

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **«Оптимізація параметрів системи автоматичного керування  
пересувної дизельної електростанції з регулюванням навантаження»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 601МЕ

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шаптала А.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С. Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## З А В Д А Н Н Я

### НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

**Шапталі Анатолію Миколайовичу**

1. Тема проекту (роботи) **«Оптимізація параметрів системи автоматичного керування пересувної дизельної електростанції з регулюванням навантаження»**

керівник проекту (роботи) **Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент**,  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 09.08.2024 року № 818-ф,а

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Вихідними даними є матеріали зібрані під час проходження переддипломної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Будова, характеристики та призначення пересувної електростанції. Опис електрообладнання пересувної електростанції. Модернізація релейного захисту генератора. Розроблення системи контролю ізоляції кіл збудження генератора. Розроблення кіл синхронізації за умов паралельної роботи пересувного генератора. Модернізація кіл керування та захисту дизеля. Модернізація системи сигналізації. Вибір основного електрообладнання. Розрахунок параметрів силового ланцюга електропривода. Розрахунок швидкісних характеристик і їх статизму у замкненій та розімкненій системах електропривода. Оцінка впливу зворотнього зв'язку за ЕРС. Розрахунок і побудова динамічних характеристик електропривода. Дослідження динамічних процесів у контурі струму якоря та ЕРС на цифровій моделі. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):  
Мета, об'єкт та предмет дослідження. Загальний вигляд пересувної дизельної електростанції ПЕБМ. Силова схема кіл первинних з'єднань. Схема кіл збудження й кіл регулювання напруги генератора. Схема диференційно-повздовжнього струмового захисту генератора. Схема кіл синхронізації. Модернізована схема керування дизелем. Удосконалена схема системи контрольно-вимірювальних приладів. Схема кіл синхнізації. Структурні схеми контурів регулювання. ЛАЧХ та ЛФЧХ контурів САК. Графіки перехідних процесів електропривода. Висновки.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Термін	Категорія	Обсяг	
1	Вступ. Призначення та характеристики пересувної електростанції. Склад та робота основних агрегатів пересувної електростанції.	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Опис електрообладнання пересувної електростанції. Модернізація релейного захисту генератора.	16.10.24	I	25%	Пл. 2, 3
3	Розроблення системи контролю ізоляції кіл збудження генератора. Розроблення кіл синхронізації за умов паралельної роботи пересувного генератора.	05.11.24		40%	Пл.4, 5
4	Модернізація кіл керування дизелем. Модернізація кіл захисту та блокування пуску дизеля.	12.11.24		50%	Пл.6
5	Модернізація системи сигналізації. Вибір основного електрообладнання. Розрахунок параметрів силового ланцюга електропривода. Розрахунок швидкісних характеристик і їх статизму у замкненій та розімкненій системах електропривода.	19.11.24	II	60%	Пл.7
6	Розрахунок величини динамічного падіння швидкості двигуна при збільшенні моменту навантаження. Оцінка впливу зворотнього зв'язку за ЕРС на процеси, що проходять у контурі струму.	26.11.24		70 %	Пл. 8
7	Розрахунок і побудова динамічних характеристик електропривода. Дослідження динамічних процесів у контурі струму якоря та ЕРС на цифровій моделі.	11.12.24		90 %	Пл. 9
8	Висновки. Оформлення кваліфікаційної роботи.	19.12.24	III	100%	Пл. 10

Магістрант \_\_\_\_\_ Шаптала А.М.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Галай В.М.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## Зміст

Вступ		6
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		8
1.1 Призначення пересувної електростанції		8
1.2 Характеристики електростанції		8
1.3 Склад та робота основних агрегатів пересувної електростанції		9
1.4 Електрообладнання пересувної електростанції		11
1.5 Висновки за розділом та завдання дослідження		15
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА		17
2.1 Модернізація релейного захисту генератора		17
2.1.1 Реалізація диференціально-повздожнього струмового захисту генератора		17
2.1.2 Забезпечення максимально струмового захисту генератора		19
2.1.3 Максимально струмовий захист від прервантаження		19
2.2 Розроблення системи контролю ізоляції кіл збудження генератора		20
2.2.1 Забезпечення контролю ізоляції 6кВ		21
2.3 Встановлення контрольно-вимірювальних приладів для кіл 6 кВ		22
2.4 Розроблення кіл синхронізації за умов паралельної роботи пересувного генератора		24
2.5 Кола керування масляним вимикачем та блоком гасіння дуги		25
2.6 Модернізація кіл керування дизелем		28
2.7 Модернізація кіл захисту та блокування пуску дизеля		30
2.8 Удосконалення системи вимірювання параметрів робочих середовищ		35
2.9 Модернізація системи сигналізації		40
2.11 Висновки за розділом		49
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА		50

	5
3.1 Вибір основного електрообладнання	50
3.2 Опис принципу роботи основних вузлів СКЕП	53
3.3 Розрахунок параметрів силового ланцюга електропривода	58
3.4 Розрахунок запасу за напругою тиристорного перетворювача	65
3.5 Розрахунок параметрів регуляторів струму якоря та ЕРС	66
3.6 Розрахунок параметрів регулятора ЕРС із датчиком напруги	69
3.7 Розрахунок параметрів регулятора струму збудження	74
3.8 Розрахунок швидкісних характеристик і їх статизму у замкненій та розімкненій системах електропривода	77
3.9 Розрахунок величини динамічного падіння швидкості двигуна при збільшенні моменту навантаження	80
3.10 Оцінка впливу зворотнього зв'язку за ЕРС на процеси, що проходять у контурі струму	81
3.11 Розрахунок і побудова динамічних характеристик електропривода	83
3.12 Дослідження динамічних процесів у контурі струму якоря та ЕРС на цифровій моделі	87
3.13 Висновок за розділом	95
Висновки	96
Список використаних джерел	97
Додатки	99

## Вступ

**Актуальність роботи.** Сучасні пересувні дизельні електростанції є важливими елементами енергетичних систем, які забезпечують автономне джерело електричної енергії для різних об'єктів, зокрема на будівельних майданчиках, в польових умовах, при аварійних ситуаціях або в регіонах, де відсутня стабільна електрична мережа, що особливо актуально під час повномасштабного військового вторгнення РФ на територію України.

Завдяки своїй мобільності та здатності працювати в умовах обмеженого доступу до мережі, ці електростанції широко застосовуються в багатьох галузях: від військових і цивільних об'єктів до сільського господарства та транспорту.

Одним з основних параметрів, який визначає ефективність роботи пересувної дизельної електростанції, є система автоматичного керування, що забезпечує стабільне функціонування генератора та оптимальне регулювання навантаження. Важливою задачею є забезпечення балансування між навантаженням на електростанцію та її можливостями, що допомагає досягти максимального рівня ефективності і зниження витрат пального, зменшуючи при цьому знос обладнання та ризик аварійних ситуацій.

Оптимізація параметрів системи автоматичного керування є важливим напрямом в покращенні роботи таких станцій. Процес регулювання навантаження включає не лише підтримку стабільних робочих параметрів генератора (наприклад, напруги, частоти, струму), а й забезпечення швидкої адаптації до змінних умов експлуатації. У цьому контексті необхідно враховувати такі фактори, як змінний характер навантаження, коливання вхідних параметрів і зовнішні впливи на дизельний генератор.

Процес оптимізації передбачає не лише технічні вдосконалення апаратної частини системи управління, а й застосування сучасних методів математичного моделювання, адаптивного керування та інтелектуальних алгоритмів, що дозволяють автоматично налаштовувати параметри роботи генератора в реальному часі з урахуванням актуальних умов. Особливу роль

у цьому відіграють системи, здатні прогнозувати навантаження та здійснювати регулювання без участі оператора, що значно підвищує надійність та безпеку експлуатації пересувних електростанцій.

Таким чином, оптимізація параметрів системи автоматичного керування пересувної дизельної електростанції з регулюванням навантаження є актуальним завданням, яке дозволяє підвищити ефективність, знизити витрати пального, зменшити технічні ризики та забезпечити стабільне постачання енергії при мінімальних витратах.

**Мета роботи:** полягає в створенні більш ефективної та надійної системи автоматичного керування пересувної дизельної електростанції, яка буде здатна адаптуватися до змінюваних умов навантаження, знижувати витрати пального, а також забезпечувати стабільну роботу в довгостроковій перспективі.

**Об'єкт дослідження:** процеси керування генератором та регулюванням навантаження, що включають в себе технічні, алгоритмічні та операційні параметри, які визначають ефективність її роботи.

**Предмет дослідження** включає в себе теоретичні та практичні аспекти, пов'язані з розробкою, налаштуванням та вдосконаленням алгоритмів автоматичного керування навантаженням, а також з аналізом і оптимізацією роботи дизельної електростанції для підвищення її ефективності та надійності.

## 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Призначення пересувної електростанції

Пересувна дизельна електростанція ПЕБМ призначена для вироблення електроенергії змінного трифазного струму високої напруги промислової частоти і слугує для електропостачання наново збудованих, діючих підприємств та тих, що розширюються, а також об'єктів, що знеструмлені відповідно до графіків відключення електроенергії, пов'язаних з агресією РФ.

Електростанція призначена для роботи при температурі оточуючого середовища від 323К до 223К ( від +50 °С до -50 °С ).

У конструктивному відношенні електростанція являє собою чотиривісний залізничний вагон особливої конструкції, в якому розміщена дизель генераторна установка змінного струму потужністю 1100 кВт з всіма допоміжними пристроями та обладнанням, забезпечуючим її нормальну роботу.

При умовах згідно стандарту (температурі +40 °С , висоті над рівнем моря 1000 м і вологості 98% при 25°С ) потужність електростанції становить 1000 кВт, що відповідає потужнісному стандартному ряду. При температурі оточуючого повітря вище 313К (+40 °С) потужність електростанції мусить зменшуватись на 45 кВт при збільшенні температури на кожен градус.

### 1.2 Характеристика електростанції

Тип електростанції - пересувна, дизельна, змінного трифазного струму.

Номинальна потужність на вихідних клеммах генератора, кВт	1100
Напруга, В	6300
Частота, Гц	50
Електростанція змонтована на двох вагонних платформах марки	18-100.

	9
Маса електростанції в незаправленому стані, т, не більше ...	74
Діаметр коліс, мм	950
Запас води, кг	800
Запас мастила, кг	900
Запас пального, кг	4080
Мінімальний радіус проходжуваних кривих, м	100
Швидкість транспортування м/с (км/год)	27,8 (100)

### **1.3 Склад та робота основних агрегатів пересувної електростанції**

В якості силової установки використовується дизель-генератор 4-26ДГ, що складається з дизеля 12ЧН26/26 та генератора СГС 1370-750УЗ, зєднаних між собою напівпружньою муфтою і встановлені на спільній піддизельній рамі.

Дизель генератор встановлений на двох підставках, приварених до головної рами дизельстанції симметрично відносно повздовжньої вісі, і опирається на них своєю піддизельною рамою в шести точках : по дві точки піддизельна рама має біля переднього і заднього торця дизеля і дві точки під лапами генератора.

Для зменшення коливань рами, що виникають при роботі дизель генератора 4-26ДГ, на дизельній електростанції встановлено два антивібратори.

Антивібратор складається з чугунної плити, пружин, розміщених зверху і знизу плити. Антивібратори встановлені на хребтовій балці рами біля торцевих дверей (в службовому приміщенні – під щитом полу, в холодильній камері – під листом огороження).

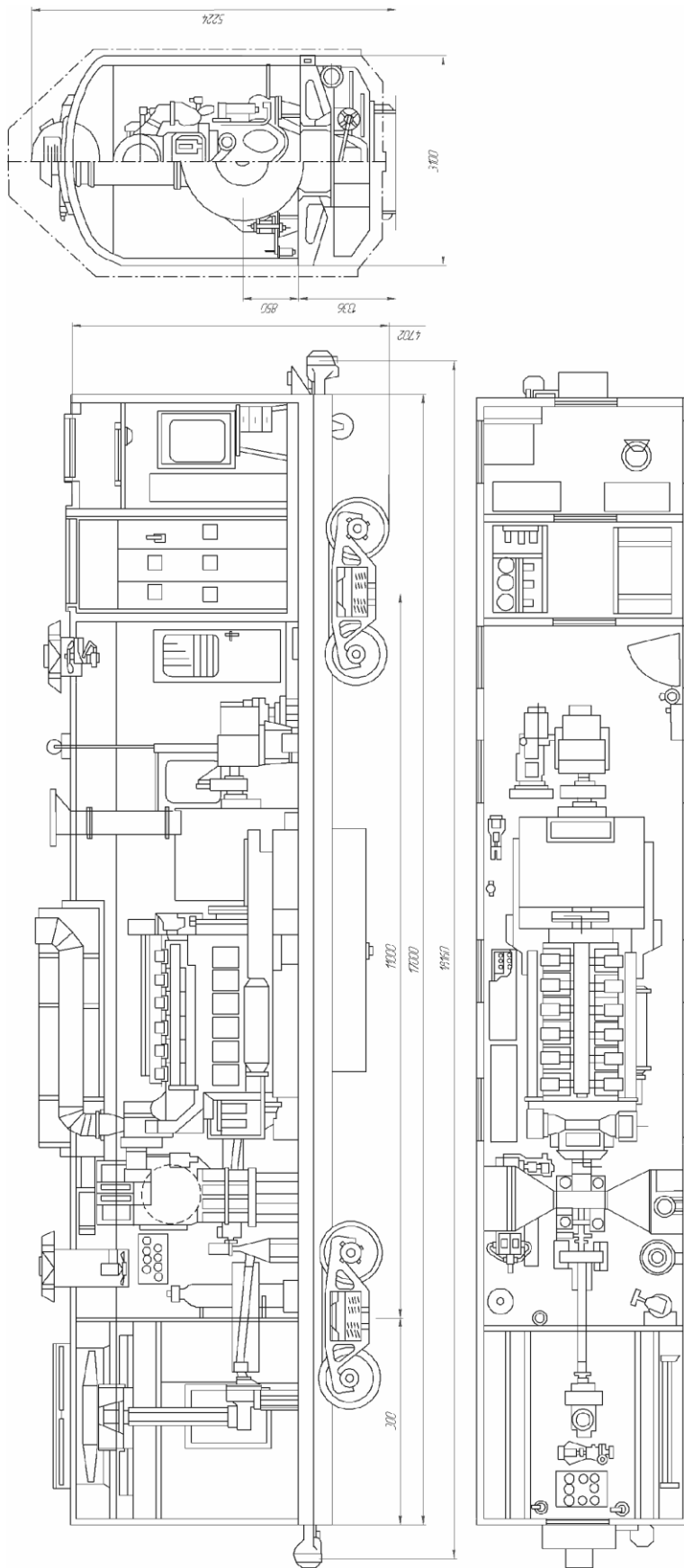


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд пересувної дизельної електростанції  
ПЕ6М

