

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної магістерської роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

Підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення  
коливань напруги

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕМ-19м  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

Лебедь Д.Ю. \_\_\_\_\_

Керівник: д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ

Бурбело М. Й. \_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рецензент:

\_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Вінниця ВНТУ – 2020 рік

**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ  
д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Лебедю Денису Юрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення коливань напруги керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович, д.т.н., проф., затверджені наказом по ВНТУ від « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року, № \_\_\_\_\_
2. Строк подання студентом роботи « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року.
3. Вихідні дані: схема електропостачання; відомості про електричні навантаження; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про джерела живлення; графіки електричних навантажень; основні техніко-економічні показники.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки
  - Перелік умовних скорочень
  - Вступ
  - 1 Вплив коливань напруги на роботу споживачів при швидкій зміні навантаження
  - 2 Дослідження роботи системи під час швидкої зміни навантаження
  - 3 Розробка системи керування активним фільтром
  - 4 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання
  - 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
  - Висновки
  - Список використаних джерел
  - Додатки
6. Перелік графічного матеріалу
  - Схема змодельованої електричної мережі
  - Блок схеми електричної мережі (Load)
  - Перетворення на основі PQ теорії миттєвої потужності
  - Схема керування активним фільтром
  - Дослідження впливу АФ на роботу системи
  - Дослідження впливу АФ на коливання напруги

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бурбело М. Й. д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю. А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		

7. Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури		
2	Синтез системи електропостачання		
3	Науково дослідна частина		
4	Економічна частина		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Графічна частина		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Лебедь Д. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бурбело М. Й.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

УДК 621.31

## АНОТАЦІЯ

Лебедь Д. Ю. Підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення коливань напруги. Магістерська кваліфікаційна робота. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ФЕЕЕМ. Кафедра ЕСЕЕМ. – Вінниця: ВНТУ, 2020 – 93 с.

В МКР поставлена й вирішена актуальна задача зменшення коливань напруги в розподільних електричних мережах, а саме: розроблено схему електричної мережі, в якій можуть виникати коливання напруги, налаштовано систему керування активними фільтрами для зменшення коливань напруги. Здійснено розрахунок показника флікера та швидкої зміни напруги. Розглянуті питання охорони праці та цивільної безпеки.

Рисунків – 33

Таблиць – 30

Бібліографій – 20

UDC 621.31

## SUMMARY

Lebed D. Yu. Improving the efficiency of active filters to reduce voltage fluctuations. Master's thesis. 141 - electric power, electrical engineering and electromechanics. FEEEM. Department of ESEEM. - Vinnytsia: VNTU, 2020 - 93 p.

The MCR sets and solves the urgent problem of reducing voltage fluctuations in electrical distribution networks, namely: developed a scheme of the electrical network in which voltage fluctuations can occur, set up a control system for active filters to reduce voltage fluctuations. The flicker index and fast voltage change were calculated. Issues of labor protection and civil safety are considered.

Figures - 33

Tables - 30

Bibliographies - 20

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ВПЛИВ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ НА РОБОТУ СПОЖИВАЧІВ ПРИ ШВИДКІЙ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ.....	11
2 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ПІД ЧАС ШВИДКОЇ ЗМІНИ НАВАНТАЖЕННЯ.....	18
2.1 Розрахунок ЕС на базі моделі асинхронної машини в середовищі Matlab.....	18
2.2 Розрахунок показника швидкої зміни напруги.....	24
2.3 Розрахунок показника флікера.....	28
Висновок до розділу.....	34
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ.....	35
3.1 Розробка схеми керування активним фільтром для компенсації коливань напруги .....	35
3.2 Дослідження впливу активного фільтра на показник швидкої зміни напруги.....	42
3.3 Розрахунок компенсованого показника флікера.....	46
Висновок до розділу.....	48
4 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання.....	49
4.1 Мета розрахунків та характеристика вихідних даних.....	49
4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання.....	51
4.3 Розрахунок потреби в робочій силі.....	52
4.4 Планування вартості матеріалів, що витрачаються.....	59
4.5 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат.....	62
4.6 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію.....	63
4.7 Прийняття інноваційних рішень та розрахунок їх ефективності.....	68
Висновок до розділу.....	71
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	72

5.1. Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	73
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	73
5.1.2 Електробезпека.....	75
5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	78
5.2.1. Мікроклімат.....	78
5.2.2. Склад повітря робочої зони.....	79
5.2.3. Виробниче освітлення.....	80
5.2.4. Виробничий шум.....	82
5.2.5. Виробничі вібрації.....	84
5.2.6 Психофізіологічні фактори .....	85
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	86
5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	87
5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	89
5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи електропостачання в умовах загрозливих чинників НС.....	92
Висновок до розділу.....	93
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
ДОДАТКИ	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КРП – компенсація реактивної потужності

АФ – активний фільтр

КН – коливання напруги

Н – навантаження

ШЗН – швидка зміна напруги

ПФ – показник флікера

ЕЕ – електрична енергія

ЕС – електрична система



## ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Наявність на промислових підприємствах потужних швидкозмінних навантажень спричинює певні проблеми, які погіршують якість електричної енергії. Дані споживачі спричиняють утворення в електричних мережах коливання напруги. Тому є необхідність зниження цих коливань напруги.

Активні фільтри забезпечують одночасну оптимізацію таких параметрів якості електроенергії як відхилення, коливання та компенсації вищих гармонік. Дослідженню зменшення коливань напруги присвячено невелику кількість наукових праць, в яких увага акцентується на використанні розділених навантажень та використанні СТК. Незважаючи на невелику кількість досліджень в області зменшення коливань та впровадження установок для їх зменшення в даний час відсутні чіткі рекомендації що до їх застосування в розподільних мережах.

Тому дослідження по зменшенню коливань напруги за допомогою активних фільтрів є актуальним.

Мета і завдання дослідження. Метаю роботи є підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення коливань напруги.

Для досягнення поставленої мети було виконано наступні задачі:

- розглянуто роботи по зменшенню коливань;
- розроблена програма для побудови графіка електричних навантажень та розрахунку коливань напруги;
- досліджено роботу активних фільтрів по зменшенню коливань напруги;

Об'єкт дослідження. Процес підвищення якості електроенергії в розподільних електричних мережах.

Предмет дослідження. Методи і способи вимірювання та розрахунків показників, які їх характеризують, а також вплив коливань напруги на електрообладнання та заходи щодо їх зниження.

Методи дослідження. Для аналізу та вирішення поставленого питання було використано загальні методи теорії електротехніки та математичного моделювання. Під час роботи над роботою використовувались методи досліджень, які базувалися: на теорії електротехніки – під час моделювання АФ в режимах роботи з швидкою зміною навантаження в розподільних електричних мережах; теорії автоматичного керування – при розробці систем керування АФ.

Наукова новизна отриманих результатів і положень, що виносяться на захист, полягає застосуванні активних фільтрів в розподільних електричних мережах для зменшення коливань напруги за допомогою компенсації реактивної потужності.

В роботі отримано такі наукові результати:

1. Вперше обґрунтовано застосування активного фільтра для зменшення коливань напруги при запуску асинхронного двигуна, відповідно, для компенсації реактивної потужності, що дозволяє забезпечити стабільну роботу системи.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у розробці системи керування активним фільтром для покращення роботи системи. Їх впровадження сприятиме покращенню якості електроенергії, зокрема зменшенню коливань напруги в розподільних мережах.

Апробація матеріалів роботи. Викладені в роботі результати досліджень були апробовані на таких наукових конференціях: *XLVIII, XLIX науково-технічні конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 2019, 2020.

Публікації. Результати роботи опубліковано в 4 матеріалах конференцій та семінарів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 110 сторінки, з яких основний зміст викладений на 93 сторінках друкованого тексту, містить 33 рисунки, 30 таблиць. Список використаних джерел складається з 20 найменувань.

## 1 ВПЛИВ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ НА РОБОТУ СПОЖИВАЧІВ ПРИ ШВИДКІЙ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ

В кожній енергосистемі існує поняття якості електричної енергії, його порушення призводить до несправності приладів, які споживають ЕЕ з цієї енергосистеми. Одним з показників якості ЕЕ можуть бути коливання напруги.

Коливання напруги порушують нормальну роботу і зменшують термін служби електронної апаратури: радіоприймачів, телевізорів, телефонно-телеграфного зв'язку, комп'ютерної техніки, рентгенівських установок, радіостанцій, телевізійних станцій і т.п. При значних коливаннях напруги (понад 15%) можуть бути порушені умови нормальної роботи електродвигунів, можливо відпадиння контактів магнітних пускачів з відповідним відключенням працюючих двигунів. Коливання напруги з розмахом 10 - 15% можуть привести до виходу з ладу батарей конденсаторів, а також вентиляних перетворювачів [5].

До коливань відносять швидкі зміни діючого значення напруги, що відбуваються зі швидкістю 1-2% в секунду і більше.

Коливання напруги характеризуються амплітудою (швидка зміна напруги)  $\delta U_t$ ; частотою  $f$  і інтервалами між наступними один за одним змінами напруги  $\Delta t_{i, i+1}$ ; інтенсивність миготіння ламп розжарювання, які створюють подразнюючий вплив на зір людини (дозою, тобто показником флікера чи інакше флікер напруги).

Амплітуда коливань визначається різницею між наступними один за одним екстремумами обвідної діючих значень напруги

Швидка зміна напруги (ШЗН) - це величина, що дорівнює різниці значень  $U_{\max}$  і  $U_{\min}$  наступних один за одним екстремумів обвідної діючих значень напруги, визначених на кожному напівперіоді в процентах від номінальної напруги  $U_{\text{ном}}$ :

$$\delta U_t = U_{\max} - U_{\min}, \quad (1.1)$$

або в відносних одиницях

$$\delta U_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{ном}}}. \quad (1.2)$$

Частота повторення змін напруги при їх числі  $m$  за час  $T$  (1 / с, 1 / хв) визначається за виразом:

$$f = \frac{m}{T}, \quad (1.3)$$

де  $m$  – число змін напруги за час  $T$ ;

$T$  – інтервал часу вимірювання, що дорівнює 10 хв.

Значення показника флікера пов'язано з потужністю КН і визначається інтегралом

$$P_t = \frac{k}{\theta} \cdot \int_{t-\theta}^t dt \int_0^{35} g^2(f)G(f,t)df, \quad (1.4)$$

де  $g(f)$  - амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) зорового аналізатора;

$G(f, t)$  - частотний спектр процесу зміни напруги в момент часу  $t$  ;

$\theta$  - інтервал осереднення, що враховує ефект пам'яті сприйняття,  $\theta = 300$  мс.

Коефіцієнт  $k$  у формулі вибирається таким чином, щоб значення  $P_t = 1$  відповідало порогу візуальної сприйнятливості виникнення неприємних відчуттів. Більш високі значення  $P_t$  означатимуть, що ДФ перевершує поріг його сприйнятливості і може стати дратівливою або нестерпним.

Показник флікера характеризує потужність КН з урахуванням характерних особливостей зорового і мозкового сприйняття людиною коливань світлового потоку ламп розжарювання, повністю подібних КН. Лампи розжарювання є

найбільш масовими навантаженнями, чутливими до КН в більшій мірі, ніж телевізійні приймачі, комп'ютери, електронні та мікроелектронні пристрої управління. Показник флікера виражається в безрозмірних одиницях; ординати стандартної кривої допустимих значень КН  $\delta U_t(f)$  (рис. 1.2) відповідають значенням ПФ, визначеному протягом 10 хв з ймовірністю 99% [1]:

$$P_{St} = 1,$$

Гранично допустимі значення для короткочасної дози флікера  $P_{St}$  в точках загального приєднання споживачів з лампами розжарення в приміщеннях, де необхідне значне зорове напруження для коливань напруги з формою, яка відрізняється від меандру, дорівнює 1,0, а для тривалої дози флікера ( $P_{Lt}$ ) у тих самих точках – 0,74.

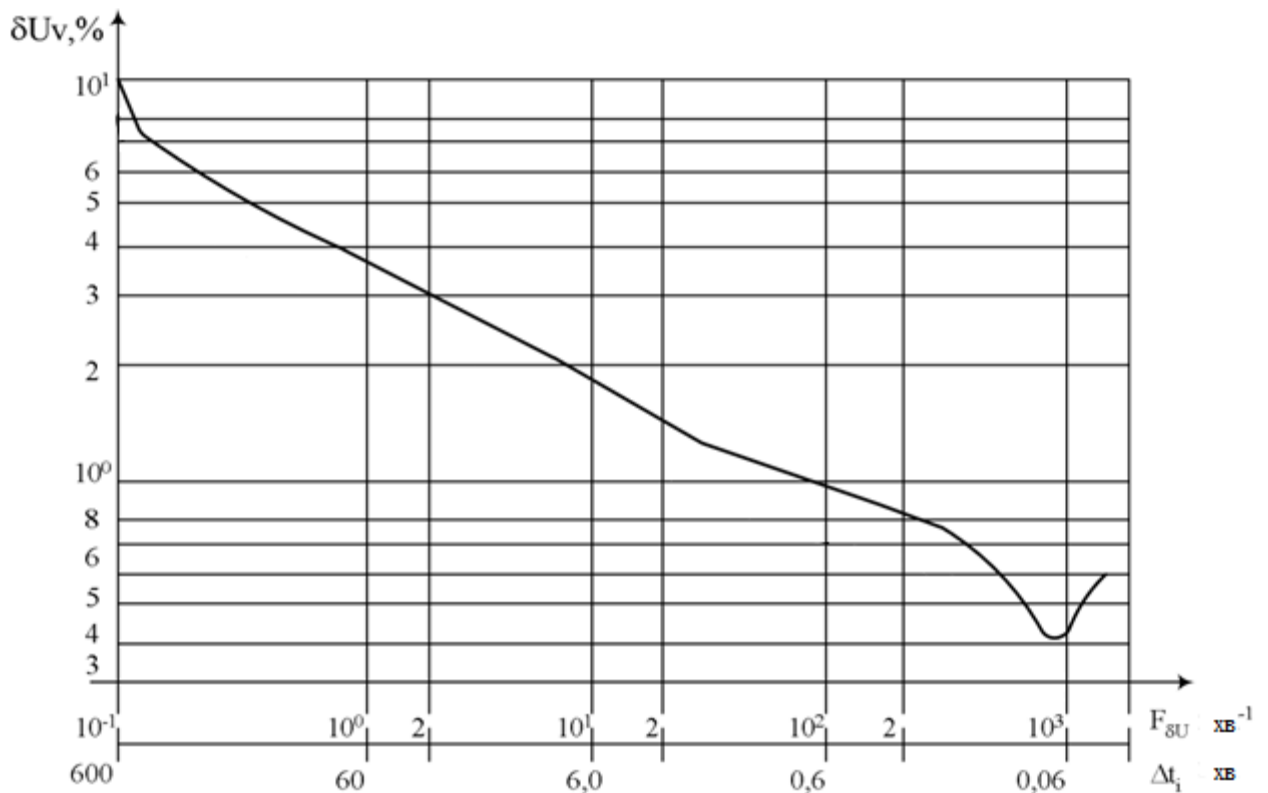


Рисунок 1.2 – Гранично допустимі значення швидкої зміни напруги залежно від частоти повторення зміни напруги за хвилину для коливань напруги

Процес зорового сприйняття при КН моделюється на основі теорії проходження складного сигналу через нелінійну динамічну систему. Ряд

багаторічних експериментальних досліджень дозволив побудувати АЧХ зорового аналізатора (рис. 1.3).

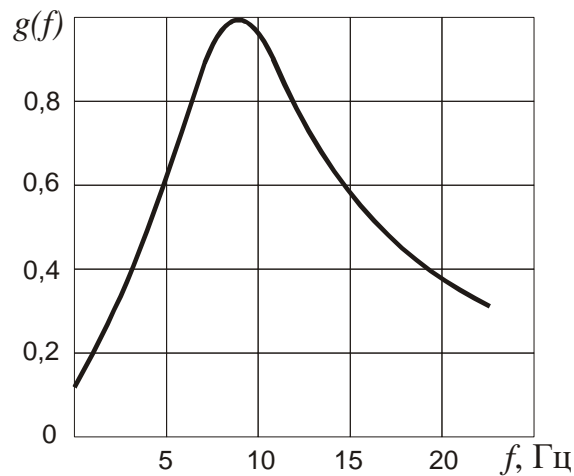


Рисунок 1.3 – Амплітудно-частотна характеристика зорового аналізатора

Верхня межа частоти КН, що впливають на зір, з урахуванням постійної часу мережі ламп розжарювання, становить приблизно 35 Гц при  $\delta U_f(t) \leq 10\%$  [2].

Для розрахунку згладжених показників флікера за інтервал часу  $T_{sh}$ , який рівний 10 хв, відповідні інтегральні ймовірності, що дорівнюють 0,1; 0,7; 1,0; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 17,0; 30,0; 50,0; 80%.

Визначають за допомогою флікерметра або обчислюють  $P_s$ , (%), за формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{0,1s} = P_{0,1}, \\ P_{1s} = \frac{P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}}{3}, \\ P_{3s} = \frac{P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}}{3}, \\ P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}, \\ P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}. \end{array} \right. \quad (1.5)$$

де  $P_{0,1s}, P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$  - згладжені рівні флікера при інтегральній ймовірності, що дорівнює 1,0; 3,0; 10,0; 50,0 відповідно.

В результаті проведених досліджень було визначено, що для оцінки  $P_{st}$  досить використовувати п'ять точок (рівнів):  $P_{0,1}$  - рівень, який перевищувався протягом 0,1% часу спостереження;  $P_1$  - рівень, який перевищувався протягом 1,0% часу спостереження;  $P_3$  - рівень, який перевищувався протягом 3,0% часу спостереження;  $P_{10}$  - рівень, який перевищувався протягом 10% часу спостереження. Вихідна точка  $P_{50}$  відповідає рівню інтенсивності флікера (ІФ), який перевищувався протягом половини часу спостереження, і тому характеризує середній рівень флікера.

У цьому випадку значення коефіцієнтів  $K_i$ :

$K_1 = 0,0314$  - для 0,1 % рівня;

$K_2 = 0,0525$  - для 1,0 % рівня;

$K_3 = 0,0657$  - для 3,0 % рівня;

$K_4 = 0,28$  - для 10,0 % рівня;

$K_5 = 0,08$  - для 50,0 % рівня.

Всі вибрані коефіцієнти позитивні, що забезпечує стійкість отриманих значень ІФ. Для прийнятого періоду спостереження (10 хв) ІФ визначається наступним чином:

$$P_{St} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1S} + 0,0657 \cdot P_{3S} + 0,28 \cdot P_{10S} + 0,08 \cdot P_{50S}} \quad (1.6)$$

Запропонований 10-хвилинний інтервал може бути використаний для оцінки ІФ, що викликається прокатними станами, насосами, побутовим обладнанням. Якщо загальний ефект КН зумовлений низкою різкозмінних навантажень, що характеризуються випадковим характером роботи (зварювання, електродвигуни та ін.), Інтенсивність флікера  $P_{Lt}$  за розглянутий проміжок часу знаходять, виходячи з сукупності 10-хвилинних значень:

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} (P_{Stk})^3}, \quad (1.7)$$

де  $P_{Stk}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) — послідовні значення короточасної дози флікера на  $k$ -му інтервалі часу  $T_S$  протягом тривалого періоду спостереження  $L_T$ .

Для мереж напругою 0,38 кВ сума сталих значень відхилень напруги і амплітуди КН не повинні перевищувати  $0,1U_{ном}$ .

Коливання напруги в мережах виникають головним чином при роботі різкозмінних навантажень: керованих ВП з широким діапазоном і великою швидкістю регулювання напруги, асинхронних двигунів, потужних зварювальних агрегатів і т.п [6].

Коливання напруги негативно позначаються на зоровому сприйнятті предметів, деталей, графічних зображень і в кінцевому рахунку на продуктивності праці і зорі працівників. Вплив мигання ламп залежить від типу світильника [9]. При однакових КН негативний вплив ламп розжарювання проявляється в значно більшій мірі, ніж газорозрядних ламп. При  $\delta U_t > 10\%$  спостерігаються згасання газорозрядних ламп; при  $\delta U_t > 15\%$  можуть відпадати контакти магнітних пускачів. При таких КН спостерігається вихід з ладу конденсаторів і вентилів перетворювальних агрегатів[7].

При КН знижується продуктивність електролізних установок, скорочується термін їх служби внаслідок підвищеного зносу анодів. На заводах хімічного волокна внаслідок коливань частоти обертання АД намотувальних пристроїв синтетичні нитки рвуться або стають різної товщини, що призводить до браку або недовипуску продукції. При живленні печей опору від ВП КН призводять до коливання струму навантаження, а іноді і до виникнення нестійкого режиму системи автоматичного регулювання температури [8].

Коливання амплітуди і фази напруги, що викликаються роботою прокатних станів, викликають коливання електромагнітного моменту, активної і реактивної потужностей синхронних генераторів блок-станцій (ТЕЦ) підприємств, це негативно позначається на економічності роботи станції в цілому. Відомі випадки виникнення нестійкої роботи системи автоматичного



регулювання збудження і РМ синхронних генераторів і двигунів і навіть помилковою роботи пристрою форсування збудження.

Короткочасні КН при застосуванні дугового електрозварювання практично не впливають на якість зварювального шва, що пояснюється інерційністю теплових процесів в металі. Коливання і відхилення напруги в мережах, що живлять машини контактного зварювання, істотно позначаються на якості точкового зварювання. Як показали дослідження, для різного виду деталей, що зварюються допустимі амплітуди КН знаходяться в межах 3-5% .

Коливання амплітуди, в більшій мірі, фази напруги викликають вібрації електродвигунів, механічних конструкцій, трубопровідної арматури. В останньому випадку знижується питома міцність металу, скорочується термін його служби. Так, при амплітудах КН з частотою приблизно 1 Гц, в 2 рази перевищують допустимі норми, а термін служби трубопроводів внаслідок пульсацій напору насоса скорочується на 5-7% .

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ПІД ЧАС ШВИДКОЇ ЗМІНИ НАВАНТАЖЕННЯ

### 2.1 Розрахунок ЕС на базі моделі асинхронної машини в середовищі Matlab

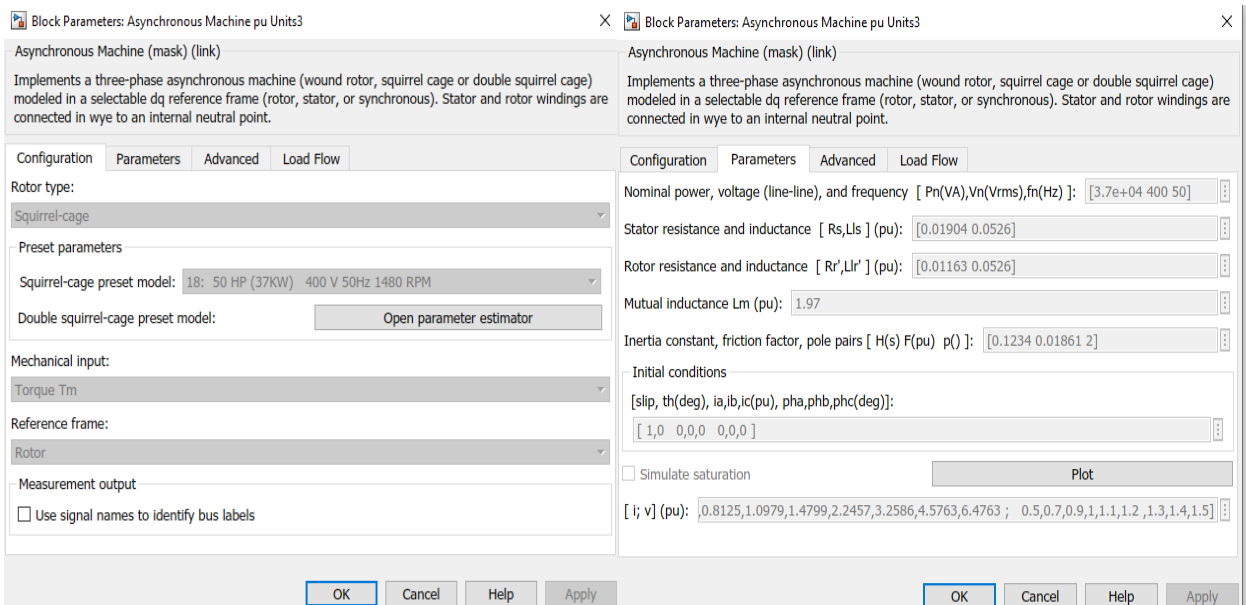
Система програмування MATLAB забезпечує користування відповідною алгоритмічною об'єктно-орієнтованою мовою, отримує у своєму складі велику кількість додаткових пакетів прикладних програм, що можуть виконуватися в даному середовищі. Для розробки моделі ЕС була використана програма структурного математичного моделювання Simulink, в якій модель розробляється на основі математичного опису (МО) досліджуваного об'єкту і по суті є його графічним відображенням. Це стало передумовою надзвичайно широкого застосування середовища Simulink при математичному моделюванні динамічних систем.

