

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Заходи з підвищення показників якості електроенергії електроприймачів
з напівпровідниковими перетворювачами напруги**

Виконав: студент групи ЕЕМ-20

Тимур ДЕРИЧЕНКО

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

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

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

Кривий Ріг 2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ДЕРИЧЕНКО Тимур Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Заходи з підвищення показників якості електроенергії
електроприймачів з напівпровідниковими перетворювачами напруги

1. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація
електротехнічної системи. Завданням є розрахунок характеристик та
дослідження роботи електротехнічного комплексу на новій елементній базі
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Характеристика електротехнічної системи, вибір електрообладнання та
розрахунок статичних характеристик; II. Обґрунтування і розробка системи
керування; III. Аналіз якісних показників розробленої системи на ЕОМ.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Загальний вид механізму та технічна характеристика; II.
Розрахунок статичних характеристик електротехнічної системи; III.
Елементна база електротехнічної системи; IV. Система керування; V.
Модель для дослідження динамічних процесів; VI. Дослідження якісних
показників розробленої системи на ЕОМ.-

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Юрій ОСАДЧУК		
II	Юрій ОСАДЧУК		
III	Юрій ОСАДЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Основні відомості про технологічний механізм	10.05.24
2	Обґрунтування і вибір електротехнічної системи	12.05.24
3	Розрахунок потужності	17.05.24
4	Розрахунок перетворювача	19.05.24
5	Розрахунок та побудова характеристик	24.05.24
6	Обґрунтування і вибір структури системи керування	26.05.24
7	Розрахунок параметрів елементів системи керування	28.05.24
8	Розробка алгоритмів та програмного забезпечення	31.05.24
9	Моделювання динамічних режимів	04.06.24
10	Аналіз якісних показників розробленої системи	07.06.24

Дата видання завдання 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Тимур ДЕРИЧЕНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Юрій ОСАДЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Заходи з підвищення показників якості електроенергії електроприймачів з напівпровідниковими перетворювачами напруги»

Об'єкт дослідження – електричні системи з напівпровідниковими перетворювачами.

В першому розділі проведений аналіз режимів споживання електричної енергії, адже кожен режим роботи індукційної печі супроводжується різними показниками споживання електричної енергії, активної та реактивної потужності, зміною величини струму та коефіцієнта потужності за цикл плавки металу.

У другому розділі проведено аналіз сучасних джерел живлення індукційної печі, якими являються тиристорні перетворювачі частоти, що оптимально відповідають практично нескінченному різноманіттю потреб, виникаючих при індукційному нагріві. Специфікація застосування індукційного нагріву у кожному конкретному випадку визначає частоту, потужність, та інші параметри, такі як напруга, струм, коефіцієнт потужності.

У третьому розділі на основі вищезгаданих досліджень та з використанням однієї з сучасних систем керування було розроблено функціональна схема контролю за режимами електроспоживання індукційної установки, основною задачею якої являється, в результаті виникнення небалансу в системі між навантаженням та реактивними елементами паралельного інвертора струму, притримувати корегувати та стабілізувати до заданого рівня номінальні параметри системи, головним з яких являється коефіцієнт потужності, який змінюється відповідно до зміни активної та реактивного опорів системи індуктор-завантаження.

ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ,
НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ,
КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ

											К.
мн.	Арк.А		Лист	дпис	Дата						
ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-01											

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз режимів електроспоживання	7
1.1. Режими роботи	7
1.2. Аналіз режимів споживання електричної енергії та рівня втрат	12
1.3. Сучасні системи підвищення ефективності енергоспоживання	17
Розділ 2. Електроенергетичні процеси в системі електропостачання	20
2.1. Джерела живлення	20
2.2. Особливості енергоспоживання	24
2.3. Вимоги до пристроїв компенсації	26
2.4. Керування режимом електроспоживання.....	27
Розділ 3. Підвищення ефективності енергоспоживання в мережі	31
3.1. Розробка силової частини системи управління	31
3.2. Розробка функціональної схеми системи контролю електроспоживання	35
3.3. Алгоритми управління режимом роботи.....	37
Висновки	42

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-01	К.
мн.	Арк.А	Лист	дпис	Дата		

Вступ

Сучасні системи електропостачання забезпечують споживачів електричної енергії.

При цьому електричні приймачі мають відповідати вимогам енергетичних компаній.

Основними показниками які характеризують взаємодію між енергетичною компанією та підприємством-споживачем є спожита активна та реактивна потужність.

По даним електроспоживання можна зробити оцінку ефективності електроспоживання.

Значення активної та реактивної потужності протягом доби може змінюватись у залежності від режиму роботи.

Тому слід розраховувати та узгоджувати ці складові при визначені коефіцієнту потужності.

Дослідження зміни коефіцієнту потужності у залежності від зміни завантаженості є актуальним завданням.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-01	К.
мн.	Арк.А	Лист	дпис	Дата		

Розділ 1. Аналіз режимів електроспоживання

1.1. Режими роботи

Розглянемо електричні принципи схеми що набули розповсюдження на промислових підприємствах.

Для прикладу розглянемо трифазний трансформатор при різному підключенні його обмоток до мережі.

Також розглянемо схему заміщення такого підключення до мережі живлення.

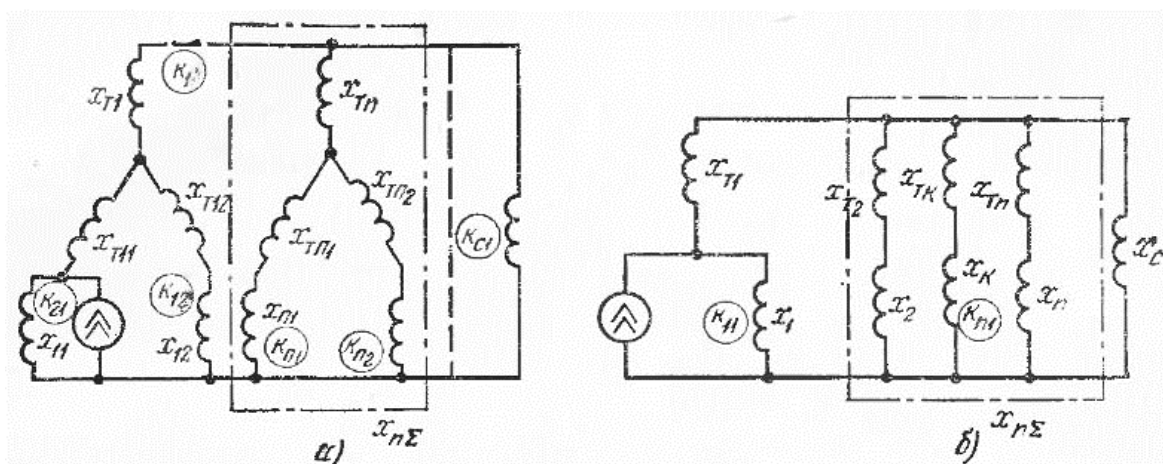


Рисунок 1.1 – Система живлення.

Така система розташована у промисловому підприємстві що виконує технологічне завдання по нагріванню та обробці заготовок з використанням нагрівальної печі.

Від режиму роботи цього обладнання залежатиме режим енергоспоживання усього підприємства.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04			
Зм.3	Лист	№ докум.	ПідписПі	Дата				
Розробив	ДериченкоТ.М				Розділ 1	Літ.	ЛистАр	Листів
Перевірів	Осадчук Ю.Г.						77	13
Реценз.					КНУ ЕЕМ-20			
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.							
Затвердив	ПересунькоІ.І.							

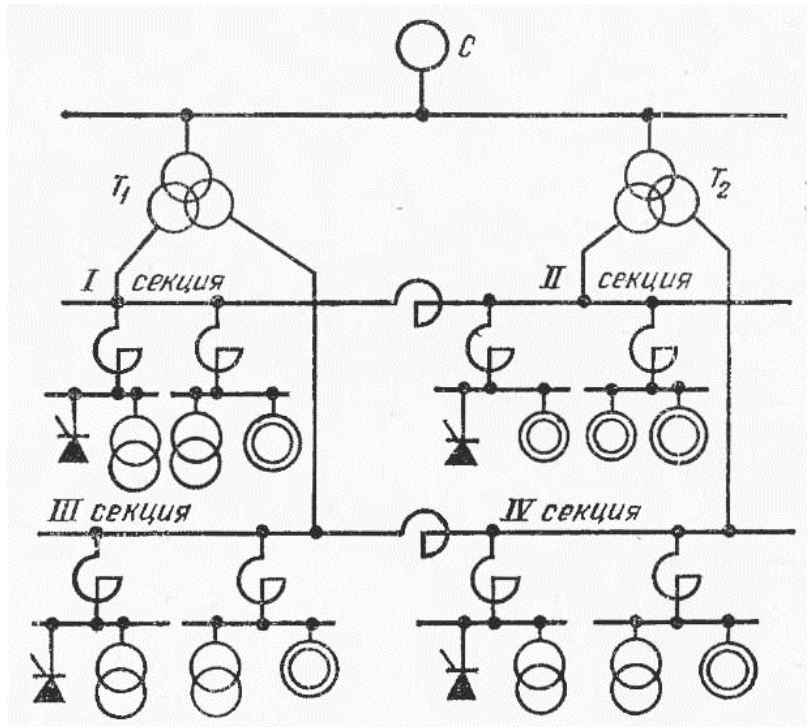


Рисунок 1.2 – Розгалужена мережа живлення

Схема (рисунок. 1.3, а) являється повною електричною схемою заміщення, а схеми б) і в) спрощені, де: r_1 - активний опір; $x_{1\phi}$ - внутрішній індуктивний опір.

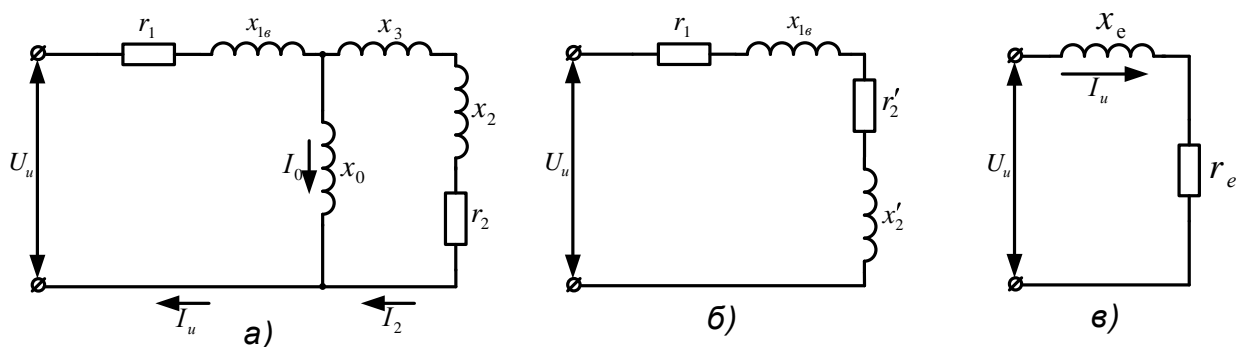


Рисунок 1.3 – Повна а) і спрощена б), в) електрична схема заміщення.

Розрахунок параметрів схеми заміщення наведено у додатку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Електрична піч складає собою індуктор режим його роботи регулюється частотною характеристикою відповідно до характеристик та залежностей активного та реактивного опорів.

Діапазон зміни частоти у межах від 10 до 400 Гц.

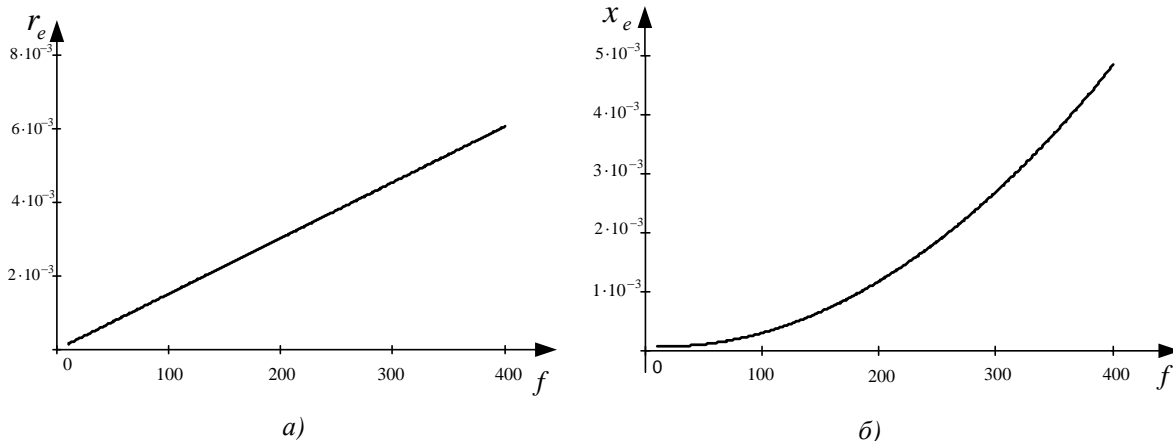


Рисунок 1.3 – Зміна активного r_e а) і реактивного x_e б) опру в залежності від частоти.

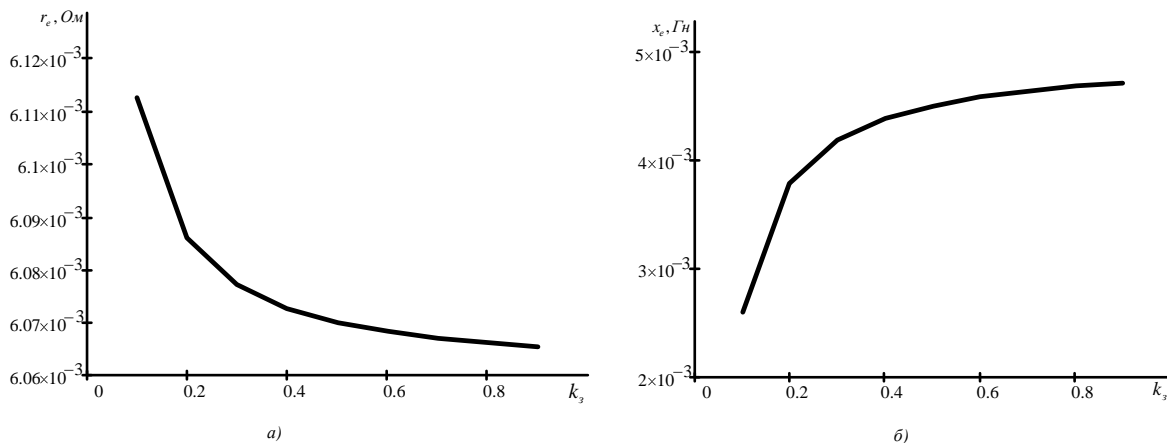


Рисунок 1.4 – Зміна активного r_e а) і реактивного x_e б) опру в залежності від коефіцієнта загрузки.