## 1.4 Електрообладнання пересувної електростанції

Кола первинних з'єднань 6 Кв. Схема первинних з'єднань складається з:

- головного кола що включає генератор G (рис. 1.2), вимикач Q1, роз'єднувач QS та трансформатор струму TA1...TA2;

- кола трансформатора власних потреб T1, що містять запобіжники FU1...FU5;

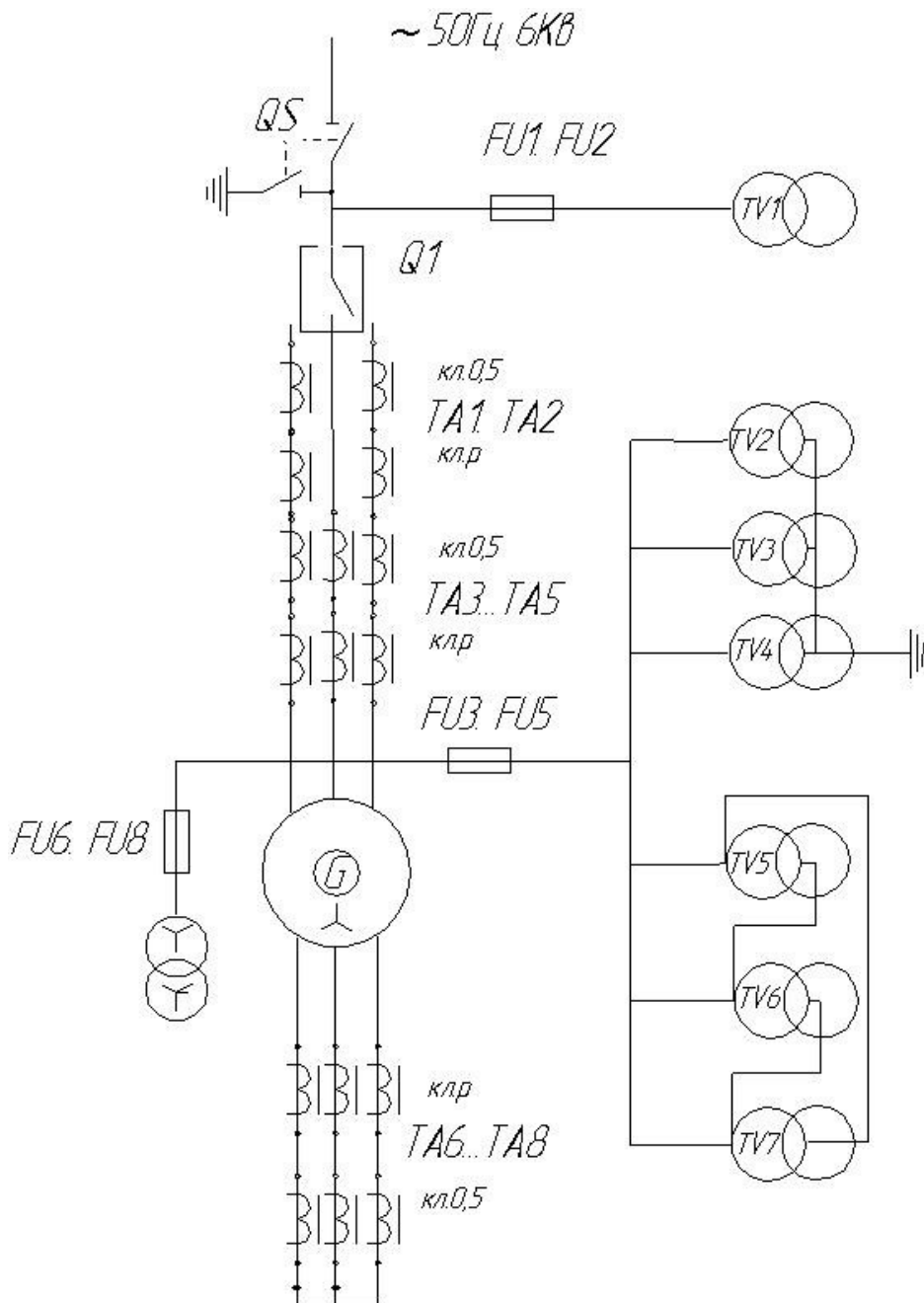


Рисунок 1.2 - Силова схема кіл первинних з'єднань

- кола вимірювальних трансформаторів напругою TV1...TV7, захищених запобіжниками FU1...FU5.

Генератор G з'єднаний з споживачами через трансформатори струму TA1...TA5, масляний вимикач Q1, роз'єднувач QS та високовольтний шланговий кабель.

Масляний вимикач Q1, що має привід з дистанційним керуванням і слугує для вмикання і вимикання генератора.

Роз'єднувач QS забезпечує відключення станції від мережі 6 кВ з видимим розривом кола для обстеження і ремонту високовольтного обладнання.

Роз'єднувач має блокувальний електромагнітний замок YAB1, запобігаючий помилковому виконанню операцій, атакож ножі для заземлення.

Трансформатори струму TA1...TA8 слугують для власних потреб контрольно-вимірювальних приборів генератора, пристроїв захисту і автоматичного регулятора напруги генератора.

Трансформатор T1 захищений від коротких замикань в колі 6 кВ запобіжниками FU6...FU8.

Трансформатор напруги TV1 слугує для синхронізації та вимірювання напруги і частоти зовнішнього кола 6 кВ.

Трансформатори TV2...TV4 призначені для постачання кіл контрольно-вимірювальних приборів, пристроїв захисту і синхронізації. Первинна і вторинна обмотки трансформаторів цієї групи з'єднані в зірку.

Трансформатори TV5...TV7 призначені для ел. постачання автоматичного регулятора напруги. Первинні обмотки трансформаторів цієї групи з'єднані в трикутник.

Генератор G має незалежне збудження від збуджувача GE (рис.1.3). Обмотка збудження генератора підключається до збуджувача за допомогою гасіння поля Q2, що складається з керування і розрядного опору R4. Блок

керування призначений для перемикання обмотки збудження генератора з розрядного опору на збуджувач і з збуджувача на розрядний опір.

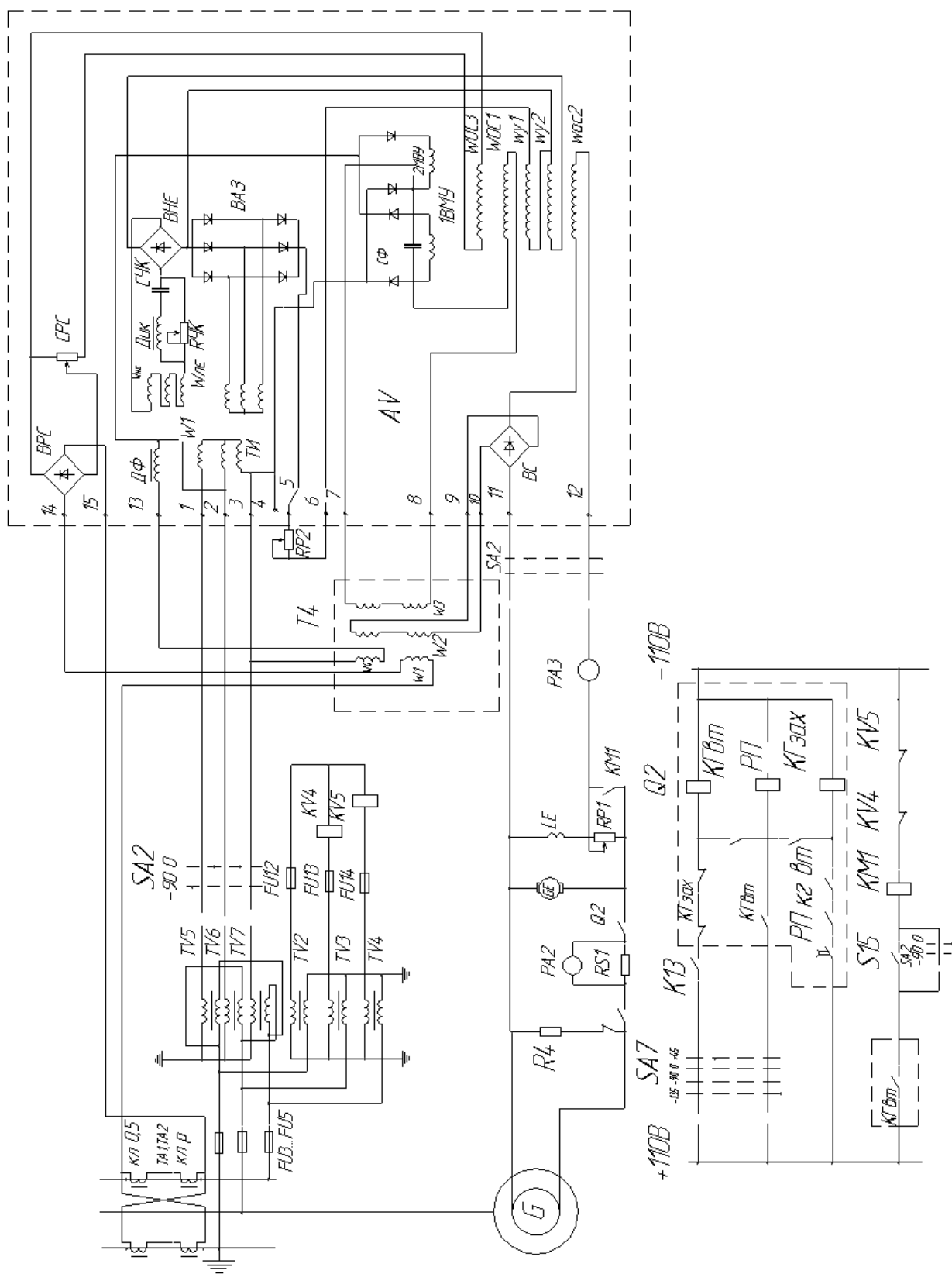


Рисунок 1.3 - Схема кіл збудження й кола регулювання напруги генератора

Перемикання, здійснюємі блоком керування, проходять без розриву кола обмотки збудження, що захищає останню від перенавантаження і забезпечує безпеку роботи обслуговуючого персоналу.

Блок керування складається з контактора збудження КГвТ, проміжного реле РП і котушки відключення КГ захистів.

Головні контакти контактора КГвТ, ввімкнені в коло збудження генератора. При знятті збудження обмотка збудження генератора спочатку замикається на розрядний опір, а потім відключається від збуджувача GE.

Контактор збудження обладнаний електромагнітним гачком, утримуючим його ввімкнутому положенні після обезструмлення вмираючої котушки.

Керування гасінням поля здійснюється перемикачем SA7.

Регулювання напругою генератора може здійснюватися вручну і автоматичним регулятором AV.

При пуску і зупинці станції використовується ручний метод регулювання з допомогою шунтового реостату RP1.

Релейне форсування піднімає напругу генератора в аварійних режимах, резервуючи роботу автоматичного регулятора напруги. При глибоких падіннях напруги контакти реле мінімальної напруги KV4...KV5, ввімкнені на вторинну напругу трансформаторів TV2...TV4, збирають коло контактора форсування KM1. При ввімкненому тумблері S15, контактор KM1 шунтує своїм контактом реостат RP1, збільшуючи струм в обмотці збудження збуджувача.

Для підтримання постійної напруги генератора, а також для форсування збудження на станції знаходиться швидкодіючий автоматичний регулятор напруги AV, працюючий по схемі фазового компаундирування з електромагнітним коректором напруги. Регулятор складається з універсального трансформатора керує мого фазового компаундирування T4 і коректора напруги.

Трансформатор Т4 виконаний як магнітний підсилювач з двома обмотками живлення. Первинна послідовна обмотка  $W_1$  ввімкнена в коло струму статора генератора через трансформатори струму ТА1, ТА2. Первинна паралельна обмотка  $W_n$  живиться від напруги генератора через трансформатори напруги TV5...TV7, вторинні обмотки котрих зеднані в зірку.

Напруга і струм вторинної обмотки  $W_2$ , ЕРС якої є геометричною сумою ЕРС, пропорційна струму статора, і ЕРС пропорційна напрузі генератора, випрямляються випрямлячем ВС і подаються в обмотку збудження збуджувача.

Для підмагнічування Т4 в ньому передбачена обмотка керування  $W_u$ , ввімкнена на вхід магнітного підсилювача МУ, живлячогося від напруги генератора і керуемого від трифазного вимірювального органу ТИ. При змінах напруги на генераторі змінюється напруга генератора. При глибоких падіннях напруги чи при КЗ підмагнічування зникає ступінь компаундирування різко зростає, забезпечуючи цим форсування збуджувача. При холостому ході генератора трансформатор Т4 живиться тільки від напруги генератора. Обмотка  $W_n$  при цьому в фазовій схемі здійснює компаундирування і забезпечує регулювання напруги генератора на холостому ходу і при малих навантаженнях.

Вставка підтримуємої регулятором напруги задається реостатом RP2. В вихідні кола регулятора ввімкнено амперметра.

### **1.5 Висновки за розділом та завдання дослідження**

Аналіз технологічних та конструкційних особливостей пересевної електростанції та стану електрообладнання показав, що зазначені системи потребують модернізації. Із досвіду експлуатації сучасних електростанцій з аналогічними характеристиками в даній електростанції доцільно виконати конструкторсько-розрахункові роботи.

Завданнями магістерської роботи є:

- Аналіз існуючих методів автоматичного керування пересувними дизельними електростанціями, зокрема в частині ефективності використання пального;
- Модернізувати релейний захист генератора;
- Передбачити більш дієвий контроль кола 6кВ;
- Модернізувати кола керування масляним вимикачем та блоком гасіння поля;
- Модернізувати кола керування дизелем;
- Модернізувати кола захисту та блокування пуску дизеля;
- Модернізувати систему аварійної зупинки дизеля;
- Модернізувати кола керування пожежної сигналізації та власних потреб;
- Модернізувати кола керування компресором.

Завдання дослідження спрямовані на створення більш ефективної та системи автоматичного керування, що забезпечить надійну роботу пересувної дизельної електростанції при мінімальних витратах ресурсів та високій експлуатаційній надійності.

## 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Відповідно до завдань магістерської роботи необхідно провести комплексну модернізацію елементів та систем автономної електростанції.

### 2.1 Модернізація релейного захисту генератора

Схема електростанції передбачає такі види захисту генератора:

- Диференціальний повздовжній струмовий захист від багатofазних замикань в обмотці статора генератора;
- Максимально струмовий захист з пуском мінімальної напруги від зовнішніх КЗ;
- Максимально струмовий захист від перенавантаження;

Передбачається контроль ізоляції ланцюгів 6 кВ і контроль ізоляційним ланцюгів збудження генератора (рис.2.1).