Але процес математичного моделювання різноманітних фізичних процесів можна значно спростити, скориставшись підпорядкованими додатку Simulink бібліотеками, що не потребують від користувача знання математичного опису фізичних процесів [3].

В розділі Machines бібліотеки SimPowerSystems представлені два блоки трифазної асинхронної машини: Asynchronous Machine SI Units (асинхронна машина в абсолютних одиницях системи СИ) та Asynchronous Machine pu Units (асинхронна машина у відносних одиницях).

Блоки мають порти A, B, C та a, b, c, що відповідають «електричним» затискачам статора та ротора відповідно. Крім «електричних» портів, моделі мають один механічний вхід та векторний «інформаційний» вихід m (від measurements), який передбачає подальшу обробку або фіксацію сигналів засобами базових блоків Simulink.

Для моделі Asynchronous Machine pu Units номінальні значення потужності, напруги і частоти задаються в абсолютних одиницях, а інші параметри – у відносних (тобто в долях деякої базової величини).



а)

б)

Рисунок 2.1 – Вкладки діалогового вікна встановлення параметрів блоку Asynchronous Machine pu Units потужністю 37 кВт

Зовнішній вигляд блоку Asynchronous Machine (рис. 2.2) визначається типом ротора та типом механічного входу, які встановлюються за допомогою меню параметрів Rotor type і Mechanical input вкладки Configuration (рис. 2.1а).

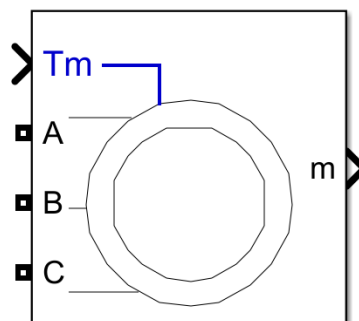


Рисунок 2.2 – Блок Asynchronous Machine SI Units з Simulink-портом «момент навантаження»  $T_m$  (Torque) з білячою кліткою на роторі (Squirrel-cage)

Вкладка Parameters (рис. 2.1б) діалогового вікна установки параметрів блока дозволяє встановити значення таких параметрів АД:

- Nominal power  $P_n$  (VA) – номінальна потужність  $P_n$  (ВА) ;
- Voltage (line-line)  $V_n$  (Vrms) – діюче, тобто ефективне, або середньоквадратичне (rms – root mean square) значення номінальної лінійної напруги статора  $U_L$  (В) ;
- Frequency  $f_n$  (Hz) – номінальна частота напруги живлення  $f_n$  (Гц) ;
- Stator resistance  $R_s$  (Ohm) – активний опір фази статора,  $R_s$  (Ом) ;
- Stator inductance  $L_{ls}$  – індуктивність розсіяння фази статора,  $L_{s\sigma}$  (Гн);
- Rotor resistance  $R_r'$  (Ohm) – активний опір фази ротора, приведений до статора  $R_r$  (Ом) ;
- Rotor inductance  $L_{lr}'$  – індуктивність розсіяння фази ротора, приведена до статора  $L_{r\sigma}$  (Гн) ;
- Mutual inductance  $L_m$  (H) – головна взаємна індуктивність,  $L_m$  (Гн) ;
- Inertia  $J$  (kg.m<sup>2</sup>) – момент інерції ротора,  $J$  (кг · м<sup>2</sup>) ;
- Friction factor  $F$  (N.m.s) – коефіцієнт в'язкого тертя  $k_{fv}$  (Н · м/(рад/с));
- Pole pairs  $p$  () – кількість пар полюсів  $Z_p$ ;
- Initial conditions – початкові умови за координатами: ковзання, кутове положення ротора, амплітуди та фазові кути струмів фаз статора та (якщо треба) ротора;
- Simulate saturation – при наявності в полі цього параметру прапорця буде враховуватись ефект насичення магнітного кола за табличними даними кривої намагнічування  $U_s = f(I_s)$ , що вводяться у вигляді дворядкової матриці параметру Saturation Parameters;

Для машини з двома білячими клітками активний опір ротора і індуктивність розсіювання наводяться для кожної з кліток.

Базовий опір дорівнює відношенню номінальних значень фазних напруги і струму, тобто

$$Z_b = \frac{U_\phi}{I_\phi} = \frac{U_L/\sqrt{3}}{I_\phi}, \quad (2.1)$$

базова індуктивність

$$L_b = \frac{Z_b}{2 \cdot \pi \cdot f_n} = \frac{U_L/\sqrt{3}}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot I_\phi}. \quad (2.2)$$

Замість моменту інерції в цій моделі слід задавати електромеханічну сталу часу двигуна

$$T_m = J \cdot \frac{\omega_0}{M_n}. \quad (2.3)$$

Параметри АД та можливість їх встановлення або коригування залежать від стану функції Preset Model (попередня ініціалізація моделі даними деякого двигуна) вкладки Configuration (рис. 2.1а).

Наявність різкозмінних навантажень вимагає ретельного підходу до вибору параметрів системи електропостачання та її елементів. Основними питаннями, що виникають при роботі систем електропостачання з швидкою зміною навантаженнями, є визначення розрахункових активних і реактивних навантажень, визначення коливань активної та реактивної потужності та пов'язаних з ними коливань напруги, розрахунок і вибір параметрів пристроїв, що поліпшують якість електроенергії.

При роботі різкозмінних навантажень найбільш помітне зниження якості електроенергії проявляється у вигляді коливань напруги і відхилень від її номінального значення.

Виникнення відхилень і коливань напруги можна розглянути на прикладі фізичної моделі мережі:

Напруга мережі  $U_L = 0,4$  кВ,  $U_\phi = 230$  В,

Трансформатор 10/04

$S_{ном} = 1$  МВА,

2 асинхронних двигуна потужність кожного 15 кВт з механічною потужністю на валу 10 кВт,

2 асинхронних двигуна потужність кожного 37 кВт з механічною потужністю на валу 20 кВт,

2 асинхронних двигуна потужність кожного 37 кВт з механічною потужністю на валу 10 кВт.

Детальну характеристику трансформатора можна побачити на рисунку 2.3.

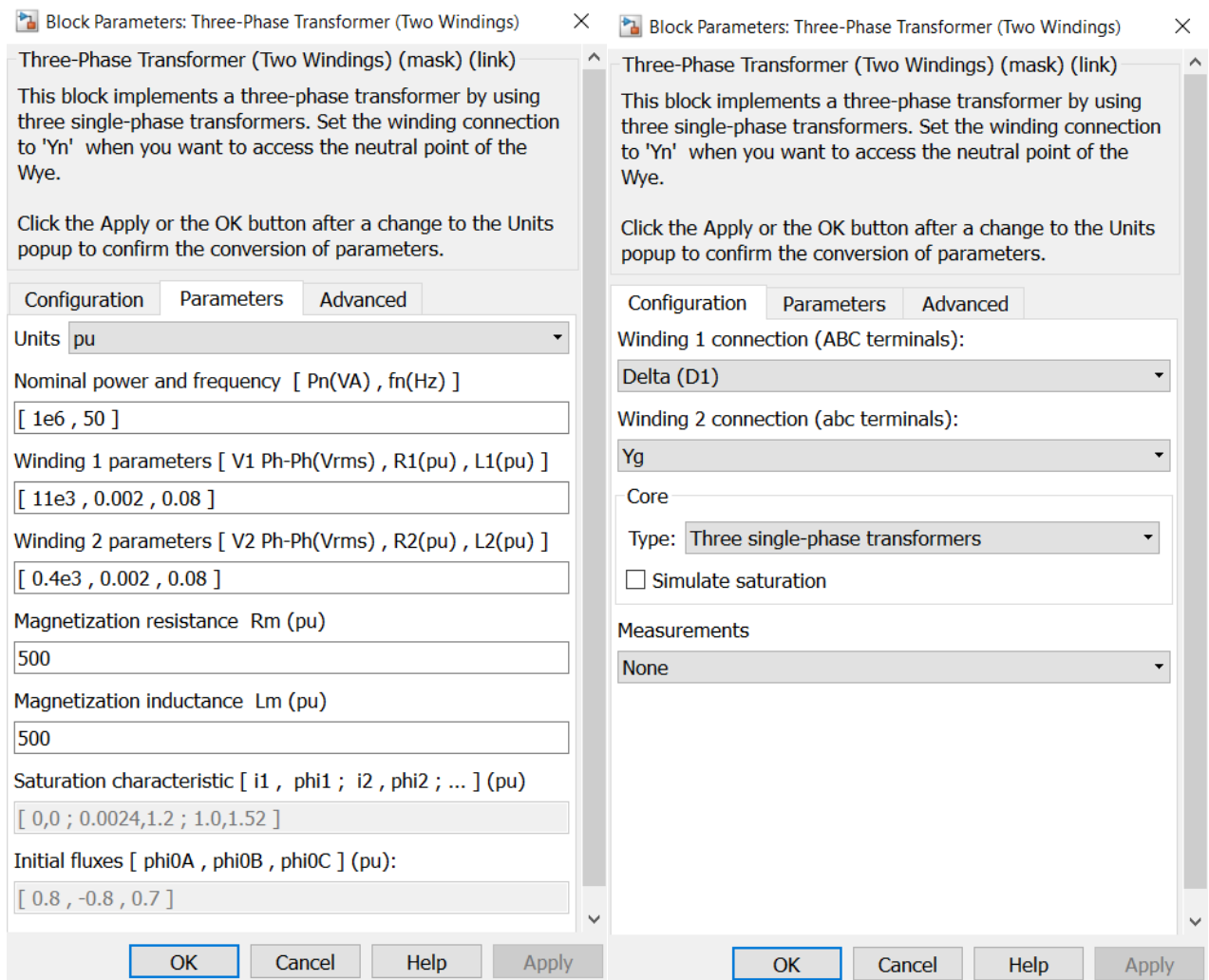


Рисунок 2.3 – Вкладки діалогового вікна встановлення параметрів блоку Three-Phase Transformer (Two Windings)

Послідовність ввімкнення двигунів в мережу:

- 1) Спочатку в мережу паралельно в один момент вмикається 2 двигуна потужність 15 кВт,

- 2) Потім послідовно з інтервалом в 2 с вмикаються 2 двигуни потужністю 37 кВт з механічним навантаженням на валу 20 кВт,
- 3) В кінці вмикаються 2 двигуни потужністю 37 кВт з механічним навантаженням на валу 10 кВт також з інтервалом 2 с.

Розрахунок коефіцієнтів потужності двигунів відбувався за допомогою формул:

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi, \frac{Q}{S} = \sin \varphi. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт активної потужності є досить низьким, а коефіцієнт реактивної потужності надто високий, тому є потреба в застосуванні приладів, які підвищують коефіцієнт активної потужності.

Таблиця 2.1 – Розрахункові потужності двигунів

Назва пристрою	$S_p$ , кВА	$\cos \varphi$	$P_p$ , кВт	$\sin \varphi$	$Q_p$ , кВар
АД 1	8,5	0,38	3,3	0,91	7,75
АД 1	8,5	0,38	3,3	0,91	7,75
АД 2	18	0,21	3,8	1	18
АД 3	18,2	0,2	3,8	0,97	17,8
АД 4	18	0,21	3,8	0,97	17,5
АД 5	17,7	0,209	3,7	0,98	17,4
Разом	88,9		21,7		86,2

Оцінка коливань напруги для установок, що споруджуються, проводиться за максимальним коливанням реактивної потужності, для нашого випадку, оцінка коливань напруги буде проводитись за показником швидкої зміни напруги на кожному проміжку часу. При цьому в японській практиці приймається, що якщо таким чином визначене максимальне коливання напруги менше 2%, то жодних заходів щодо зниження коливань не передбачається; якщо коливання 2,5%, то ці

заходи повинні передбачатися, а в діапазоні 2-2,5% вони повинні передбачатися при наявності скарг. Причому рівні напруги в різних точках мережі залежать від рівня напруги на джерелі та значень втрат напруги в елементах мережі, які знаходяться між джерелом та точкою мережі, що розглядається. Втрати напруги змінюються зі змінами струмів навантажень, що спричиняє відповідні зміни рівнів напруг у точках приєднання електроприймачів, відхилення яких від номінального значення не повинні перевищувати  $\pm 5\%$  в нормальних режимах та  $\pm 10\%$  - в максимальних (після-аварійних) режимах.

В інженерних розрахунках режимів роботи електропостачальних систем низької та середньої напруги (НН та СН), а також коротких ліній живлення високої напруги (ВН), не пов'язаних з визначенням векторів напруг, переважно користуються спрощеними формулами, нехтуючи поперечною складовою спаду напруги. Тоді втрати напруги в ділянці мережі номінальною напругою  $U_H$  (кВ) з опорами - активним  $R$  (Ом) та реактивним  $X$  (Ом), визначають за потужністю  $S = P + jQ$  (кВА) за формулою, В

$$\delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_H} \cdot 10^{-3}. \quad (2.5)$$

або за струмом навантаження  $I$  (А) та значеннями  $\cos\varphi$  і  $\sin\varphi$ , кВ:

$$\delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi). \quad (2.6)$$

Для групи електродвигунів за відомими значеннями приростів коефіцієнтів завантаження по активній  $\Delta\beta_i = \frac{\Delta P_i}{P_{\text{НОМ}}}$  та реактивній  $\Delta\alpha_i = \frac{\Delta Q_i}{Q_{\text{НОМ}}}$  потужностях зниження напруги на затискачах складуть

$$\delta U = \frac{R \cdot \Delta\beta \cdot P_{\text{НОМ}} + X \cdot \Delta\alpha_i \cdot Q_{\text{НОМ}}}{U_H}. \quad (2.7)$$



## 2.2 Розрахунок показника швидкої зміни напруги

Для визначення амплітуди коливань потрібно знайти різницю між наступними один за одним екстремумами обвідної діючих значень напруги.

Швидка зміна напруги (ШЗН) - це величина, що дорівнює різниці значень  $U_{\max}$  і  $U_{\min}$  наступних один за одним екстремумів обвідної діючих значень напруги, визначених на кожному напівперіоді в процентах від номінальної напруги  $U_{\text{НОМ}}$  [1]:

$$\delta U_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%. \quad (2.8)$$

Під час ввімкнення перших двох двигунів відбувається швидка зміна напруги з 220 до 230,2 В (рисунок 2.4).

$$\delta U_{t1} = \frac{230,2 - 220}{230} \cdot 100\% = 4,43 \%$$

Розрахунки інших коливань заносимо до таблиці 2.2.

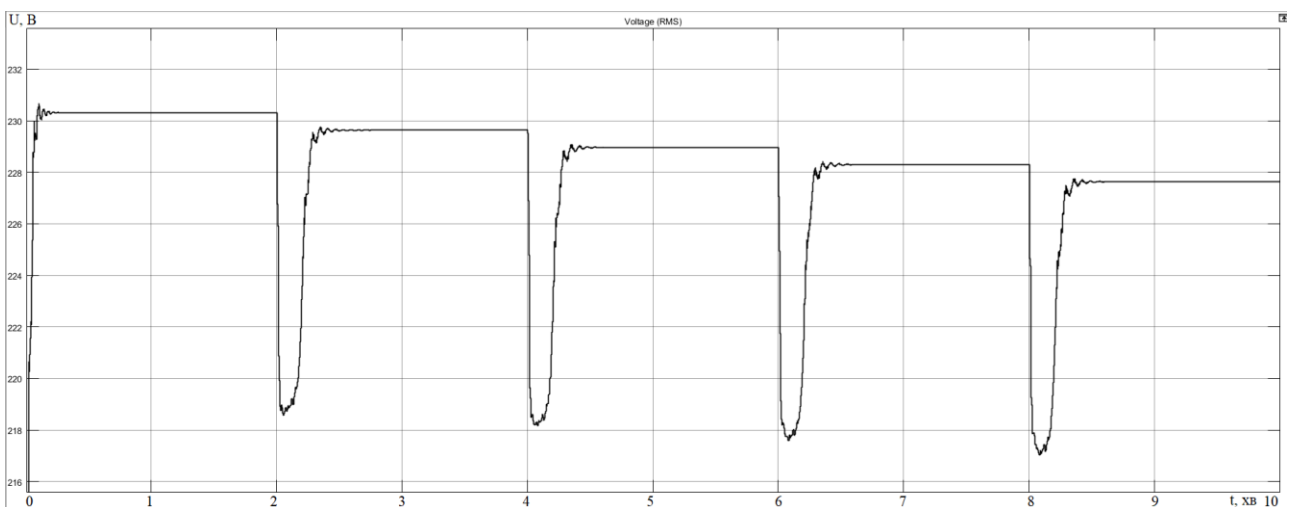


Рисунок 2.4 –Графік зміни напруги виміряний через блок (RMS) за час 10 с

Після включення всіх двигунів, сумарна потужність яких складе 20 кВт та реактивна 80 кВар напруга зменшиться всього на 2,2 В.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку швидкої зміни напруги під час запуску двигунів

№	$U_{\max}$ , В	$U_{\min}$ , В	$\delta U_{ti}$ , %
1	230,2	220	4,43
2	229,8	218,3	5
3	229	218,1	4,73
4	228,2	217,8	4,52
5	227,8	217,1	4,65

Рівень швидкої зміни напруги перевищив допустимі 2%, тому його необхідно компенсувати.

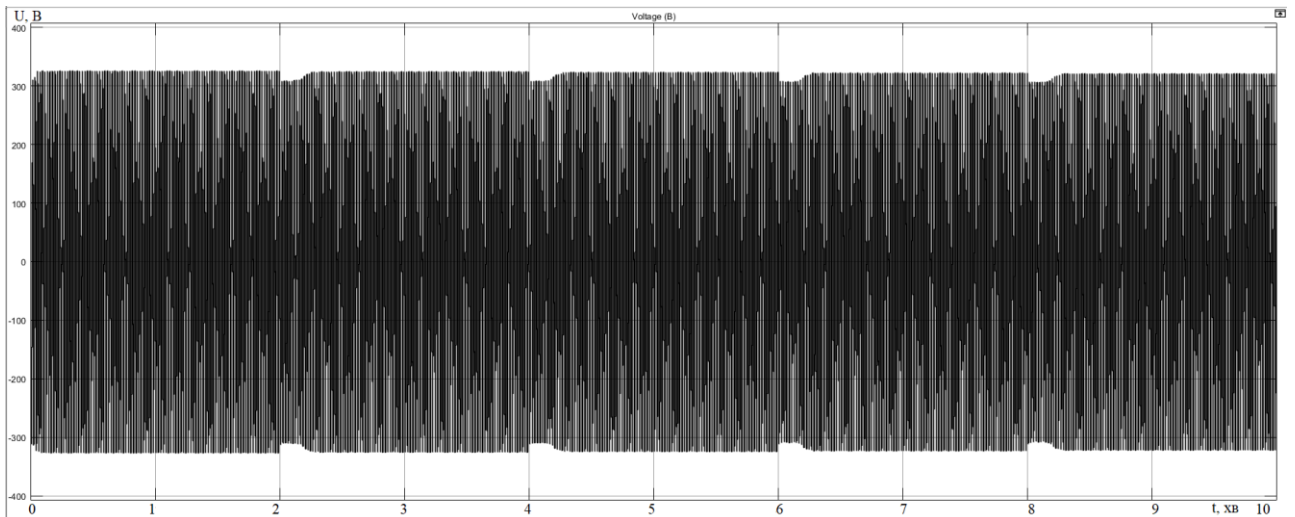


Рисунок 2.4 – Заданий графік зміни напруги за час 10 с

Реакція струму на запуски АД є дуже різкою. Під час запуску перших двигунів значення струму зростає до 590 А, кратність якого в 23 рази більша від номінального значення 25 А (рисунок 2.5), під час запуску наступного двигуна кратність струму зменшується до 10 разів, при номінальному струму 50 А.

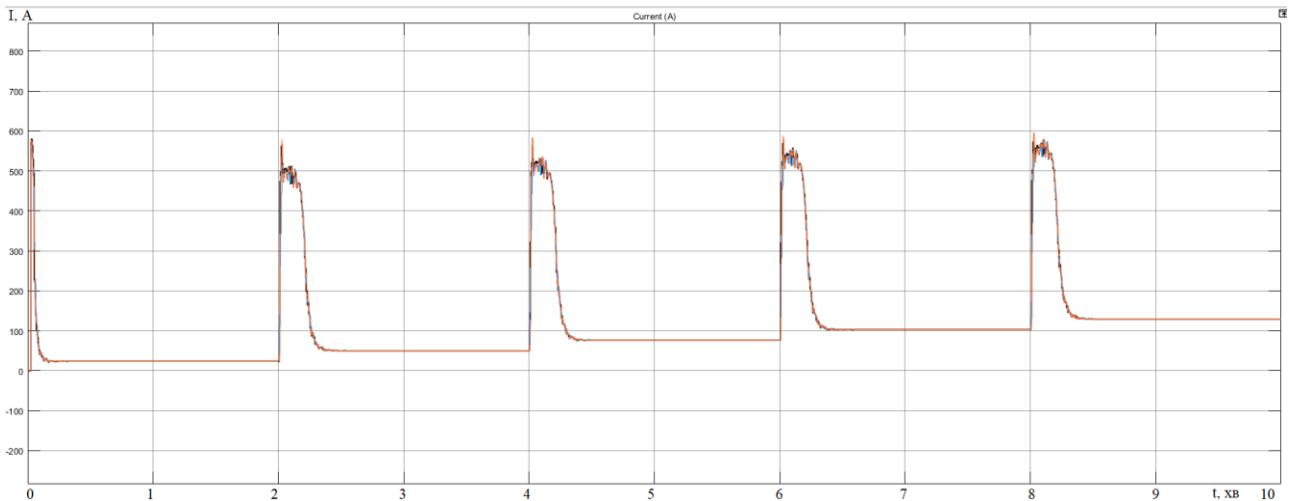


Рисунок 2.5 – Заданий графік зміни струму за час 10 с

Перехідний процес в двигунах потужністю 15 кВт є не таким довготривалим, як в двигунах 37 кВт, але паралельне підключення 2 двигунів збільшують активну потужність до 275 кВт при номінальній 5 кВт (рисунок 2.6). Включення наступного двигуна характерне збільшенням потужності до 120 кВт та довготривалим перехідним процесом.