Розглянемо двоконтурну схему живлення типового індуктора електричної пічі.

Завдяки ємнісним батареям є можливість перерозподілу потужності у плечах схеми індуктору.

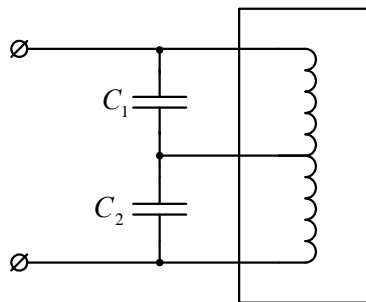


Рисунок 1.5 - Двоконтурна схема живлення.

Принципова електрична схема індуктору складається блоку випрямлення та інвертування.

При цьому у блоці інвертування виконується зміна частоти струму у залежності від режиму роботи [2].

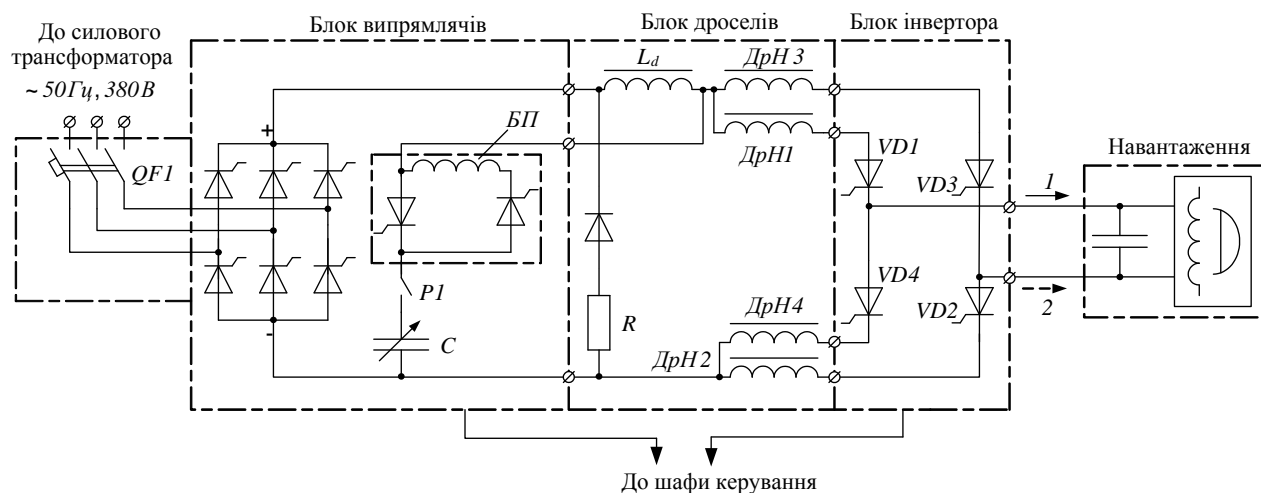


Рисунок 1.6 - Принципова схема тиристорного перетворювача частоти.

Принципова схема ланки навантаження складатиметься з двох зустрічно направлених ключів що дозволяє плавно регулювати споживану потужність [18].

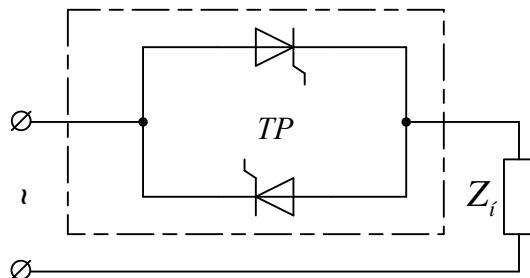


Рисунок 1.7 - Принципова схема включення навантаження через тиристорний регулятор.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04

Арк.

11

1.2. Аналіз режимів споживання електричної енергії та рівня втрат

Проведемо аналіз електроспоживання та енергетичних характеристик індукційної печі.

Відповідно до діапазону регулювання відбувається зміна енергетичних характеристик та відповідно спожитої активної та реактивної потужності установки.

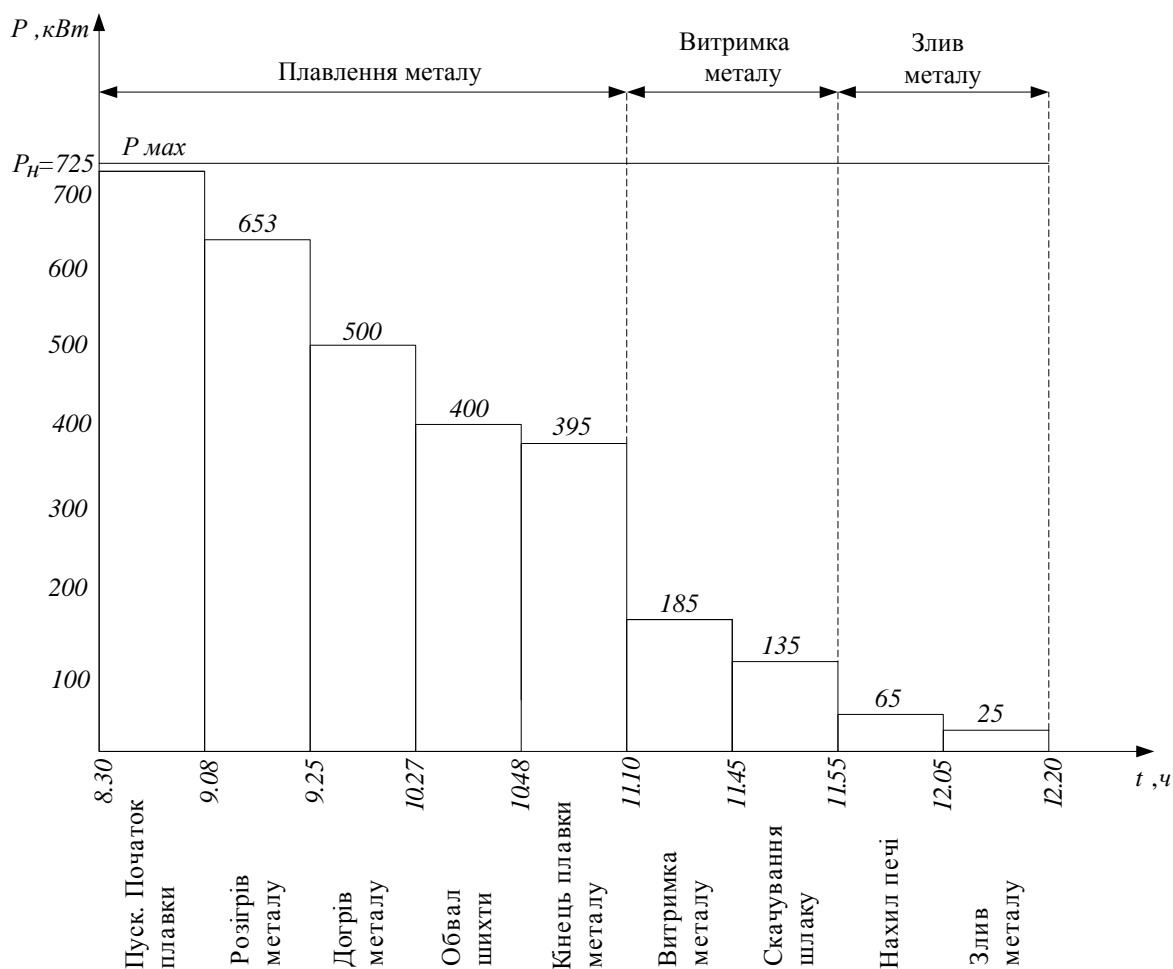


Рисунок 1.8 - Графік споживання активної потужності.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04

Арк.

12

Стабілізація потужності що передається до навантаження можлива завдяки реалізації енергії від мережі.

При цьому у великих межах змінюється питомий опір електричної установки.

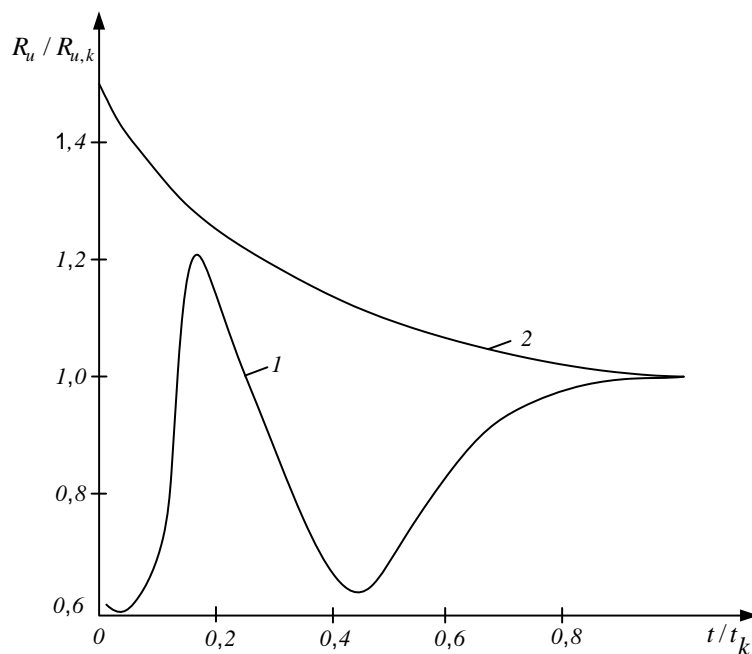


Рисунок 1.9 - Зміна активного опору.

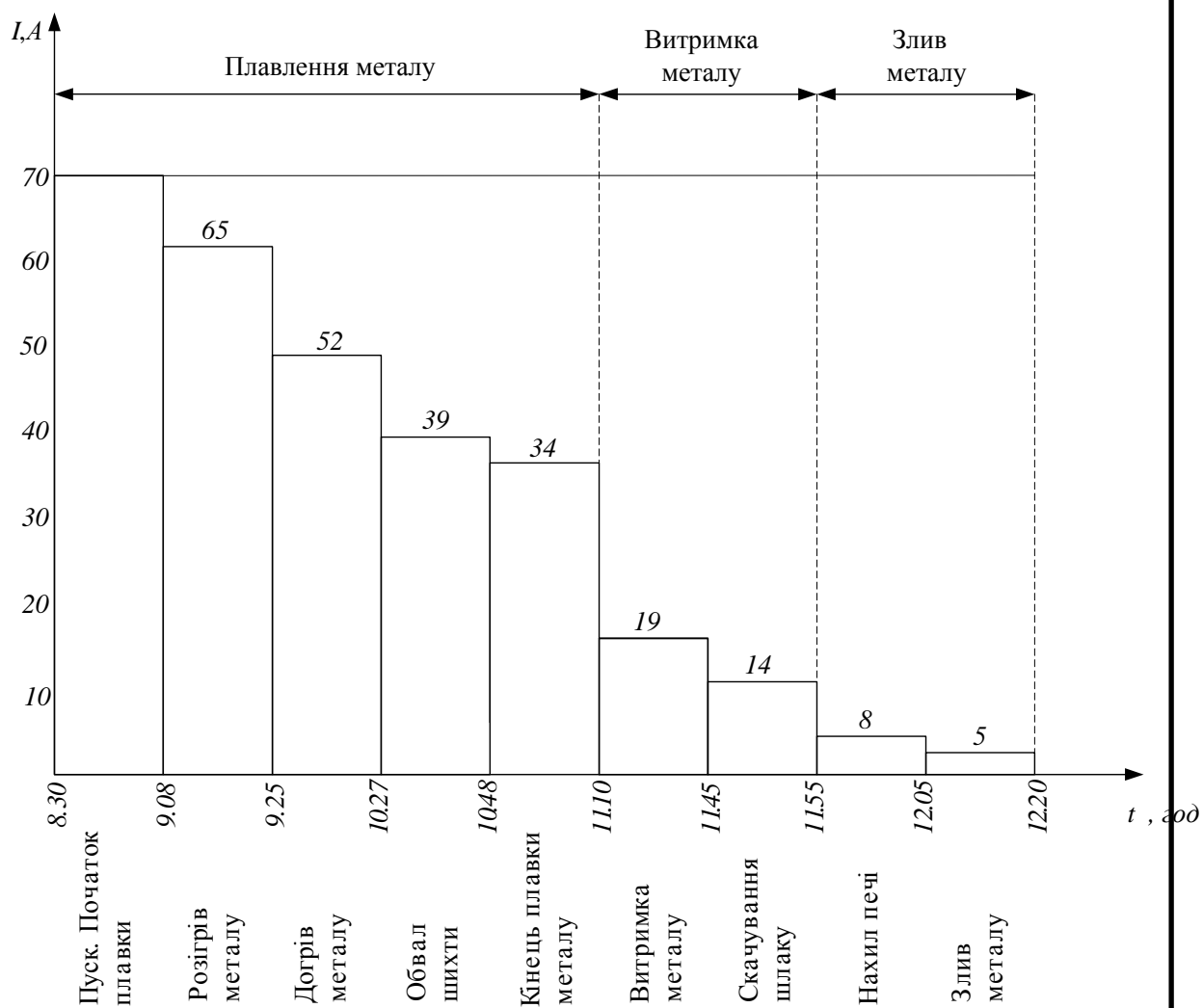


Рисунок 1.10 - Графік зміни струму.

Значення коефіцієнту потужності у змінному режимі роботи доволі мале.