Захисти по пунктам 1,2 діють на відключення генератора і на сигнал; захист по пункту 3 – на сигнал.

Захист виконаний на постійному оперативному струмові. Джерелом забезпечення оперативних кіл є акумуляторна батарея напругою 110 В.

#### 2.1.1 Реалізація диференціально-повздовжнього струмового захисту генератора

Оснований захист побудований на принципі порівняння струмів на початку та в кінці обмотки фази статора і виконаний максимально струмовим реле в кожній фазі і додатковим опором в ланцюзі обмотки реле. Струмові реле ввімкнені на різницю струмів трансформаторів струму нейтралі генератора ТА6...ТА8 і камери вимикача ТА3...ТА5.

При КЗ в зоні захисту з'являється струм небалансу. При перевищенні струмом величини вставки реле проходить спрацювання КА1, КА2, КА3.

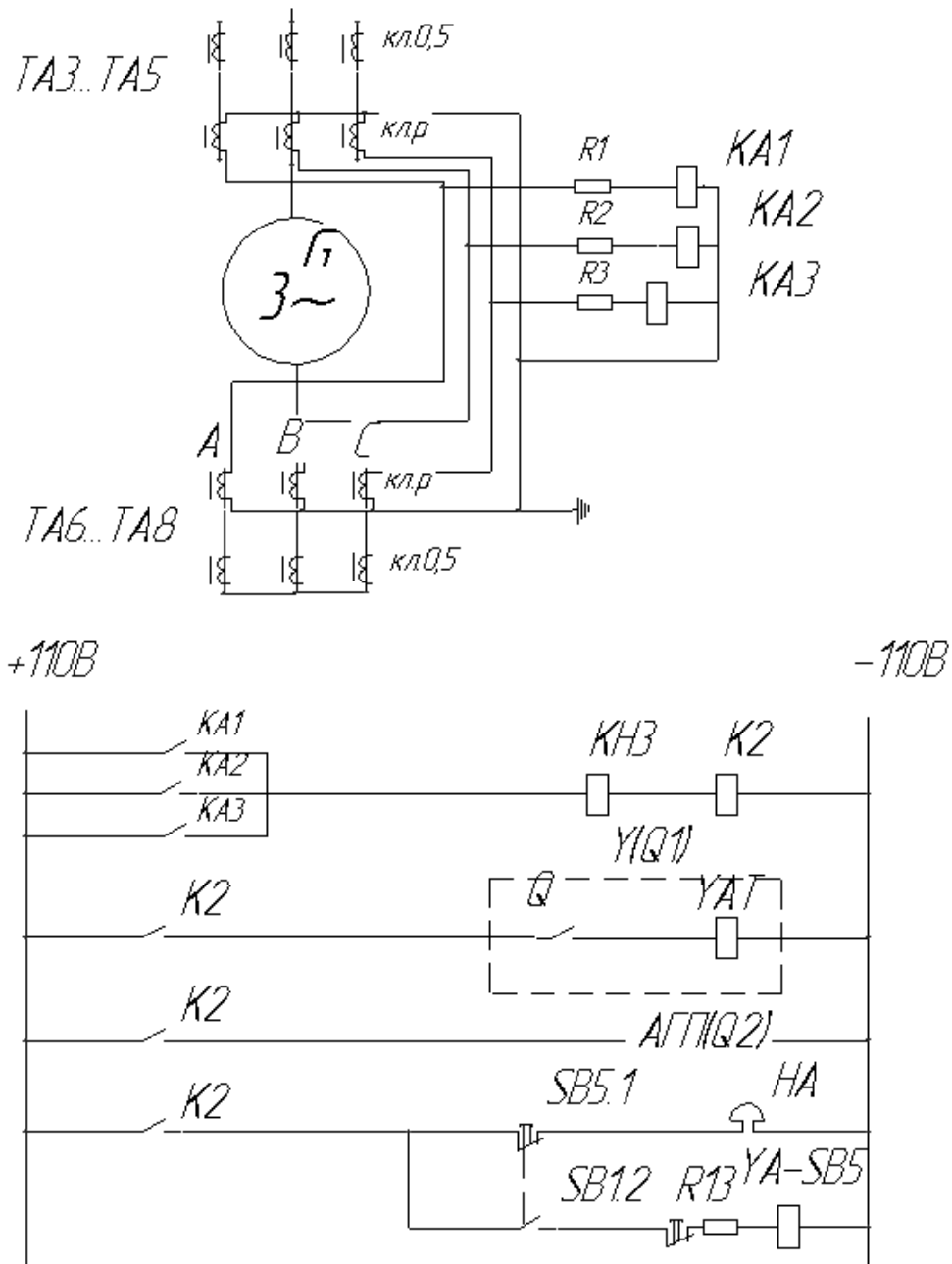


Рисунок 2.1 - Схема диференційно-повздовжнього струмового захисту генератора

Замикаючі контакти цих реле замикають коло живлення КНЗ і проміжного реле К2 захисту генератора.

Реле К2 замикає коло відключення масляного вимикача Q1, автомату гасіння поля Q2 і вмикає звуковий сигнал (НА).

### **2.1.2 Забезпечення максимально струмового захисту генератора**

Захист виконаний двофазний з пуском мінімальної напруги під дією реле максимального струму КА4, КА6, ввімкнених в фази А і С і реле мінімальної напруги КV1, КV2, КV3.

Струмові реле КА4, КА6 ввімкнені до трансформаторів струму ТА6...ТА8, встановленими зі сторони нейтралі генератора. Захист діє як при зовнішніх, так і при внутрішніх КЗ генератора, резервуючи диференціальний захист.

Реле напруги КV1...КV3 живляться від трансформаторів напруги TV2...TV4, з'єднаних в зірку.

При КЗ спрацьовує реле КV1...КV3, КА6, КА4 і сигнал з витримкою часу, визначаємий реле КТ2, надходить через його замикаючий контакт на вказівне реле КН4 і проміжне реле К2 захисту генератора, котре замикає кола відключення масляного вимикача Q1, АГП-Q2 і вмикає звуковий сигнал НА.

При перегрузках генератора, не супроводжуваних зниженням напруги, реле мінімальної напруги не діють їх розімкнуті контакти запобігають хибному спрацюванню захисту.

### **2.1.3 Максимально струмовий захист від перенавантаження**

Захист виконаний з допомогою реле максимального струму КА5, ввімкненого на трансформатор струму ТА7 фази В (рис.2.2).

Для уникнення хибного спрацювання при короткочасних перенавантаженнях захист виконаний з витримкою часу. Сигнал про перенавантаження з витримкою, обумовлений реле часу КТ1, поступає через вказівне реле КН2 на виході проміжного реле К1, котре вмикає звуковий сигнал НА.



### 2.2.1 Забезпечення контролю ізоляції кіл 6кВ

Схема контролю ізоляції кіл 6кВ виконана з допомогою реле максимальної напруги KV6 (рис. 2.3), ввімкненого між нульовою точкою трансформаторів напруги TV2...TV4 і штучною нульовою точкою, створеною трьома опорами R6...R8, ввімкненими на фазну напругу.

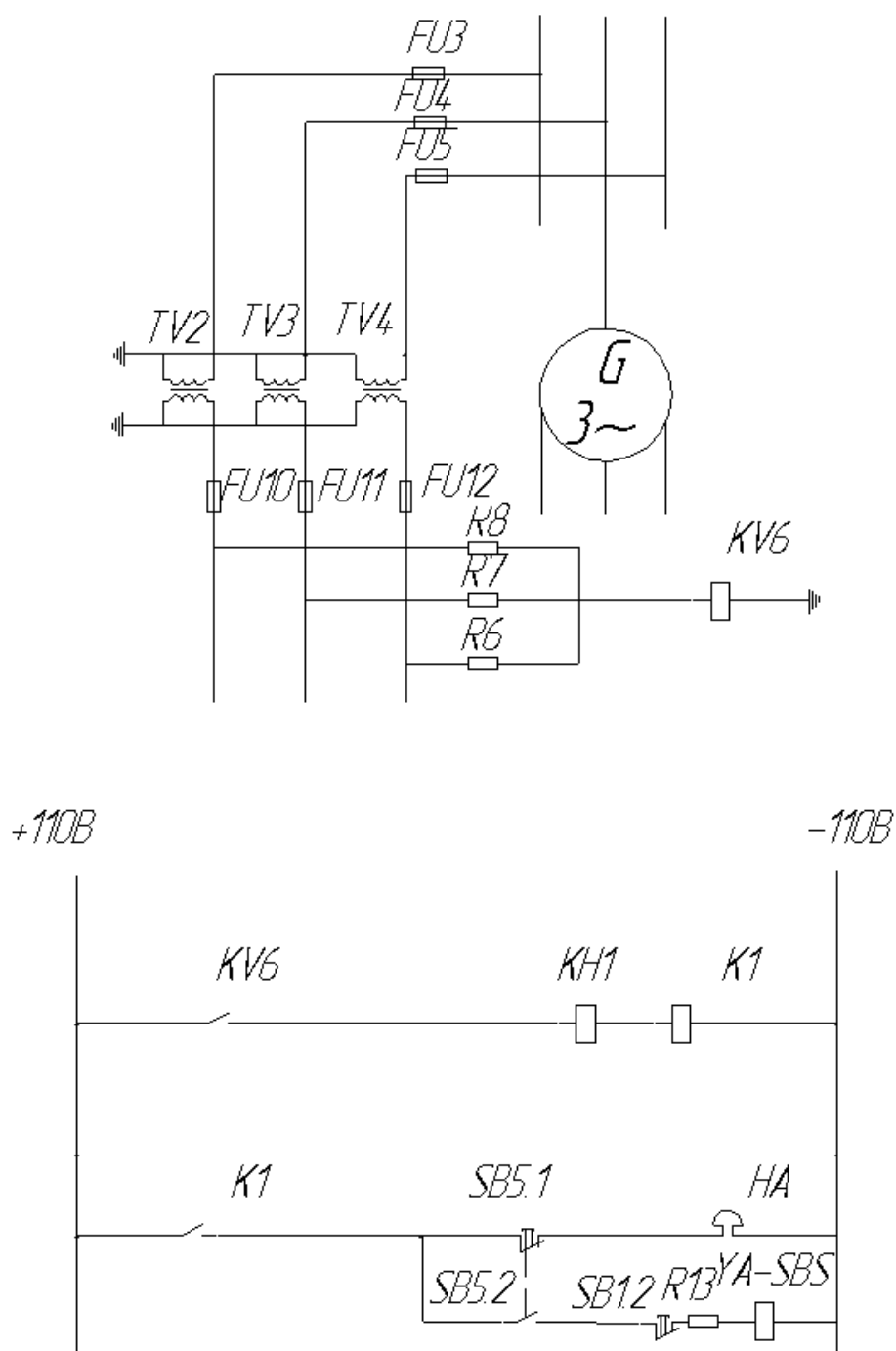


Рисунок 2.3 – Силова схема контролю ізоляції кіл 6 кВ

При нормальних умовах на реле напруга відсутня. При замиканні на землю однієї з фаз напруга на двох інших зростає, викликаючи спрацювання реле КВ6, котре через вказівне реле КН1 замикає коло проміжного реле К1, вмикаючого звуковий сигнал НА.

При повному замиканні на землю однієї з фаз напруга на пошкодженій фазі стане рівна 0, а на 2 інших зросте в  $\sqrt{3}$  рази від нормального.

### **2.3 Встановлення контрольно-вимірювальних приладів для кіл 6 кВ**

Для контролю за роботою генератора схема електростанції має наступні прилади:

амперметр струму статора РА1 з перемикачем SA1, вольтметр напруги генератора PV2 з перемикачем SA3, частотметр генератора PF2, ватметр РW, фазометр  $\cos \varphi$ , лічильник активної енергії Р1, лічильник реактивної енергії РК, амперметр струму збудження генератора РА2, вольтметр напруги збудження генератора PV3.

Струмові обмотки контрольно-вимірювальних приладів РА1, РW,  $\cos \varphi$ , Р1, РК вимкнені на трансформатори струму ТА3...ТА5 з використанням осердя класу точності 0,5.

Обмотки напруги приборів PV2, PF2, РW,  $\cos \varphi$ , Р1, РК, живляться від трансформаторів напруги TV2...TV4, вторинні обмотки котрих з'єднані зіркою і захищені від КЗ запобіжниками FU10...FU12.

Для контролю параметрів мережі схема має вольтметр PV1 і частомір, вимкнений на напругу вторинної обмотки трансформатора напруги TV1.

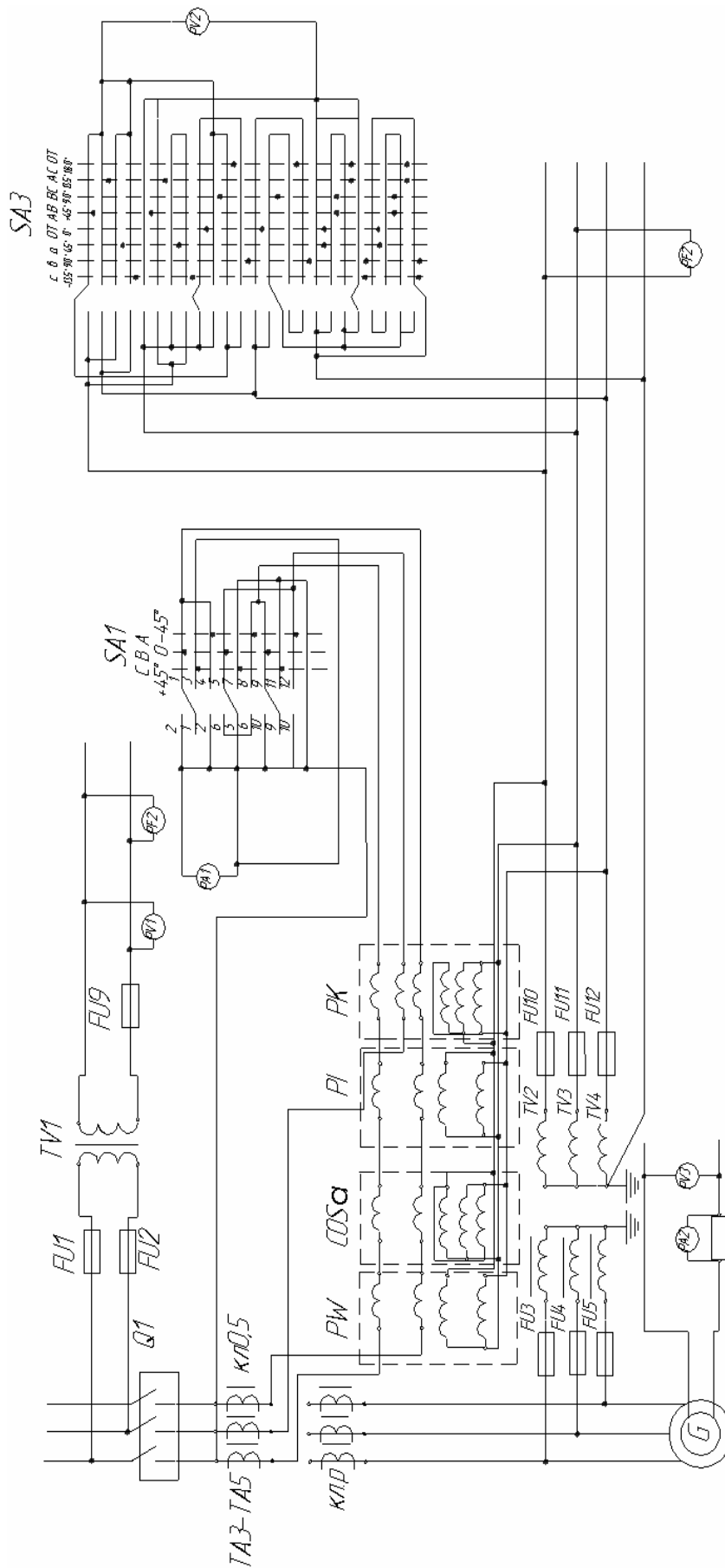


Рисунок 2.4 – Схема встановлення контрольно вимірювальних приладів силового кола 6 кВ

## 2.4 Розроблення кіл синхронізації за умов паралельної роботи пересувного генератора

Схема синхронізації призначена для ввімкнення станції на паралельну роботу з мережею 6 кВ методом точної синхронізації. Синхронізація виконується при рівності напруг генератора і мережі (контролюється вольтметрами PV1 і PV2) і рівності частоти генератора і частоти мережі (контролюється частомірами PF1 і PF2).