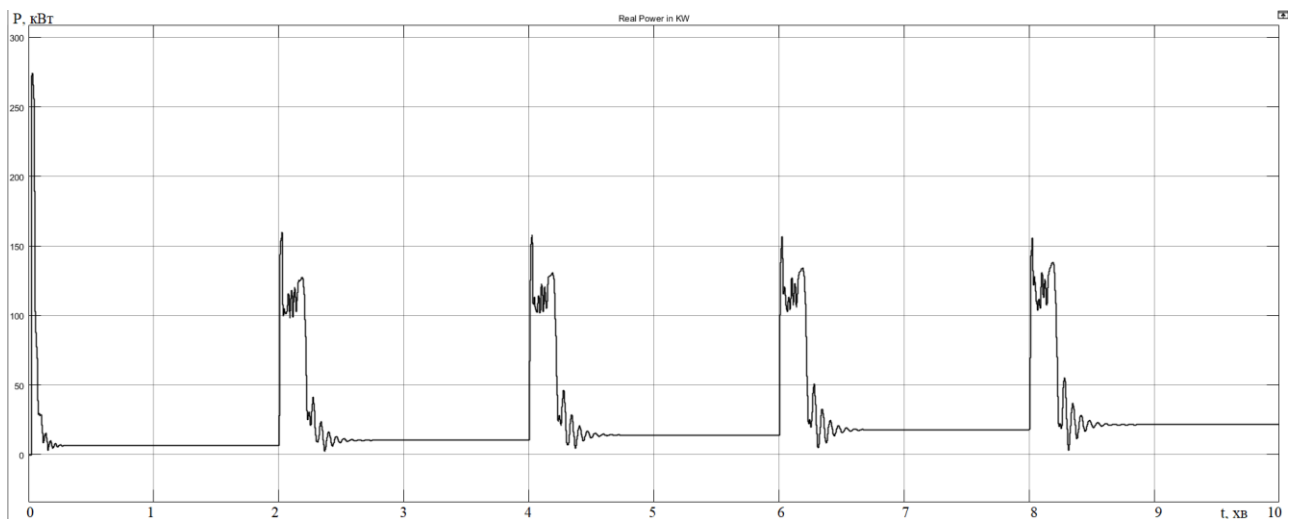


Рисунок 2.6 – Заданий графік зміни активної потужності за час 10 с

Реактивна потужність під час запуску 2 перших двигунів при таких навантаженнях зростає до 250 кВар (рисунок 2.7) при номінальній 17 кВар, та характеризується не довготривалим перехідним процесом.

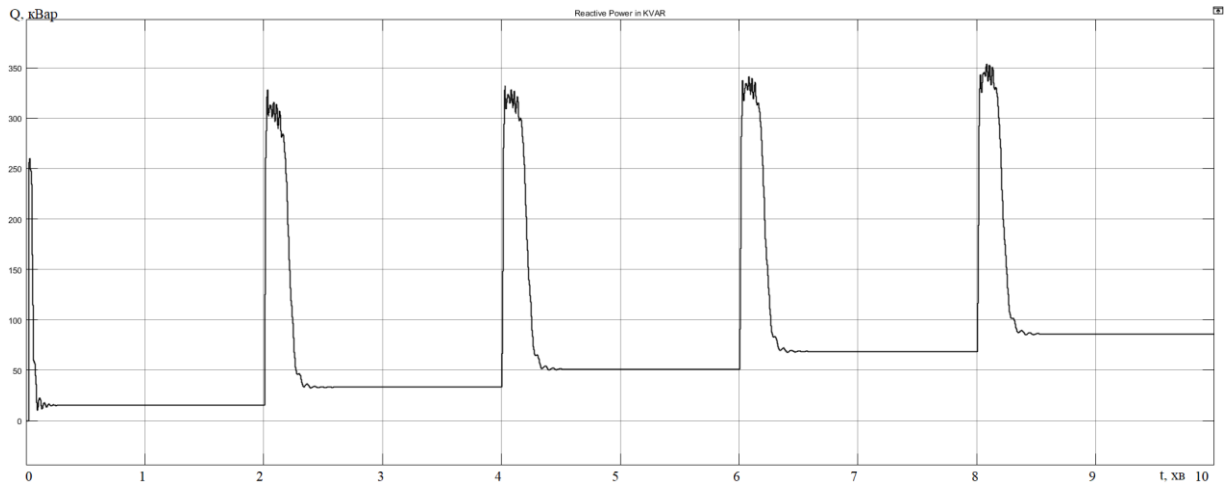


Рисунок 2.7 – Заданий графік зміни реактивної потужності за час 10 с

Для знаходження повної потужності по заданим графікам активної та реактивної потужності її можна обрахувати за формулою:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ [кВА]}. \quad (2.9)$$

Результати моделювання графіка повної потужності показано на рисунку 2.8.

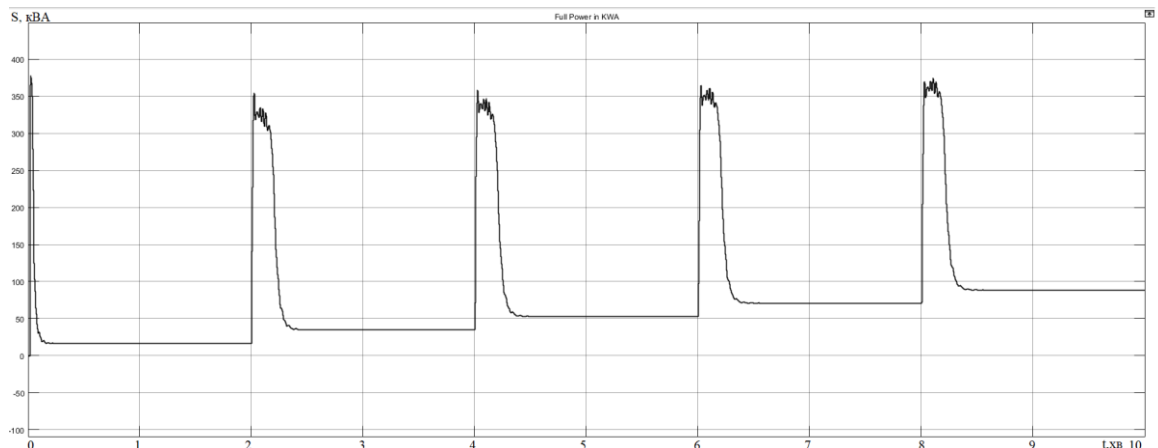


Рисунок 2.8 – Заданий графік зміни повної потужності за час 10 с

### 2.3 Розрахунок показника флікера

Розрахунок характеристики показника флікера здійснюється за допомогою флікеретра, який наведений в базі середовища програмування Matlab (Рисунок

2.9).

Флікерметр обладнаний двома входами та двома виходами серед яких:

- 1) enable – подається сигнал для визначення кроку виміру,
- 2) u – напруга одної фази через вольметр,
- 3) S5 – вихід на запам'ятовуючий пристрій,
- 4) m – виведення на лічильник вибраних показників.

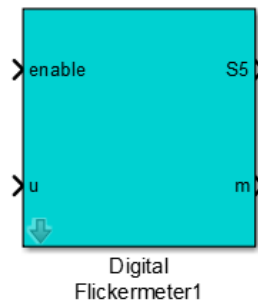


Рисунок 2.9 – Блок Digital Flickermeter середовища програмування Matlab

В діалоговому вікні флікерметра ми можемо вибрати частоту мережі 50/60 Гц, номінальну вхідну фазну напругу  $U_{rms}$ , максимальну вхідну напругу у відносних одиницях (pu), максимально-допустимий показник флікера у відносних одиницях (pu) та коефіцієнт масштабування для зорового сприйняття.

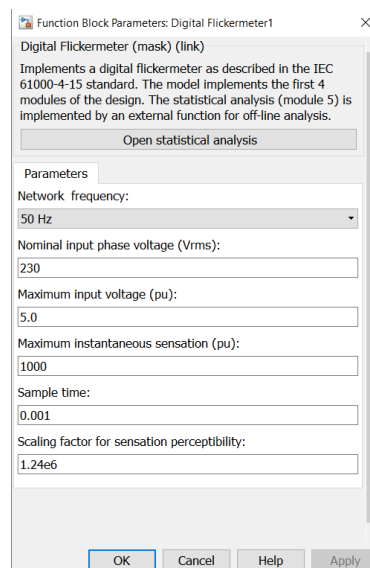


Рисунок 2.10 – Вкладки діалогового вікна встановлення параметрів блоку Digital Flickermeter

На рис. 2.11 представлена повна структурна схема флікерметра. У його

структурі можна виділити п'ять окремих блоків.

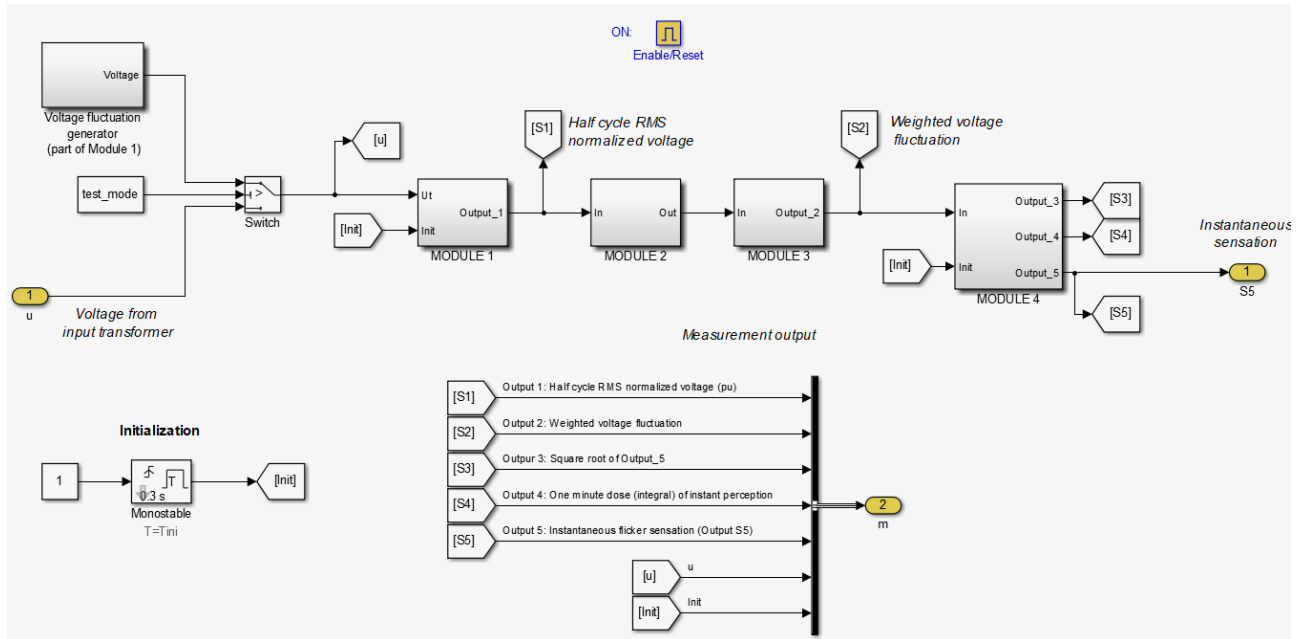


Рисунок 2.11 – Внутрішня структура Digital Flickermeter1 в середовищі програмування Matlab

Блок 1. У цьому блоці з сигналу, що змінюється пропорційно діючим значенням напруги живлення, виділяється інформація про миттєві зміни напруги, причому середнє значення цих змін напруги відповідає середньому діючому значенню напруги, що визначається з інтервалом в одну хвилину (рисунок 2.12). Це дозволяє відстежувати вільні зміни напруги, що викликаються, наприклад, процесами регулювання напруги з боку живлячої системи. Вихідний пристрій блоку 1 забезпечує передачу вхідного сигналу в блок 2. Він також включає в себе генератор сигналу для калібрування приладу. Блоки 2, 3 і 4 являють собою моделі ламп розжарювання, очей і мозку людини.

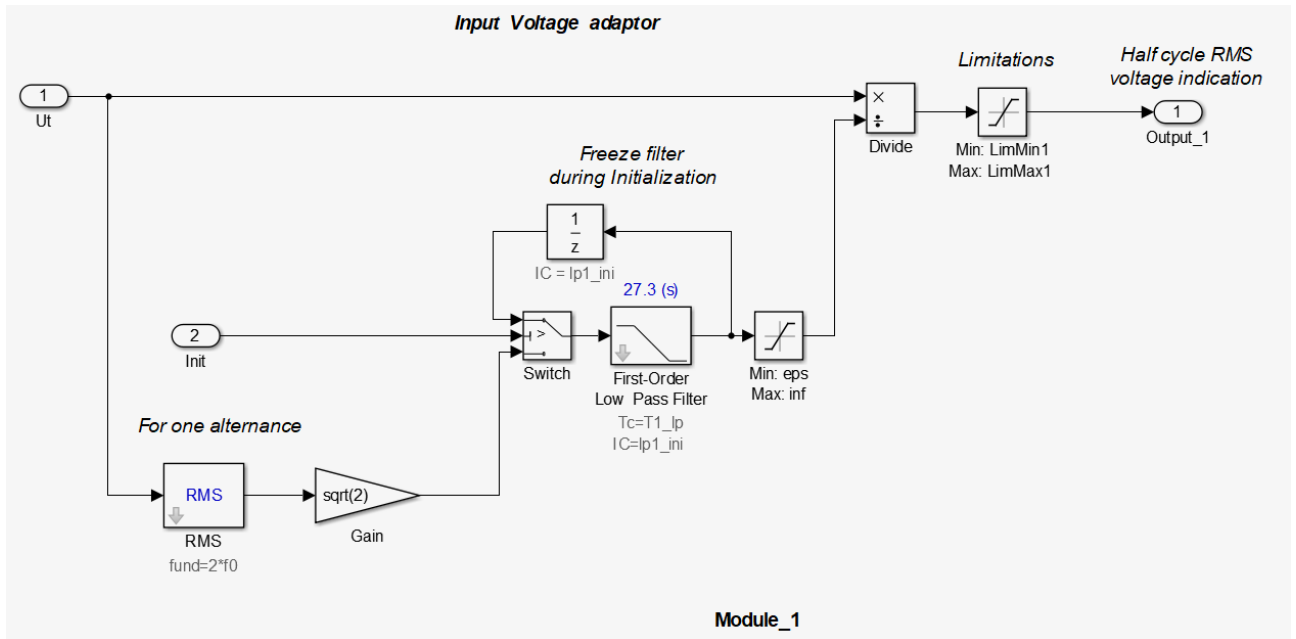


Рисунок 2.12 – Внутрішня структура блоку 1 (Module\_1)

Блок 2 (демодулятор). Вхідним сигналом для цього пристрою є миттєва зміна напруги, яка може бути інтерпретована як сигнал модуляції, накладений на основну частоту 50 Гц. У зв'язку з цим виникає необхідність визначення сигналу модуляції. Для цієї мети служить демодулятор в структурній схемі вимірювача. Далі сигнал зводиться в квадрат. Застосування квадратичного демодулятора пояснюється простотою його технологічної реалізації і задовільними результатами вимірювань (рисунок 2.13).

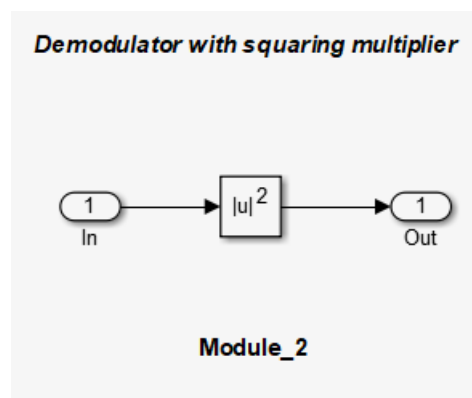


Рисунок 2.13 – Внутрішня структура блоку 2 (Module\_2)

Блок 3. Цей блок включає в себе кілька фільтрів. Перший фільтр затримує постійну складову і інші небажані складові вихідного сигналу демодулятора.

Частотна характеристика пристрою: лампа розжарювання - очей людини була відтворена за допомогою широкосмугового фільтру 4-го порядку (рисунок 2.14).

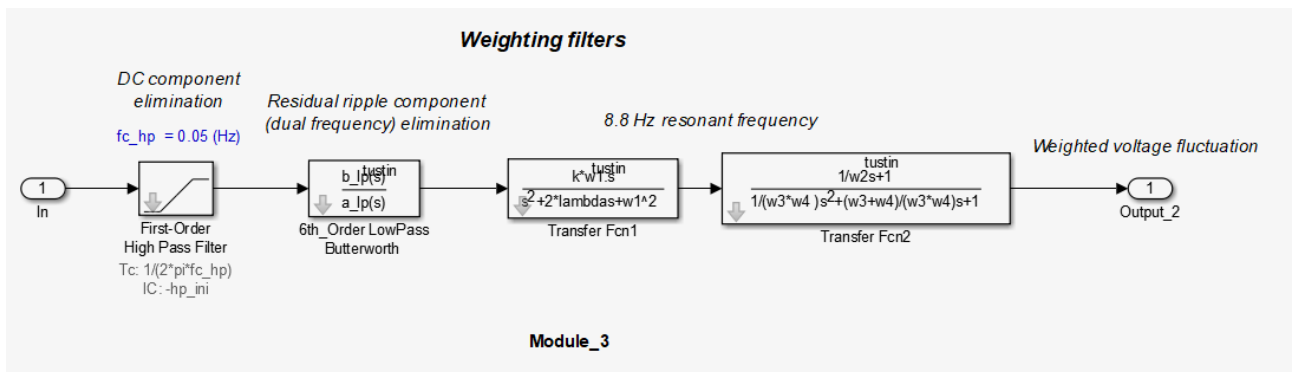


Рисунок 2.14 – Внутрішня структура блоку 3 (Module\_3)

Блок 4. Цей блок представляє собою модель нелінійної реакції мозку людини на коливання світлового потоку. Ця модель включає зважуючий фільтр, квадратор і забезпечує визначення оптимального сигналу, реалізованого за допомогою фільтра низьких частот першого роду з постійною часу близько 300 мс. Сигнал на виході блоку 4 представляє собою миттєвий рівень КН. Фактично він перетворюється в величину, яка відповідає порогу сприйняття миготіння світла. Якщо цей сигнал більше 1, це означає, що інтенсивність мигання перевищує рівень сприйняття і може бути навіть нестерпною (рисунок 2.15).

Блок 5. Даний блок виконує статистичну оцінку інтенсивності миготіння. З аналізу механізму сприйняття слідує, що миготіння має оцінюватися протягом певного періоду часу. Крім того, в зв'язку з випадковим характером КН слід враховувати, що під час спостереження миттєве значення рівня флікера може змінюватися. Звідси виникає необхідність статистичної оцінки і контролю не тільки максимального рівня, але і ступінь перевищення заданого рівня за час спостережень. Статистичний аналіз вимагає також визначення кореляції між враховуваними значеннями певного рівня флікера і їх тривалістю (рисунок 2.15).



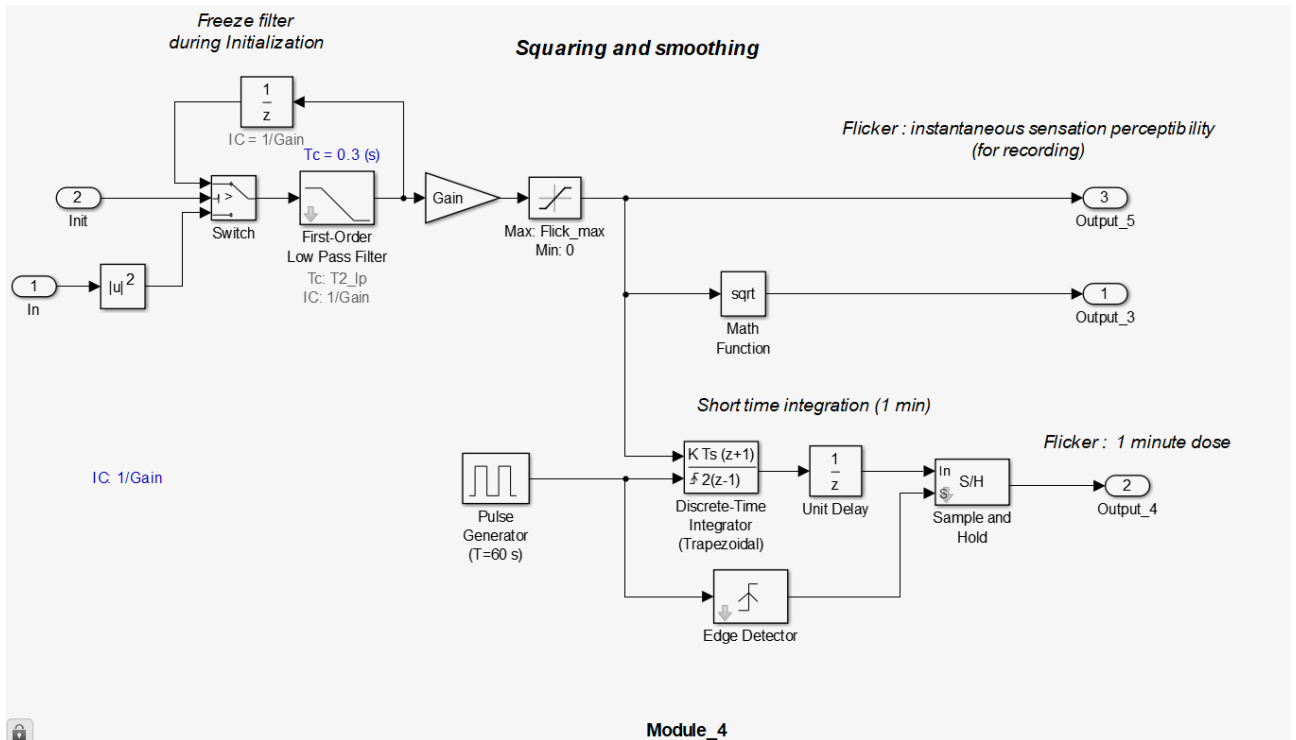


Рисунок 2.15 – Внутрішня структура блоку 4,5 (Module\_4)

Під час запуску двигунів потужністю 15 кВт флікерметр не сприймає значних змін тому не відображає їх на графіку зміни показника флікера. АД потужністю вище 20 кВт спричиняють значні мерехтіння, в нашому випадку двигун 37 кВт при запуску збільшує показник флікера до  $P_s = 25$  одиниць, подальші ввімкнення двигунів спричиняють аналогічні реакції системи (рисунок 2.16).

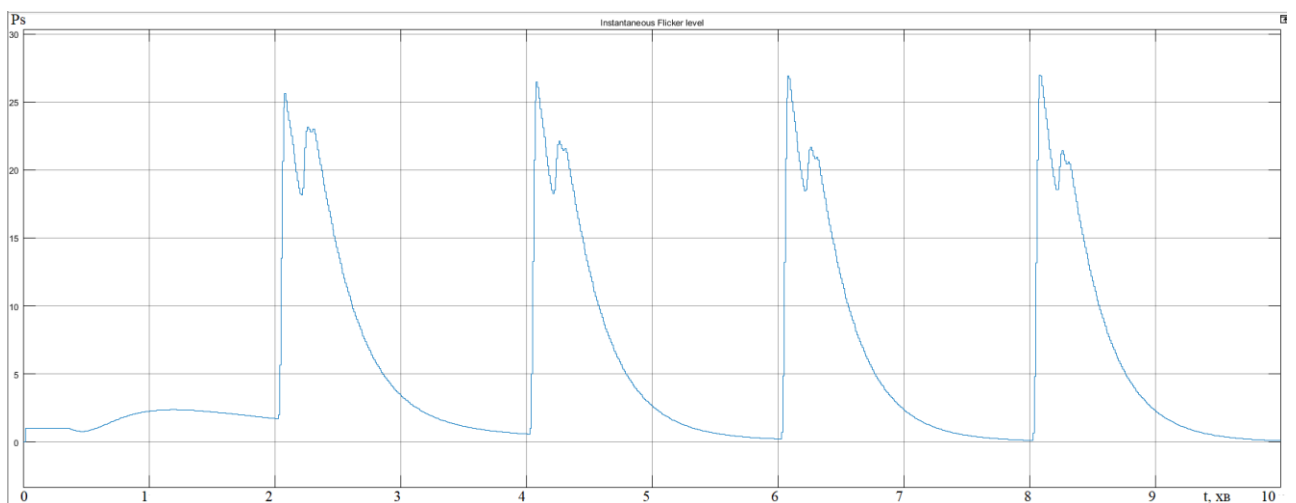


Рисунок 2.16 – Графік зміни показника флікера під час запуску двигунів

Через обмеженість системних ресурсів ввімкнення відбувалося через 2 секунди, тому показник флікера слід розраховувати для кожного двигуна окремо. Тоді використовуємо тільки перші 2 формули (1.5), тому що після 2 секундного інтервалу ПФ буде дорівнювати 0. Розрахуємо ПФ для другого двигуна.

$$P_{0,1s} = 26,$$

$$P_{1s} = \frac{12 + 4 + 2}{3} = 6,$$

$$P_{St} = \sqrt{0,0314 \cdot 26 + 0,0525 \cdot 6} = 1,05.$$

Таблиця 2.3 – Зміна показника флікера для кожного двигуна

№	$P_{St}$
1	0,295
2	1,05
3	1,05
4	1,05
5	1,05

В результаті розрахунків показник флікера перевищив не значні 0,05 одиниць, що є не значним перевищенням, але з бажаним зменшенням.