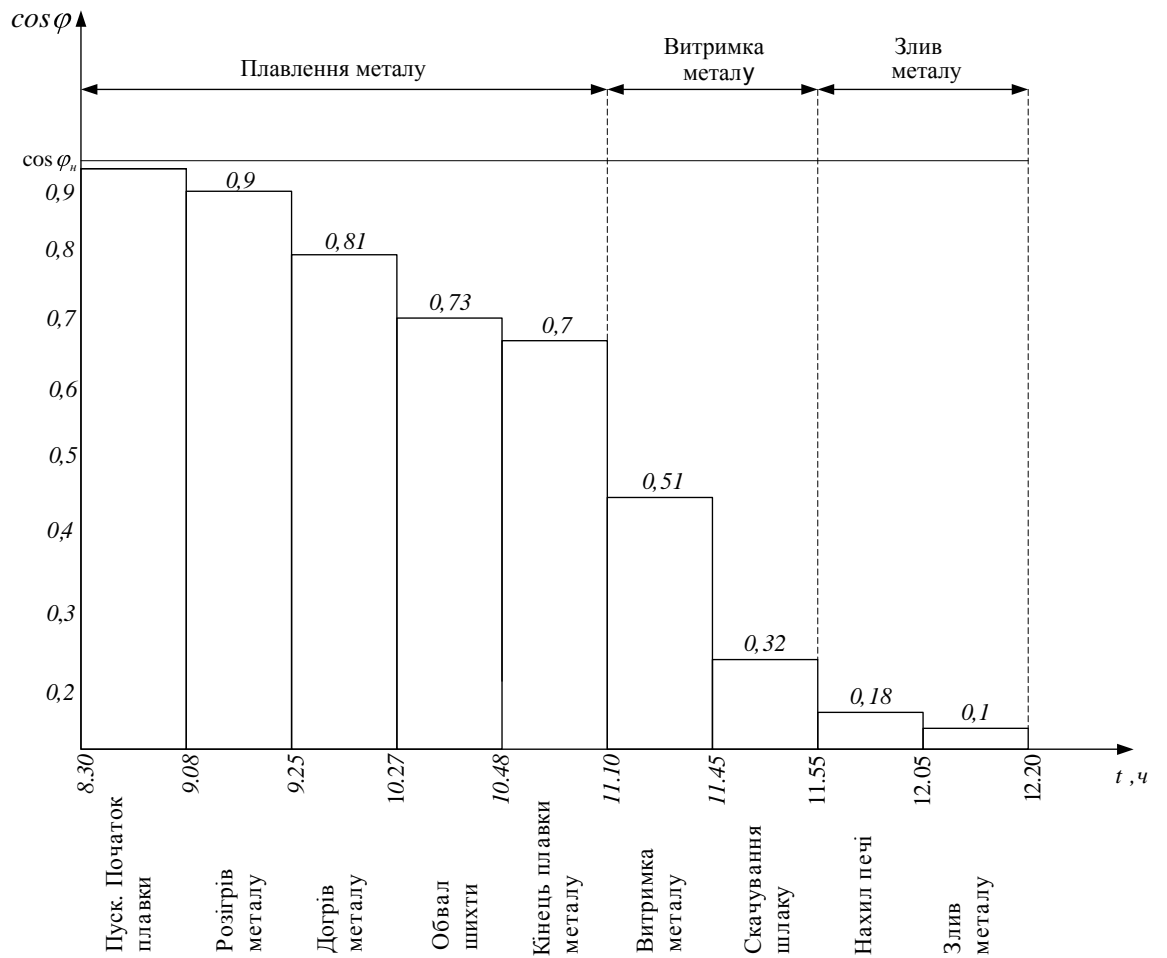


Рисунок 1.11 - Графік зміни $\cos\varphi$.

Складемо рівняння енергетичного балансу для характеристики режиму роботи.

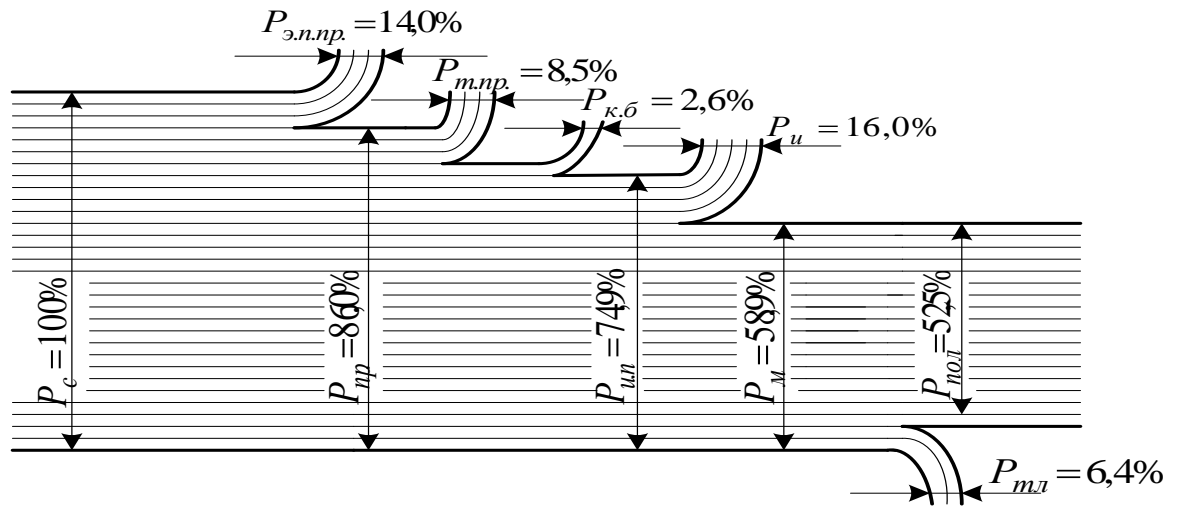


Рисунок 1.12 - Структура энергетического баланса.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04

Арк.

16

1.3. Сучасні системи підвищення ефективності енергоспоживання

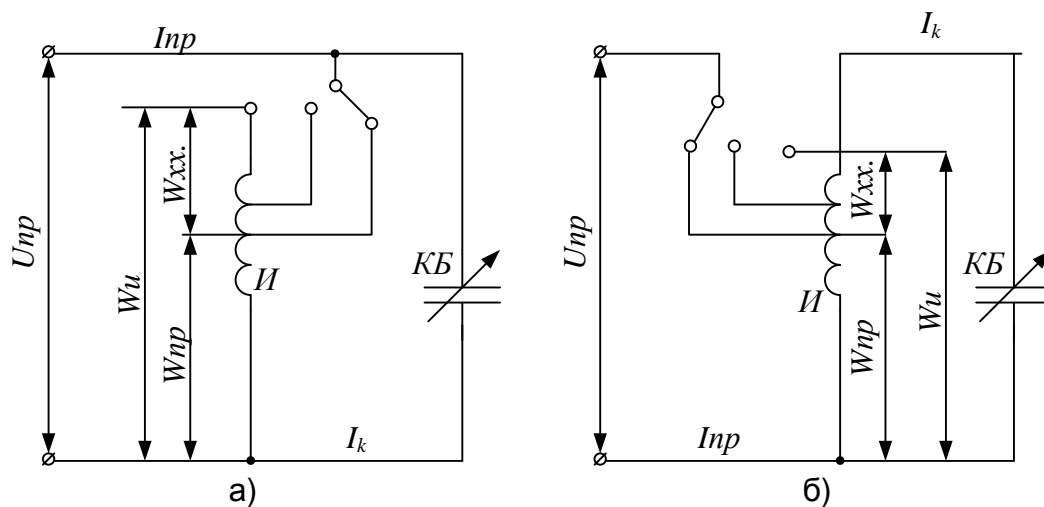


Рисунок 1.13. – Схеми регулювання.

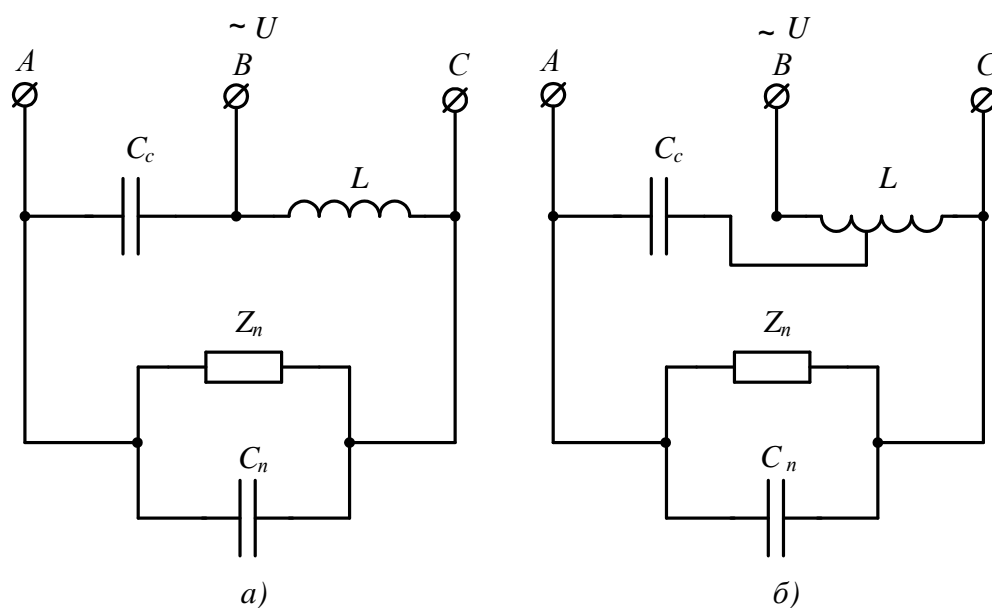


Рисунок 1.14 - Схеми симетрувальних пристроїв.

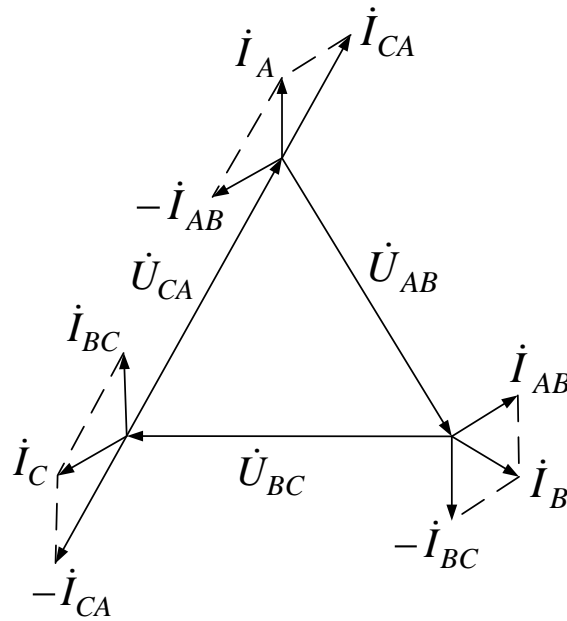


Рисунок 1.15 - Векторна діаграма напруги і струмів.

З векторних діаграм можна бачити суттєве зниження показників якості електроживлення.

Для підвищення якості електроживлення можна застосувати фільтро-компенсуючі установки.

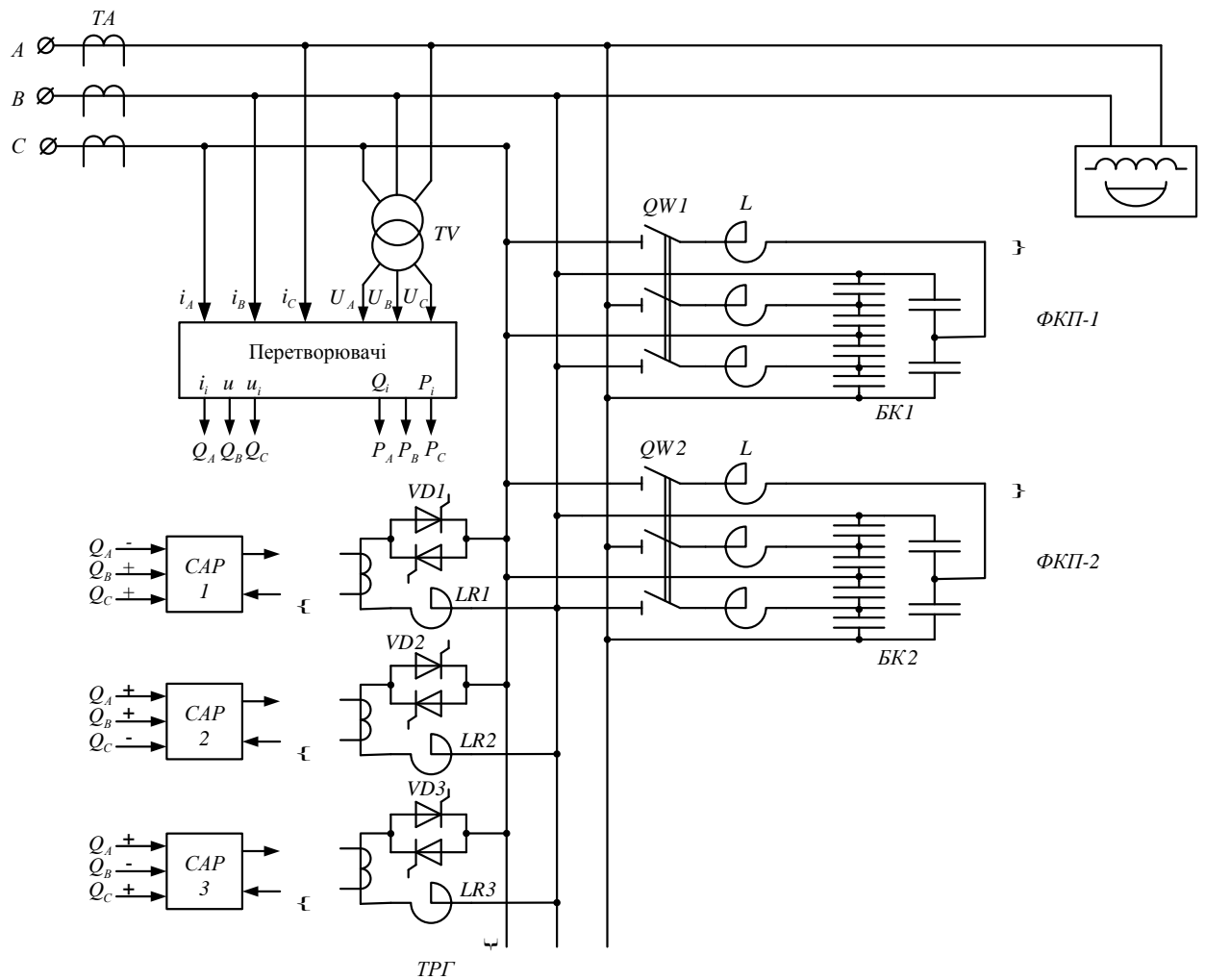


Рисунок 1.16 - Схема багатофункціонального статичного компенсуючого пристрою.

Фільтро-компенсуючий пристрій можна представити у вигляді багатофункціонального пристрою що складено на ключових елементах та регульованих реакторах.

Розділ 2. Електроенергетичні процеси в системі електропостачання

2.1. Джерела живлення

Розглянемо принцип роботи та регулювання характеристик електричної індукційної печі.

Змінювати частоту струму необхідно для виконання режиму роботи індукційної печі.