Ввімкнення синхроскопа Sn (рис. 2.5) здійснюється перемикачем SA4, підключаючим балансні опори R5 до вторичних ланцюгів трансформаторів напруги TV1, TV2...TV4.

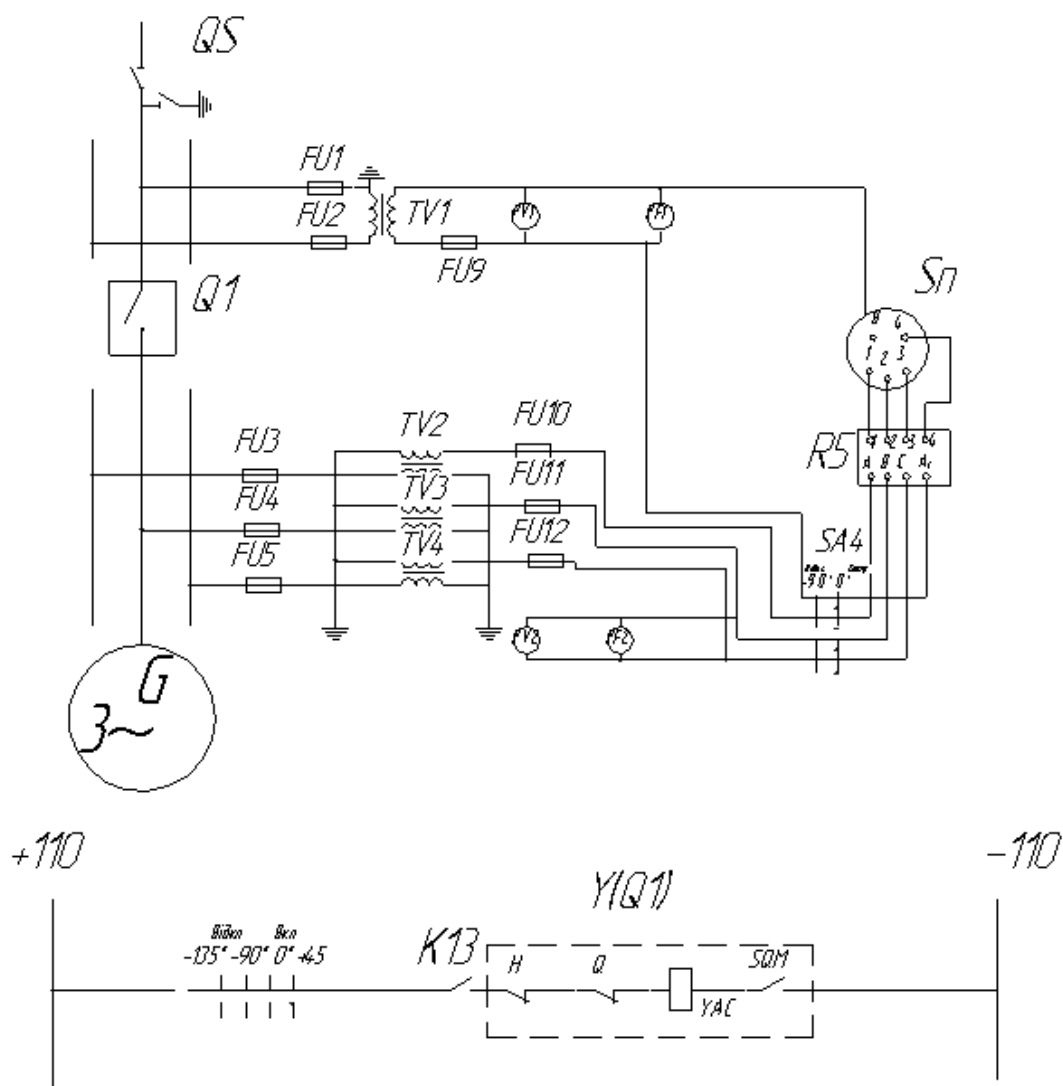


Рисунок 2.5 – Схема кіл синхронізації

При рівності напруг і частот в момент співпадання фаз (стрілка синхроскопа плавно підходить зліва до контрольної риски) ключем SA6 вмикається масляний вимикач.

## 2.5 Кола керування масляним вимикачем та блоком гасіння дуги

Масляний вимикач Q1 керується вмонтованим пружинним приводом Y. Привід має електродвигун M8 для заводки робочих пружин, вмикаючий YAC і вмикаючий YAT електромагніти (рис.2.6).

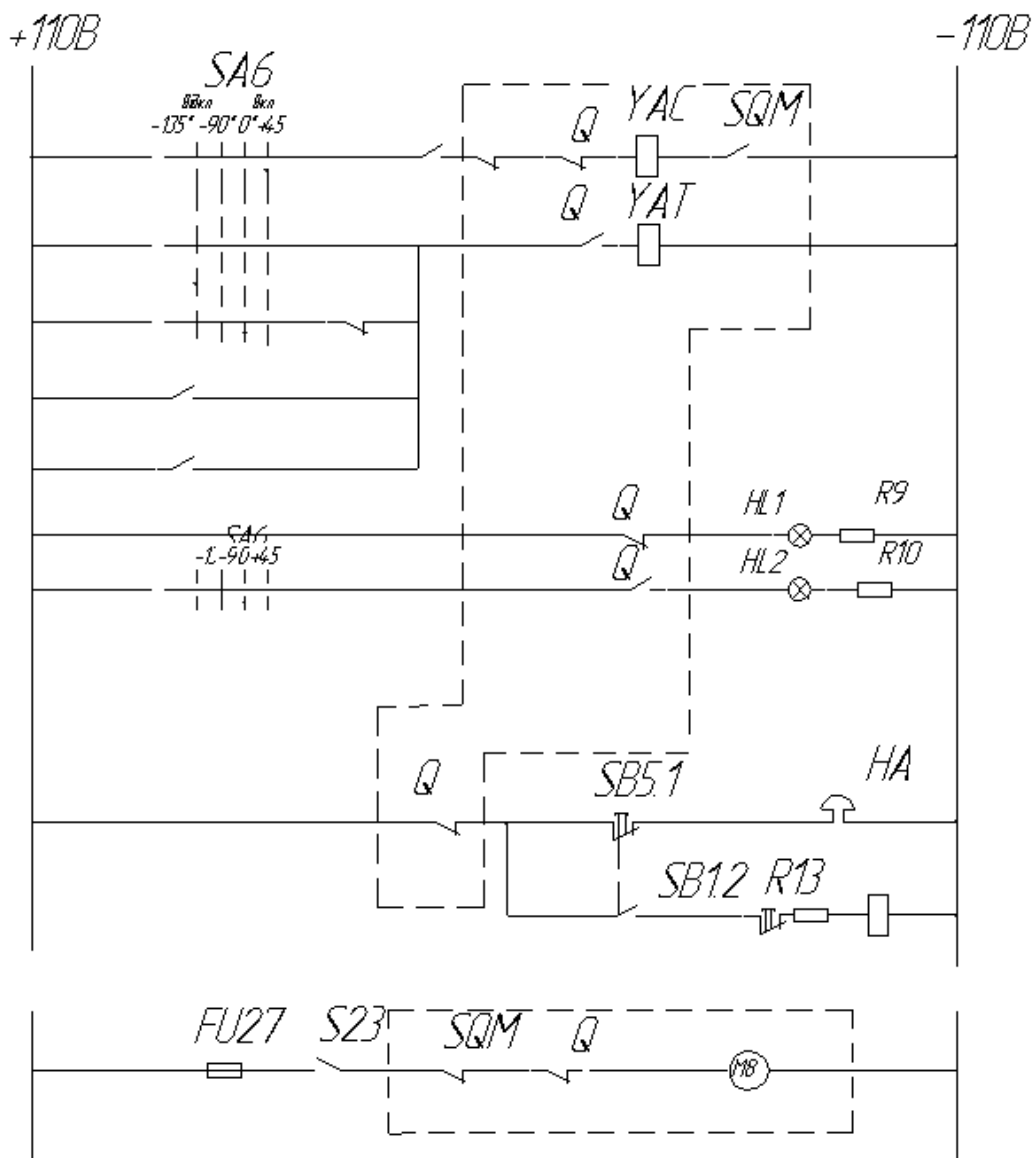


Рисунок 2.6 – Розроблена схема кіл керування масляним вимикачем

Електродвигун живиться напругою 220В від мережі власних потреб і захищається запобіжником FU27. Вимикачем S23 здійснюється вмикання кола електродвигуна. Блок-контакт приводу SQM в колі слугує для автоматичного підзаводу робочих пружин, контакт Q забороняє під завод пружин при ввімкненому вимикачі. Кола вмикання і вимикання вимикача получають живлення від акумуляторної батареї 110 В. Кола вмикання (електромагніт YAC) складається з контактів ключа дистанційного керування SA6, проміжного реле K13 і блок-контактів H, Q, SQM.

Блок контакт SQM забороняє вмикання вимикача при пружинах, заведених на одну операцію, контакт H забороняє вмикання вимикача, якщо він вимкнутий від дії вмонтованих захисних реле, контакт Q автоматично зупиняє живлення вмикаючого електромагніта після завершення операції вмикання. Замикаючий контакт реле K13 забороняє вмикання вимикача при відкритих дверях високовольтних камер.

Кола вимикання (електромагніт YAT) складається з контактів ключа дистанційного керування SA6, контактів вихідних проміжних реле захистів генератора і дизеля K2, K6, K13, блок-контакта Q, котрий готує коло вимикання і автоматично зупиняє живлення вмикаючого електромагніта після здійснення операції вимикання.

Роз'єднуючий контакт реле K13 в колі вимикання блокує вимикач через контакти ключа SA6на випадок відкриття однієї з дверей високовольтних камер.

Сигналізація положення вимикача виконана з допомогою блокконтактів вимикача Q і лампи HL1, HL2 з резисторами R9, R10, знижуючими напругу до 24 В.

При вмиканні вимикача засвічується червона сигнальна лампа HL2, при відключенні – зелена HL1. Звукова сигналізація відключення вимикача від захистів здійснюється сиреною HA.

При аварійному вимиканні вимикача проходить неспівпадання між положенням ключа SA6 і положенням вимикача, коло сирени HA виходить замкнутим.

Кола керування блоком гасіння поля Q2 (рис. 2.7) живляться від акумуляторної батареї 110 В.

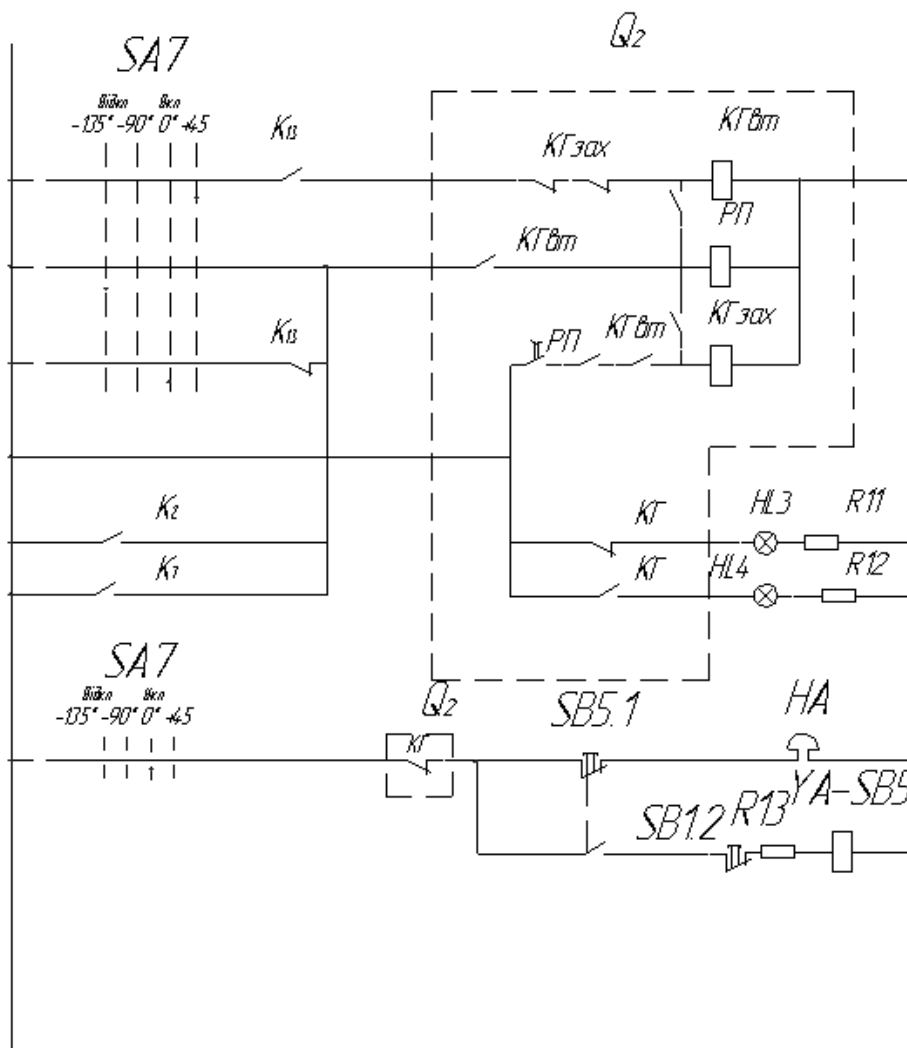


Рисунок 2.7 – Кола керування масляним вимикачем

Вмикання автомата гасіння поля здійснюється з допомогою перемикача SA7, замикаючого кола живлення вмикає його контактора КГвт. При цьому проходить перемикання контактів КГвт і КГзах, готуючи коло відключення. Контактор КГвт утримується в відкритому стані якорем задвижки. Замикаючий контакт реле К13 в колі вмикання забороняє вмикання Q2 при відкритих дверях високовольтних камер.