#### Висновок до розділу

В розділі розглянуто фізичні процеси при коливаннях напруги, способи вимірювання та розрахунків показників їх характеризують, вплив коливань напруги на електрообладнання і заходи щодо його зниження в умовах роботи навантаження асинхронного двигуна. Розраховано показник флікера та швидкої зміни напруги без компенсації.

### 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ

#### 3.1 Розробка схеми керування активним фільтром для компенсації коливань напруги

Для аналізу впливу активного фільтра на коливання напруги та компенсації гармонічних струмів в нелінійному та змінному навантаженні з паралельним активним фільтром була виконана модель (Додаток А) в комп'ютерному середовищі MatLab / Simulink (Mathworks Inc).

Модель містить наступні елементи: трифазне джерело напруги (Programmable Voltage Source), трансформатор (Three-Phase Transformer (Two Windings)), навантаження (Load) і підключений паралельно активний фільтр.

Якість роботи АФ залежить від методу формування задавальної дії на силову частину фільтра. Методи керування АФ розділяють на дві групи: часові і частотні. Апаратна реалізація часових методів є простішою у порівнянні з частотними, оскільки не потребує великого обсягу обчислень у реальному часі. Для більшості методів керування у часовій області використовують перетворення трифазної системи векторів А-В-С (струмів і напруг навантаження) у лінійно-незалежну систему  $\alpha$ - $\beta$ -0, яка нерухома у просторі. Вектори струму і напруги навантаження обертаються в цій системі з частотою мережі і у будь-який час можуть бути розраховані за своїми проекціями. Перетворення з однієї системи координат у іншу отримало назву перетворення Кларка:

$$\begin{bmatrix} f_0 \\ f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_0 \\ f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

де  $f_0, f_\alpha, f_\beta$  – система трифазних векторів в системі координат  $\alpha$ - $\beta$ -0;

$f_A, f_B, f_C$  – система трифазних векторів в системі координат А-В-С.

Миттєву потужність трифазної системи у вказаних системах координат розраховують за формулами:

$$\begin{aligned} p(t) &= u_A \cdot i_A + u_B \cdot i_B + u_C \cdot i_C = p_A + p_B + p_C = u_\alpha \cdot i_\alpha + u_\beta \cdot i_\beta + u_0 \cdot i_0 = \\ &= p_\alpha + p_\beta + p_0 = p_{\alpha\beta} + p_0, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де  $p_{\alpha\beta}$  – миттєва активна потужність,

$p_0$  – миттєва потужність нульової послідовності.

Потужність нульової послідовності  $p_0$  компенсують окремо, наприклад ввімкненням первинних обмоток трансформатора трикутником або симетрувальним пристроєм. Для компенсації реактивної потужності її значення записують через значення сил струмів і напруг на  $\alpha$ - $\beta$  площині:

$$q(t) = u_\alpha \cdot i_\beta + u_\beta \cdot i_\alpha, \quad (3.4)$$

або в звичайній системі координат:

$$q(t) \approx [(u_A - u_B) \cdot i_C + (u_B - u_C) \cdot i_A + (u_C - u_A) \cdot i_B] / \sqrt{3}. \quad (3.5)$$

Залежності миттєвих активної і реактивної потужності згідно з формулами (3.3) і (3.4) мають такий вигляд (рис. 3.1):

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}. \quad (3.6)$$

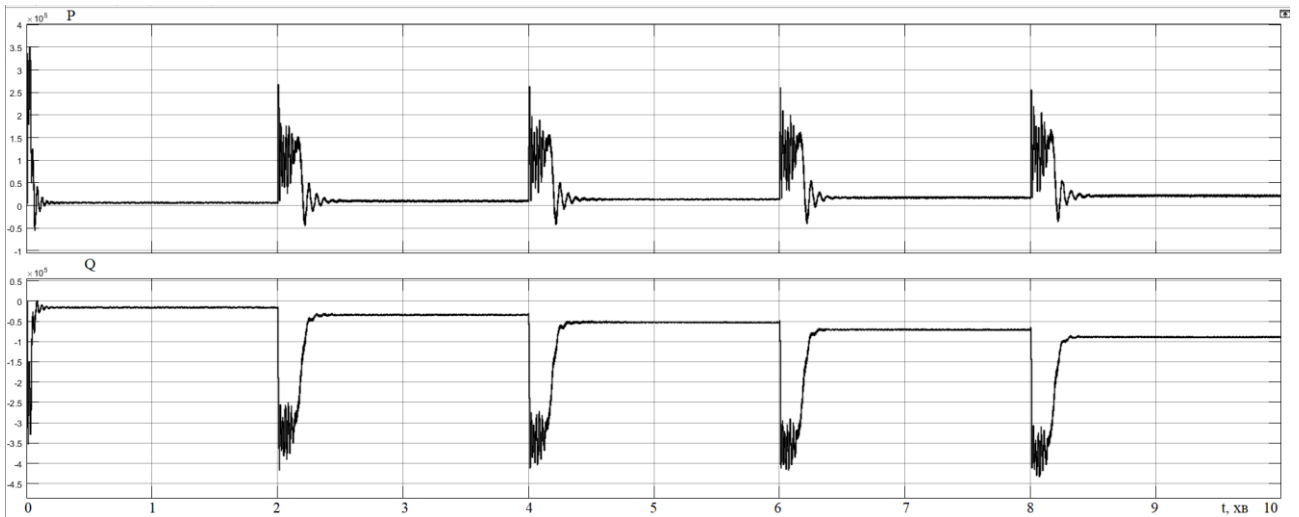


Рисунок 3.1 – Графік зміни миттєвої потужності в середовищі Matlab / Simulink

Для управління напругою конденсаторів використовують PID контролер вкладка діалогового вікна, якого наведена на рисунтку 3.2.

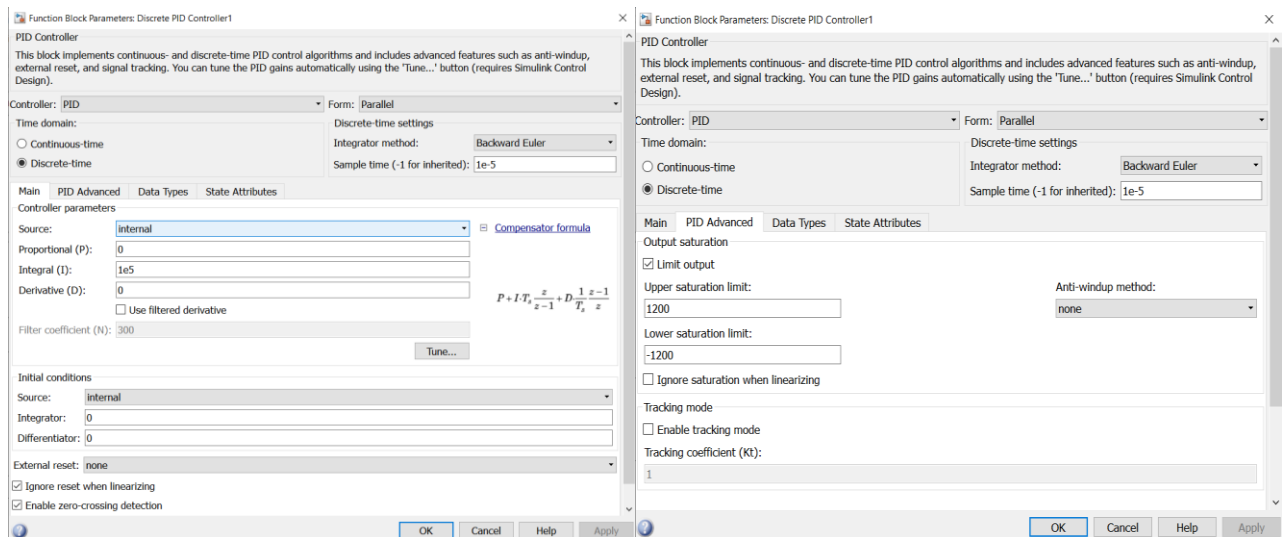


Рисунок 3.2 – Вкладки діалогового вікна встановлення параметрів блоку Discrete PID Controller

Для керування контролером була використана лише складова ( $K_i$ ), так як інші складові не впливали на роботу системи. Додавання інтегрального значення до контролера ( $K_i$ ), як правило, допомагає зменшити похибку в стаціонарному стані. При наявності постійної, стійкої помилки, інтегратор строїть і створює, тим самим збільшуючи управляючий сигнал і знижуючи помилку. Однак недоліком інтегрального методу є те, що він може зробити систему більш

млявою (і коливальною), оскільки, коли сигнал про помилку змінює знак, інтегратору може бути потрібен час для «переналаштування».

Миттєва активна потужність  $p(t)$  містить постійну складову  $P$  і змінну складову  $p\sim$ . Для покращення режиму роботи енергосистеми доцільно усунути повернення енергії від навантаження у джерело, для чого необхідно компенсувати реактивну потужність  $q$  і змінну складову активної потужності  $p\sim = p - P$ . Рівняння для розрахунку сил струмів, спричинених реактивною потужністю  $q$  і змінною складовою активної потужності  $p\sim$ , записують аналогічно (2.16) результати можна побачити на рисунку 3.3:

$$\begin{bmatrix} p - P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} p - P \\ q \end{bmatrix}. \quad (3.7)$$

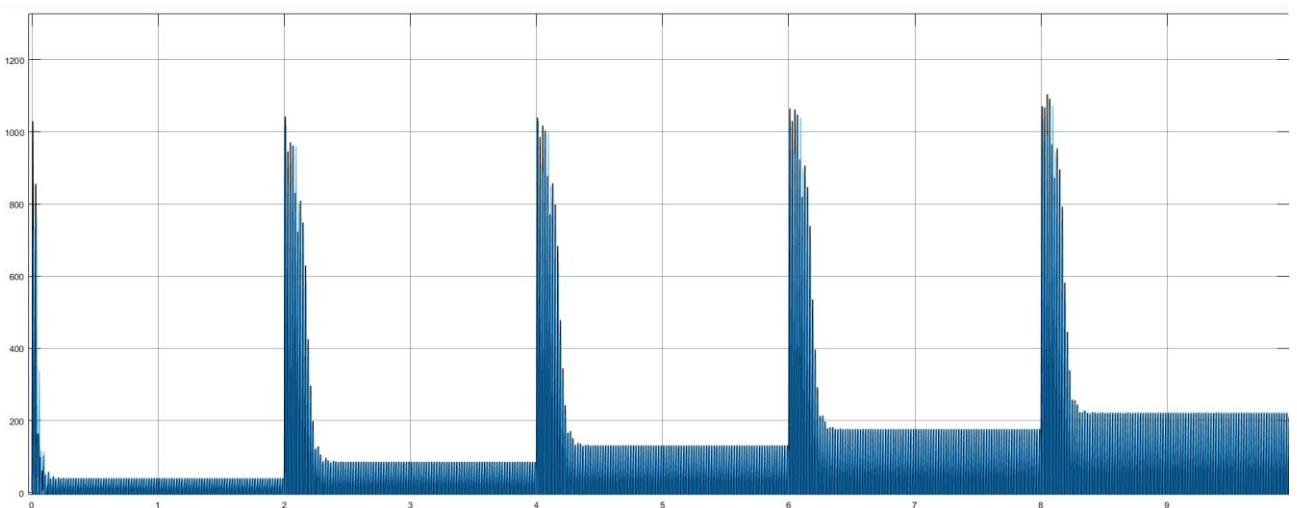


Рисунок 3.3 – Графік зміни струмів  $i_\alpha, i_\beta$  після PID контролера в середовищі Matlab / Simulink

Для переходу до системи координат А-В-С використовують перетворення Кларка, графік результатів перетворення продемонстровано на рисунку 3.4:

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} p - P \\ q \end{bmatrix}. \quad (3.8)$$

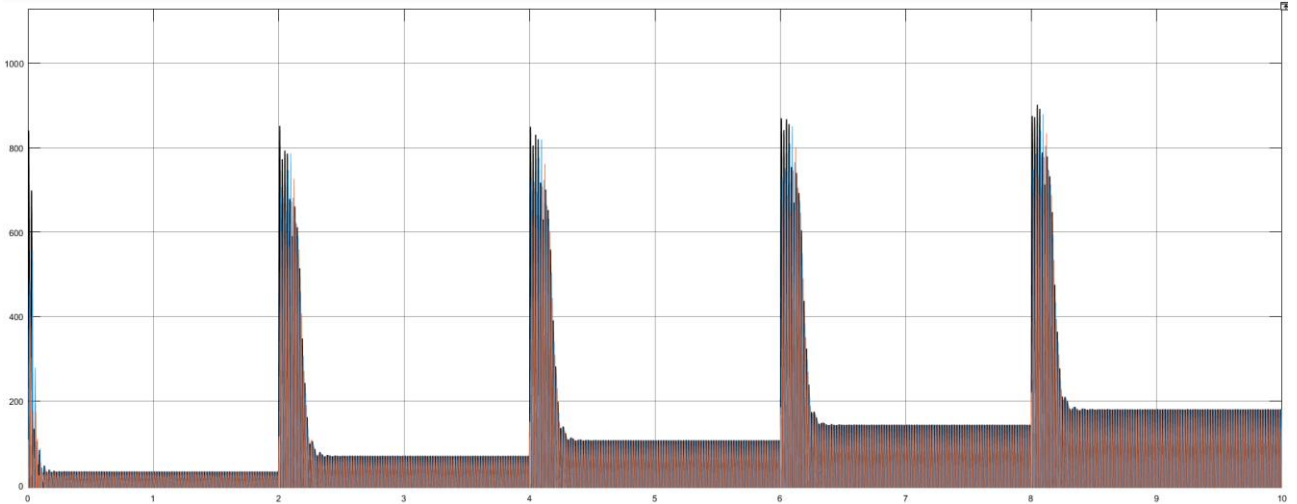


Рисунок 3.4 – Графік зворотного перетворення в систему координат А-В-С в середовищі Matlab / Simulink

Виділення середнього значення активної потужності  $P$  здійснюють фільтром нижніх частот. Для усунення обмінних процесів між джерелом і навантаженням достатньо сформувати струми у протифазі з отриманими у (3.8).

Для знаходження значень елементів АФ їх розраховують з умови компенсації реактивної потужності чисто індуктивного навантаження струмом  $I_{\max}$ :

$$L_{\min} = \frac{\Delta U_{\min}}{2 \cdot \pi \cdot f_M \cdot I_{\max}}, \quad (3.9)$$

де  $\Delta U_{\min}$  – різниця між напругою конденсатора АФ і діючим значенням напруги мережі;

$f_M$  – частота мережі.

На практиці значення індуктивності на декілька порядків більшим і залежить від обмеження на амплітуду пульсації струму джерела  $\Delta I_{\max}$ :

$$L = \frac{\Delta U_{\max} \cdot T_{\text{ШИМ}}}{\Delta I_{\max}}. \quad (3.10)$$

Ємність конденсатора С АФ розраховують з міркувань забезпечення заданого коефіцієнту пульсації напруги на ньому. Регулювання реактивної енергії АФ здійснюють запасом електричної енергії конденсатора:

$$\Delta W = \frac{3}{2} \cdot (LI_1^2 - LI_0^2). \quad (3.11)$$

Найгіршим випадком є перехід від компенсації індуктивної реакції навантаження на ємнісну компенсацію. Тоді початкова напруга на конденсаторі  $U_{C0}$  зменшиться до значення  $U_{C1}$ .

$$\Delta W = \frac{1}{2} \cdot (CU_{C0}^2 - CU_{C1}^2) \approx CU_{C0} \cdot (CU_{C0} - CU_{C1}). \quad (3.12)$$

Прирівнявши формули (3.11) і (3.12), отримаємо:

$$C = \frac{3L \cdot (I_1^2 - I_0^2)}{2 \cdot CU_{C0}^2 \cdot K_{\Pi}}. \quad (3.13)$$

В нашому випадку конденсатор налаштований на 1200 мкФ та еталонне значення для регулювання  $V_{\text{ref}} = 4000$ . Рівень напруги не вказано, він регулюється за допомогою PID контролера.



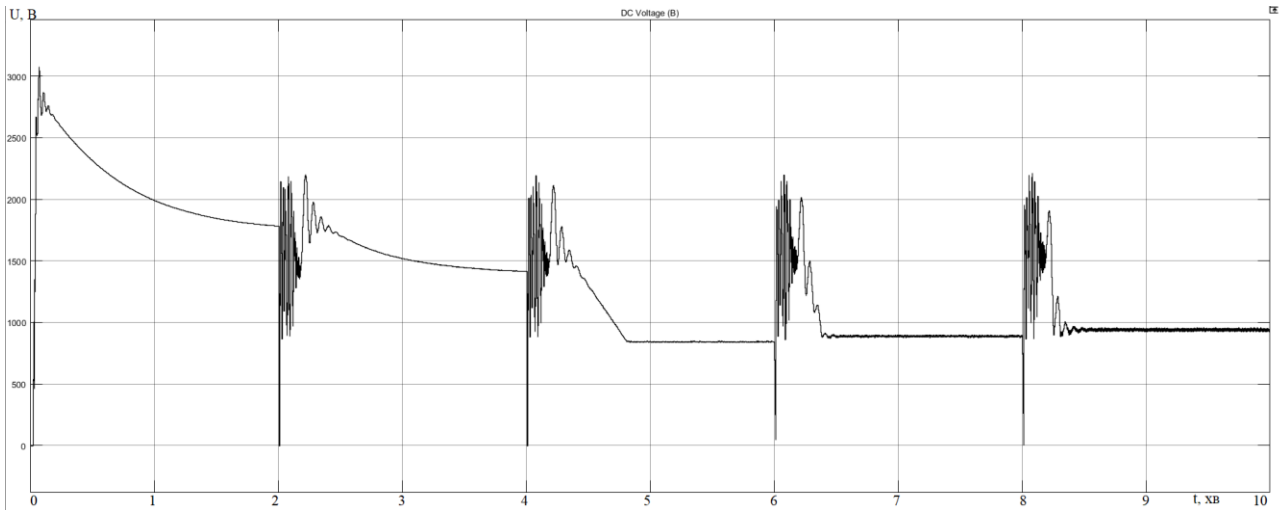


Рисунок 3.5 – Графік зміни напруги DC на конденсаторі після компенсації

Під час дослідження було виявлено стійку помилку АФ, яка розробляється тільки після ввімкнення 3 двигуна, в цей час коефіцієнт гармонічних спотворень напруги тримається в межах 6-8 %, лише після зняття помилки він стабілізується на відмітці в 1,5% та більше не змінюється, за винятку момент компенсації реактивної потужності (рисунок 3.6).

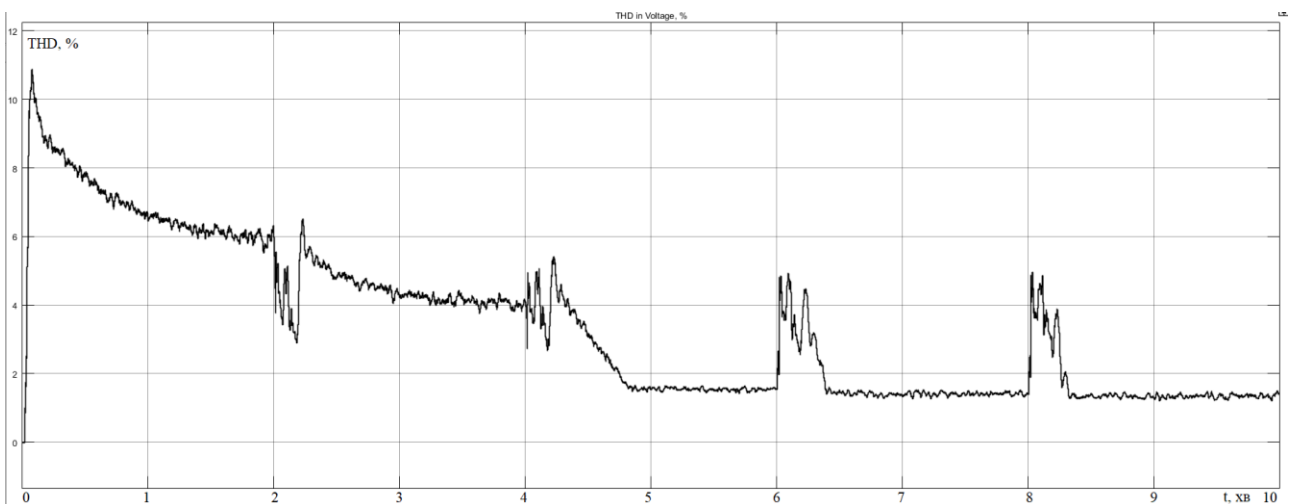


Рисунок 3.6 – Графік зміни коефіцієнту гармонічних спотворень напруги після компенсації

В середовищі програмування Matlab існує дилема при якій фільтр реагує лише через 0,02 секунди після появи збурень, тому що це мінімальний період зняття показників. Через 0,02 с. АФ компенсує значну кількість реактивної енергії та стабілізує рівень напруги.

### 3.2 Дослідження впливу активного фільтра на показник швидкої зміни напруги

Під час ввімкнення перших двох двигунів потужністю 15 кВт відбувається швидка зміна напруги, яку АФ компенсує повністю та вирівнює рівень напруги до номінального (рисунок 3.7). Кожен наступний двигун спричиняє стрибок реактивної потужності вище 250 кВар з яким АФ не може повністю впоратись, знижуючи рівень лише до 100 кВар. Тому рівень напруги при запуску цих двигунів покращується до 226 В замість 220 В.

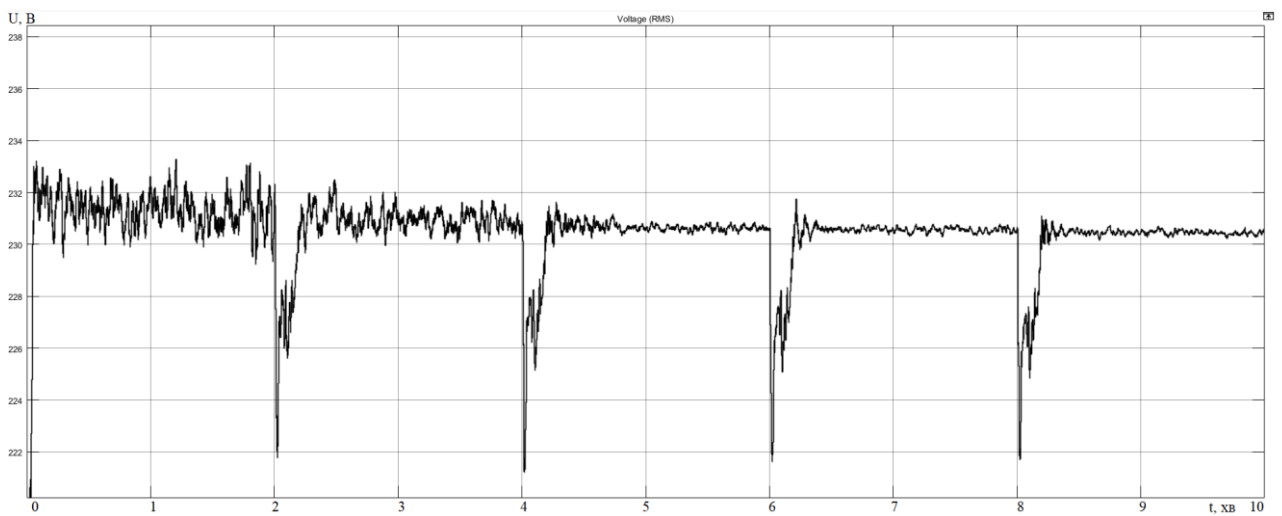


Рисунок 3.7 –Графік зміни напруги виміряний через блок (RMS) за час 10 с

Активний фільтр забезпечує коефіцієнт потужності майже рівний 1, та компенсує реактивну. В порівнянні до застосування АФ коефіцієнт реактивної потужності був близько одиниці, а зараз майже нуль.