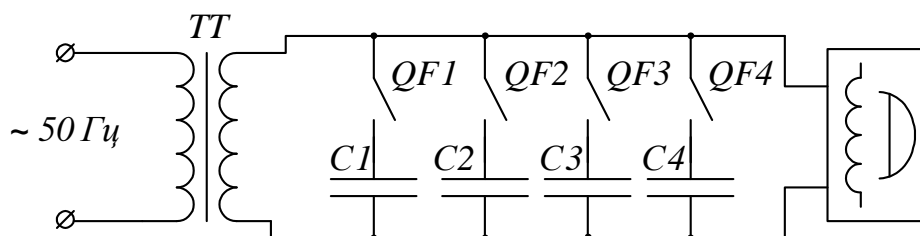


Рисунок 2.1 – Принципова схема живлення.

Можна бачити батарею конденсаторів що виконують функцію корегованого регулювання потужності у схемі живлення електричної установки.

Живлення відбувається через вторинну обмотку силового трансформатора.

Потужність установки регулюється відповідністю перемикання керованих ключів.

Схема відтворює резонуючий вплив між однорідними контурами у вторинному контурі живлення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Дериченко Т.М.				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Осадчук Ю.Г.					17	15	
Реценз.					КНУ ЕЕМ-20			
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.							
Затвердив	Пересунько І.І.							

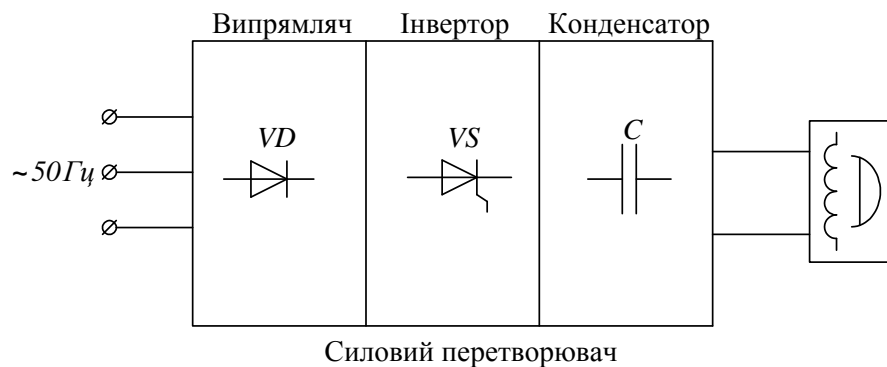


Рисунок 2.2 – Принципова схема системи.

Розглянемо схему електричну принципову перетворювача середньої потужності.

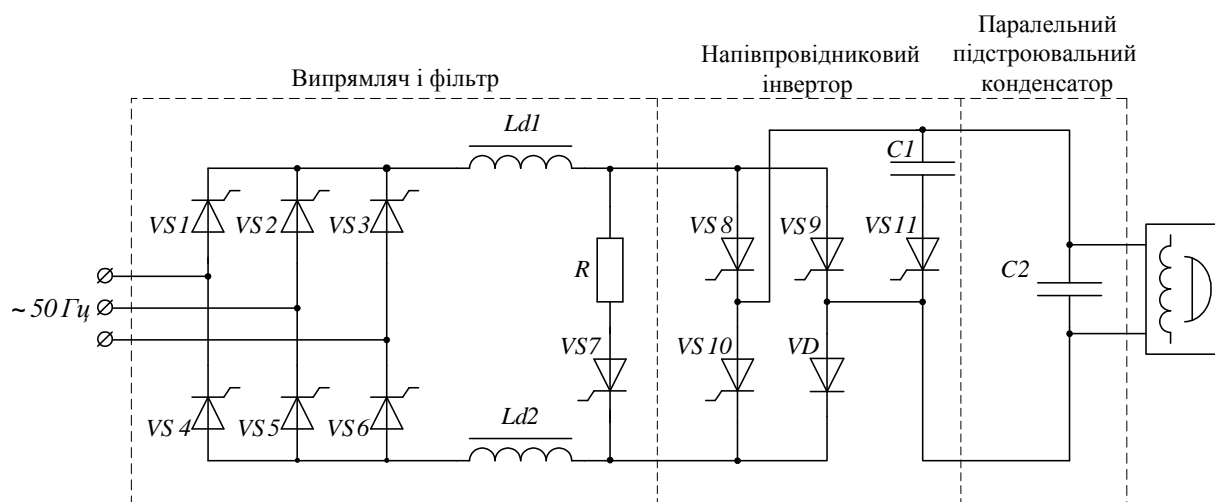


Рисунок 2.3 – Схема середньочастотної системи.

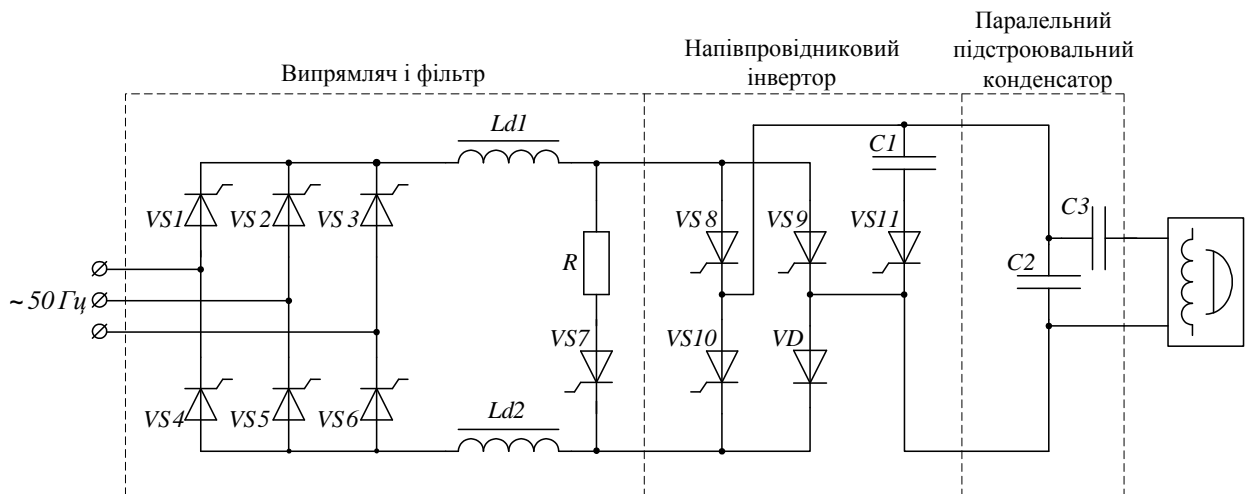


Рисунок 2.4 – Перетворювач з блоком конденсаторів.

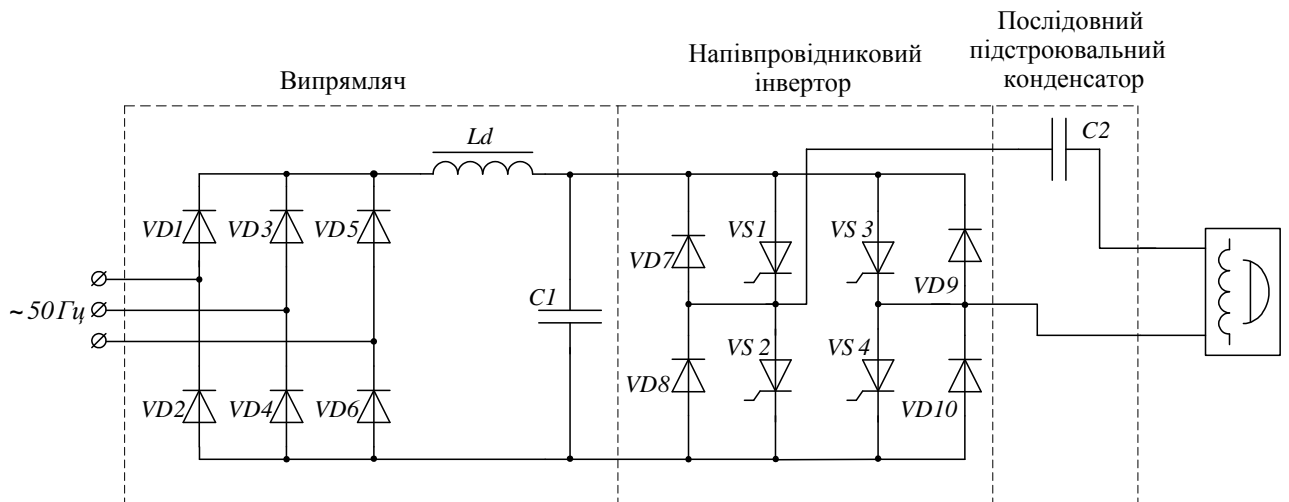


Рисунок 2.5 – Схема середньочастотної системи.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04

Арк.

22

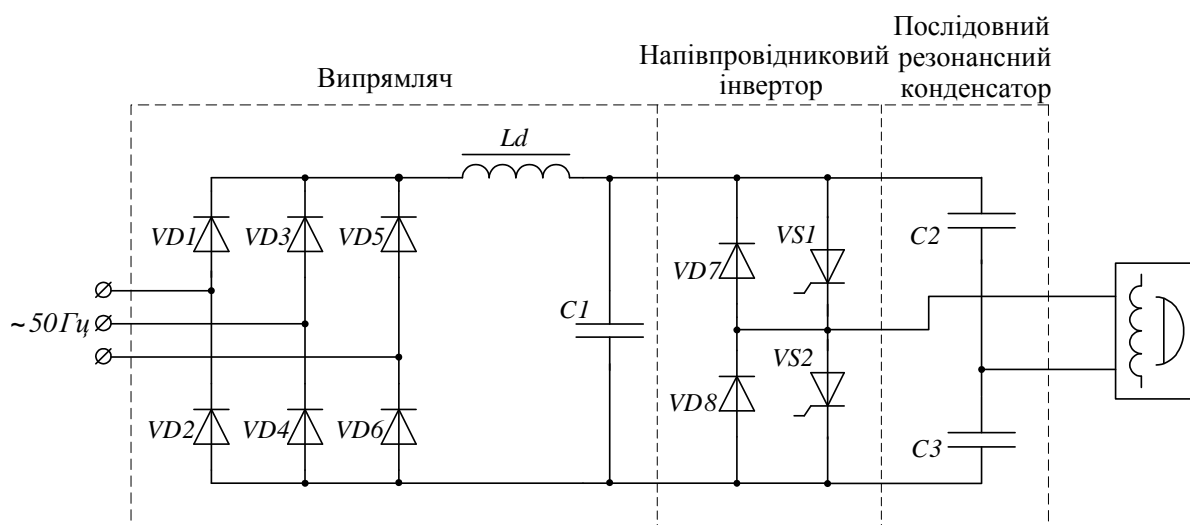


Рисунок 2.6 – Інвертор з блоком конденсаторів.

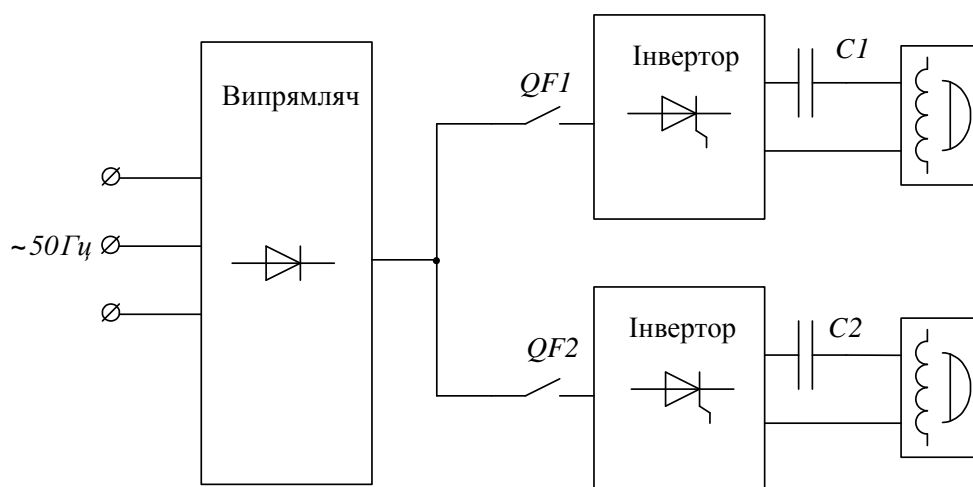


Рисунок 2.7 – Подвійний вихідний інвертор потужності.

2.2. Особливості енергоспоживання

Розглянемо енергетичні процеси що відбуваються при зміні режиму роботи живильного перетворювача.

Години циклу роботи впливають на втрати електричної енергії у контурі живлення у наслідок врегулювання теплових втрат електричної установки.

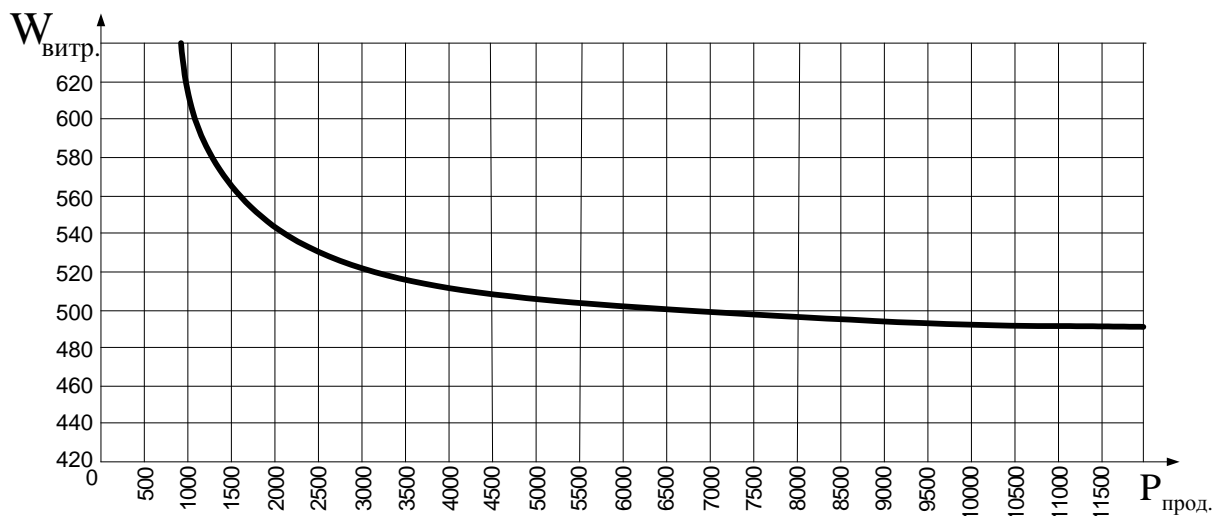


Рисунок 2.8 - Вплив щільності завантаження на витрату енергії.