Через проміжні реле К2, К7, К13 створюється коло відключення Q2 при спрацюванні захисту генератора і захисту дизеля.

При аварійному відключенні Q2 створюється неспівпадання між положеннями ключа SA7, і положенням Q2, замикається коло сирени НА.

При вмиканні Q2 засвічується червона сигнальна лампа HL3, при відключенні – зелена HL4. Резистори R11 і R12 в колі ламп понижають напругу до 24В.

## **2.6 Модернізація кіл керування дизелем**

Схема керування дизелем містить в собі кола пуску і зупинки дизеля, коло реле мінімальних обертів, коло вентиля механізму відключення ряду паливних насосів, коло датчика моточасів і кола регулювання частоти обертання дизеля (рис. 2.8).

Пускові кола складаються з електромагніта головного пускового клапана дизеля YA1, контакта бокування валоповоротного пристрою SQ, забороняючого пуск дизеля при ввімкненому валоповоротному пристрої, контакта проміжного реле К4, дозволяючого запуск дизеля після здійснення маслопрокачки, і кнопки SB2 дистанційного пуску дизеля з панелі керування.

Зупинка дизеля може здійснюватися з допомогою пристрою YA2 дистанційною кнопкою SB3 або при дії захистів через контакти проміжного реле К7.

Реле К7 забезпечує автоматичну зупинку дизеля при тискові газів в картері двигуна вище 60 мм. вод. ст., і при падінні тиску масла на вході в лоток нижче 49 кПа.

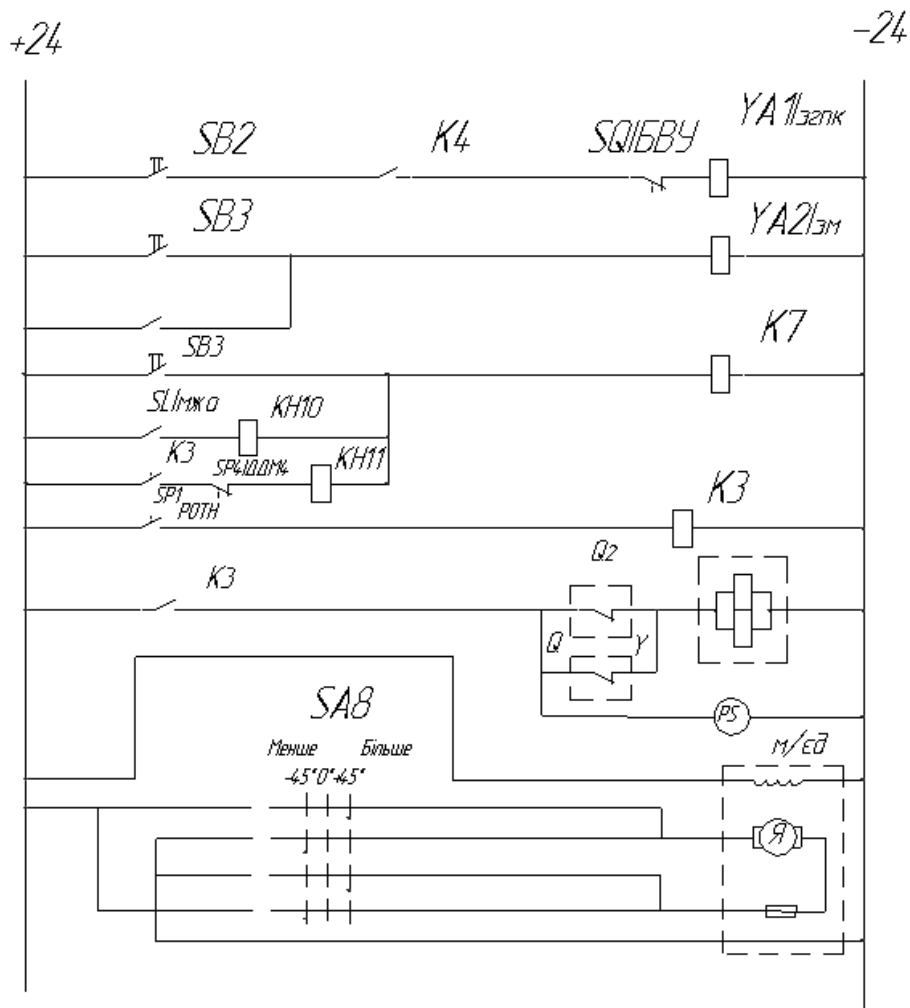


Рисунок 2.8 – Модернізована схема керування дизелем

Для керування механізмом відключення ряду паливних насосів на дизель-генераторі встановлено вентиль YA3, коло якого складається з замикаючого контакту реле мінімальних обертів K3 і розмикаючих контактів високовольтного вимикача і автомата гасіння поля Q2.

Реле мінімальних обертів K3 вмикається при замиканні контактів реле тиску води SP1. На непрацюючому дизелі тиску води немає, вимкнені реле SP1, а також K3.

При виході дизеля на мінімальну частоту обертання холостого ходу при певному тиску води вмикається реле SP1, котре замикає коло котушки K3. Реле мінімальних оборотів включає вентиль YA3 і половина паливних насосів відключається.

При відключенні навантаження контакти вимикача і контактора АГП вимикають вентиль УАЗ, і в роботу знову вступають всі паливні насоси.

Частота обертання дизеля регулюється перемикачем SA8, керуючим електродвигуном регулятора дизеля.

Обмотка якоря електродвигуна отримує живлення тільки в момент вмикання перемикача забезпечуючи тим самим збільшення або зменшення частоти обертання дизеля.

## **2.7 Модернізація кіл захисту та блокування пуску дизеля**

Для запобігання пошкодженню обладнання дизеля при ненормальних режимах передбачаються наступні види захисту:

- 1) від зниження тиску палива;
- 2) від перегріву води і масла;
- 3) від зниження тиску до 0,25 мПа;
- 4) від зниження тиску масла до 49 кПа;
- 5) від збільшення тиску газів в картері;

Захисти по пунктам 1,2 і 3 виконані з дією на зняття навантаження і на сигнал, захисти по пунктам 4,5 діють на зняття навантаження, зупинку дизеля і сигнал.

Оперативні кола захистів дизеля отримують живлення від акумуляторної батареї 24 В.

Захист від зниження тиску палива.

Захист виконаний по принципу тиску палива перед дизелем з допомогою реле тиску SP5/РДТ, встановленого в паливній системі дизеля (рис. 2.9).

При падінні тиску палива до 70 кПа реле SP5/РДТ замикає кола живлення проміжного реле К6 через реле К3 і вказівне реле КН9. Реле К6 спрацьовує і замикає кола відключення масляного вимикача (зняття навантаження) і вмикає звуковий сигнал НА.

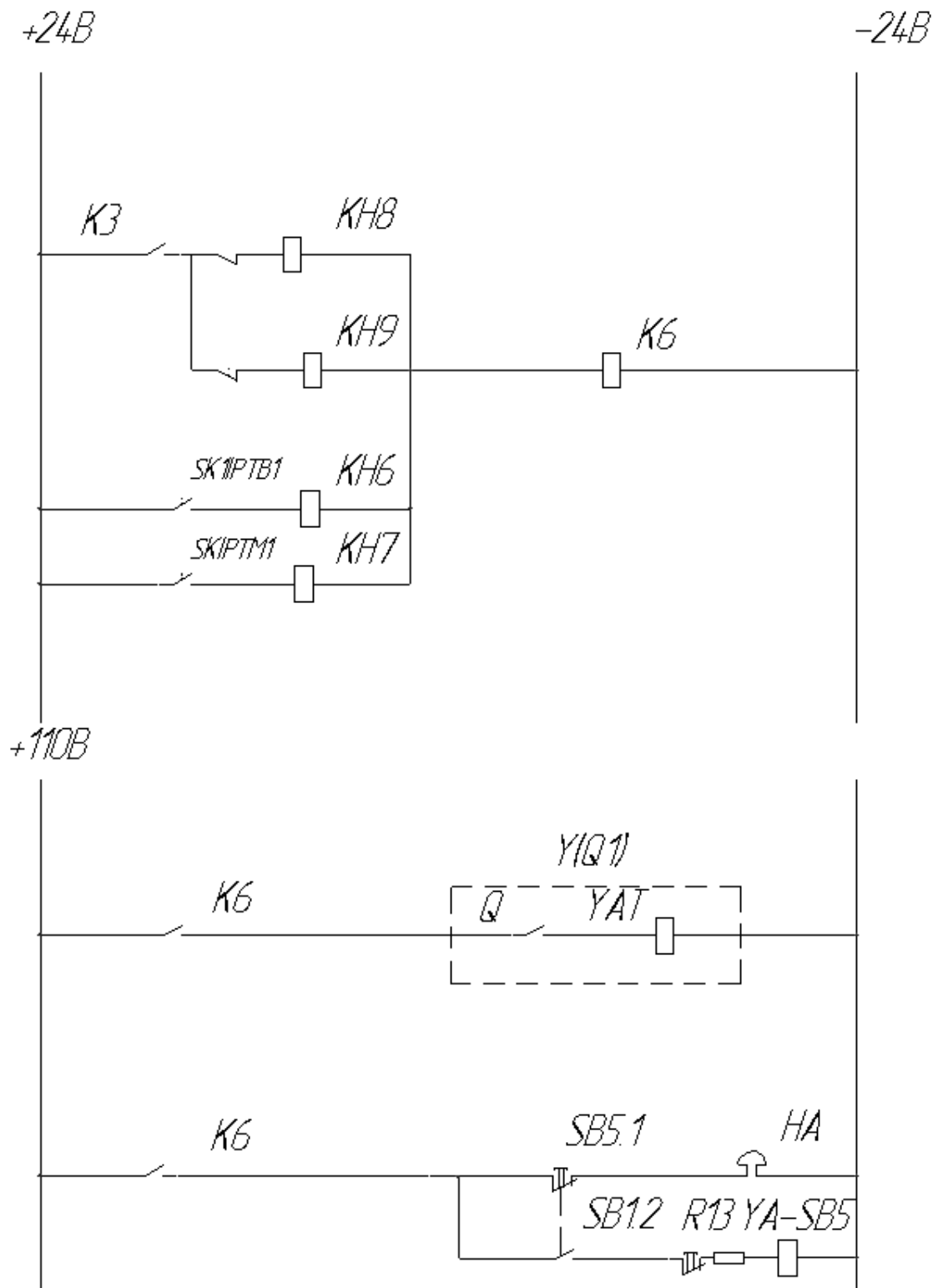


Рисунок 2.9 – Модернізована схема захисту дизеля від зниження тиску палива, від перегріву води і мастила

На час пуску дизеля, коли тиск палива в системі низький, коло спрацювання реле K6 блокується замикаючим контактом K3, котрий спрацьовує після виходу дизеля на мінімально-стійку частоту обертання.

Захист від перегріву води і масла.

Захист виконано за допомогою температурних реле SK1/PTB1 і SK2/PTM1 (рис. 2.9), встановлених на трубопроводах води і масла дизеля.

При зростанні температури води до 368 К або масла до 360 К відповідне реле замикає своїми контактами через сигнальне реле КН6 і КН7 кола живлення проміжного реле К6, котре, спрацьовуючи, дає імпульс на відключення масляного вимикача і замикає коло звукового сигналу НА.

Захист від зниження тиску масла.

Захист виконаний за допомогою двох датчиків в масляній системі дизеля SP2/ДДМ2 на вході в дизель і SP4/ДДМ4 на вході в лоток (рис. 2.10).

В нормальному режимі роботи датчик SP2/ДДМ2 замикає коло котушки проміжного реле К5, котре розмикаючи ми контактами через реле К6 розриває коло відключення масляного вимикача і коло сигналізації, а датчик SP4/ДДМ4 розмикає кола котушки реле К7, відповідно, кола відключення масляного вимикача, сигналізації, гасіння поля і зупин-пристрою дизеля розімкнуті.

При зниженні тиску масла на вході в дизель до 0,25 МПа датчик SP2/ДДМ2 розмикає коло реле К5, котре розмикаючими контактами проводить через реле К6 відключення масляного вимикача і подає звуковий сигнал.

При падінні тиску масла на вході в лоток до 49 кПа датчик SP4/ДДМ4 замикає коло котушки К7, котре вмикає електромагніт зупинки дизеля YA2/ЄМ1, вмикає автомат гасіння поля, і через реле К6 проводить скидання навантаження і вмикає звуковий сигнал.

На час пуску дизеля, коли тиск в масляній системі низький, кола аварійного відключення масляного вимикача і зупинки дизеля, а також кола сигналізації розмикаються контактами реле мінімальних обертів КЗ.

Захист від збільшення тиску газів в картері.