Таблиця 3.1 – Розрахункові потужності двигунів після компенсації коливань напруги

Назва пристрою	$\cos \varphi$	$P_p$ , кВт	$\sin \varphi$	$Q_p$ , кВар
----------------	----------------	-------------	----------------	--------------

АД 1	1	4,3	0,081	0,35
АД 1	1	4,3	0,081	0,35
АД 2	1	4	0,01	0,01
АД 3	1	4,6	0,01	0,01
АД 4	1	6	0,15	0,9
АД 5	1	6,5	0,15	1
Разом		29,7		2,62

Розрахунок швидкої зміни напруги розраховуємо для 2 двигуна. Розрахунки інших змін заносимо до таблиці 3.2.

$$\delta U_{t2} = \frac{230 - 226}{230} \cdot 100\% = 1,73\%.$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку швидкої зміни напруги під час запуску двигунів після регулювання АФ

№	$U_{\max}$ , В	$U_{\min}$ , В	$\delta U_i$ , %
1	230	230	0
2	230	226	1,73
3	230	226	1,73
4	230	226	1,73
5	230	226	1,73

Після використання АФ рівень швидкої зміни напруги зменшився до допустимих 1,73% від початкових майже 5%, що є гарним результатом.

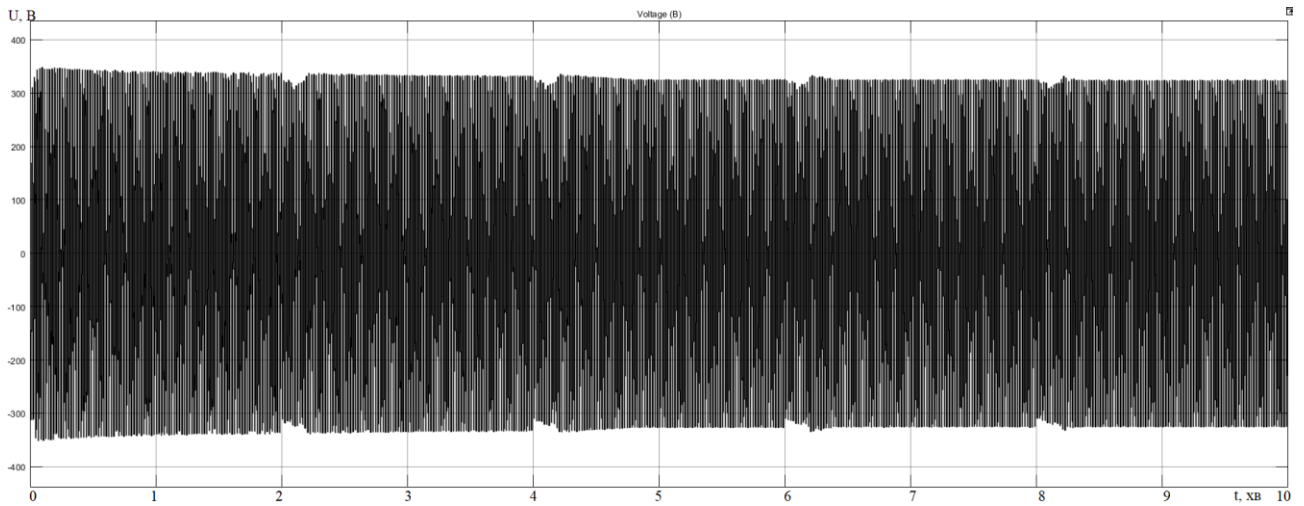


Рисунок 3.8 – Графік зміни напруги після компенсації реактивної потужності

Струм після компенсації на 2 двигуні з 550 А зменшився до 300 А потім зріс до 400 А з різким спадом до стабільних 8 А (рисунок 3.9). Під час запуску наступних двигунів струм майже не змінюється.

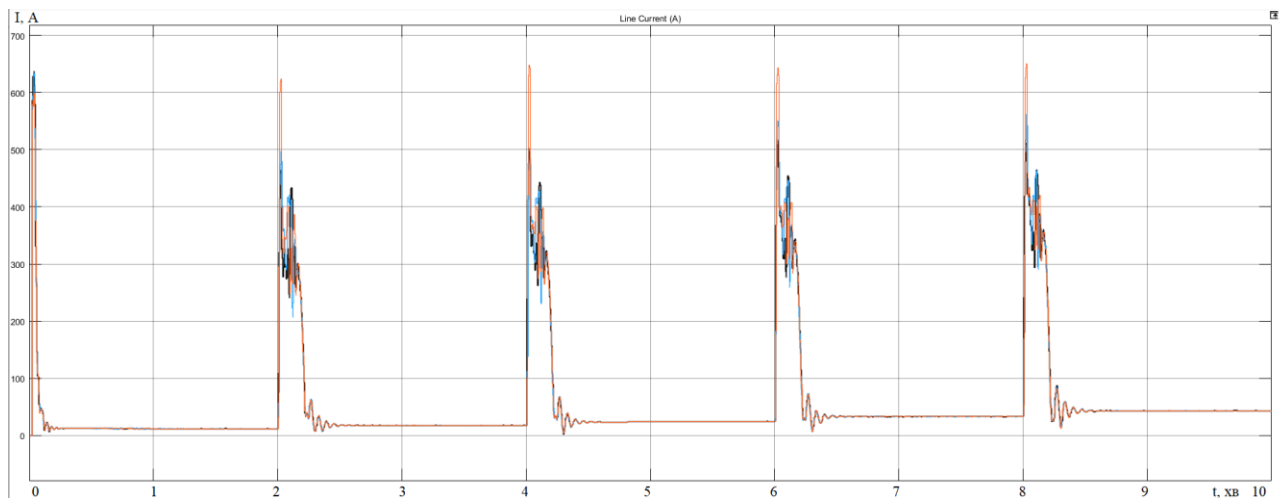


Рисунок 3.9 –Графік зміни струму за час 10 с

Активна потужність після компенсації реактивної потужності зростає на всіх двигунах окрім першого до 220 кВт (рисунок 3.10).

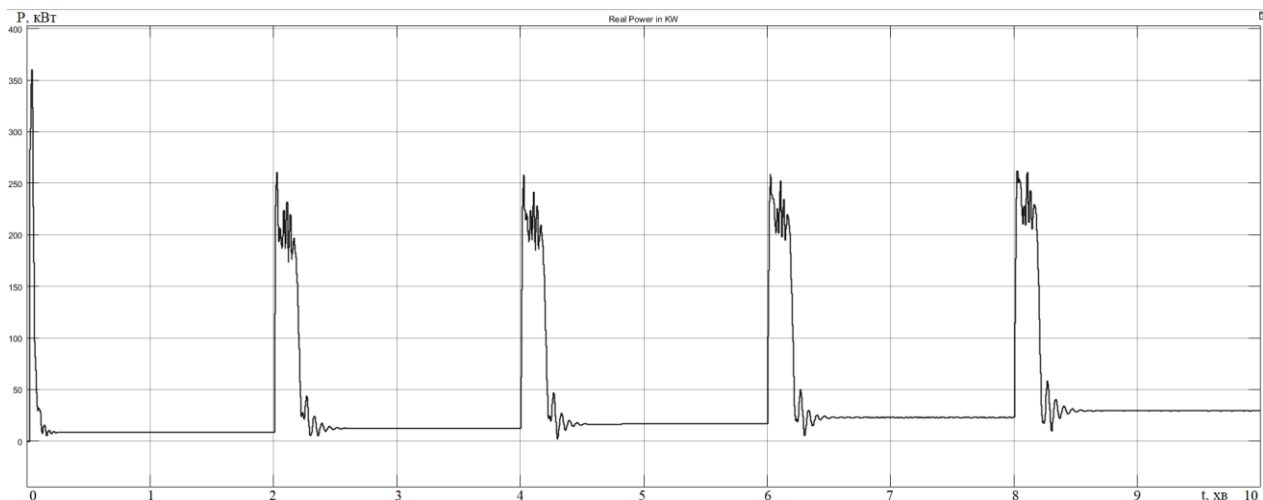


Рисунок 3.10 – Заданий графік зміни активної потужності за час 10 с

Реактивна потужність під час запуску 2 перших двигунів повністю компенсується, для інших двигунів компенсація здійснюється лише до рівня 100 кВар (рисунок 3.11), а після запуску двигуна тримається в межах до  $<1$  кВар.

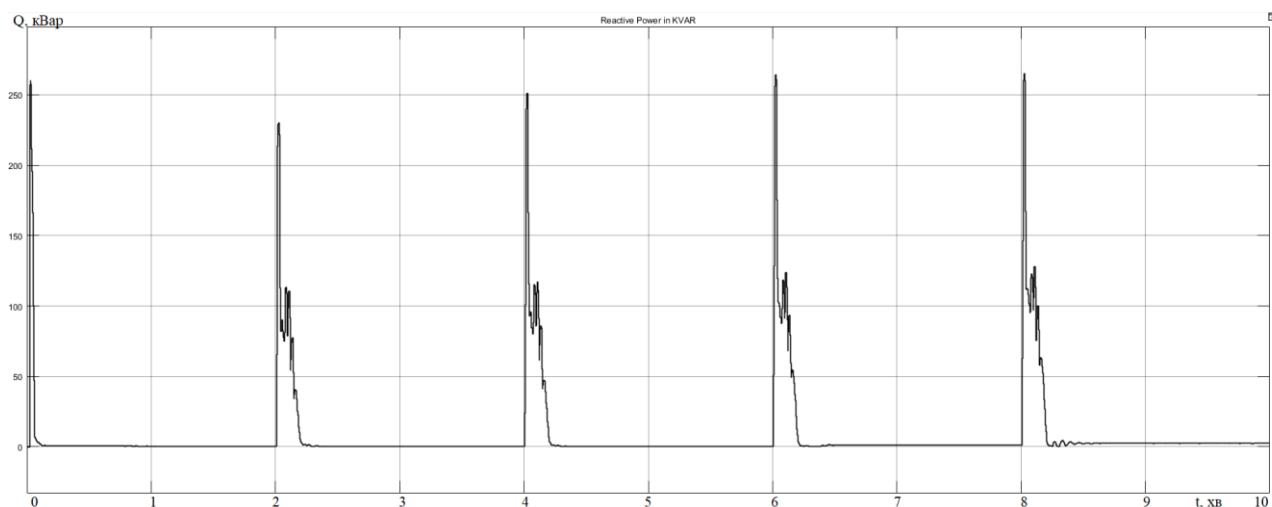


Рисунок 3.11 – Графік зміни реактивної потужності після компенсації

Повна понужність зменшилась до рівня 220 кВА при початковому 320 кВА запуску двигуна без компенсації, що дозволяє підключити більше споживачів. Результати моделювання графіка повної потужності показано на рисунку 3.12.

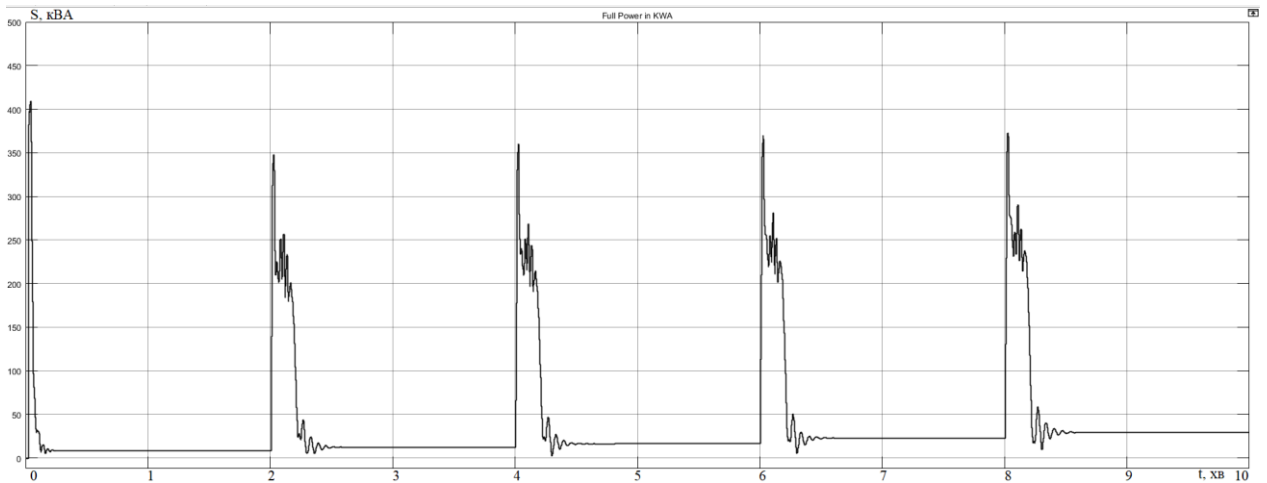


Рисунок 3.12 –Графік зміни повної потужності після компенсації реактивної

### 3.3 Розрахунок компенсованого показника флікера

Показник флікера після використання АФ зростає після запуску першого двигуна та йде на спад і стабілізується після запуску 3 двигуна, це пояснюється стійкою помилкою в PID контролері, цю помилку можна нівелювати при переході інтегрального індексу у від’ємні, показник флікера при цьому буде рівний 2,5 одиниць, але гармонічні спотворення струму будуть досягати 99%, що не припустимо для системи. Після запуску 4 двигуна показник флікера зменшився до  $P_{s4} = 9$  одиниць, подальші ввімкнення двигунів показують зменшення значення без стійких помилок (рисунок 3.13).

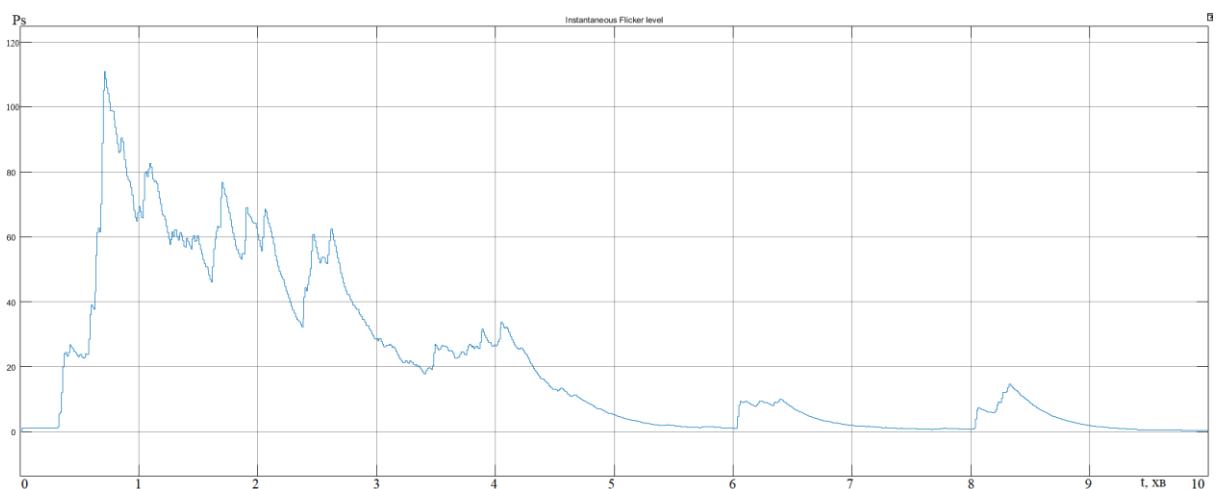


Рисунок 3.13 – Графік зміни показника флікера під час запуску двигунів

Для перших 3 двигунів значення показника флікера можна не брати до

уваги, через помилку. Тоді використавши формули, розрахуємо ПФ для інших двигунів та заносимо до таблиці 3.3.

$$P_{0,1s} = 9,$$

$$P_{1s} = \frac{7 + 2 + 0,4}{3} = 3,13,$$

$$P_{St4} = \sqrt{0,0314 \cdot 9 + 0,0525 \cdot 3,13} = 0,66.$$

Таблиця 3.3 – Зміна показника флікера для кожного двигуна

№	$P_{St}$
4	0,66
5	0,39

В результаті розрахунків показник флікера зменшився до допустимих значень, та не спричиняє зоровий дискомфорт людині. Застосування АФ для зменшення КН є виправданим ризиком, але при максимальній потужності двигунів до 20 кВт, так як вище цієї позначки АФ не в змозі повністю компенсувати реактивну потужність, підключення більш потужних двигунів можливе лише при меншій потужності трансформатора.

### Висновок до розділу

В розділі розглянуто систему керування активним фільтром, при наявності коливань напруги. Розраховано компенсований показник флікера та швидкої зміни напруги, вплив активного фільтра на коливання напруги і заходи щодо їх зниження в умовах роботи швидкозмінного навантаження.

Для зменшення КН в умовах роботи системи з швидкою зміною навантаження слід застосовувати АФ, за допомогою якого вдалося знизити КН до допустимого значення. Крім забезпечення вимог за основними показниками якості електропостачання АФ застосовують також для компенсації реактивної потужності, у випадку невеликої потужності двигуна, через обмежену компенсуючу здатність.



## 4 РОЗРАХУНОК КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ В СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 4.1 Мета розрахунків та характеристика вихідних даних

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рис. 4.1, та вихідних даних, приведених у табл. 4.1 – табл. 4.2, необхідно виконати такі розрахунки:

1. Розрахувати величину капітальних вкладень в трансформаторні підстанції, кабельні лінії та високовольтні вимикачі.
2. Розрахувати оплату за спожиту електроенергію.
3. Розрахувати величину складових експлуатаційних витрат:
  - витрат в мережах;
  - витрат на заробітну плату;
  - витрат на матеріали;
  - амортизаційних витрат.
4. Розрахувати собівартість електроенергії.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Розр. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-1000	1	88,9

Таблиця 4.2 – Потужність двигунів

Найменування цеху	Кількість змін	Розр. потужність, кВА
АД1	3	8,5
АД1	3	8,5
АД2	3	18
АД3	3	18,2

## Продовження таблиці 4.2

АД4	3	18
АД5	3	17,7

Рекомендації до виконання:

1. Кількість вимикачів визначається відповідно до даної схеми (рис. 4.1).
2. Оплату за спожиту електроенергію розраховують за одноставковим тарифом: 2 грн/кВт·год;
3. Прийняти норму амортизації – 6%,
4. Нарахування:
  - в пенсійний фонд – 32%,
  - у фонд зайнятості – 1,5%,
  - на соціальне страхування – 1,5%.
5. Якщо заводська мережа складається тільки з живильного кабелю 10 кВ і однієї ТП 10/0,4 кВ, то необхідно розраховувати капіталовкладення і експлуатаційні витрати для мережі 0,4 кВ.

За відсутності даних щодо вартості високовольтних вимикачів можна приблизно вартість вимикача 10 кВ прийняти рівною 50 тис. грн.

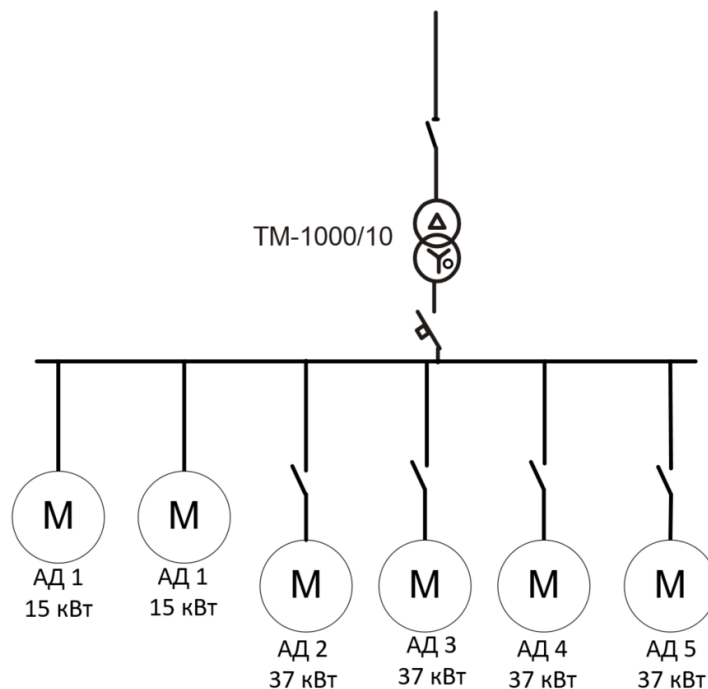


Рисунок 4.1 – Змодельована схема електропостачання

## 4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^l K_{\text{псі}} + K_{\text{пост}}, \quad (4.1)$$

де  $K_{\text{псі}}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн. (табл. 2.7 і табл. 2.8 [1]);

$K_{\text{пост}}$  – постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов'язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

З табл. 2.7–2.8 [10] визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій, наприклад, для ТП–1:

$$K_{\text{псі}} = 132 + 26,4 = 158,4 \text{ (тис.грн.)}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип тр-ра	Кількість т-рів	$K_{\text{од}}$ , тис.грн	$K_{\text{пост}}$ , тис.грн	$K_{\text{пс}}$ , тис.грн
КТП-1	ТМ-1000	1	132	26,4	158,4
Всього					158,4

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів. Відповідно до схеми, зображеної на рис.1, кількість вимикачів 10 кВ – 2 шт. Відповідно до рекомендацій приймаємо вартість вимикача 10 кВ рівною 50 тис. грн. Сумарна вартість вимикачів:

$$K_{\text{в}} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ (тис. грн.)}$$

Вартість підстанцій з вимикачами:

$$K_{\text{пс}} = 158,4 + 100 = 258,4 \text{ (тис. грн.)}$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання.

$$K = 258,4 \text{ (тис. грн.)}$$

### 4.3 Розрахунок потреби в робочій силі

Чисельність робітників, яка необхідна для технічного обслуговування і поточного ремонту всього енергоустаткування та мереж, визначається виходячи з трудомісткості виконуваних робіт. При цьому рекомендується скористатися нормативами системи планово-попереджувальних робіт промислових електричних мереж.

Трудомісткість технічного обслуговування не залежить від змінності роботи споживачів, тому планується в розмірі 10% від трудомісткості поточного ремонту всіх прокладених електромереж, а для мереж заземлення та заземлювальних пристроїв, поточний ремонт для яких не планується, у розмірі 3% від вказаної в таблиці трудомісткості капітального ремонту.

Планова трудомісткість, відповідно, визначається як, люд.-год./рік:

$$T = P \cdot t_{\text{норм}} \cdot h, \quad (4.2)$$

де  $P$  – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год. (табл.2.12 [1]);

$h$  – кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить до цього виду ремонтних робіт.

Слід зазначити, що норми тривалості міжремонтних періодів і пов'язана з ними розрахункова кількість ремонтів за рік, розроблені для енергоустаткування, яке працює в двох змінах, тобто при  $K_{\text{зм}}=3$ . При іншій змінності вводиться поправочний коефіцієнт  $\beta_p$ , який знаходимо за табл. 2.15 [10].