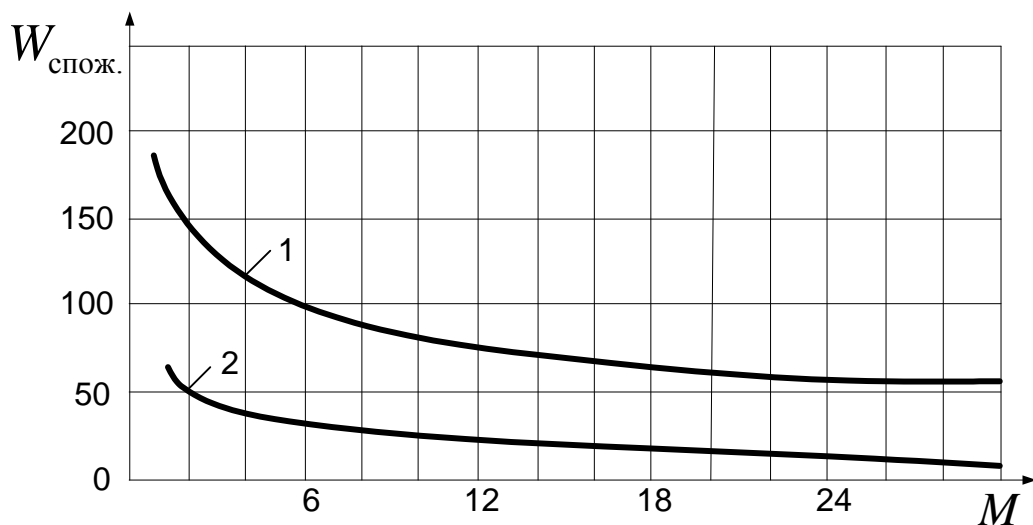


Рисунок 2.9 - Споживання енергії.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

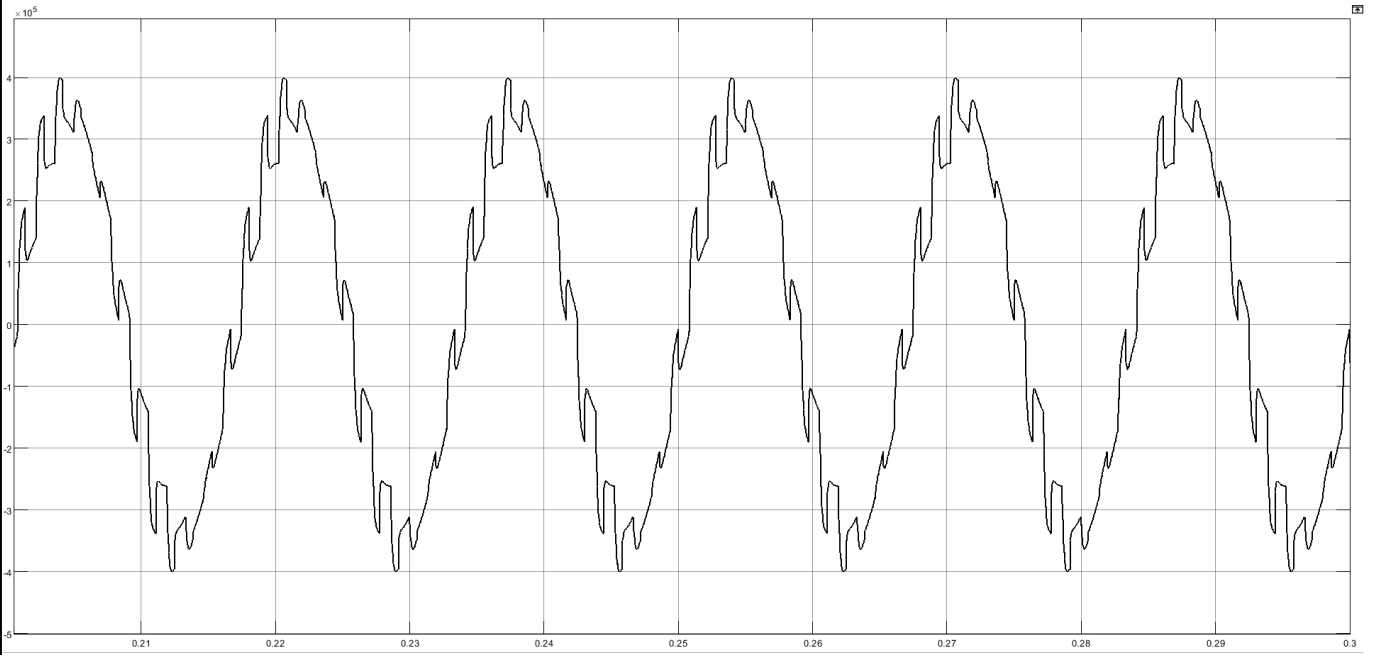


Рисунок 2.10 - Фазна напруга в мережі з перетворювачем частоти

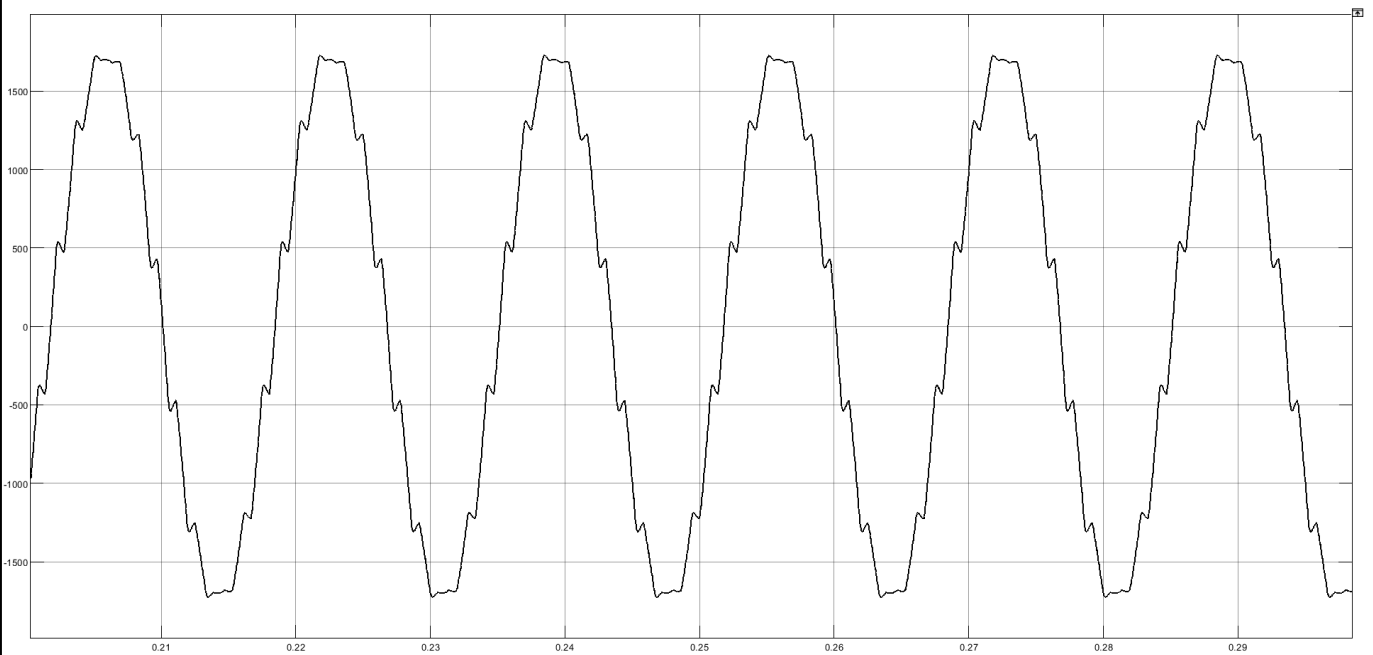


Рисунок 2.11 - Струми навантаження в мережі з перетворювачем частоти.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04

Арк.

25

2.3. Вимоги до пристроїв компенсації

Скорегуємо деякі технологічні аспекти режимів роботи технологічної установки.

Активна потужність що споживається може бути визначена у відповідних гармонійних складових.

Реактивні складові режиму повної потужності будуть відповідати виходячи з рівняння балансу вагових коефіцієнтів що також можна визначити за гармонійними складовими.

Перегрівання складових електричної установки може бути проявом неускожденості режимів роботи.

Баланс протягом технологічного режиму може змінюватись як в позитивну так і негативну сторону.

Цей режим характеризується неефективністю врівноваження складових відповідно до кутів керування.

Зменшити прояви негативного впливу можна завдяки регулюванню балансу потужностей у відповідних режимах роботи завдяки використуванню фільтро-компенсуючих установок.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.4. Керування режимом електроспоживання

Керування режимом енергоспоживання можна здійснювати завдяки врегулюванню роботи живлячого електричного устаткування інвертору струму при відповідних кутах керування.

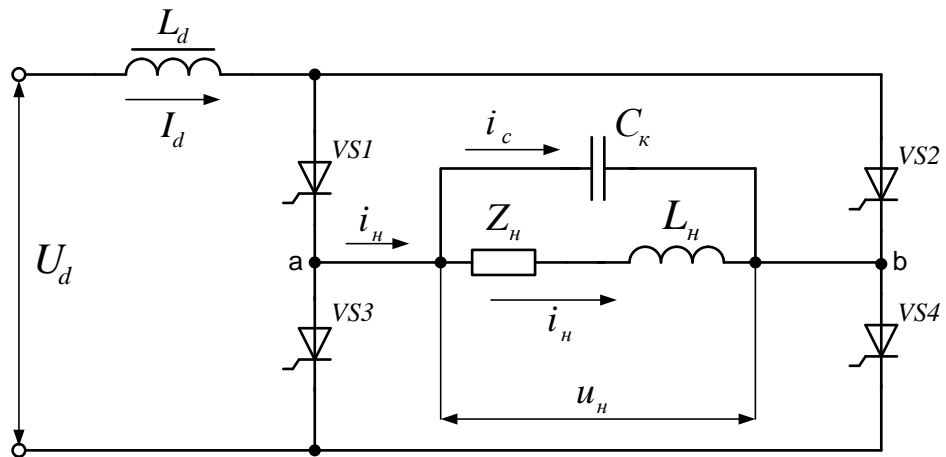


Рисунок 2.12- Схема паралельного інвертора.

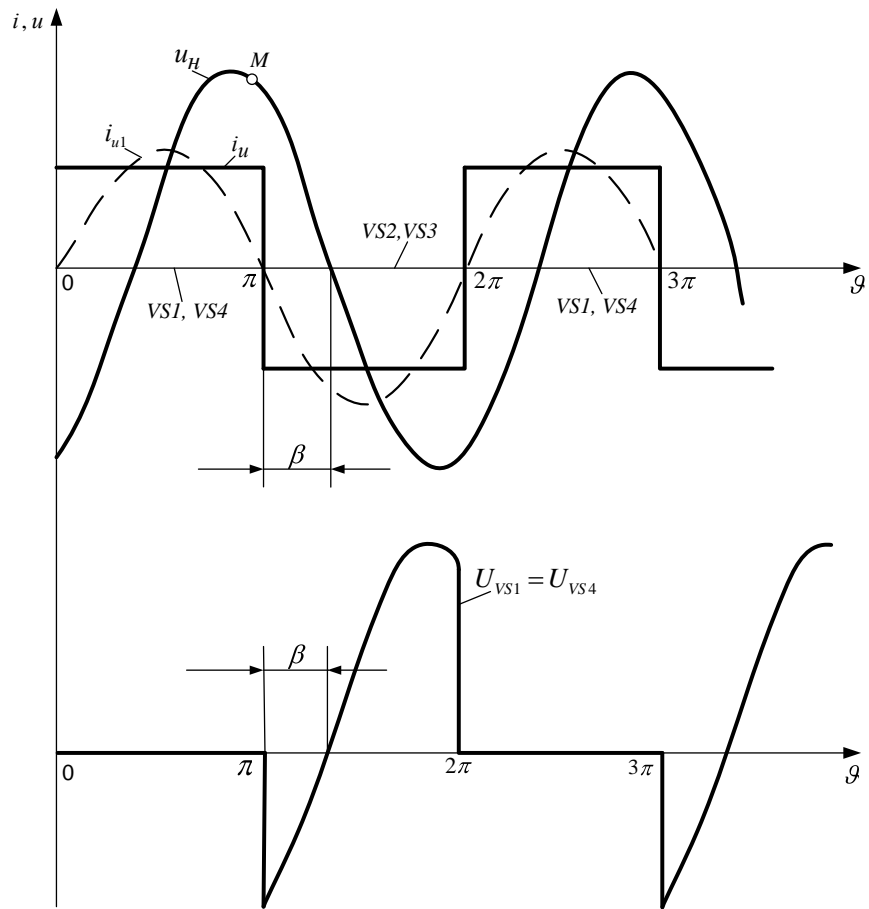


Рисунок 2.13 - Діаграми струмів і напруги на елементах інвертора.

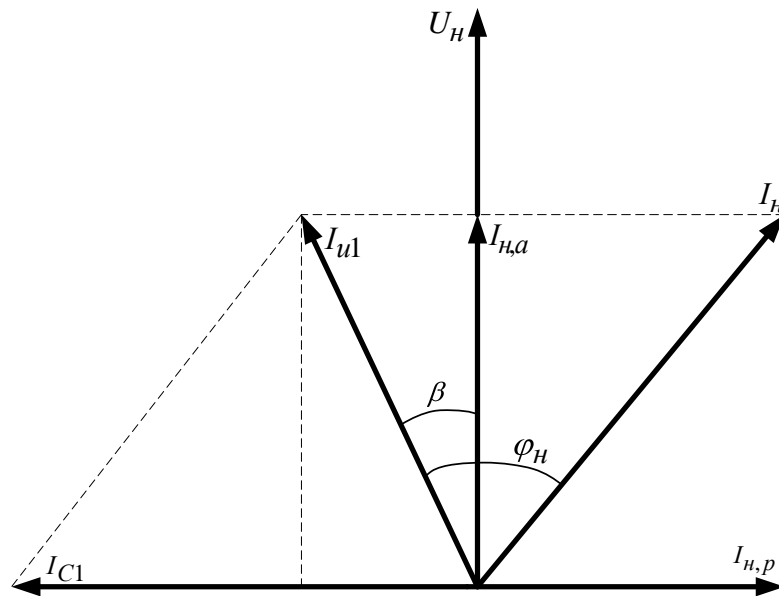


Рисунок 2.14 - Векторна діаграма струмів і напруги інвертора.