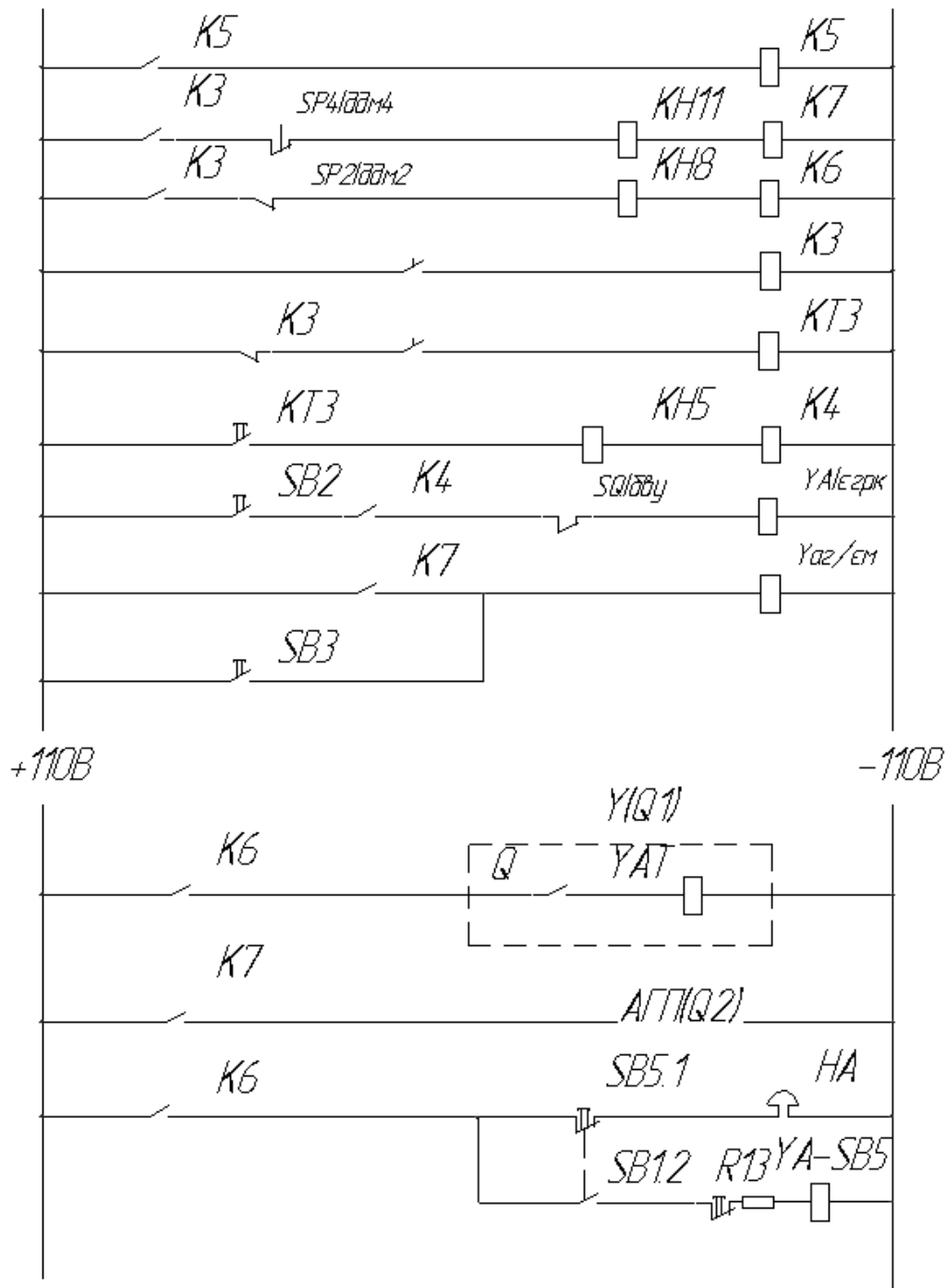


Рисунок 2.10 – Модернізована схема кіл захисту дизеля від зниження тиску масла і блокування пуску

Захист спрацьовує при тиску в картері дизеля вище 60 мм. Вод. Ст. і виконаний за допомогою рідинного манометра SL (рис. 2.11).

При появі тиску вище допустимого контакт рідинного манометра замикає через вказівне реле KH10 коло живлення котушки реле K7, котре дає

імпульс на зупинку дизеля і зняття збудження, через реле Кбна відключення масляного вимикача і вмикання звукового сигналу НА.

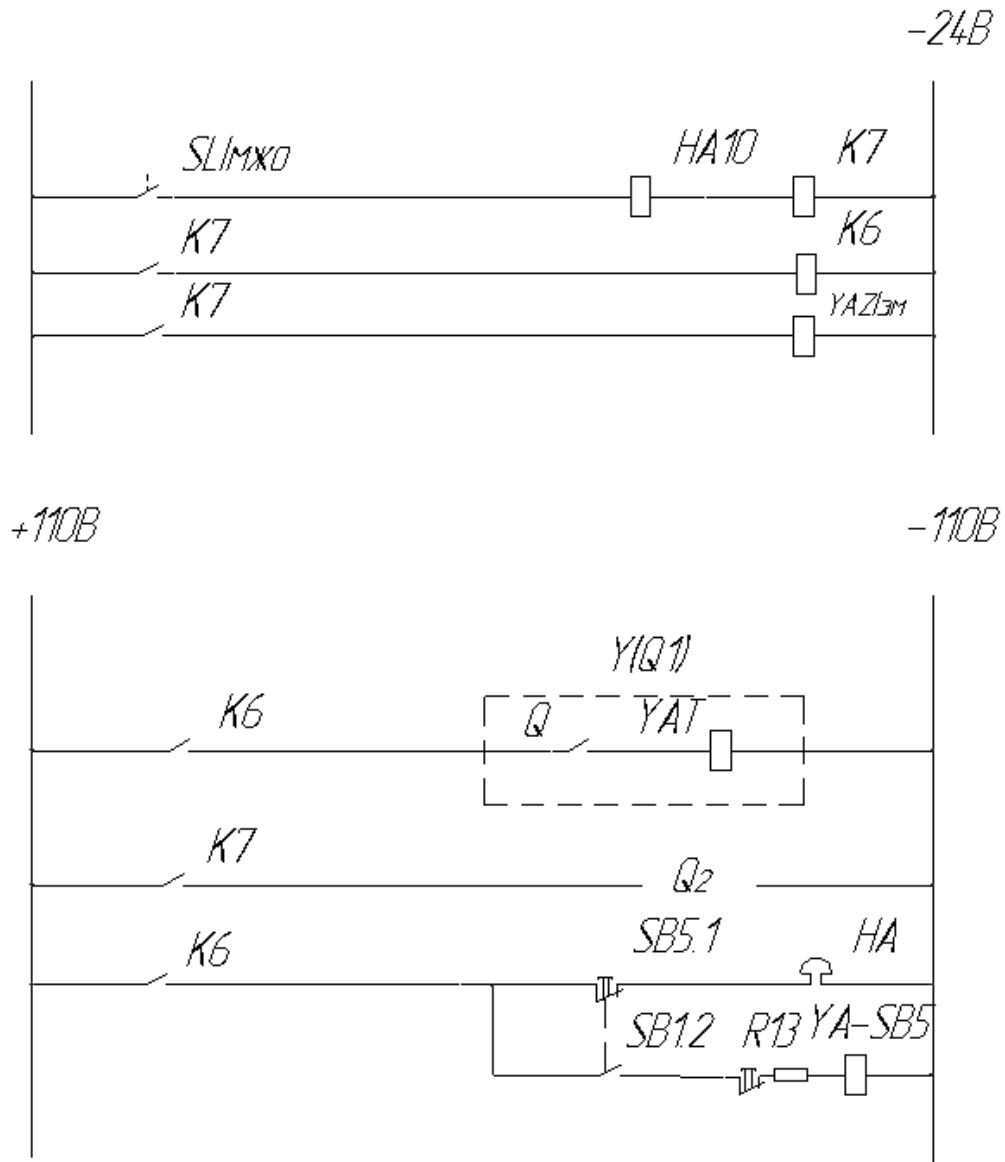


Рисунок 2.11 – Модернізована схема кіл захисту дизеля від збільшення тиску газів в картері

Блокування пуску дизеля див. на рис. 2.10.

На дизелі передбачені прилади, забезпечуючи блокування пуску;

- 1) При ввімкненому валоповоротному пристрої пуск забороняється з допомогою контактів кінцевого вимикача SQ в колі пускового клапана YA1.
- 2) Пуск може бути виконаний тільки після передпускової прокачки дизеля маслом на протязі 90 секунд (забезпечується реле КТЗ) після

збільшення тиску масла в системі до 19.6 кПа (0,2 кгс/см) (датчик SP3).  
Блокування здійснюється проміжним реле К4 в колі пускового клапана YA1.

## 2.8 Удосконалення системи вимірювання параметрів робочих середовищ

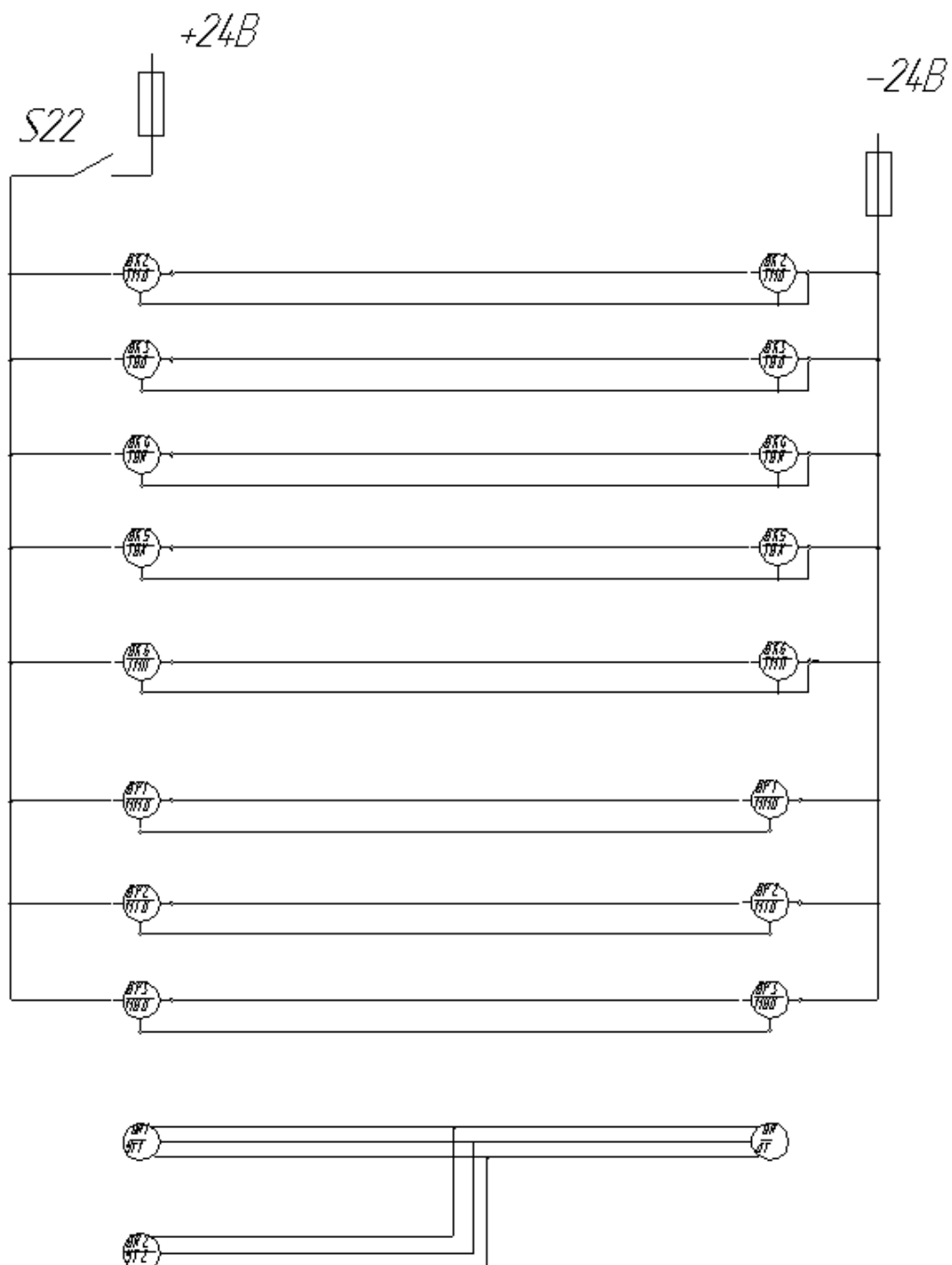


Рисунок 2.12 – Удосконалення системи контрольно-вимірювальних приладів

Дистанційний контроль параметрів робочих середовищ здійснюється електроманометрами масла дизеля ВР1/ММД, палива ВР2/МТД, повітря автоматики ВР3/МВА, електроманометрами масла ВК2/ТМД, води дизеля ВК3/ТВД, масла підшипника генератора ВК6/ТМП, води холодильної камери ВК5/ТВХ, води котла-підігрівача ВК/ТВК (рис.2.12).

Кола приладів захищаються запобіжниками FU38, FU39 і вмикаються тумблером S22.

Кола вимірювання частоти обертання колінчатого валу дизеля.

Для вимірювання частоти обертання колінчатого валу на станції встановлено дистанційний електротехнічний тахометр, що складається з датчика ВР/ДТ і показника ВР/УТ.

Датчик тахометра являє собою генератор з постійним магнітом, приводи мий в рух валом дизеля.

Показник – магнітоелектричний пристрій з вмонтованим в нього трансформатором і напівпровідниковим випрямлячем, шкала якого проградуєвана в обертах за хвилину.

Кола котушки магнітного пускача КМ3 маслопрокачуючого насосу живляться від мережі змінного струму 220 В, в колі керування – від мережі постійного струму 24 В. (рис. 2.13).

Для здійснення прокачки дизеля маслом перед його перед його пуском перемикач SA9 (маслопрокачуючий насос) поставити в положення ввімкнено, при цьому отримує живлення котушка проміжного реле К8, замикаючого коло пускача КМ3, вмикаючого електродвигун насосу.

При тиску масла в системі дизеля 19.6 кПа замикається контакт реле тиску SP3 і через розмикаючий контакт К3 здійснюється живлення котушки реле часу КТ3. Через 90 с. Реле КТ3 замикає свій контакт в колі котушки реле К4 через вказівне реле КН5. Реле К4 готує коло електромагніта головного пускового клапана YA1 для пуску дизеля. При виході на максимальну частоту обертання реле К3 вмикає маслопрокачку.