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h, \quad (4.3)$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год. (табл. 2.13 [10]);

$K_{\text{ср}}$  – коефіцієнт складності ремонту, який показує частку трудомісткості поточного ремонту, необхідну для технічного обслуговування одиниці енергетичного обладнання і мереж на кожен місяць планованого року, 1/міс;

$h$  – кількість обладнання в групі.

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	К-ть	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю облад. рем/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудомісткість люд.год.	К-сть на одиницю облад. огл/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудомісткість люд.год.
Вимикач 10кВ	2	1	16	32	12	1	24
ТМ-1000	1	0,33	120	39,6	12	20	240
Разом				71,6			264

Таблиця 4.5 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-ть	Технічне обслуговування				Загальна
		Змінність роботи	Коеф. складності	К-ть місяців	Загал. трудомісткість люд.год.	трудомісткість обслуговування люд.год.
Вимикач 10кВ	2	3	0,1	12	115,2	139,2
ТМ-1000	1	3	0,1	12	432	672
Разом					547,2	811,2

Якщо ремонтний персонал виконує лише поточні ремонти, то його чисельність

$$N_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{\Phi_{\text{д}} \cdot K_{\text{в.н}}}, \quad (4.4)$$

експлуатаційні робітники, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{T_{\text{обс}}}{\Phi_{\text{обс}} \cdot K_{\text{в.н}}}, \quad (4.5)$$

де  $T_{\text{пр}}$  – річна планова трудомісткість поточного ремонту, люд·год;

$\Phi_{\text{д}}$  – дійсний (ефективний) фонд часу роботи одного робітника за рік; приймається рівним 1850-1900 год;

$K_{\text{в.н}}$  – плановий коефіцієнт виконання норм для даної категорії робітників. При розрахунках приймаємо для ремонтного персоналу  $K_{\text{в.н}} = 1,10$ , а для експлуатаційного -  $K_{\text{в.н}} = 1,05$ ;

$T_{\text{обс}}$  – річна планова трудомісткість технічного обслуговування з урахуванням витрат праці на огляди, люд·год.

Знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{71,6}{1900 \cdot 1,05} = 0,035,$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$N_{\text{пр}} = \frac{811,2}{1900 \cdot 1,1} = 0,4.$$

Приймаємо  $N_{\text{пр}} = 2$  чол.,  $N_{\text{обс}} = 1$  чол.

Розрахунок витрат по заробітній платі

Для розрахунку оплати праці експлуатаційних робітників рекомендується використовувати погодинно-преміальну систему, а для ремонтного персоналу – відрядно-преміальну. Преміювання експлуатаційних робітників здійснюється за безаварійну і надійну роботу енергообладнання та мереж, економію енергоресурсів, компенсацію реактивної потужності. Ремонтний персонал преміюється за високоякісне і своєчасне виконання ремонтних робіт.

Величина премії (відповідно до категорій енергоперсоналу) може бути прийнята в розмірі 20 і 25%.

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, грн/рік:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ге}} \cdot \Phi_d. \quad (4.6)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{\text{ге}} = ((K3 + K4)/2) \cdot C_1, \quad (4.7)$$

де К3, К4 – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, (табл. 1.1) [10];

$C_1$  – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{Z_{\min} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H}, \quad (4.8)$$

де  $Z_{\min}$  – мінімальний розмір заробітної плати;

$k_{r,i}$  – тарифний коефіцієнт робітника i-го розряду;

$\Phi_H$  – номінальний місячний фонд робочого часу ( $\Phi_H = 22 \cdot 8 = 176$  год).

$$C_1 = 5000 \cdot 1 / 176 = 28,4 \text{ (грн/год)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{ге} = ((1,12 + 1,18) / 2) \cdot 28,4 = 32,66 \text{ (грн/год)}.$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 1 \cdot 0,9 \cdot 32,66 \cdot 1900 = 55848,6 \text{ (грн/рік)}.$$

б) для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{пр} \cdot t_{гр}, \quad (4.9)$$

$$t_{гр} = ((K4 + K5) / 2) \cdot C_1, \quad (4.10)$$



де  $K_4, K_5$  – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, (табл. 1.1) [1].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{гр} = ((1,18 + 1,24) / 2) \cdot 28,4 = 34,36 \text{ (грн/год)},$$

$$\Phi_p = 71,6 \cdot 34,36 = 2460,17 \text{ (грн/рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1 + 0,05 + 0,01 + \alpha), \quad (4.11)$$

де  $\Phi$  – тарифний фонд  $\Phi_e$  експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати  $\Phi_p$  ремонтного персоналу, грн./рік;

0,01 – частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 – частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  – частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 55848,6 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 70369,2 \text{ (грн/рік)},$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 2460,17 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,25) = 3222,83 \text{ (грн/рік)}.$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_о \cdot 1,15, \quad (4.12)$$

$$\Phi_{оед} = 70369,2 \cdot 1,15 = 80924,62 \text{ (грн/рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 3222,83 \cdot 1,15 = 3706,25 \text{ (грн/рік)}.$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. З цього фонду кошти витрачаються на виплату по тимчасовій втраті працездатності, оплату відпусток по вагітності, санаторно-курортні лікування й організацію відпочинку працівників, оздоровчі заходи для дітей працівників та інше.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ( $C_{зп}$ ) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{зп} = \Phi_{об} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{п} + \beta_{з} + \beta_{с}}{100}\right), \quad (4.13)$$

де  $\beta_{п}$  – нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{п} = 32\%$  ;

$\beta_{з}$  – нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_{з} = 1,5\%$  ;

$\beta_{с}$  – нарахування на соціальне страхування,  $\beta_{с} = 1,5\%$  .

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпе} = 80924,62 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 109248,23 \text{ (грн/рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{зпр} = 3706,25 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 5003,44 \text{ (грн/рік)}.$$

Таблиця 4.6 – Розрахунок витрат по заробітній платі

Показник		Заробітна плата	
Ф <sub>е</sub>	Заробітна плата експлуатаційного персоналу	55848,6	грн.
Ф <sub>р</sub>	Заробітна плата ремонтного персоналу	2460,17	грн.
Ф <sub>о<sub>е</sub></sub>	Величина основної ЗП експлуатаційного персоналу	70369,2	грн.
Ф <sub>о<sub>р</sub></sub>	Величина основної ЗП ремонтного персоналу	3222,83	грн.
Ф <sub>о<sub>ед</sub></sub>	Основний фонд ЗП експлуатаційного персоналу	80924,62	грн.
Ф <sub>о<sub>рд</sub></sub>	Основний фонд ЗП ремонтного персоналу	3706,25	грн.
С <sub>з<sub>пе</sub></sub>	Витрати по ЗП експлуатаційного персоналу	109248,23	грн.
С <sub>з<sub>пр</sub></sub>	Витрати по ЗП ремонтного персоналу	5003,44	грн.

#### 4.4 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Розрахунок необхідної на рік кількості основних матеріалів для усіх видів ремонтів і технічного енергетичного обслуговування устаткування та мереж розробляється на основі трудомісткості і існуючих норм витрат матеріалів (табл. 2.19) [10]. Якщо на окремі види матеріалів норми відсутні, підприємство розробляє їх самостійно і затверджує.

Розрахунок трудомісткості спрощується при виконанні його в табличній формі. Оскільки вартість конкретного виду матеріалу можна визначити як добуток норми його витрат на ціну, то доцільно по кожному виду устаткування і мереж визначити підсумкову вартість усіх матеріалів, а потім її помножити на трудомісткість поточного ремонту чи технологічного обслуговування.

Необхідні дані для розрахунку беремо з табл. 2.19 та 2.20 [10], результати розрахунків заносимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Матеріал	Ціна матеріалу, грн.	Норми витрат матер. на 100 люд. год. трудомісткості ремонту і тех. обслуговування	Вартість матеріалу, грн.
Силові трансформатори		1000	1000
Сталь сортова, кг	13,38	6	80,3
Провід установлюваний, м	5,55	0,5	2,7
Мідь-алюміній (гола), кг	124,6	62	7726,4
Картон електроізоляційний, кг	60,08	1,4	84,1
Лакотканина (ширина 700мм), м	166,6	0,2	33,3
Кабельний папір, кг	49,1	0,6	29,4
Стрічка кіперна, кг	600,8	40	24034,2
Стрічка тафтяна, кг	446,3	18	8034,8
Стрічка азбестова, м	13,1	0,05	0,6
Лаки ізоляційні, кг	71,8	1,5	107,8
Емалі ґрунтові, кг	78,8	2,5	197,1
Масло трансформаторне, кг	24,3	0,58	14,1
Бензин, кг	12,3	0,7	8,6
Розчиники кг	34,8	0,8	27,8
Маслостійка гума, кг	89,3	0,4	35,7
Гума профільна, кг	89,3	0,13	11,6
Припій олов'яно-свинцевий, кг	850,6	0,02	17,01
Припій мідно-фосфорний, кг	158,1	0,03	4,7
Електроди, кг	29,3	0,15	4,4
Засоби кріплення, кг	37,4	2	74,8
Дріт кручений,	4,8	0,3	1,4
Матеріали обтиску, кг	48,72	0,4	19,4
Разом:			40551,08

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_m = 0,01 \times \left( \sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{ло} \right), \quad (4.14)$$

де  $C_{oi}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування і-го виду трансформаторів,

$T_i$  – трудомісткість обслуговування і-го виду трансформаторів,

$L$  – сумарна довжина кабелів,

$C_{ло}$  – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів, потрібних на ремонт:

$$C_{мпр} = 0,01 \cdot (39,6 \cdot 40551,07) = 16058,22 \text{ (грн/рік)},$$

і вартість матеріалів, потрібних на технічне обслуговування:

$$C_{мто} = 0,01 \cdot (672 \cdot 40551,08) = 272503,24 \text{ (грн/рік)}.$$

Таблиця 4.8 – Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Назва обладнання	Вартість витрат матеріалів на 100 норм.год	Ремонт		Обслуговування	
		Загальна трудомісткість ремонтів	Вартість витрат матеріалів грн.	Загальна трудомісткість обслуговування	Вартість витрат матеріалів грн.
ТМ-1000	40551	39,6	1605822,66	672	27250323,96
Всього витрат на матеріали			1605822,66		27250323,96

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, тис. грн/рік:

$$C_{\text{обс}} = C_{\text{зпе}} + C_{\text{мто}}, \quad (4.15)$$

$$C_{\text{обс}} = 109248,23 + 272503,24 = 381752,48 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{зпр}} + C_{\text{мпр}}, \quad (4.16)$$

$$C_{\text{пр}} = 5003,44 + 16058,22 = 21061,7 \text{ (грн/рік).}$$

#### 4.5 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K, \quad (4.17)$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 258400 = 15504 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат виділяються інші витрати. Вони включають витрати на допоміжні матеріали, послуги виробничим підрозділам підприємства, частину загальнозаводських витрат. Їх можна приймати в розмірі 20 - 30% від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт і амортизацію, тис. грн/рік:

$$C_{\text{іп}} = \beta_{\text{іп}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a). \quad (4.18)$$

де  $\beta_{\text{іп}}$  – коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip}=0,25 \cdot (381752,48 + 21061,7 + 15504) = 104579,29 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат схеми, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн.	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації обладнання	381751,47	73
Витрати на поточний ремонт	21061,67	4,027
Витрати на амортизацію	15504	2,96
Інші витрати	104579,28	20
Разом	522896,43	100

#### 4.6 Розрахунок річного споживання і витрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання визначається, виходячи з розрахункової потужності, яка визначається як добуток установленної (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_p \cdot P_{ном} \cdot T_{mi}, \quad (4.19)$$

де  $P_p$  – розрахункова потужність і-го цеху, кВт;

$T_{mi}$  – річна тривалість використання максимуму активного навантаження і-ого цеху, год.;

$K_p$  – коефіцієнт попиту.

Річна кількість годин використання максимуму активної потужності по галузях промисловості при різній кількості робочих змін приводяться в галузевих інструкціях і довідкових матеріалах. Величина  $T_m$  у середньому за рік складає: для тризмінних підприємств 4500 – 8000 год.

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для першого двигуна:

$$E_{a1} = 3,3 \cdot 6000 = 19800 \text{ кВт}\cdot\text{год./рік.}$$

Аналогічно визначасмо річні витрати активної електроенергії для інших двигунів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.10.

Необхідно також визначити річні витрати реактивної електроенергії.

Таблиця 4.10 – Річні витрати активної електроенергії по двигунах

Назва пристрою	К-сть змін	$T_m$ , год.	$\cos \varphi$	$P_p$ , кВт	$E_a$ , кВт·год./рік
АД 1	3	6000	0,38	3,3	19800
АД 1	3	6000	0,38	3,3	19800
АД 2	3	6000	0,21	3,8	22800
АД 3	3	6000	0,2	3,8	22800
АД 4	3	6000	0,21	3,8	22800
АД 5	3	6000	0,209	3,7	22200
Разом				21,7	130200



Таблиця 4.11 – Річні витрати реактивної енергії по двигунах

Назва пристрою	К-сть змін	T <sub>м</sub> , год.	sin φ	Q <sub>p</sub> , кВар	E <sub>p</sub> , кВт·год./рік
АД 1	3	6000	0,91	7,75	46500
АД 1	3	6000	0,91	7,75	46500
АД 2	3	6000	1	18	108000
АД 3	3	6000	0,97	17,8	106800
АД 4	3	6000	0,97	17,5	105000
АД 5	3	6000	0,98	17,4	104400
Разом				86,2	517200

Для визначення повної потреби схеми в електроенергії необхідно до отриманого результату додати втрати електроенергії в лініях і трансформаторах.

Величина  $\tau$  визначається за часом використання максимального навантаження  $T_m$ :

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{6000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 4591,8 \text{ (год)}.$$

Втрати електроенергії в трансформаторах визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_\phi}{S_H}\right)^2 \cdot \tau, \quad (4.20)$$

де  $n$  - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{кз}$  і  $\Delta P_{xx}$  - величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

$T_p$  - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

$S_\phi$  - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

$S_H$  - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Відповідно втрати енергії в трансформаторах КТП:

$$\Delta E_T = 1 \cdot 2,4 \cdot 8760 + (1/1) \cdot 12 \cdot \left( \frac{88,9}{1000} \right)^2 4591,8 = 21459,47 \text{ (Вт}\cdot\text{год/рік)}.$$

Для інших КТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип т-ра	К-сть	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$S_p$ , кВА	$S_n$ , кВА	$\Delta E_T$ , кВт·год./рік
КТП	ТМ-1000	1	2,4	12	88,9	1000	21459,47
Разом							21459,47

Загальна потреба схеми в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + E_p + \Delta E_T, \quad (4.21)$$

$$E = 21459,47 + 517200 + 130200 = 668859,47 \text{ кВт}\cdot\text{год./рік}.$$

Оплата за електроенергію при одноставковому тарифі визначається як:

$$П_1 = v \cdot E / 100, \text{ грн.} \quad (4.22)$$

де  $v$  – ставка тарифу за 1 кВт·год споживаної активної електроенергії, грн.;

$E$  – кількість енергії, що споживається, врахована по лічильнику.

$$П_1 = 2 \cdot 668859,47 / 100 = 13377,18 \text{ грн.}$$

Промислові підприємства, що споживають електроенергію від зовнішнього джерела, з одного боку, оплачують кількість отриманої енергії за тарифом, а з іншого – несуть додаткові витрати при передаванні та розподілі електроенергії від мереж енергосистеми до цехових споживачів. Отже, загальні

(сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. грн./рік:

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\Pi}, \quad (4.23)$$

де  $\Pi$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\Pi}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії.

Річні витрати промислового підприємства, зв'язані з передаванням і розподілом електричної енергії, включають такі складові, тис.грн/рік:

$$C_{\Pi} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{а}} + C_{\text{ір}}. \quad (4.24)$$

де  $C_{\text{обс}}$  – витрати підприємства на матеріали та зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, грн/рік.;

$C_{\text{пр}}$  – річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, грн/рік;

$C_{\text{а}}$  – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік;

$$C_{\Pi} = 381751,47 + 21061,67 + 15504 + 104579,28 = 522896,43 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати визначаються так:

$$C_{\text{сум}} = 13377,18 + 522896,43 = 536273,62 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії

$$S = \frac{536273,62 \cdot 100}{130200} = 411,88 \text{ (коп./кВт·год)}.$$

Для наочності результати розрахунків заносимо в таблицю 4.14.

Таблиця 4.14 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	$E_a$	130200	кВт·год.
	$E_p$	517200	кВар·год.
Річне споживання електроенергії із втратами	$E$	668859,47	кВт·год.
Плата за електроенергію	$\Pi_1$	13377,18	грн.
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	$C_{\Pi}$	522896,43	грн.
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	536273,62	грн.
Собівартість електроенергії	$S$	411,88	коп/кВт·год.

#### 4.7 Прийняття іноваційних рішень та розрахунок їх ефективності

Для зменшення річних витрат реактивної енергії на електродвигуни було прийнято рішення встановити активний фільтр. Він повністю компенсує реактивну енергію та покращує коефіцієнт потужності двигунів, та зменшує коливання напруги при пуску двигуна.

Таблиця 4.15 – Річні витрати активної електроенергії по двигунах з АФ

Назва пристрою	К-сть змін	$T_m$ , год.	$\cos \varphi$	$P_p$ , кВт	$E_a$ , кВт·год./рік
АД 1	3	6000	1	4,3	25800
АД 1	3	6000	1	4,3	25800
АД 2	3	6000	1	4	24000

Продовження таблиці 4.15

АД 3	3	6000	1	4,6	27600
АД 4	3	6000	1	6	36000
АД 5	3	6000	1	6,5	39000
Разом				29,7	178200

Таблиця 4.16 – Річні витрати реактивної енергії по двигунах з АФ

Назва пристрою	К-сть змін	Тм, год.	sin φ	Qp, кВар	Еа, кВт·год./рік
АД 1	3	6000	0,081	0,35	2100
АД 1	3	6000	0,081	0,35	2100
АД 2	3	6000	0,01	0,01	60
АД 3	3	6000	0,01	0,01	60
АД 4	3	6000	0,15	0,9	5400
АД 5	3	6000	0,15	1	6000
Разом				2,62	15720

Вартість активного фільтра:

$$S_{\text{АФ}} = 285000 \text{ (грн).}$$

Вартість встановлення становить:

$$S_{\text{встан}} = 0,2 \cdot 285000 = 57000 \text{ (грн).}$$

Відрахування на амортизацію на рік:

$$C_a = 0,06 \cdot 285000 = 17100 \text{ (грн/рік).}$$

Капіталовкладення в АФ:

$$S_k = 285000 + 57000 + 17100 = 359100 \text{ (грн).}$$

Отже, собівартість електроенергії після встановлення АФ:

$$S = \frac{527204,02 \cdot 100}{178200} = 295,84 \text{ коп./кВт}\cdot\text{год.}$$

Таблиця 4.17 – Результати розрахунків після встановлення АФ

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	$E_a$	178200	кВт·год.
	$E_p$	15720	кВар·год.
Річне споживання електроенергії із втратами	$E$	215379,47	кВт·год.
Плата за електроенергію	$\Pi_1$	4307,58	тис. грн.
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	$C_{\Pi}$	522896,43	грн.
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	527204,02	грн.
Собівартість електроенергії	$S$	295,84	коп/кВт·год.

Після впровадження інновацій спостерігаємо, що річне споживання електроенергії із втратами зменшиться в 3 рази. Кількість корисно спожитої реактивної енергії після компенсації знизилась майже в 30 раз, тому активний фільтр може окупитися за рік лише на компенсації реактивної потужності. Отже встановлення активного фільтра є доцільним не зважаючи на високу вартість.

## Висновок до розділу

В розділі було здійснено розрахунок собівартості електроенергії для змодельованої схеми.

Було проаналізовано вихідні дані та розраховано розмір капіталовкладень в систему електропостачання. Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання для даного варіанту склала 258,4 тис. грн.

Наступний розділ являє собою розрахунок поточних витрат підприємства. В ньому визначено необхідну кількість робочого персоналу, витрати по заробітній платі, вартість витратних матеріалів та величину амортизаційних відрахувань. Для розрахунку оплати праці експлуатаційних робітників прийнято погодинно-преміальну систему, а для ремонтного персоналу – відрядно-преміальну. Витрати по заробітній платі експлуатаційного персоналу склали 109248,23 грн. Витрати по заробітній платі ремонтного персоналу 5003,44 грн.

На основі розрахунків проведених в попередніх розділах, проведено розрахунок річного споживання і втрат електроенергії, а також визначено плату за електроенергію. Величина річного споживання електроенергії із втратами склала 668859,47 кВт·год., та плата за неї 1337,718 тис. грн. Внаслідок впровадження інноваційних рішень, а саме встановлення активного фільтра, величина річного споживання електроенергії із втратами буде зменшена за рахунок компенсації реактивної енергії до 215379,47 кВт·год., та плата за неї 430,758 тис. грн.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Робота з охорони праці на енергетичних об'єктах повинна проводитись згідно з «Кодексом законів України про працю», Законом України «Про охорону праці» та іншими нормативними актами.

У даному розділі магістерської роботи розглянуті питання охорони праці оперативно-ремонтного персоналу з обслуговування електрообладнання, зокрема активних фільтрів для зменшення коливань напруги.

На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за ГОСТ 12.0.003-74[16]:

а) фізичні:

- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- знижена температура поверхні обладнання, матеріалів;
- підвищена та знижена рухливість повітря;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищена напруженість електричного поля.

в) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні)
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).



До оперативного обслуговування електроустановок допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

## 5.1. Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

### 5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Адміністративно-побутові приміщення розташовані з максимальним наближенням до робочих місць, щоб не було зустрічних потоків людей, а також переходів через виробничі приміщення зі шкідливими виділеннями, неопалювані частини будівлі та відкриті простори.

Площа приміщення, де розміщується оперативно-ремонтний персонал становить  $85 \text{ м}^2$ , об'єм –  $255 \text{ м}^3$ . У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 5 осіб. Тобто площа на одного працівника складає  $16,1 \text{ м}^2$ , що повністю відповідає встановленим нормам, згідно ДНАОП 0.00-1.31-99, ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Робоче місце – постійне, оскільки робітник знаходиться тут більше 50% робочого часу.

Схема адміністративно-побутового приміщення оперативно-ремонтного персоналу підприємства зображена на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Схема адміністративно-побутового приміщення

У приміщенні наявні 2 комп'ютера з рідкокристалічними моніторами, телефон та копіювальна техніка. Ці прилади використовуються виключно за призначенням.

У приміщенні також є 2 комп'ютерних стола, 5 офісних крісел і 2 шафи для документів. Усі вони розміщені відповідно до їх функціонального призначення, а їх кількість відповідає номенклатурі знарядь праці, змісту та особливостям виконуваної роботи.

Конструкція робочого столу дослідника відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури) і документів. Висота робочої поверхні столу становить 750 мм, а ширина - 1300 мм, глибина - 900 мм. Робочий стіл має простір для ніг заввишки 700 мм, завширшки – 950 мм, завглибшки (на рівні колін) 550 мм.

Робоче крісло є підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з переднім заокругленим краєм. Висота поверхні сидіння регулюється в межах від 400 до 500 мм, а ширина і глибина становлять по 450 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах від 0° до 30° відносно вертикального положення. Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок встановлені стаціонарні підлокітники завдовжки 250 мм. Поверхня сидіння відповідає усім вимогам.

Зручна робоча поза при роботі з комп'ютером забезпечується регулюванням висоти робочого столу, крісла та підставки для ніг. Раціональною робочою позою може вважатися таке положення, при якому ступні працівника розташовані горизонтально на підлозі або підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук - вертикальні.