Проведемо аналіз відповідно до врегулювання до першої гармоніки напруги електричної установки.

$$U_n = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{U_d}{\cos\beta} \quad (2.1)$$

Тоді застосувавши останні співвідношення

$$U_n = \frac{\pi U_d}{2\sqrt{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{\omega C_k}{Y_n \cos\varphi_n} - \operatorname{tg}\varphi_n \right)^2} \quad (2.2)$$

Представимо зовнішню характеристику інвертору у вигляді змінних параметрів за струмом та провідністю електричного кола навантаження системи.

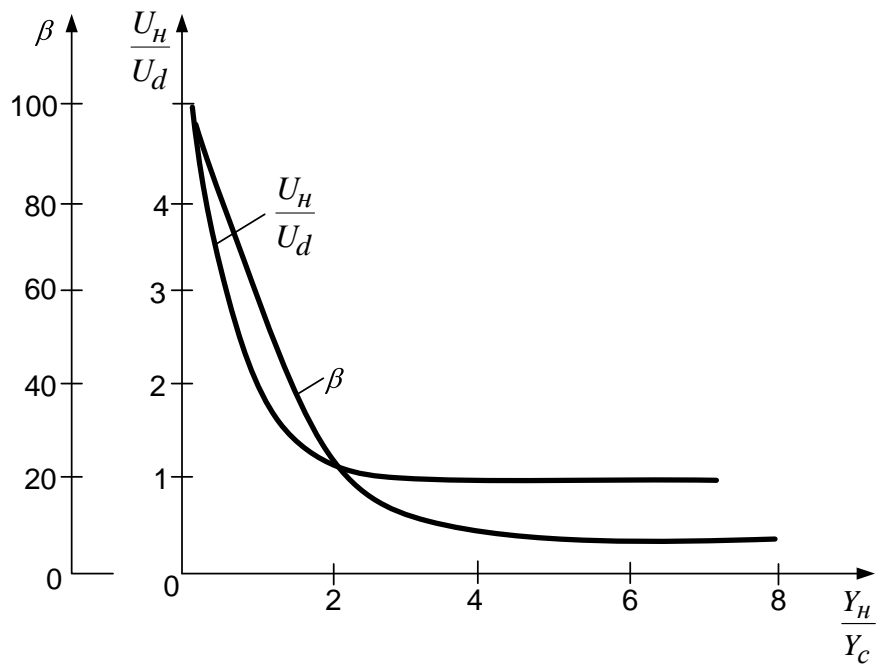


Рисунок 2.15 – Графік залежності вихідної напруги і кута β від навантаження.

Розділ 3. Підвищення ефективності енергоспоживання в мережі

3.1. Розробка силової частини системи управління

Підвищення ефективності енергоспоживання системи живлення електричної індукційної печі можна зробити за рахунок впровадження фільтро-компенсуючих пристроїв [17].

Розглянемо схему такого застосування.

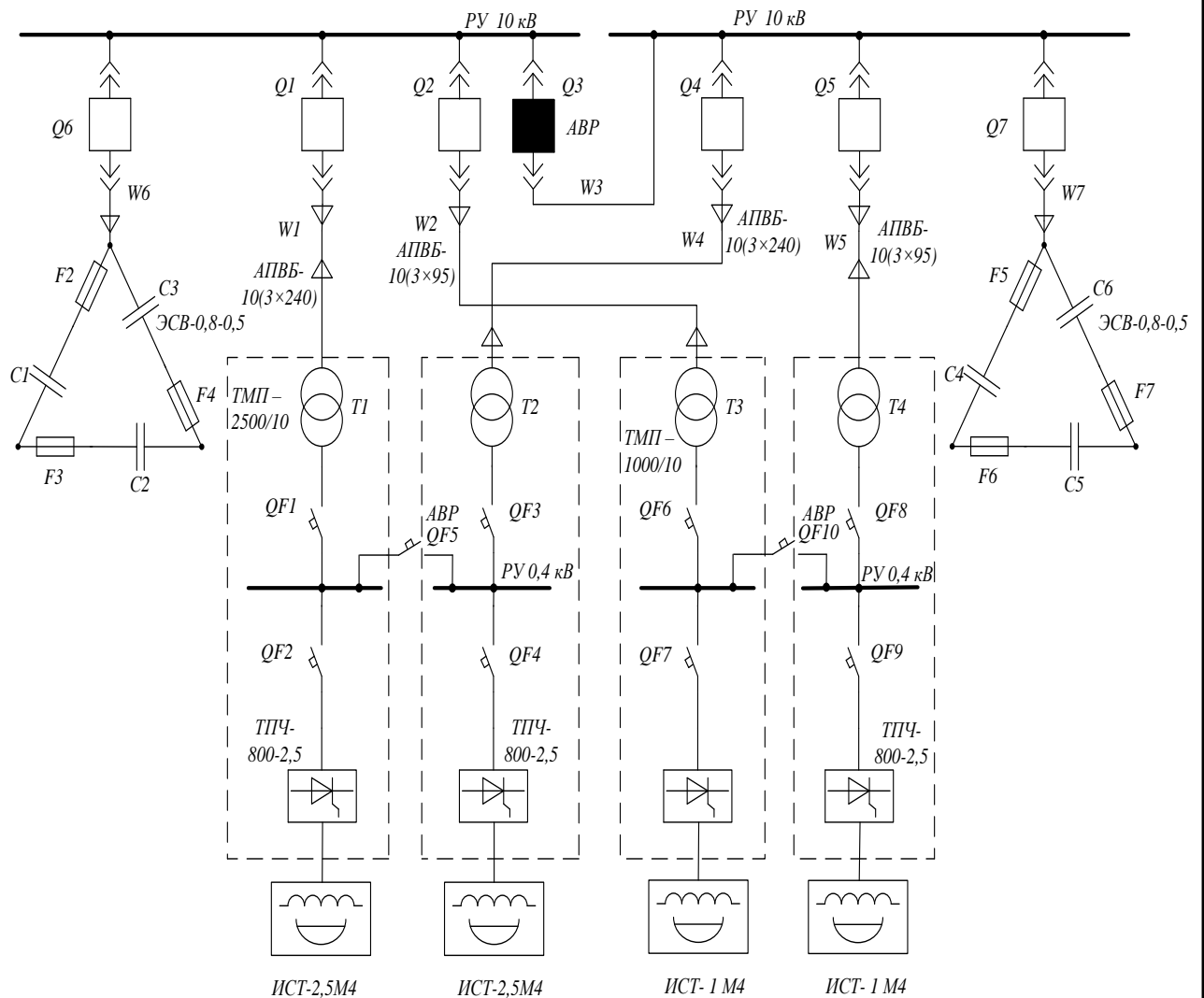


Рисунок 3.1 - Схема електропостачання

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3		
Розробив	Дериченко Т.М.						
Перевірів	Осадчук Ю.Г.					31	11
Реценз.					КНУ ЕЕМ-20		
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.						
Затвердив	Пересунько І.І.						

Представимо структуру живлення електричної установки що відбувається від електричної підстанції з двома трансформаторами та напругою живлення 10 кВ.

Технічні характеристики обладнання наведено у додатку.

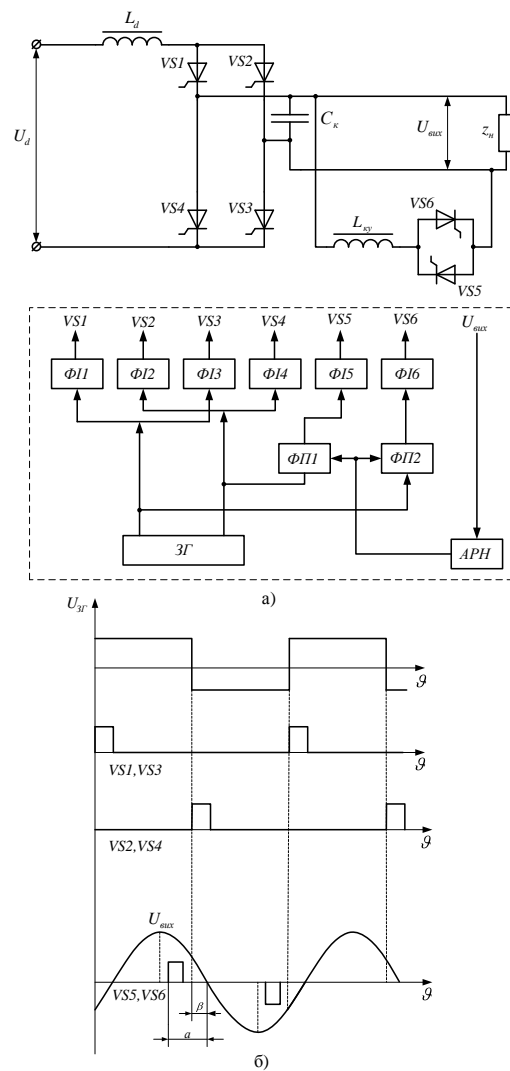


Рисунок 3.3 – Система управління інвертора

Система управління складається з керованого тиристорного перетворювача [14,8].

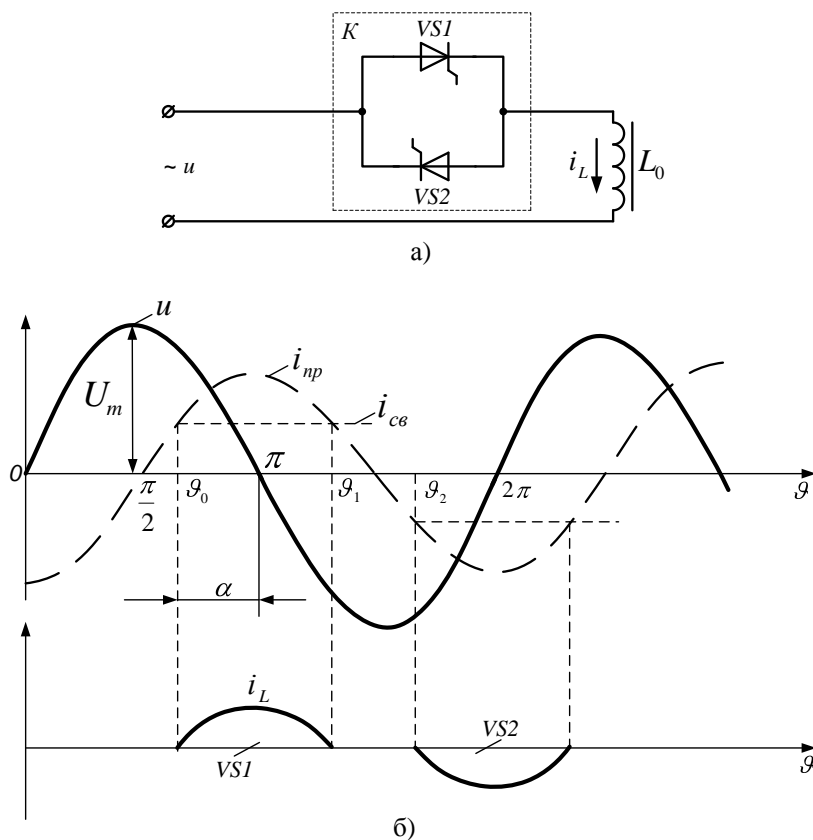


Рисунок 3.4 – Компенсуючий пристрій виконаний на основі реактора із зустрічно-паралельними тиристорами: а) структурна схема, б) діаграми струму і напруги.

Регулювання режиму роботи компенсаційного пристрою виконується відповідно до зміни коефіцієнту реактивної потужності електричного навантаження.

Отже змінюючи кут керування змінюється вплив на баланс електричної потужності.

При цьому слід забезпечити керованість установкою в усьому режимі регулювання.

$$Q_{L_{\max}} \approx Q_c \geq P_{u_{\max}} (tg \varphi_{\max} + tg \beta_{\max}) \quad (3.1)$$

де φ_{\max} - максимальне значення кута зрушення між першими гармоніками напруги і струму навантаження;

$Q_{L_{\max}}$ - максимальна реактивна потужність, споживана компенсуючим пристроєм при куті $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

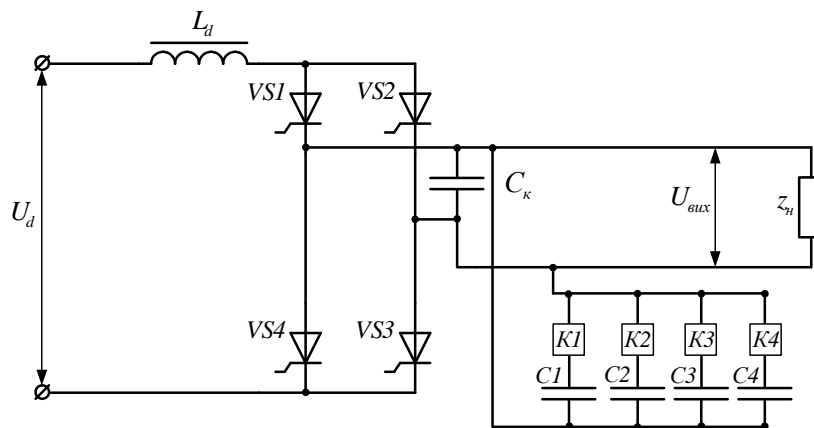


Рисунок 3.5 - Система управління однофазного інвертора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2. Розробка функціональної схеми системи контролю електроспоживання

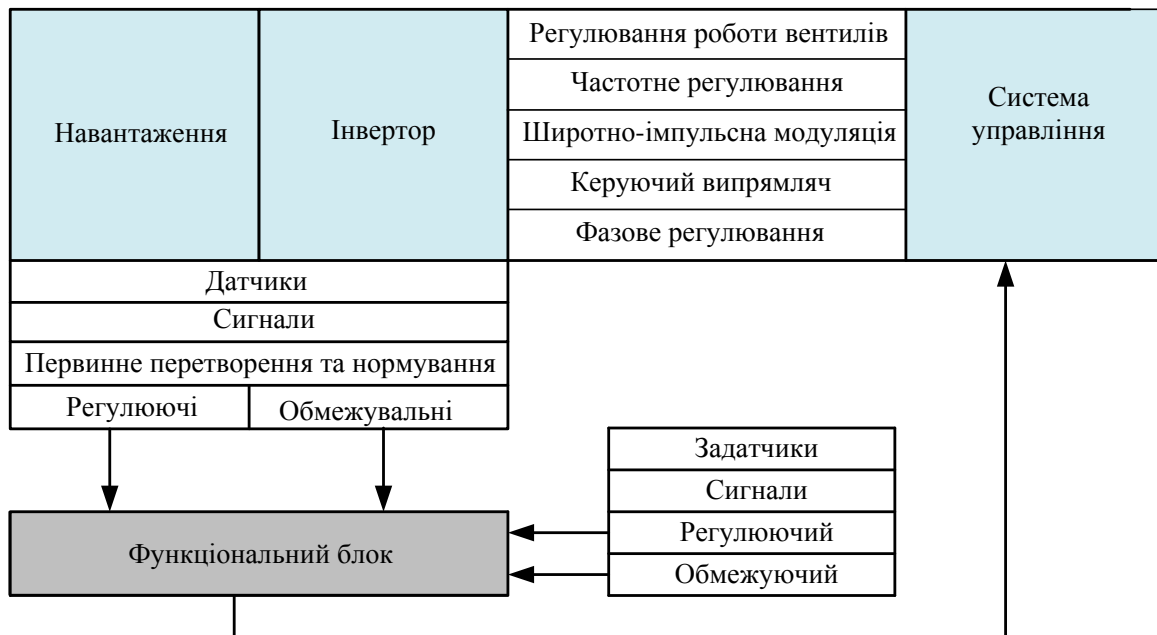


Рисунок 3.6 – Функціональна блок-схема інвертора

Управління відбувається завдяки врегулюванню вихідних характеристик.