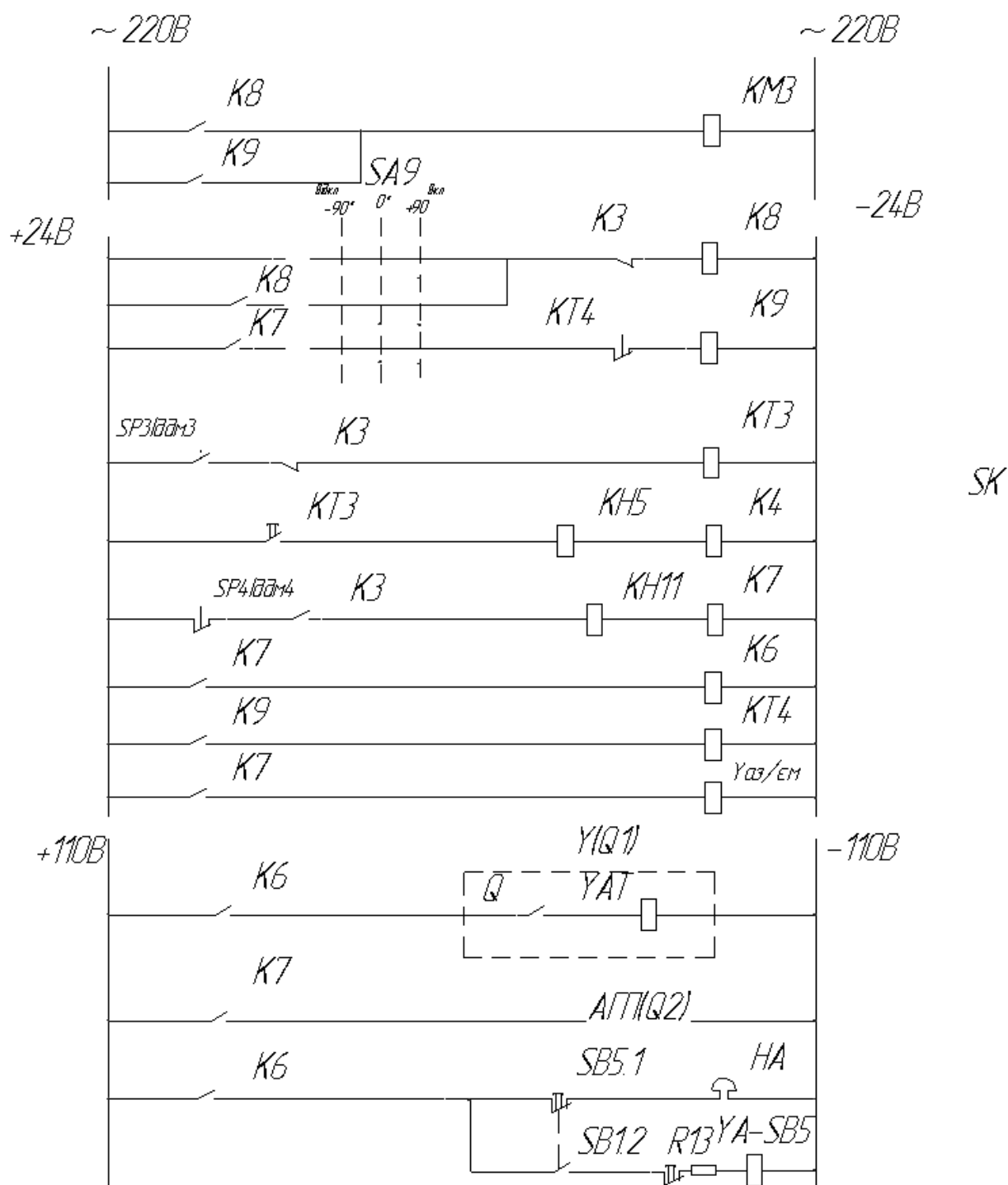


Рисунок 2.13 – Удосконалена схема кіл керування маслопрокачкою дизеля

При падінні тиску масла в системі нижче 49 кПа замикається контакт реле SP4/ ДДМ4 і через сигнальне реле КН11, вмикає реле К7. Контакт К7 вмикає реле К6, в результаті проходить: збійнавантаження і зняття збудження з генератора, зупинка дизеля, вмикання сигнала і через реле К9 вмикання маслопрокачуючого насоса, проходить прокачка дизеля маслом.

Через 60 с реле КТ4 розмикає контакт в колі котушки К9, в результаті завершується робота маслопрокачуючого насоса, тиск в системі знижується і реле SP3 розмикає свій контакт, схема розбирається.

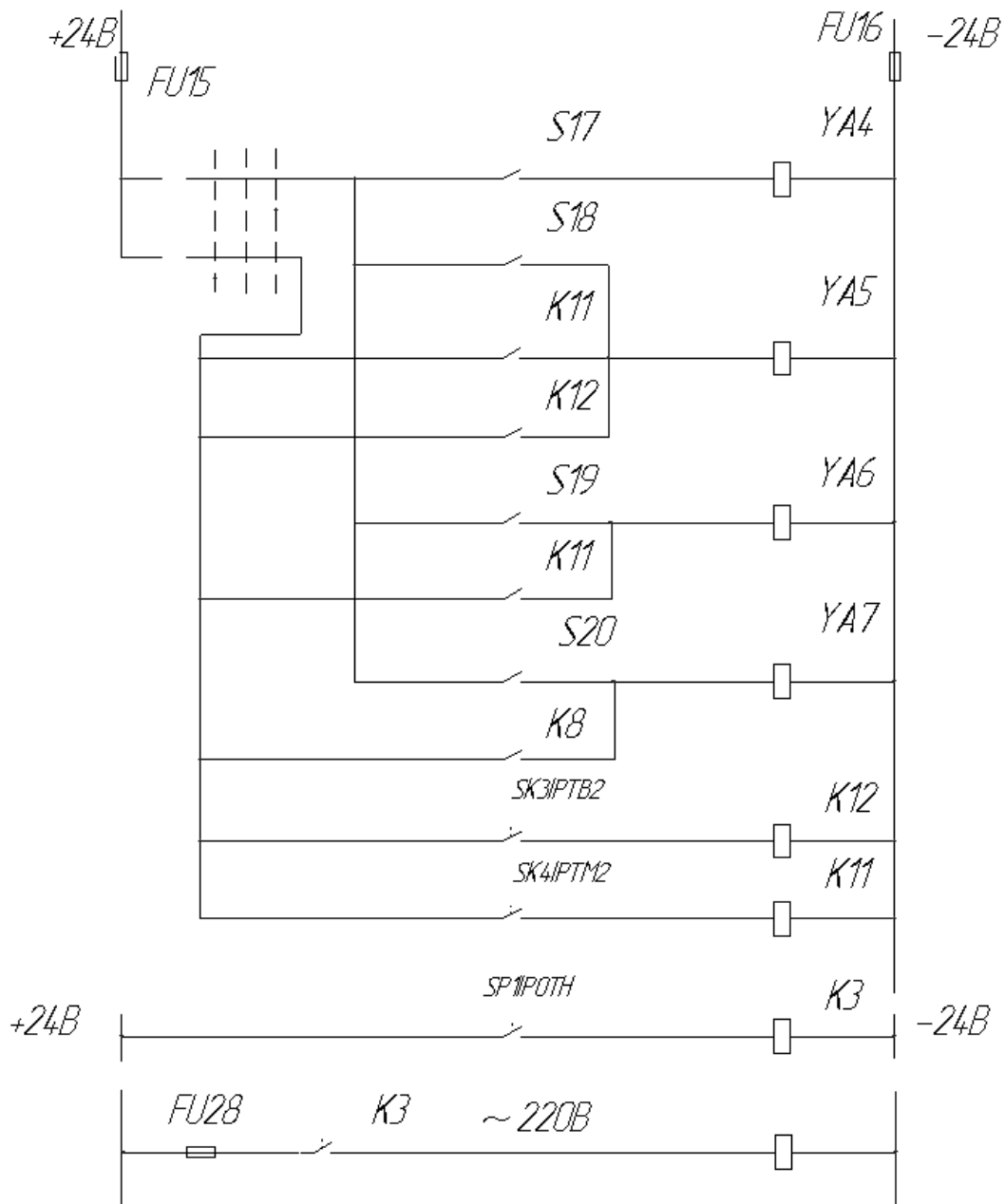


Рисунок 2.14 – Схема кіл керування холодною камерою і подачою масла в гідромурфту

Схема керування повітроочишувачами виконана на напрузі 24В. Приводи повітроочишувачів керуються електропневматичним вентилем YA8, котрий отримує живлення через контакт реле K10. Проміжне реле

керується К10 керується пульс-парою, складаючоюся з двох реле часу КТ5 і КТ6, періодично подаючих сигнали на вмикання вентиля УА8.

Частота повороту колеса кожного повітроочищувача визначається положенням регуляторів реле часу КТ5 і КТ6. Регулятори мусять бути встановлені на відмітку ІООС, що забезпечує 200 секундний період між поворотами коліс повітроочищувачів.

Від батареї 24 В (рис. 2.14) отримує живлення схема регулювання температур холодильника, виконана з допомогою електропневматичних вентилів УА5 (жалюзі верхні), УА6 (жалюзі праві), УА7 (жалюзі праві), кола керування вентилятором холодильника, виконана з допомогою електропневматичного вентиля УА6.

Жалюзі мають керування: ручне з допомогою рукояток, дистанційне з допомогою тумблерів S17...S20 і автоматичне з використанням датчиків температури води SK3/PTB2 і масла SK4/PTB4 дизеля.

Перемикання з дистанційного керування на автоматичне здійснюється перемикачем SA10.

При досягненні температурой води дизеля встановленої величини реле SK3/PTB2 через проміжне реле К12 вмикає вентиля УА5, УА7, котрі відкривають верхні і бокові ліві жалюзі.

При певній температурі масла дизеля реле SK4/PTM2 замикає коло проміжного реле К11, котре вмикає вентиля УА5, УА6, керуючі верхніми і боковими правими жалюзі. Жалюзі відкриваються.

При зниженні температури води або масла контакти SK3/PTB2 і SK4/PTB4 розмиаються, електропневматичні вентиля обезструмлюються, жалюзі закриваються.

Вентиль керування вентилятором холодильної камери УА4 вмикається тумблером S17.

На трубопроводі масляної системи встановлений електромагнітний вентиль УА10, виключаючий переповнення гідромурфи маслом при роботі маслопрокачуючого насоса (рис. 2.14).

На непрацюючому дизелі тиску води немає, контакт реле SP/POTH розімкнутий, реле КЗ обезструмлено. При виході дизеля на мінімально стійку частоту обертання (після передпускової прокачки масла) тиск води в системі охолодження збільшується. Спрацьовує реле тиску води SP1/POTH, вмикаючи реле мінімальних обертів КЗ. Замикаючий контакт КЗ збирає коло живлення електропневматичного вентиля YA10. Вентиль відкривається, масло починає поступати в гідромфту привода вентилятора холодильної камери.

## 2.9 Модернізація системи сигналізації

На станції передбачені наступні види сигналізації: сигналізація положення основних апаратів, попереджуюча і аварійна сигналізація.

Сигналізація положення електроапаратів виконана лампами зеленого і червоного кольору. Для зниження напруги акумуляторів до робочої напруги ламп використовуються баластні резистори R9...R12. При вмиканні масляного вимикача і автомата гасіння поля загоряються червоні лампи HL2, HL3, при відключенні – зелені HL1. Лампа HL5 призначена для контролю несправностей запобіжників кіл захисту дизеля 24В.

Схема попереджуючої і аварійної сигналізації виконана з допомогою електричної сирени НА, котра вмикається контактами котра вмиається проміжними реле захистів генератора і дизеля.

Вимикається сирена електромагнітною кнопкою SB5. Для опробування і розблокування сигналу сугує кнопка SB1.

Розшифровка пошкоджень проводиться відповідними сигнальними реле:

КН1- опору ізоляції 6 кВ;

КН2 – перенавантаження;

КН3 – диференційний захист генератора;

КН4 – максимальний захист генератора;

КН6 – температура води;

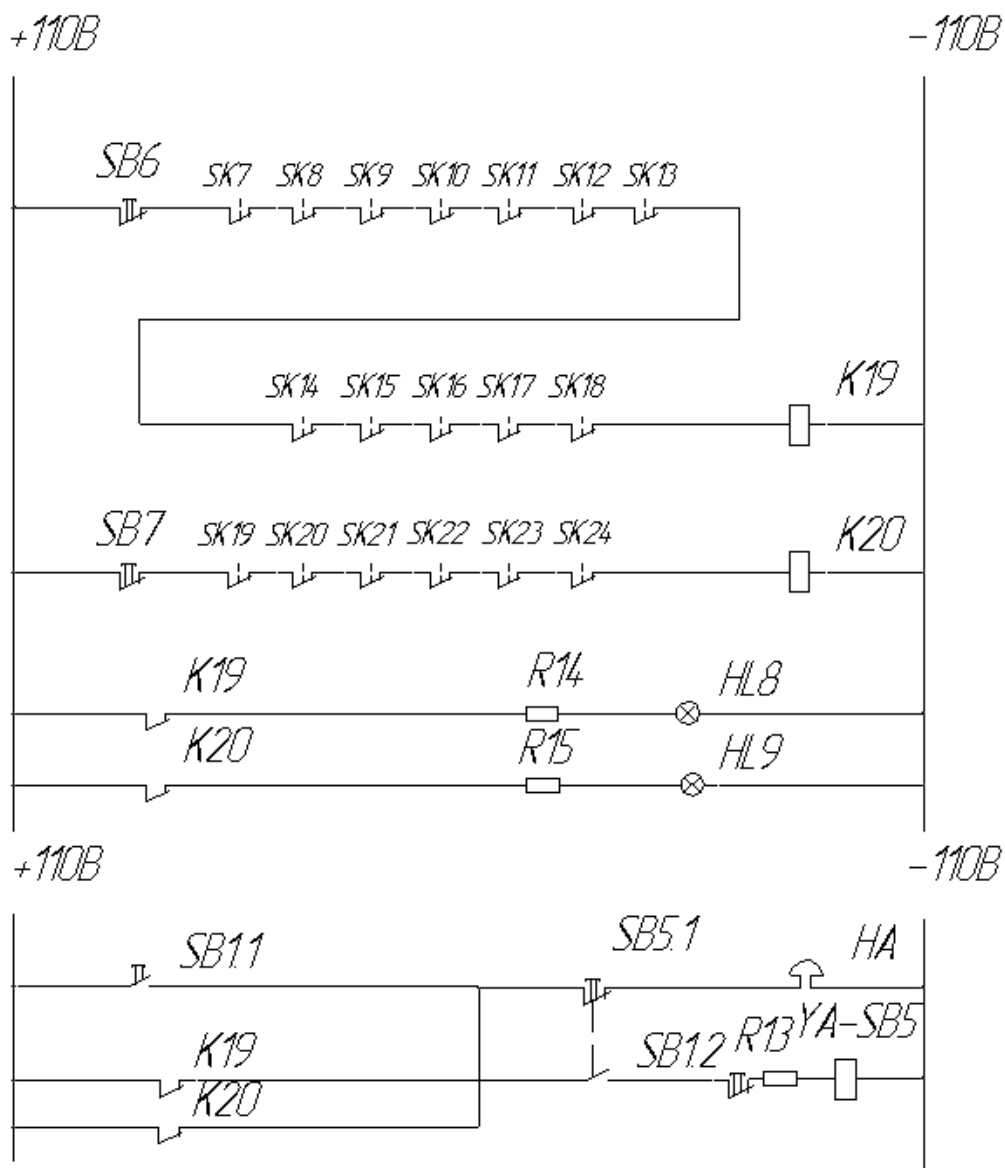


Рисунок 2.15 – Схема кіл сигналізації

КН7 – температура масла;

КН8 – тиск масла 0,25 МПа;

КН9 – тиск пального;

КН10 – тиск газів;

КН11 – тиск масла 49 кПа;

Сигнальне реле КН5 (масло прокачано) вказує на завершення 90-секундної передпускової прокачки масла і готовність дизеля до запуску.

