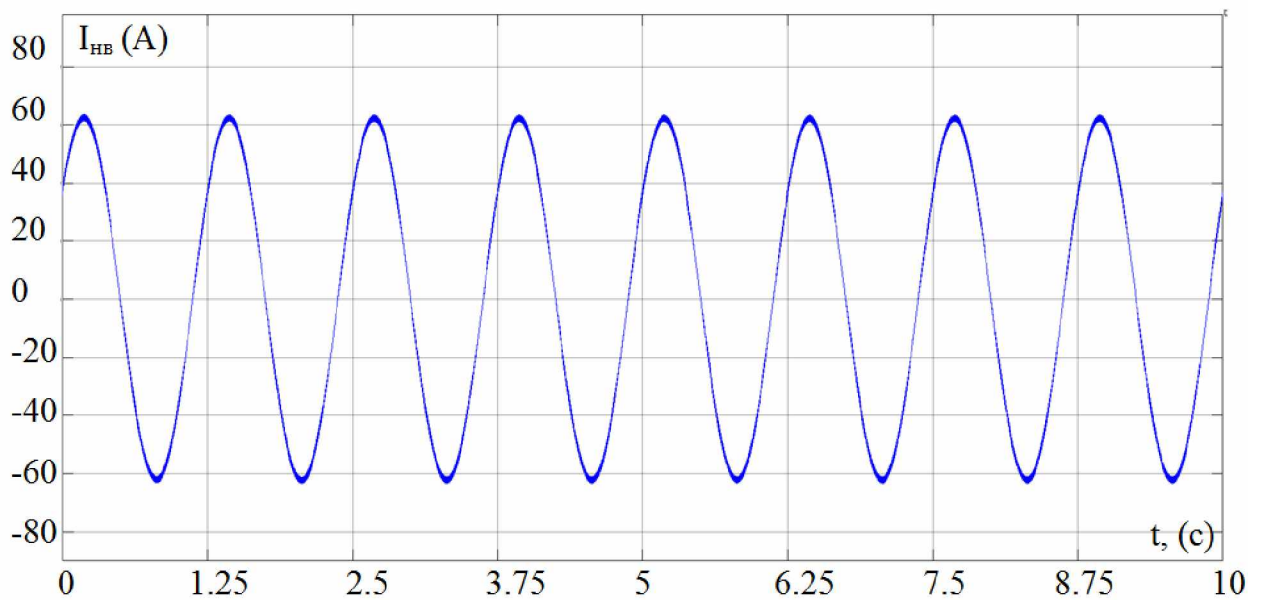


Рисунок 4.16 – Струмова характеристика на інверторі

А рис. 4.17 у свою чергу відображає напругу наявну на інверторі.