Монітор комп'ютера розташовується на відстані 700 мм від очей користувача. Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 200 мм від краю, звернутого до працюючого. У конструкції клавіатури передбачений опорний пристрій, який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах від 5 до 15. Таким чином, ергономічні параметри робочого місця

відповідають вимогам до їх організації та конструкції та забезпечують підтримання оптимальної робочої пози під час контролю роботи сонячної електричної станції.

Робочі місця мають розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1 м, між собою на відстані не менше 1,5 м. Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва. В даному випадку, перше робоче місце не відповідає зазначеній вимозі.

Екран дисплея дослідника розташований перпендикулярно до напрямку погляду. При роботі з текстовою інформацією (в режимі введення даних та корегування значень, читання з екрану) найбільш фізіологічним правильним є зображення чорних знаків на світлому (чорному) фоні.

Періодично досліднику необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі. При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожен годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

### **5.1.2 Електробезпека**

Досліджуване приміщення, електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами. Зокрема, в приміщенні використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки відсутні чинники підвищеної небезпеки.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустаткування – ізоляція нормально

струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;

2) технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування – захисне заземлення із використанням природних заземлювачів.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, де виконується робота на комп'ютерах, в тому числі на лазерних та світлодіодних принтерах, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів. Не рекомендується носити одяг з синтетичних матеріалів.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок та ГОСТ 12.1.019-79 [17] для захисту персоналу від випадкового дотику до струмоведучих частин електроустаткування передбачені наступні основні технічні заходи:

- на приводах ручного і ключах дистанційного керування комутаційної апаратури повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ";
- приєднання до “землі” переносних заземлень;
- перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах, які необхідно заземлити;
- установка заземлень безпосередньо після перевірки відсутності напруги і вивішування плакатів “ЗАЗЕМЛЕНО” на приводах комутаційних апаратів;
- огорожа, у разі потреби, робочих місць або струмоведучих частин, які залишаються під напругою, і вивішування на огорожі плакатів безпеки.

Двері приміщень електроустановок повинні бути закритими на замок. Ключі повинні зберігатися у чергового персоналу. Роботи в діючих електроустановках повинні проводитися по нарядах або розпорядженнях. Капітальний ремонт електроустановок повинен виконуватися по технологічним картам. Необхідно працювати в спеціальному одязі. При появі загрози потрапити під дію електричного струму всі роботи в електроустановках необхідно припинити. Персонал повинен бути укомплектований захисними засобами, спецодягом, медичними аптечками.

Організаційні заходи для забезпечення безпеки робіт - це виконання робіт в електроустановках за нарядом, розпорядженням, в порядку поточної експлуатації.

Робота по наряду. Наряд - це письмове завдання, що визначає місце, час початку і завершення робіт, умови їх безпечного ведення, склад бригади і осіб, відповідальних за безпеку робіт. Наряд виконується на бланку встановленої форми. За нарядом виконуються наступні роботи:

- З повним зняттям напруги;
- З частковим зняттям напруги;
- Без зняття напруги поблизу і на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою.

Роботи за розпорядженням. Розпорядження - це завдання на роботу в електроустановках, записане в оперативному журналі. Розпорядження має разовий характер, видається на одну роботу і діє на одну зміну або протягом години. За розпорядженням виконуються роботи:

- Без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, тривалістю не більше однієї зміни (прибирання приміщень закритих РУ, ремонт освітлювальної апаратури і заміна ламп, догляд за щітково-колекторними вузлами електричних машин та ін.);
- Позапланові короточасні і невеликі за обсягом (до 1 години), викликані виробничою необхідністю, з повним або частковим зняттям напруги, а також без зняття напруги поблизу і на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою (роботи на кожухах електрообладнання, вимірювання струмовимірювальні кліщі, зміна запобіжників до 1000 В, перевірка нагрівання контактів штангою, визначення місця вібрації шин штангою, фазировка, контроль ізоляторів штангою. Ці роботи виконуються не менше ніж двома робітниками протягом не більше 1 години);
- Деякі види робіт з частковим або повним зняттям напруги в установках до 1000 В тривалістю не більше однієї зміни (ремонт магнітних пускачів, пускових кнопок, автоматичних вимикачів, контакторів, рубильників

та іншої подібної апаратури, встановленої поза щитами і збірками; ремонт окремих електроприймачів; ремонт окремо розташованих блоків управління і магнітних станцій, заміна запобіжників та інші. Роботи виконуються двома робочими.

У порядку поточної експлуатації виконують роботи за спеціальним переліком з наступним записом в оперативний журнал: всі види робіт за розпорядженням, обслуговування зовнішнього та зовнішнього освітлення з повідомленням оперативного персоналу про час і місце роботи.

## **5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії**

### **5.2.1. Мікроклімат**

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99[18].

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні робочого приміщення встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Робота, яка виконується, відноситься до середньої важкості Па. Адже робота технічного персоналу пов'язана з ходінням, переміщенням певних пристроїв чи предметів в положенні стоячи або сидячи.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень(категорія робіт Па та період року) приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1- Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	Іа	17-29	65 при 26°С	0,2-0,4
Теплий		15-24	До 75%	не більше 0,3

Нормалізація параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою комплексу заходів та засобів колективного захисту, які включають будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-гігієнічні, технічні та ін. Для профілактики перегрівань та переохолоджень робітників використовують засоби індивідуального захисту.

Розглянемо основні заходи та засоби нормалізації параметрів мікроклімату, які використовуються на виробництві:

- Удосконалення технологічних процесів та устаткування;
- Раціональна вентиляція, опалення та кондиціонування повітря;
- Раціоналізація режимів праці та відпочинку.

### 5.2.2. Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 5.2 - Можливі забруднювачі повітря і їх ГДК

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91[19]. ССБТ проектом передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами;
- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні підстанції;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

### 5.2.3. Виробниче освітлення

#### Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке попадає у приміщення через світлові пройми в зовнішніх огорожуючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО ( $\epsilon$ ). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

#### Штучне освітлення.



Штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних лам. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

### 5.2.4. Виробничий шум

Джерелом шуму є робота комутаційного обладнання.

Шум - це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Відповідно до вимог рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 10 \cdot \lg(I/I_0) = 10 \cdot \lg(p/p_0) = 10 \cdot \lg(U/U_0). \quad (5.1)$$

де  $L$  - рівень шуму, дБ;

$p$  - звуковий тиск, Па;

$U_0$  - коливальна швидкість, 5-10 м/с;

$p_0$  - нульове значення звукового тиску, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^5$  Па.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

За характером спектру шум - широкопasmовий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 3.3.6.037-99[20] і наведені в таблиці 5.4.

Для зниження шуму в приміщенні, де працюють робітники ФЕС, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.
- при конструкції розташовувати приміщення, де працює персонал, подалі від джерела шуму.

### 5.2.5. Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці).

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, є: електроприводи виконавчих органів, вентилятори.

Користуючись нормами, наведено в таблиці 5.5 допустимі рівні вібрації на постійних місцях.

Таблиця 5.5 - Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:										
в виробничих приміщеннях, де немає машин, що генерують вібрації	<u>0,5</u> 100	<u>0,18</u> 91	<u>0,089</u> 85	<u>0,079</u> 84	<u>0,079</u> 84	<u>0,079</u> 84	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с  $10^{-2}$ , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 4

По вертикалі: до 2

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни

### **5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

Деякі надзвичайні ситуації за масштабами поширюються майже на всі сфери життя, негативно впливають на соціально-психологічний стан і економіку нашої країни. У певних регіонах України з високою густотою населення розташовані об'єкти з підвищеною небезпекою, а це різко посилює небезпеку

можливих стихійних лих, аварій і катастроф техногенного походження. Внаслідок надзвичайних ситуацій гинуть люди, завдаються матеріальні збитки населенню і державі.

В результаті опромінення іонізуючим випромінюванням зміниться струм; в конденсаторах понизиться напруга пробною і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність, діелектрична провідність і тангенс кута втрат.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до згорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях.

Електромагнітне випромінювання пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Найбільш частіше одержують пошкодження вхідні кола різних електронних пристроїв.

Так як, іонізуюче випромінювання шкідливо впливає на систему електропостачання, то необхідно провести розрахунок оцінки впливу випромінювання та ЕМП на стійкість роботи системи електропостачання.

### **5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань**

Проведемо аналіз системи електропостачання з метою визначення граничного значення дози.

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{гр}$  для елементної бази системи, при яких виникають зворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 - Граничні значення експозиційних доз елементів системи електропостачання

№п/п	Блоки СЕП	Елементи РЕА СЕП	$D_{гр}, P$	$D_{гр}, P$
1	Блок живлення	Інтегральні схеми К1553ЛЕ	$5 \cdot 10^5$	10 <sup>4</sup>
		Резистори СП1-10	$10^7$	
2	Блок керування	Інтегральні схеми К1553ЛБ	$5 \cdot 10^5$	
		Конденсатори К-41	$10^7$	
		Мікросхеми ТТЛОА3 247	$10^5$	
		Резистори СП1-15	$10^7$	
3	Силові елементи	Резистори СП1-20	$10^7$	
		Оптрони К249КН1	$10^4$	
		Інтегральні схеми К511	$5 \cdot 10^5$	

За критерій стійкості приймається  $D_{гр}$  - мінімальне значення дози радіоактивного випромінювання для всіх елементів. В нашому випадку  $D_{гр}=10^4$  Р.

Тепер визначимо можливу дозу опромінення:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{пос}} [P], \quad (5.2)$$

Тоді можлива доза опромінення буде дорівнювати:

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,43 \cdot (\sqrt{35040} - \sqrt{1})}{2} = 1197,2 (P).$$

Так як  $D_m < D_{гр}$  то РЕА в електроенергетичній системі буде працювати стійко.

Визначаємо допустимий час роботи за формулою:

$$t_{доп} = \left( \frac{D_{гр} \cdot K_{пос} + 2 \cdot P_{1max} \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \right)^2 [\text{ГОД}], \quad (5.3)$$



$$t_{\text{доп}} = \left( \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,43 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,43} \right)^2 = 2421789,4 \text{ (год)}.$$

Отже, електрична апаратура буде працювати стійко, оскільки гранична доза радіоактивного випромінювання є більшою за можливу дозу іонізуючого випромінювання  $D_{\text{гр}} > D_{\text{м}}$ , яке може діяти на елементи системи.

### 5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи СЕП або окремих її елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_{\text{б}} = 20 \lg \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\text{в(г)}}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (5.4)$$

де  $U_{\text{д}}$  - допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{\text{в(г)}}$  - наруга наведення за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Початковими умовами оцінки стійкості є:

- вертикальна складова напруженості електричного поля  $E_{\text{в}}=8,93 \text{ кВ/м}$ ;
- допустиме коливання напруги живлення  $U_{\text{ж}}=5\%$ , В

Знаходимо допустиме коливання напруги живлення та системи керування за формулою:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N \text{ [В]}, \quad (5.5)$$

де  $U_{\text{ж}}$  – наруга живлення, В;

$N$  – допустиме відхилення напруги, %.

$$U_{Д1} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)},$$

$$U_{Д2} = 110 + \frac{110}{100} \cdot 5 = 115,5 \text{ (В)},$$

$$U_{Д3} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 52,29 \text{ (В)}.$$

Максимальна довжина струмоведучих частин:

- блок живлення  $l_{в1} = 3,5$  м;  $l_{г1} = 4,8$  (м);

- блок керування  $l_{в2} = 2,4$  м;  $l_{г2} = 5,6$  (м);

- силові елементи  $l_{в3} = 6,3$  м;  $l_{г3} = 7,1$  (м).

Знаходимо напруженість поля горизонтальної складової:

$$E_{г} = 10^{-3} \cdot E_{\text{вмакс}} \text{ [кВ/м]}, \quad (5.6)$$

$$E_{г} = 8,93 \cdot 10^{-3} \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо напругу наводки у вертикальних струмопровідних частинах:

$$U_{в} = E_{г} \cdot l_{в}, \text{ [В]}, \quad (5.7)$$

де  $l_{в}$  - максимальна довжина провідників, розташованих вертикально, м.

$$U_{в1} = 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 = 31,255 \text{ (В)},$$

$$U_{в2} = 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4 = 21,432 \text{ (В)},$$

$$U_{в3} = 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot 6,3 = 56,259 \text{ (В)}.$$

Визначаємо максимальну напругу наводки у горизонтальних струмопровідних частинах:

$$U_{г} = E_{в} \cdot l_{г}, \text{ [В]}, \quad (5.8)$$

де  $l_r$  - максимальна довжина провідників, розташованих горизонтально, м.

$$U_{r1} = 8,93 \cdot 10^3 \cdot 4,8 = 42864 \text{ (В)},$$

$$U_{r2} = 8,93 \cdot 10^3 \cdot 5,6 = 50008 \text{ (В)},$$

$$U_{r3} = 8,93 \cdot 10^3 \cdot 7,1 = 63403 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки.

Для вертикальних струмопровідних частин:

$$K_{\text{бв1}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{в}}} \text{ [дБ]}, \quad (5.9)$$

$$K_{\text{бв1}} = 20 \lg \frac{399}{31,255} = 22,7 \text{ (дБ)}.$$

Для горизонтальних струмопровідних частин:

$$K_{\text{бр1}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{р}}} \text{ [дБ]}, \quad (5.10)$$

$$K_{\text{бр1}} = 20 \lg \frac{399}{42864} = -39,9 \text{ (дБ)}.$$

Дані розрахунків занесем в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Результати оцінки стійкості блоків СЕП

№	Елемент схеми	Напруга живлення	$K_{\text{бв}}$ , (дБ)	$K_{\text{бр}}$ , (дБ)	Результат
1	Блок живлення	380 В	22,7	-39,9	нестійкий
2	Блок керування	110 В	15,3	-52,1	нестійкий
3	Силові елементи	12 В	-12,3	-73,4	нестійкий

Так як  $K_{\text{бв}} < 40$  дБ,  $K_{\text{бр}} < 40$  дБ то апаратура буде нестійка в роботі, потрібно проводити захисне екранування обладнання.

#### 5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи електропостачання в умовах загрозливих чинників НС

Основними способами захисту від теплового (світлового) випромінювання є: розміщення апаратури в спорудах, побудованих з негорючих матеріалів, або обробка спалимих матеріалів захисними складами; заміна горючих елементів на вогнетривкі; постачання світлоприймача апаратури закритими світлопроводами або захист їх корпусу для зменшення ймовірності прямого впливу світлового випромінювання; постачання апаратури системою автоматичної вентиляції для підтримки температури всередині блоків на допустимому рівні.

Доцільно виконати захисне екранування даного обладнання, що дасть змогу зменшити вплив ЕМІ. В якості матеріалу для екрану вибираємо сталь, для якої перехідне затухання визначається за формулою:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} \text{ [дБ]}, \quad (5.11)$$

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}} \text{ [см]}.$$

де  $t$  – товщина стінки екрана, см;

$$f = 15000 \text{ Гц}.$$

Отже, визначаємо з даної формули товщину стінки екрана для кожного елемента СЕП:

$$t_1 = \frac{40 - 22,7}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,03 \text{ (см)},$$

$$t_2 = \frac{40 - 15,3}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,04 \text{ (см)},$$

$$t_3 = \frac{40 + 12,3}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,08 \text{ (см)}.$$

Таким чином при екрануванні блоку живлення з використанням екрану

товщиною 0,03 см зі сталі, блоку управління - 0,04 см та силових елементів - 0,08 см, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу.

### Висновок до розділу

В розділі охорони праці було розроблено технічні рішення з безпечної організації робочих місць. Досліджено приміщення, яке електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами. Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки відсутні чинники підвищеної небезпеки. Для запобігання електротравмам у приміщенні були розроблено кілька чинників.

Розглянуто основні заходи та засоби нормалізації параметрів мікроклімату, які використовуються на виробництві:

- Удосконалення технологічних процесів та устаткування;
- Раціональна вентиляція, опалення та кондиціонування повітря;
- Раціоналізація режимів праці та відпочинку.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого. Також досліджено психофізіологічні фактори, які впливають на робочий процес.

Також, в підрозділі з безпеки НС у результаті проведеного аналізу визначено, що система електропостачання може попасти під дію іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу. Були проаналізовані і визначені елементи та вузли, які не стійкі до дії цих факторів. Приведено аналіз і дана оцінка стійкості роботи СЕП при дії іонізуючих випромінювань при цьому виявлено, що система працює стійко, оскільки  $D_m < D_{гр}$  в заданих умовах. Оцінка стійкості роботи системи при дії електромагнітного імпульсу показала, що вона буде працювати стійко при застосуванні захисних сталевих екранів товщиною 0,03, 0,04 см та 0,08 см.

## ВИСНОВОК

В магістерській кваліфікаційній роботі на підставі проведених досліджень була вирішена актуальна науково-прикладна задача зменшення коливань напруги, в результаті чого отримано наступні науково-практичні результати і висновки:

1. Аналіз літературних джерел показав, що наявність коливань напруги при їх впливі на функціонування широкого спектру електрообладнання призводить до зменшення терміну їх експлуатації. Коливання амплітуди і фази напруги, викликають коливання електромагнітного моменту, активної і реактивної потужностей синхронних генераторів підприємств, це негативно позначається на економічності роботи підприємства в цілому.

2. Розроблену схему, яка створює коливання напруги на базі асинхронного двигуна, та досліджено схему контролю за показником флікера та швидкої зміни напруги, що дозволяє ефективно слідкувати за порушенням норм якості електроенергії.

3. Запропоновано метод зменшення коливань напруги за допомогою ввімкнення на паралельну роботу активного фільтра. Досліджено схему керування та вплив АФ на роботу схеми з наявними коливаннями напруги. Також запропоновано метод зменшення показника флікера та швидкої зміни напруги та підвищення коефіцієнту потужності АД, що покращило роботу схеми.

4. Обґрунтовано доцільність встановлення АФ з економічної точки зору. Розраховано річні витрати на обслуговування обладнання та капітальні вкладення. Запропоновано використання АФ для зменшення плати за реактивну енергію та зменшення вартості електричної енергії в цілому.

5. Розглянуті питання охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в цілому та окремо для кожної групи ризику та методи їх усунення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Характеристики напруги електроживлення, постачаної розподільчими мережами загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). [Чинний з 20.05.2014]. – К.: Держстандарт України, 2012. – 39 с.
2. ДСТУ EN 61000-3-3:2017 Граничнодопустимі рівні. Нормування змін напруги, флуктуацій напруги і флікера в низьковольтних системах електропостачання загальної призначеності для обладнання з номінальним струмом силою не більше ніж 16 А на фазу, яке не підлягає обумовленому підключенню.
3. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданский И.Я. Виртуальное моделирование режимов работы электропривода по схеме асинхронно-вентильного каскада // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 61-66.
4. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях, Энергоатом, 2005.
5. Гаврилов Ф.А. Конспект лекций по дисциплине «Качество электрической энергии», 2007.
6. Онищенко В.В. «Дослідження впливу коливань напруги живлення на роботу електричного привода рудникового електровоза», Вісник Криворізького національного університету, вип. 42, 2016.
7. Синчук И.О., Кальмус Д.О. «Дослідження впливу коливань та короточасних зникнень напруги живлення рудникового електровоза на роботу електричного привода в режимі гальмування», Вісник Криворізького національного університету, 2016.
8. Гапанович В.Г., Маврін О.І., Олійник В.П. «Дослідження ефективності компенсації коливань напруги в системі електропостачання дугової сталетопної печі», 2008.
9. Варецький Ю.О., Пазина Я.С., Равлик О.М. «Проектна оцінка показників компенсованого флікера», 2001.

10. Демов О. Д., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Навчальний посібник / О. Д. Демов, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 92 с.
11. Афанасьев Н.А., Юсипов М.А. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (Система ТОР ЕО) / Н. А. Афанасьев, М. А. Юсипов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.- 528 с.
12. Таряник Н.А. Методичні вказівки до виконання курсової роботи по організації, плануванню і керуванню енергогосподарством / Н. А. Таряник. – ВПИ, 1983.
13. Економіка підприємства: Навч. посіб. / За ред. А.В. Шегди. – К.: Знання, 2005. – 431 с.
14. Плоткін Я.Д., Янушкевич О.К. Організація і планування виробництва на машинобудівному підприємстві: Навч. видання / Я. Д. Плоткін, О. К Янушкевич. – Львів: Світ, 1996. – 352 с.
15. Демов О.Д., Бурбело Л.М. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Менеджмент та маркетинг в системах електроспоживання» / О. Д. Демов, Л. М. Бурбело. – Вінниця, ВДТУ, 2002.
16. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 1976.
17. ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Изменением N 1), 2001.
18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (34094), –м.Київ, 1999.
19. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги, 2006.
20. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, 1999.



## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

## ВНТУ

## ПОГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_

Керівник або заступник

\_\_\_\_\_

Назва підприємства або установи

\_\_\_\_\_

Підпис

Ініціали та прізвище

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_р.

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ЕСЕЕМ

Назва кафедри (скорочено)

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. М. Й. Бурбело

Підпис

Науковий ступінь, наукове звання

ініціали та прізвище

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення  
коливань напруги

Науковий керівник д.т.н.,  
проф., Бурбело М. Й.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Виконавець: ст. гр. ЕМ-19м  
Лебедь Д. Ю.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Вінниця 2020

## **1 Підстави для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

а) наявність на промислових підприємствах потужних швидкозмінних навантажень спричинює певні проблеми, які погіршують якість електричної енергії, дані споживачі спричиняють утворення в електричних мережах коливання напруги, тому є необхідність зниження цих коливань напруги;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2 Мета і призначення МКР**

а) мета – підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення коливань напруги;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

**3 Джерела розробки:** завдання на дипломний проект, дане технічне завдання, довідникова та технічна література, існуючий аналог.

## **4 Вхідні дані для виконання МКР**

При виконанні МКР в якості вихідних даних було задано:

- схема електропостачання;
- навантаження (двигуни) потужністю  $P = 15$  та  $37$  кВт;
- трансформатор  $10/0,4$  потужністю  $S = 1$  МВА;
- джерело живлення  $U = 10$  кВ;
- графік електричних навантажень;
- основні техніко-економічні показники.

## **5 Вимоги до виконання МКР**

МКР повинна бути виконана в задані терміни згідно завдання, затвердженого кафедрою ЕСЕЕМ та замовником (якщо тема виконана за завданням підприємства).

При виконанні МКР забезпечити прийняття прогресивних інженерних рішень, що забезпечать досягнення поставленої мети.

Магістерська кваліфікаційна робота повинна складатися з 2-х частин:

1-а частина – розрахунково-пояснювальна записка;

2-а частина – графічна.

Склад кожного розділу (частини) наведений у рекомендованому змісті та основних вимогах до оформлення МКР, розроблених та затверджених кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту (ЕСЕЕС) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ).

## **6 Етапи та стадії розробки**

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 4 основних частин:

- спеціальна;
- економічна частина;
- охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;
- графічна.

На кожну частину, завдання видає викладач відповідної кафедри, контролює процес роботи та візує виконану роботу підписом у бланку завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Загальне керівництво магістерською кваліфікаційною роботою здійснює викладач випускної кафедри, він же керує виконанням спеціальної частини.

**7 Економічні показники:** кількість корисно спожитої електроенергії річне споживання електроенергії із втратами; плата за електроенергію; витрати на передачу і розподіл електроенергії; собівартість електроенергії.

## **8 Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, рецензія.

## **9 Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, яка затверджена наказом ректора.

## **10 Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011 р.

**11 Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

д.т.н., проф., Бурбело М. Й.

\_\_\_\_\_

науковий ступінь, наукове звання, ПІБ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
НА РОЗРОБКУ СХЕМИ КЕРУВАННЯ АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ ДЛЯ  
ЗМЕНШЕННЯ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ**

**1 Найменування і область застосування**

Найменування – активний фільтр (АФ) для зменшення коливань напруги (КН).