Сигнали формуються у відповідності до завдання потужності на індуктивності.

Контроль параметрів схеми електропостачання дозволяє підтримувати баланс електричної потужності завдяки створенню умов повної компенсації реактивних складових.

Регулювання режимами роботи здійснюється на основі широтно-імпульсної модуляції сигналів.

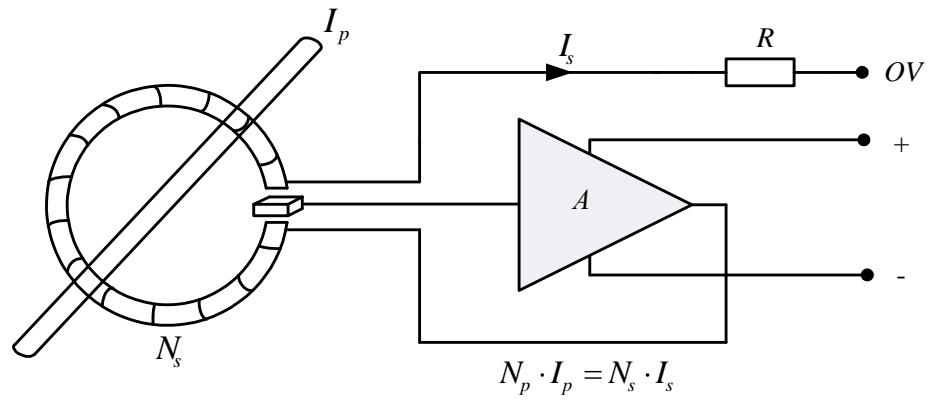


Рисунок 3.7 – Принцип роботи датчика струму

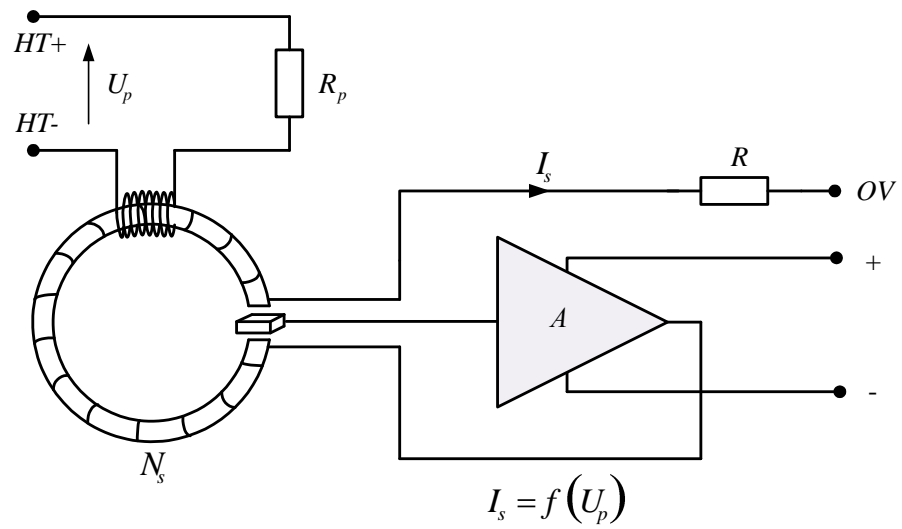


Рисунок 3.8 – Принцип роботи датчика напруги

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.3. Алгоритми управління режимом роботи

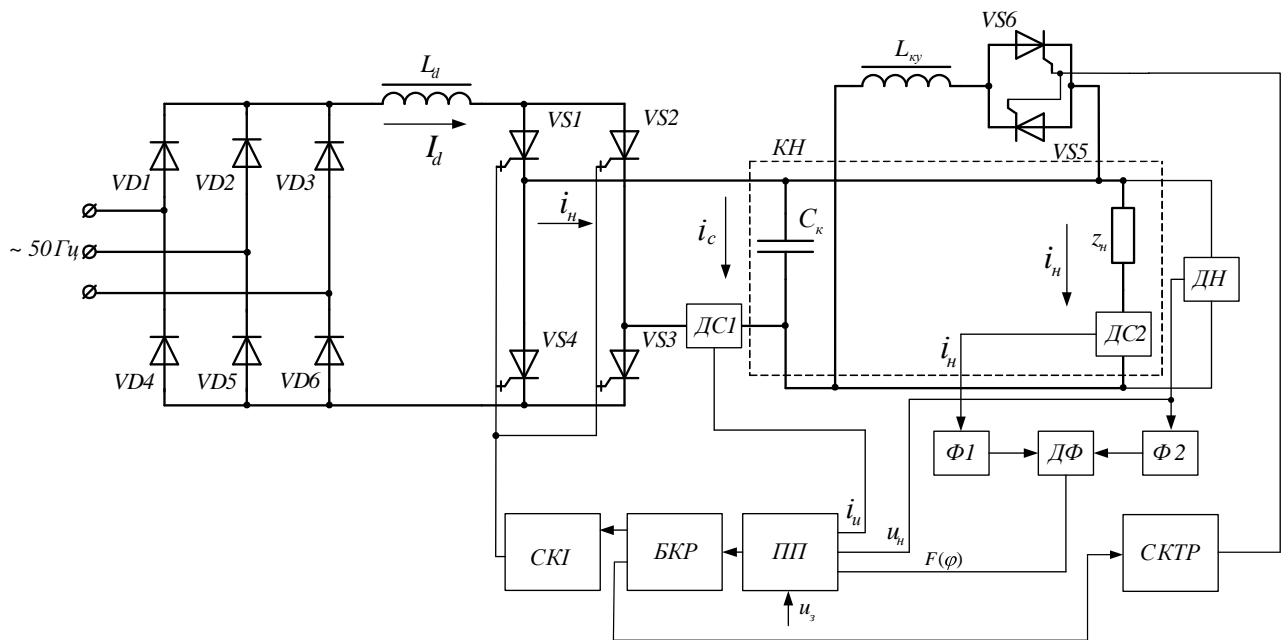


Рисунок 3.9 – Функціональна схема управління

Технологічна установка працює у відповідності до розробленої схеми електричного навантаження.

Компенсація індуктивного опору виконуються завдяки створенню резонансного контуру відповідної ємності завдяки спроможності фільтро-компенсуючого пристрою.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

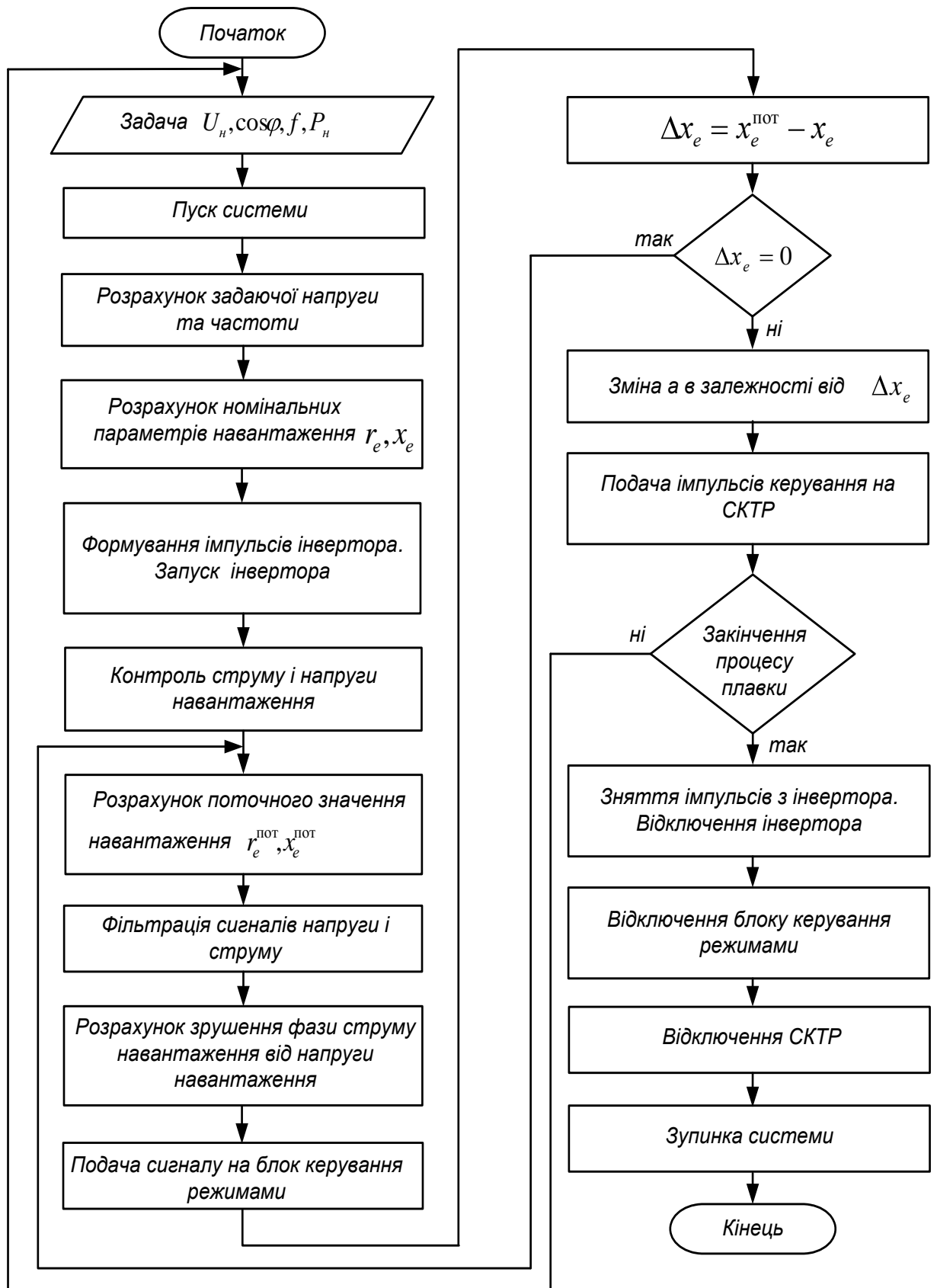


Рисунок 3.10 – Алгоритм управління режимом роботи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для дослідження динаміки режиму нагрівання індукційного пристрою складемо імітаційну модель.

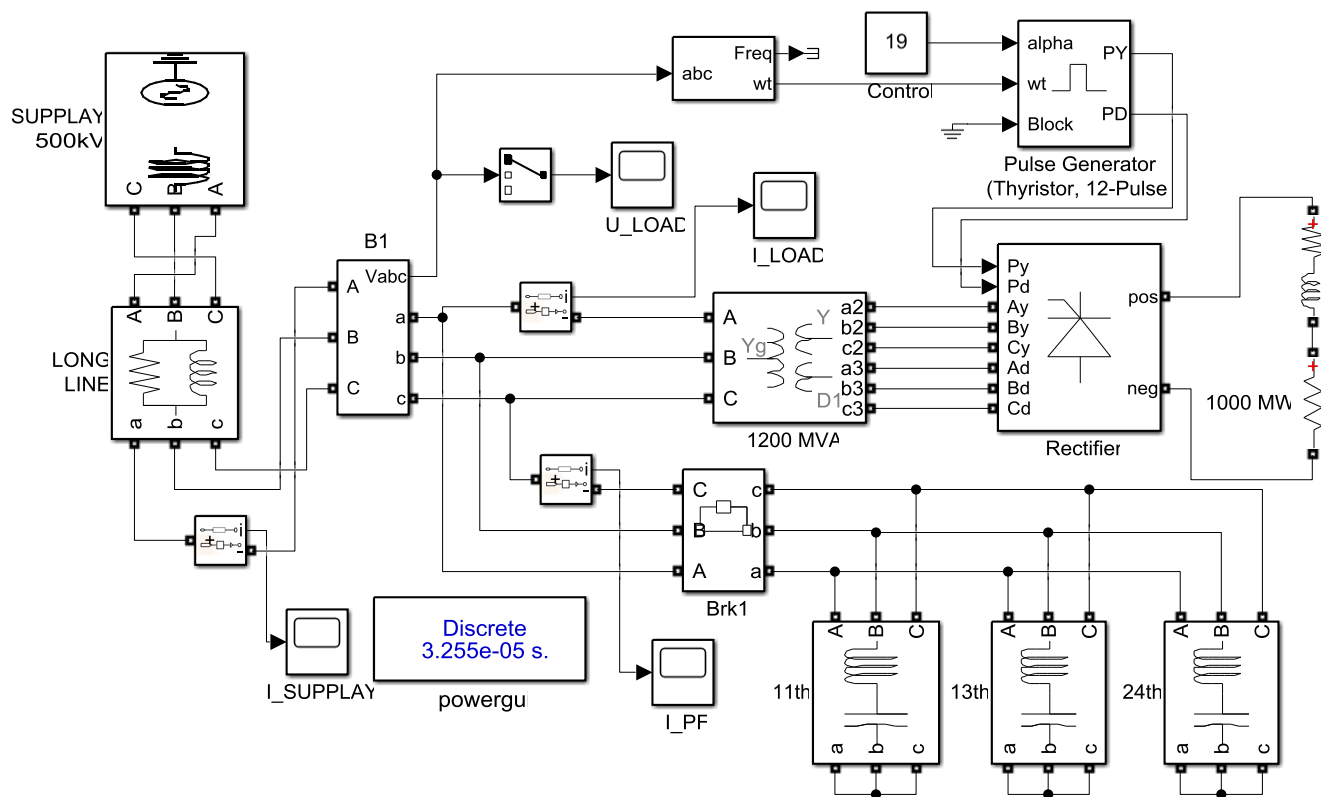


Рис. 3.11 – Структура моделі схеми з пасивними фільтро-компенсуючими пристроями

Складемо характеристику гармонійних складових сигналу при роботі фільтро-компенсуючого пристрою.