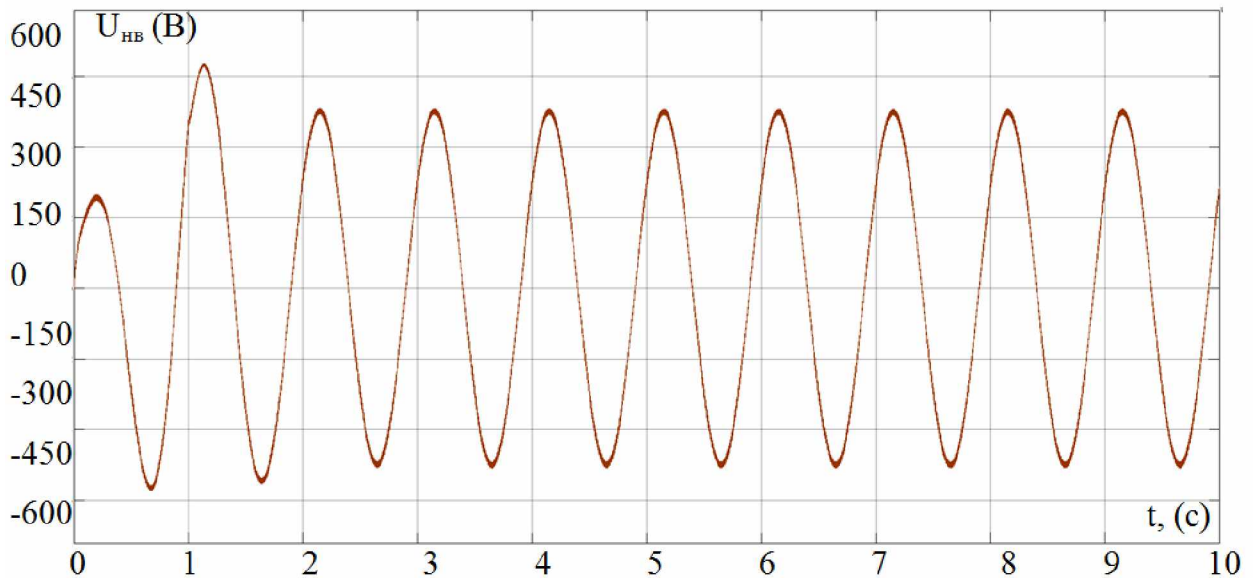


Рисунок 4.17 – Напруга на інверторі

Дана підсистема – мат. модель перетворювача із чистою синусоїдою наведена на рис. 4.18. У цій моделі була змога її досліджувати та налаштовувати окремо від ЕС.

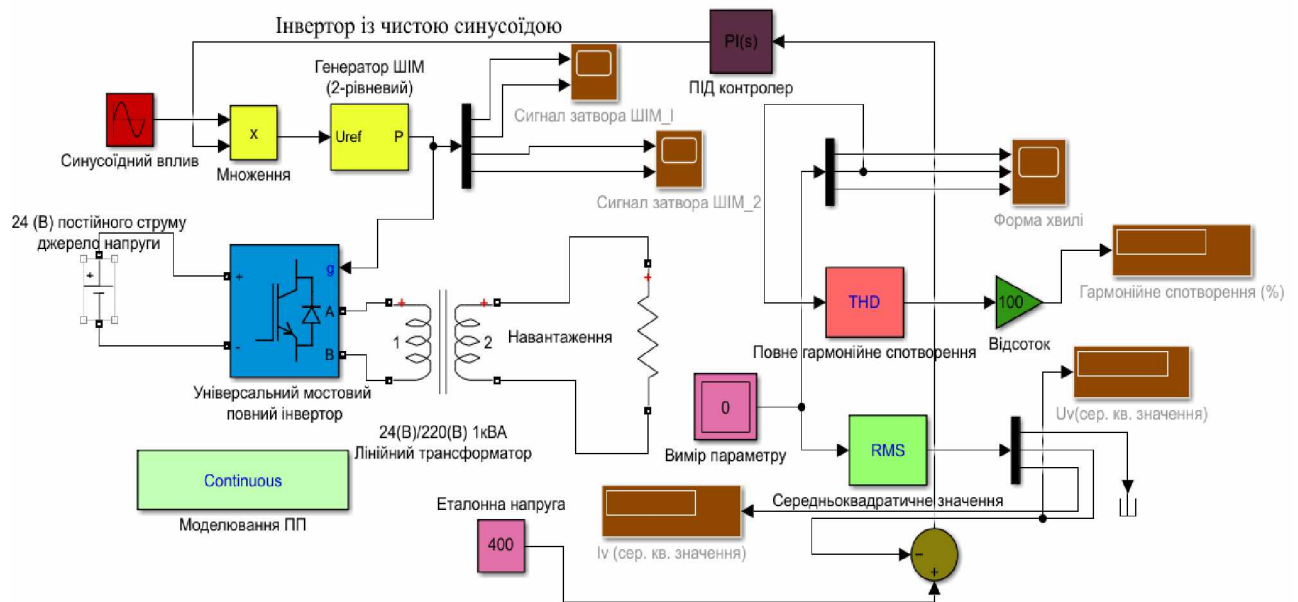


Рисунок 4.18 – Математична модель перетворювача із чистою синусоїдою

Отже, отримані графіки і діаграми служать для візуалізації та пояснення результатів дослідження математичної моделі електроенергетичної системи, і також для обґрунтування показників та характеристик у різних частинах системи.

ВИСНОВКИ

Протягом вступного розділу відбувалось визначення основних напрямів у розробці заходів із покращення основних енергетичних характеристик на ділянці електромережі 10/0.4 (кВ). В ході даного аналізу електромережі були визначені основні напрямки для покращення енергетичних характеристик. Це включає оцінку стійкості мережі до відключень та заходи для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів, дослідження питомих втрат електроенергії під час передачі на низьконапругі лінії та методи зниження цих втрат, аналіз реактивної потужності в мережі та розробку заходів для її компенсації з метою підвищення коефіцієнта потужності, а також дослідження параметрів якості електропостачання, таких як напруга, частота, гармоніки, та визначення способів їх покращення.