**2 Підстава для виконання роботи**

Підставою для розробки даного дипломного проекту є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу (МКР) та наказ ректора по ВНТУ про затвердження тем МКР.

**3 Мета і призначення дослідження**

Метою є підвищення ефективності застосування активних фільтрів для зменшення коливань напруги. Призначення розробки, полягає у розробці системи керування активним фільтром для покращення роботи системи. Її впровадження сприятиме покращенню якості електроенергії, зокрема зменшенню коливань напруги в розподільних мережах..

**4 Джерела розробки**

Список використаних джерел розробки

4.1 Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданский И.Я. Виртуальное моделирование режимов работы электропривода по схеме асинхронно-вентильного каскада // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 61-66. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат. – К. : Техника, 1982. – 208 с.

4.2 Онищенко В.В. «Дослідження впливу коливань напруги живлення на роботу електричного привода рудникового електровоза», Вісник Криворізького національного університету, вип. 42, 2016.

4.3 Гапанович В.Г., Маврін О.І., Олійник В.П. «Дослідження ефективності компенсації коливань напруги в системі електропостачання

дугової сталетопної печі», 2008.

4.4 Демов О. Д., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Навчальний посібник / О. Д. Демов, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 92 с.

4.5 Замула К. В. Сербин Ю.В. и др. Унифицированные электронные модули активных фильтров. Технический проект. Пояснительная записка. ИСКП.468839.001ПЗ. ОКР «Разработка типоряда унифицированных электронных модулей активных фильтров для преобразователей электроэнергии и систем электропитания мощностью до 10 МВт, обеспечивающих устойчивость функционирования радиоэлектронной аппаратуры в условиях сложной электромагнитной обстановки и электромагнитных помех естественного происхождения». Шифр «Устойчивость-О», 2014. — 196 с.

4.6 Жиленков А.А., Седаков И. А. Анализ влияния тиристорных выпрямителей электродвигательного комплекса судна на электроэнергетическую систему. — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2012. — № 50(956). С. 116–119.

## **5 Вихідні дані для розробки пристрою**

- Номінальна напруга роботи пристрою – 0,4 кВ.
- Номінальна потужність конденсатора – 1200 мкФ.
- Номінальний компенсаційний струм – 25-300 А.
- Орієнтований діапазон компенсації реактивної потужності –  $(1 \dots 200) \cdot 10^3$  Вар.
- Середня частота комунікації – 20 кГц.
- Рівень шуму – 60 дБ.

### **5.1 Технічні вимоги**

- вимоги монтажної придатності до продукції – поставка в зібраному вигляді;
- маса продукції – до 200 кг;
- захист від вологи, шкідливих випаровувань та корозії, здійснюється за стандартом IP51;
- складові частини АФ взаємозамінні;
- одиничний вид виробництва деталей, запасні частини не передбачаються.

### **5.2 Вимоги до надійності**

- довговічність – не менше 6 тис. год.;
- безвідмовність – напрацювання на відмову – 1 тис. год.;
- збережність – повинна забезпечувати працездатність АФ в режимі очікування, роботи, консервації;
- ремонтпридатність – компоновочне рішення АФ повинно бути таким,

що забезпечує легкодоступність до деталей, які вірогідно можуть мати найменший термін служби та відносно простий їх ремонт.

5.3 Вимоги до технологічності розробки, виробництва і експлуатації  
Конструкція деталей АФ повинна бути такою, щоб забезпечувати їх виготовлення без застосування спеціального обладнання і устаткування.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації, вимоги до використання стандартних, уніфікованих і запозичених складальних одиниць і деталей при розробці, показники рівня уніфікації.

По можливості під час розробки конструкції АФ використовувати уніфіковані деталі і стандартні вироби.

5.5 Вимоги безпеки життєдіяльності

Забезпечується безпека під час монтажу і ремонту. Допустимі рівні вібраційних і шумових навантажень, допустимі випаровування робочої рідини у відповідності з санітарними нормами. Повинні бути розроблені заходи, що забезпечують технічну безпеку під час монтажу, експлуатації і ремонті АФ.

5.6 Конструкція повинна відповідати естетичним і ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні і управлінні.

5.7 Матеріали, що використовуються для розробки АФ слід вибирати відповідно до рекомендацій, що застосовують під час виготовлення електричних пристроїв.

5.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговуванню і ремонту:

- умови експлуатації, при яких повинно забезпечуватися надійність пристрою з заданими технічними показниками – пристрій призначений для використання у закритих приміщеннях в, будь яких, кліматичних умовах;
- вид обслуговування – періодичний;
- періодичність і орієнтовна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту – в період поломки при необхідності.

5.9 Вимоги по транспортуванню і збереженню

- можливість транспортування на будь-якому виді транспортних засобів;
- захист від ударів під час завантаження і розвантаження;
- зберігання на складі готової продукції;
- зберігання у законсервованому вигляді;
- складування на стелажах.

## **6 Економічні показники**

- орієнтована вартість електроенергії зменшена – 10-30 %;
- плата за електроенергію зменшена в 3 рази
- річне споживання електроенергії із втратами зменшено в 3 рази;
- економічна перевага розробленого пристрою при роботі в мережі.

### **7 Виконавці НДР**

Студент спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Лебедь Денис Юрійович.

### **8 Етапи роботи і терміни їх виконання:**

- огляд літератури;
- синтез системи електропостачання;
- науково дослідна частина;
- економічна частина;
- охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;

### **9 Порядок контролю і прийомки**

- попередній захист МКР;
- захист МКР на екзаменаційній комісії.

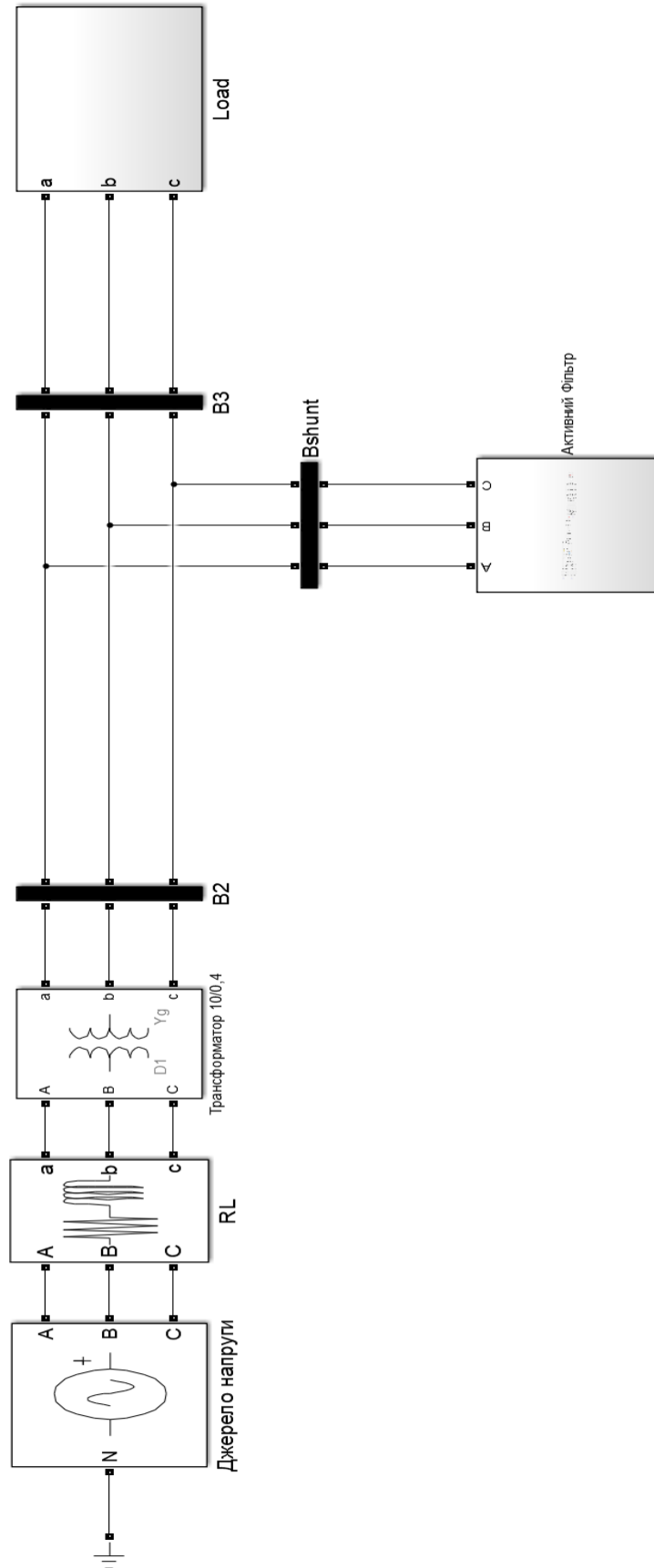
Розробив

Лебедь Д. Ю.



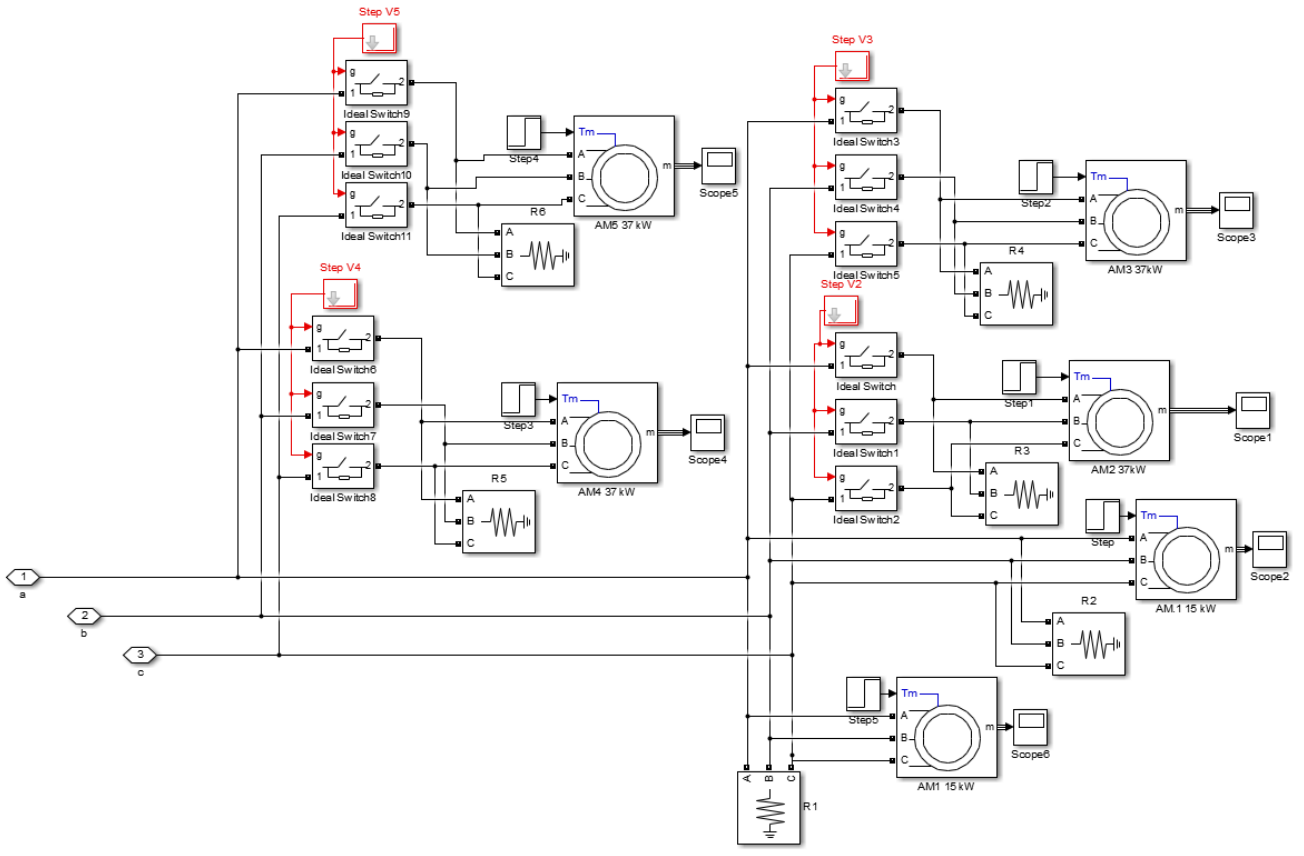
## Додаток Б

### Схема змодельованої електричної мережі



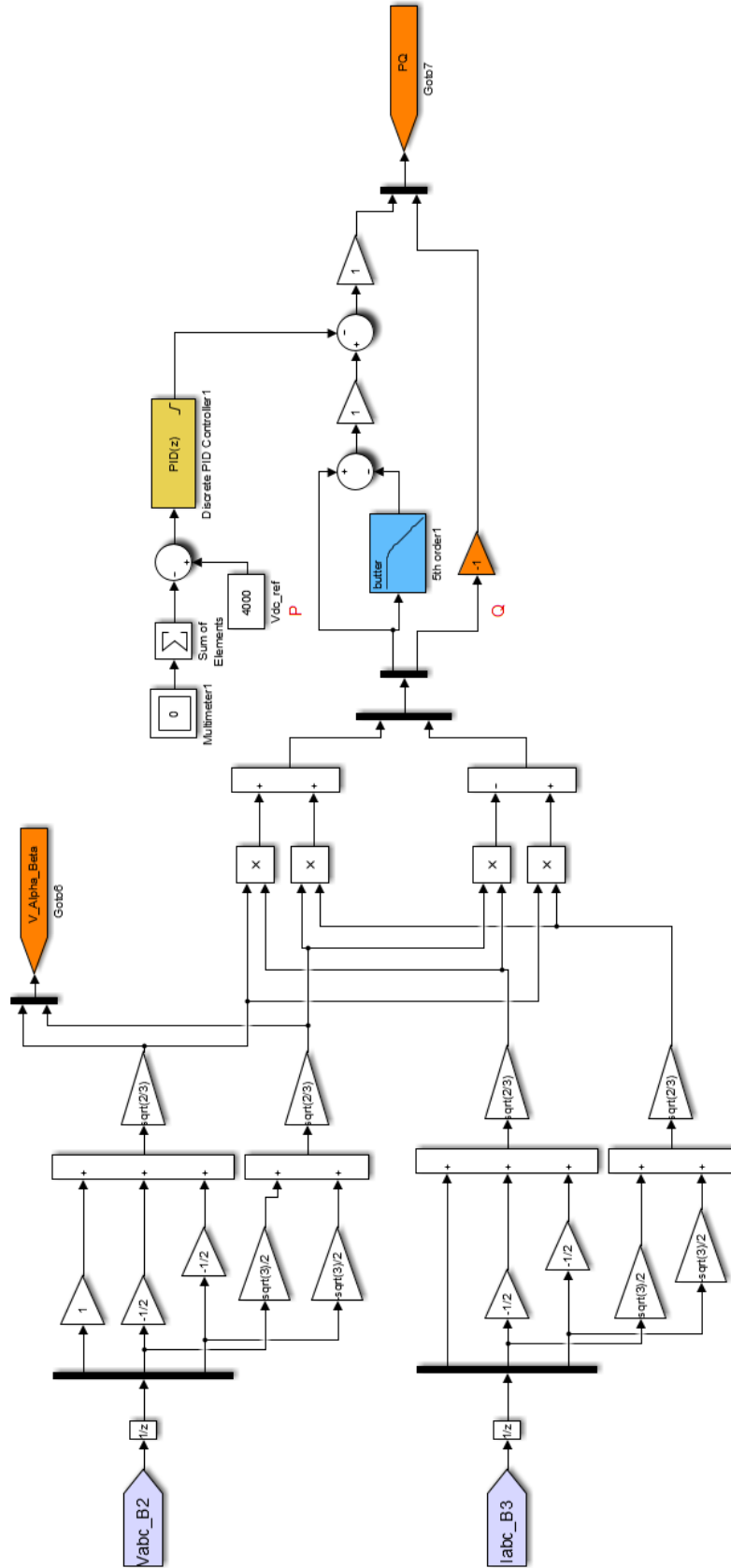
# Додаток В

## Блок схеми електричної мережі (Load)



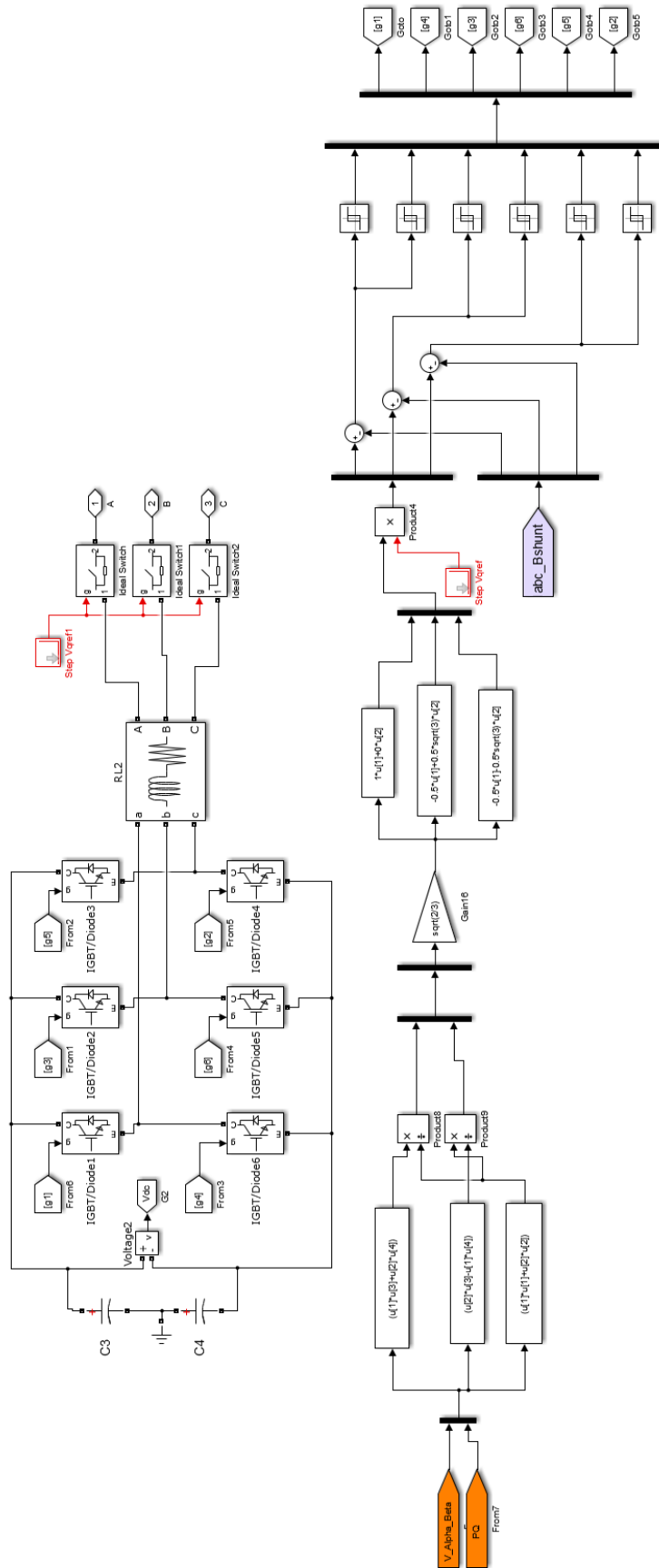
Додаток Г

Перетворення на основі PQ теорії миттєвої потужності



## Додаток Д

### Схема керування активним фільтром

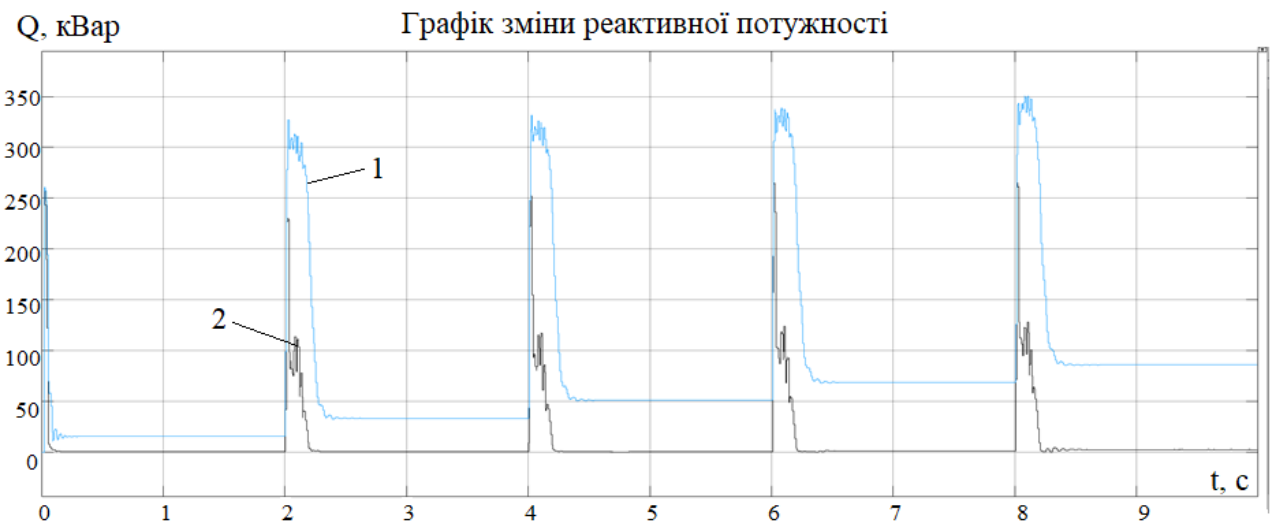
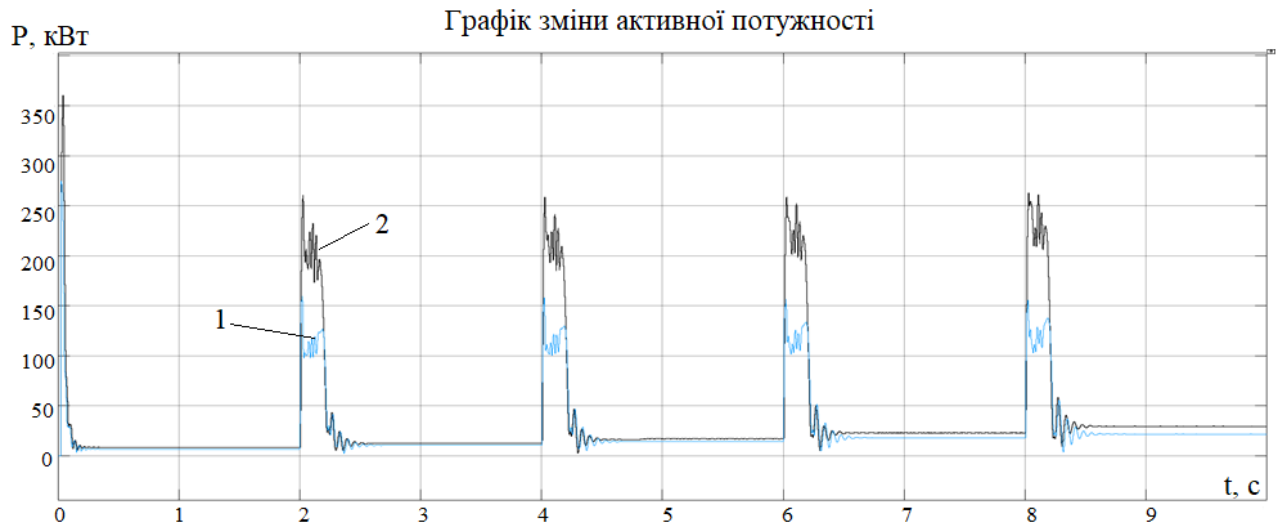


## Додаток Е

## Дослідження впливу АФ на роботу системи

1 – до ввімкнення АФ

2 – після ввімкнення АФ



## Додаток Ж

## Дослідження впливу АФ на коливання напруги

1 – до ввімкнення АФ

2 – після ввімкнення АФ