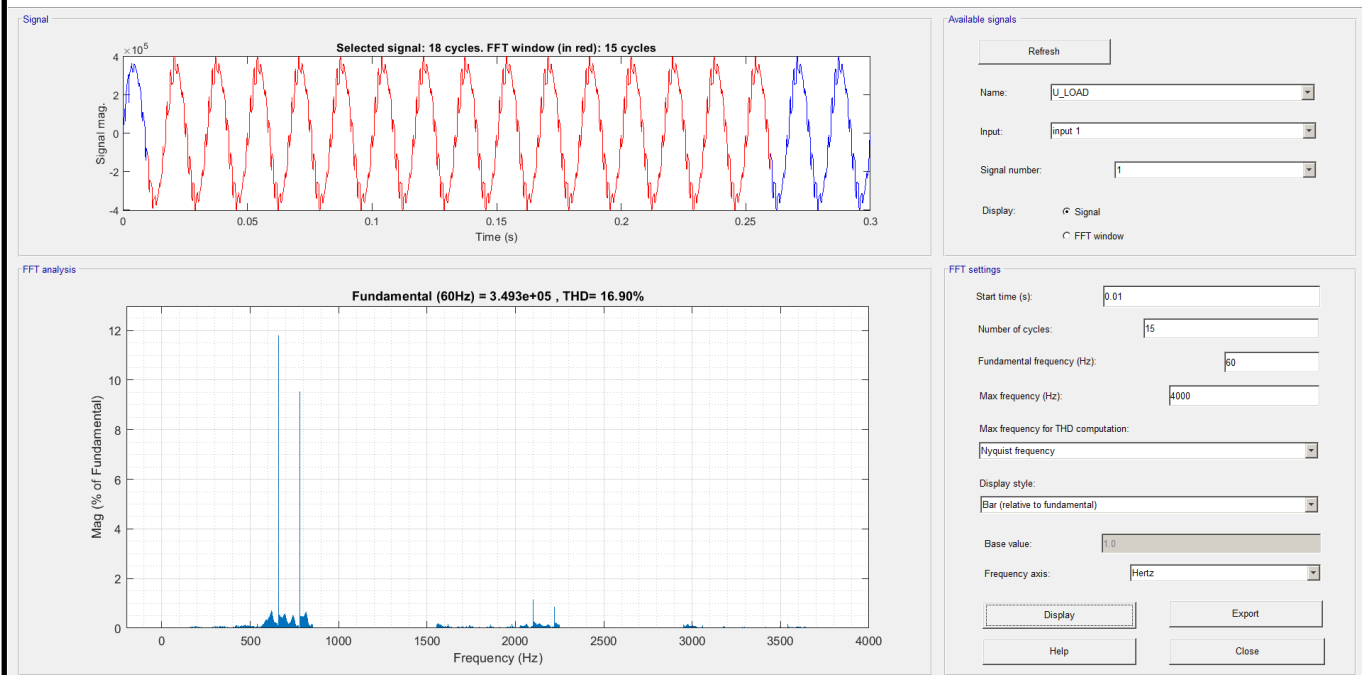


Рис. 3.12 – Результати аналізу напруги
 Розрахунок параметрів пасивних фільтро-компенсуючих пристроїв наведені у додатку.

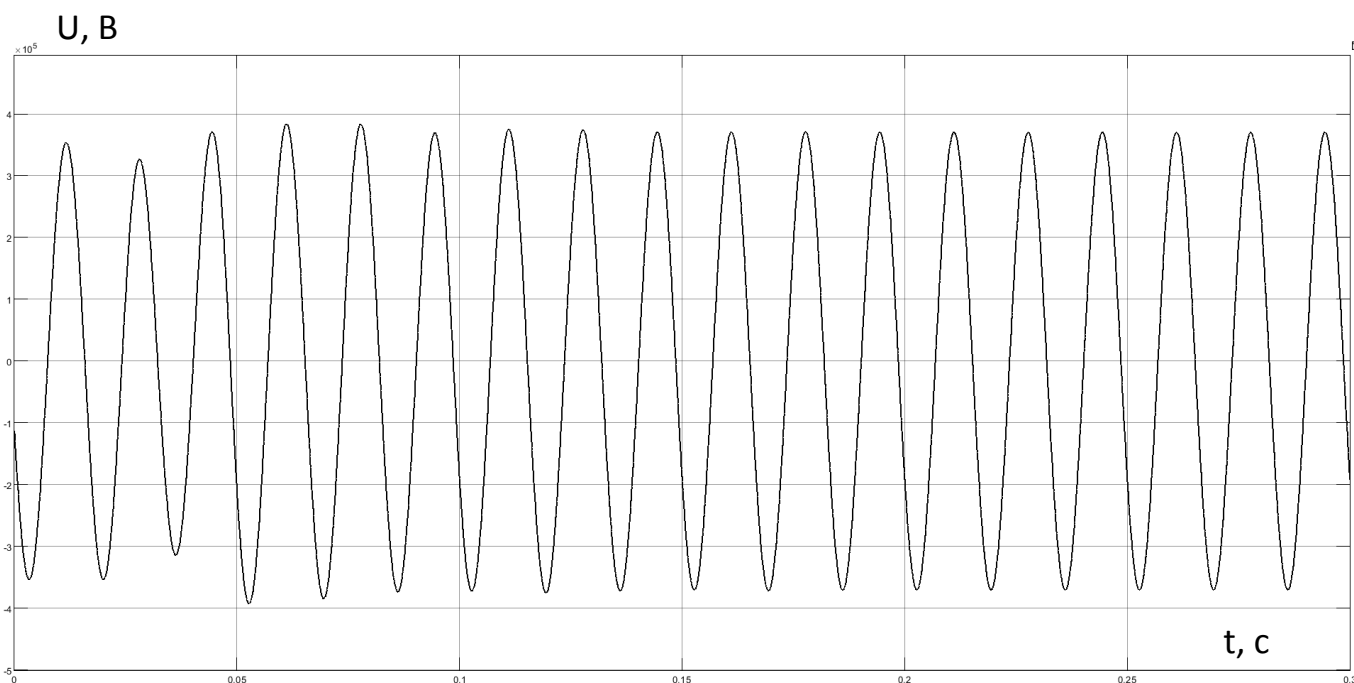


Рис. 3.13 – Графік напруги при роботі пасивних фільтро-компенсуючих пристроїв

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

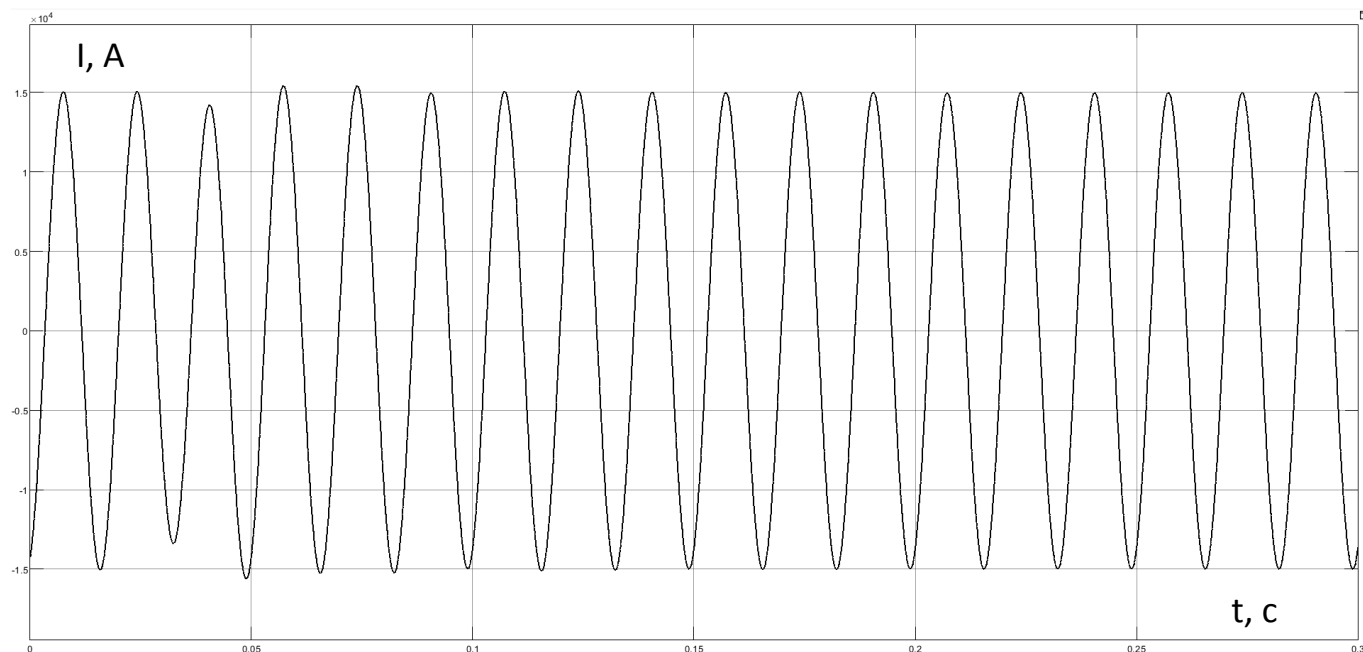


Рис. 3.14 – Струм при роботі пасивних фільтро-компенсуючих пристроїв

Висновки

У роботі досліджено електричні системи з напівпровідниковими перетворювачами.

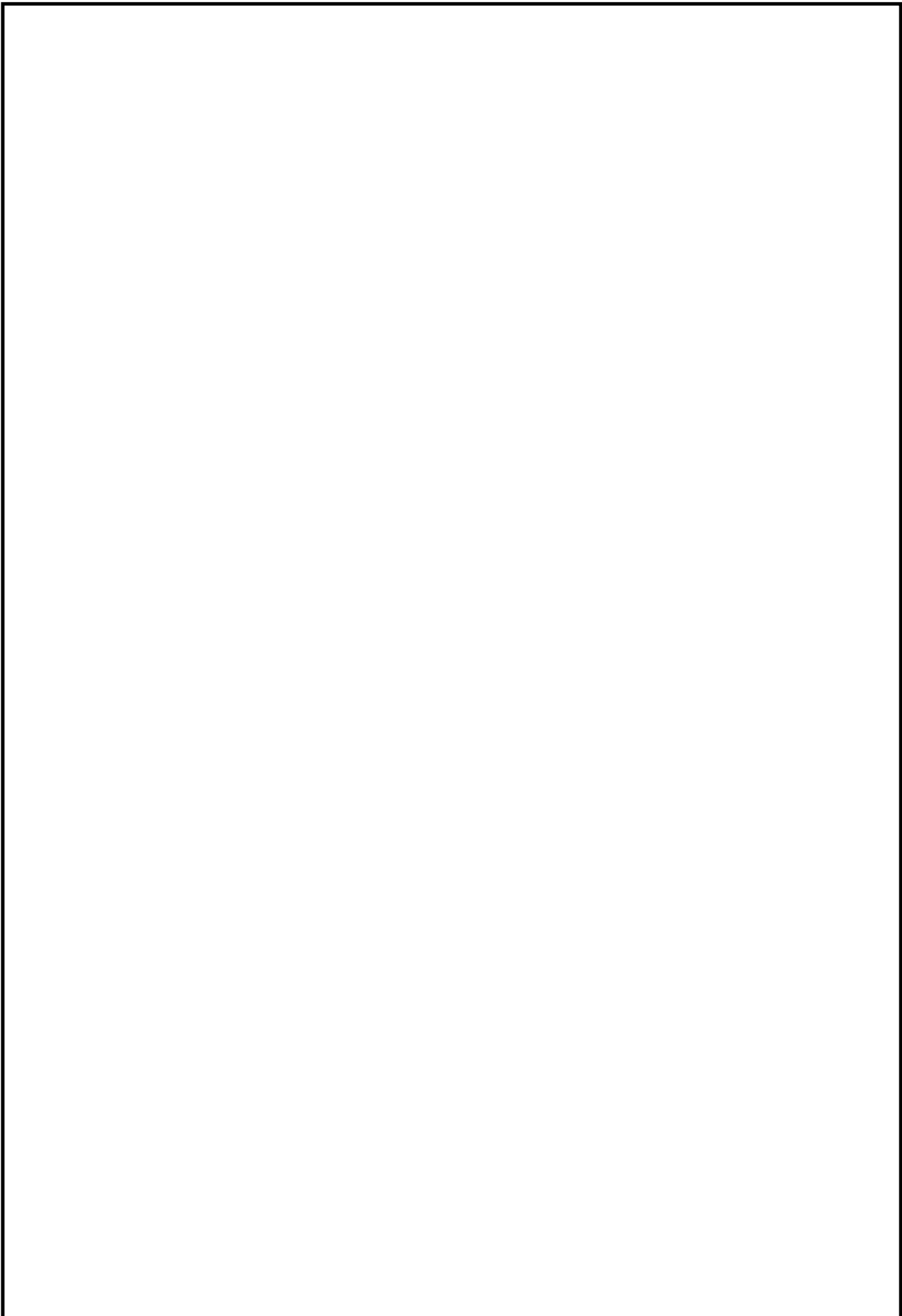
В першому розділі проведений аналіз режимів споживання електричної енергії, адже кожен режим роботи індукційної печі супроводжується різними показниками споживання електричної енергії, активної та реактивної потужності, зміною величини струму та коефіцієнта потужності за цикл плавки металу.

У другому розділі проведено аналіз сучасних джерел живлення індукційної печі, якими являються тиристорні перетворювачі частоти, що оптимально відповідають практично нескінченному різноманіттю потреб, виникаючих при індукційному нагріві.

Специфікація застосування індукційного нагріву у кожному конкретному випадку визначає частоту, потужність, та інші параметри, такі як напруга, струм, коефіцієнт потужності.

У третьому розділі на основі вищезгаданих досліджень та з використанням однієї з сучасних систем керування було розроблено функціональна схема контролю за режимами електроспоживання індукційної установки, основною задачею якої являється, в результаті виникнення небалансу в системі між навантаженням та реактивними елементами паралельного інвертора струму, притримувати корегувати та стабілізувати до заданого рівня номінальні параметри системи, головним з яких являється коефіцієнт потужності, який змінюється відповідно до зміни активної та реактивного опорів системи індуктор-навантаження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-04	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		