У другому розділі наведено результати розрахунку потужності КП. Для цього були обрані комплектні КУ типу КРПН-0.4-360УЗ як джерела реактивної потужності. Кількість конденсаторних установок була вибрана відповідно до кількості цехових трансформаторів.

Розглянуто радіальну схему електропостачання для даного цеху, проведено розрахунок розподільної мережі 0,4 кВ, вибрано відповідну апаратуру для управління та захисту, розроблено шафи, розглянуто провідники, які живлять установку, і проведено розрахунок втрат напруги на кінці мережі.

У рамках проекту вирішувалися різні завдання, включаючи розрахунок електричних навантажень у кожній технологічній ланці підприємства, вибір та розробку схеми підключення трансформаторних підстанцій, підбір силових трансформаторів, компенсацію реактивної потужності, вибір та розрахунок обладнання підстанцій і релейного захисту трансформаторів, проведення захисного заземлення та розгляд питання про забезпечення живлення автономного.

Застосована мат. модель системи електричного постачання, яка дозволяє оптимізувати електричне споживання та забезпечити надійне та ефективне функціонування виробництва.

Загалом, робота містить детальний аналіз та практичні розрахунки, спрямовані на покращення енергетичних характеристик системи електропостачання підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. І. І. Яремак., «Керування системами електропостачання і електроспоживання»: конспект лекцій, м. Івано-Франківськ вид-во: ІФНТУНГ, р. 2022. – 130 с.
2. Маліновський А. А., Хохулін Б. К., «Основи електроенергетики і електропостачання»: підр., друге видавництво, перероб. і допов.. – м. Львів : в-во: Львівська політехніка, р. 2009.– 436 с..
3. Дорошенко О. І., Сарахман Ю. Г., Дручина Т. О., // «Компенсація за реактивною потужністю неробочого ходу у силових трансформаторах зі вторинною напругою 0.4 (кВ)» / Електротехнічні та комп'ютер. системи. – р. 2018. - зб. № 28.- 154-160 с..
4. Дранкова А. О., Красновський І. І., Міхайков С. С., Муха М. Й., «Підвищення якості електричної енергії шляхом застосування пасивної фільтрації у електромеханічних системах із нелінійним навантаженням.» Електротехнічні і комп'ютер. системи. – р. 2018. – зб. № 27.- 118-124. с.
5. Є. І. Бардик, «Моделювання та оцінка ризику у відмові системи електропостачання у власних потреб АЕС від незалежних джерел живлення.» вид-во. «Наук. вісник НТУ України "КПІ – р. 2015. – зб. № 2. –7-18 с..
6. І. П. Білаш, О. А. Савченко, «Математична модель захисту повітряних ЛЕП 0.38–10 (кВ) від ожеледиці зі збереженням електропостачання у споживачів»// Електрифікація і автоматизація сільського господарства. – р. 2004. – зб. № 3. – 29-35 с..
7. Р. Б. Гаврилюк, «Математичні методи і моделі систем електропостачання»: друге видавництво, конспект лекцій – м. Івано-Франківськ вид-во: ІФНТУНГ, р. 2010. – 122 с..
8. І. Д. Галушак, Гладь І. В., Ожоган В. А., «Електротехніка і електропостачання: конспект лекцій / – м. Івано-Франківськ вид-во: ІФНТУНГ, р. 2013. – 96 с.

9. В. І. Гудим, Д. Мамцаж, С. П. Яцишин, «Визначення коефіцієнту спотворення напруги у системах електропостачання» // Вимірювальна техніка та метрологія : міжвід. наук.-техн. зб. / під ред. Б. І. Стадник – м. Львів вид-во : Львів. політехніка, р. 2019. – тир. 80, вип №3. – 64-72 с..

10. Курляк, П. О., Бацала Я. В., «Електронні пристрої систем електропостачання»: лаб. практикум– Івано-Франківськ вид-во: ІФНТУНГ, р. 2017. – 74 с.

ДОДАТОК А.

«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ»

Студента Данило СОСЄДОВА, групи ЕЛКм – 22

Призначення документа	Документ	Умовні позначення	Зміст зауваження

Дата _____

Підпис _____

(ПІБ)