## 2.10 Розроблення системи живлення власних потреб змінного струму

Кола власних потреб отримують живлення від одного з трьох джерел: силового трансформатора Т1, допоміжного дизель-генератора GA2 або зовнішньої мережі 380/220В Через штепсельне розгалуження X2.

Джерела перемикаються пакетним перемикачем SA12 (рис. 2.16).

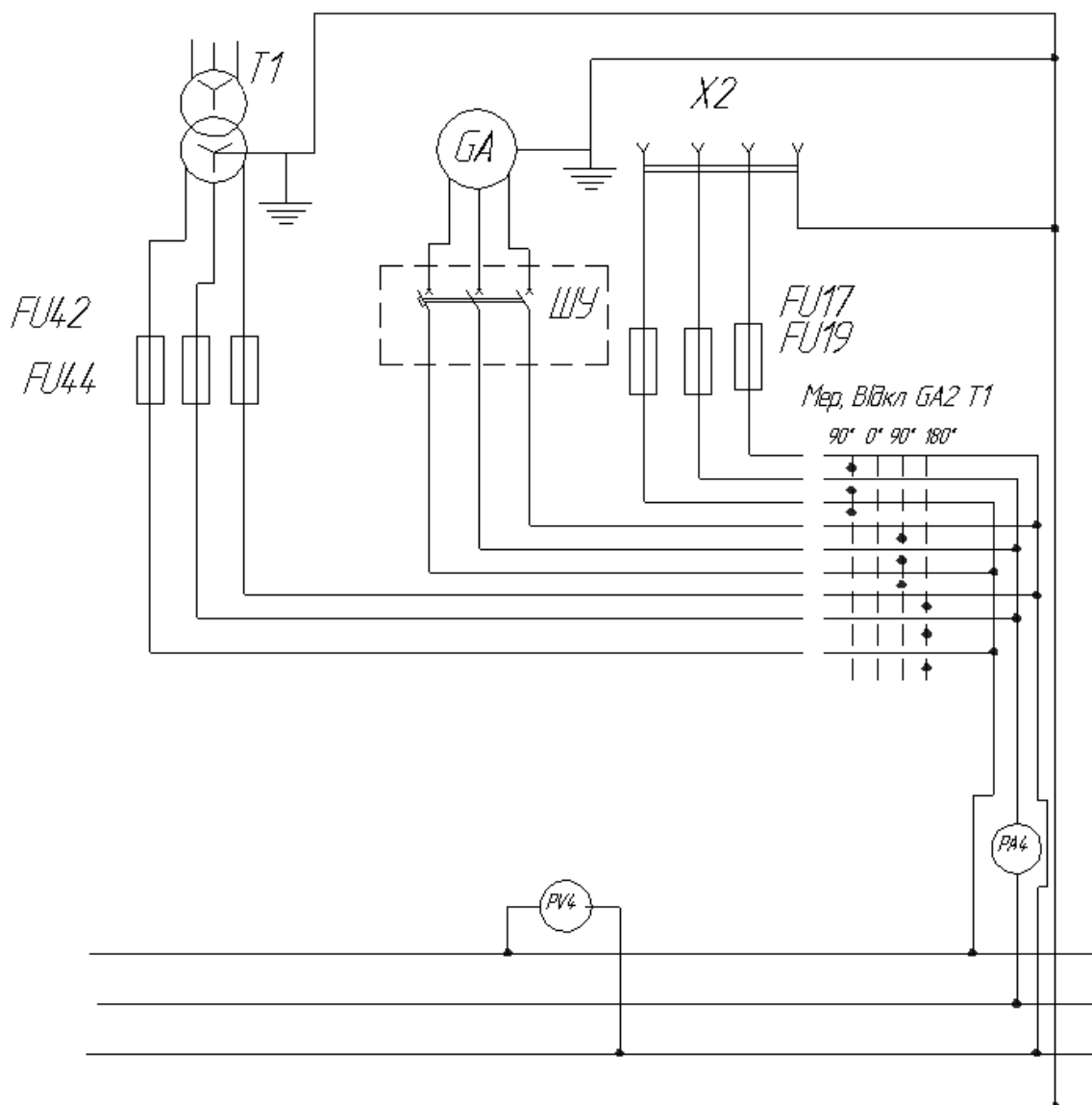


Рисунок 2.16 – Розроблена мережа живлення кіл власних потреб змінного струму

Забороняється перемикати живлення при ввімкненому компресорі або маслопрокачуючому насосі, так як апарат не має дугогасних пристроїв.

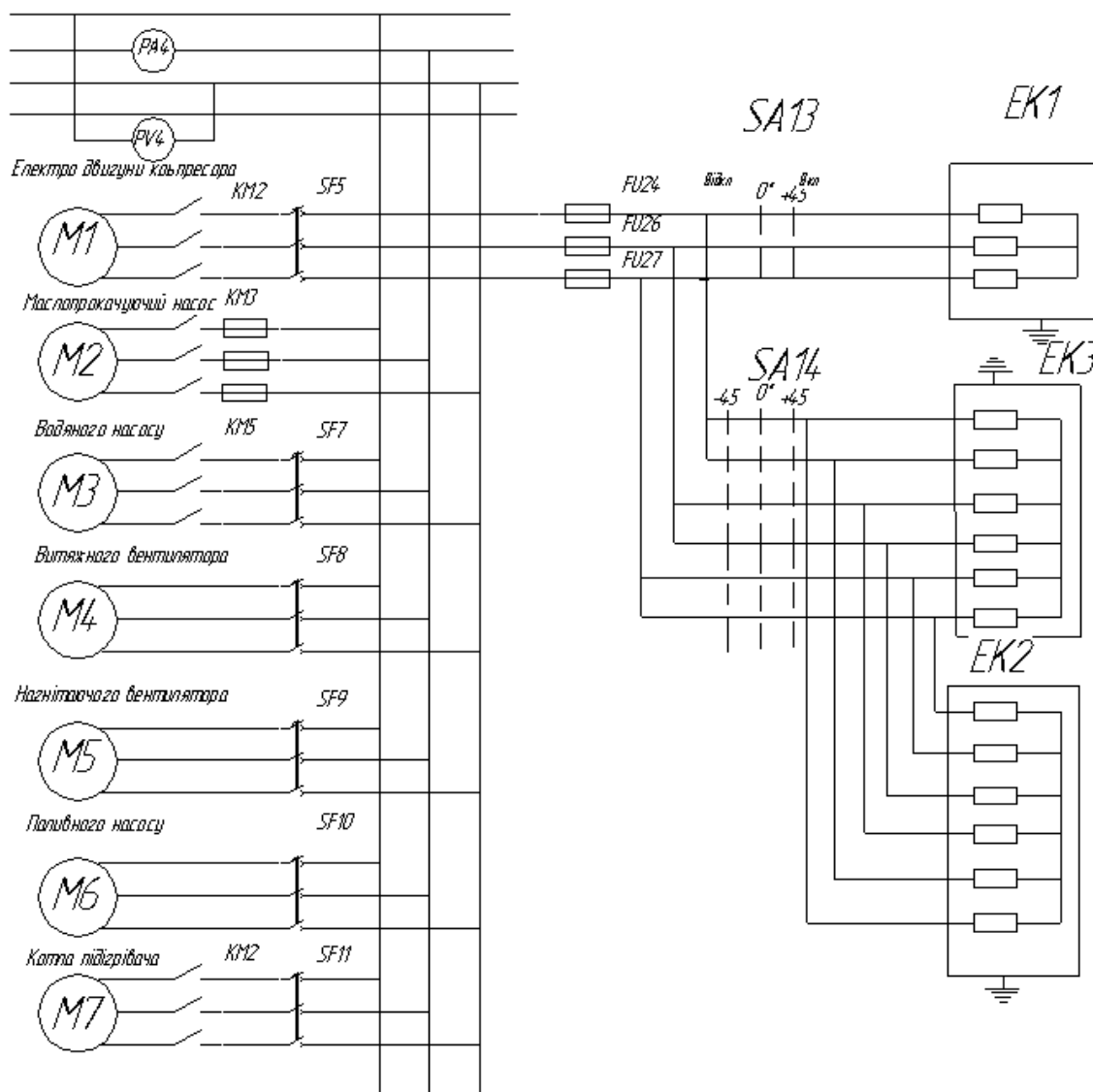


Рисунок 2.17 – Розроблена схема власних потреб 380В

З'єднання вторинної обмотки трансформатора Т1 і обмотки статора допоміжного генератора GA- зірка з виведеною нульовою точкою, що забезпечує живлення споживачів на напругу 380/220В.

Захист трансформатора Т1 зі сторони 380/220В здійснюється запобіжниками FU42...FU44, захист кола при живленні від розетки X2 – запобіжниками FU17...FU19.

Для вимірювання струму і напруги в колах власних потреб 380/220В встановлено амперметр PA4 і вольтметр PV4 (рис.2.16).

На змінному струмі 380В працюють трифазні асинхронні коротко замкнуті електродвигуни М1...М7 і опалення станції (рис.2.17).

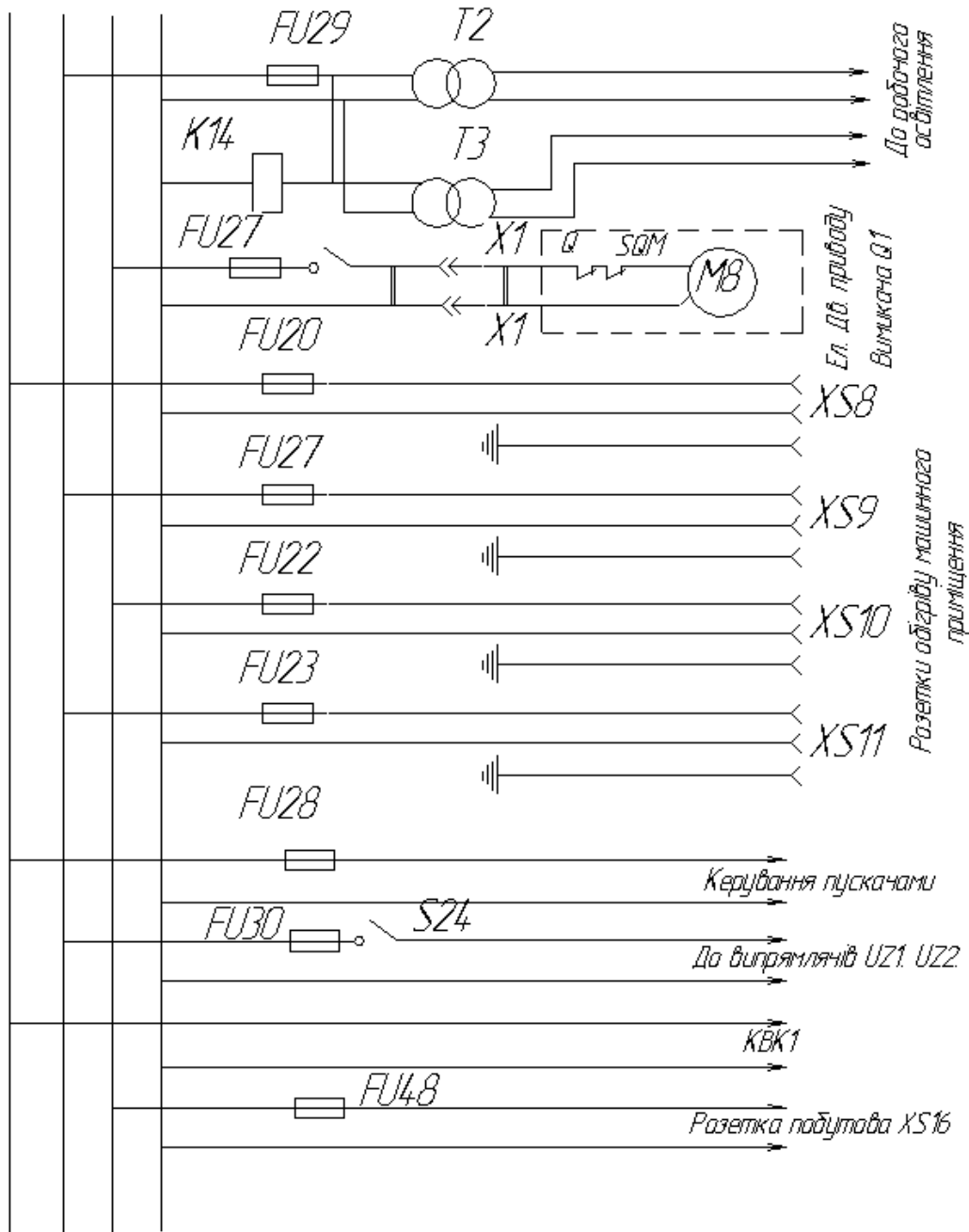


Рисунок 2.18 – Розроблена схема кіл власних потреб 220В

Електродвигуни М4...М6 захищаються і керуються автоматичними вимикачами SF8...SF10. Електродвигуни М1, М3, М7 захищаються автоматичними вимикачами SF5, SF7, SF11 і запобіжниками FU45...FU47, а керуються магнітними пускачами КМ2...КМ5.

Опалення станції здійснюється електронагрівачами ЕК1 в камері масляного вимикача і ЕК2, ЕК3 – в службовому приміщенні.

Режим роботи нагрівачів службового приміщення встановлюється перемикачем SA14, електронагрівач камери вмикається вимикачем SA13. Захищаються електронагрівачі запобіжникамиFU24...FU26.

Через запобіжники FU20...FU23 живляться теплоелектровентилятори зі штепсельним розгалуженням XS8...XS11. Тепло вентилятори призначені для обігріву дизельного приміщення.

Через запобіжник FU29 живляться освітлювальні трансформатори Т2, Т3 і котушка реле К14, перемикаючого живлення кіл освітлення з змінного струму на постійний (рис.2.18).

Через запобіжник FU30 і тумблер S24 підключаються розрядні пристрої UZ1,UZ2.

Через запобіжник FY28 живляться кола керування пускачами КМ2...КМ5 і клапан керування подачою масла в гідромуфту YA10.

Через запобіжник FU27 і тумблер S23 вмикається електродвигун М8 заводки пружин привода масляного вимикача.

Електрична схема керування компресором передбачає автоматичний і ручний режим роботи, котрі встановлюються перемикачами SA15 (компресор) і SA20 (водяний насос) на панелі керування (рис.2.19).

Кола керування компресором виконані на напрузі 24В і захищені запобіжниками FU13,FU14. Кола керування магнітними пускачами КМ2, КМ5 і продувочним вентиляем виконані на напрузі 220В і захищені запобіжником FU28.

Автоматичний режим забезпечує автоматичне вимкнення компресора при зниженні тиску повітря в пусковій магістралі нижче 2 МПа і відключення компресора при збільшенні тиску до 3 МПа. Величина тиску вмикання і вимикання компресора встановлюється відповідним на лаштуванням реле-тиску SP7/РДВ.

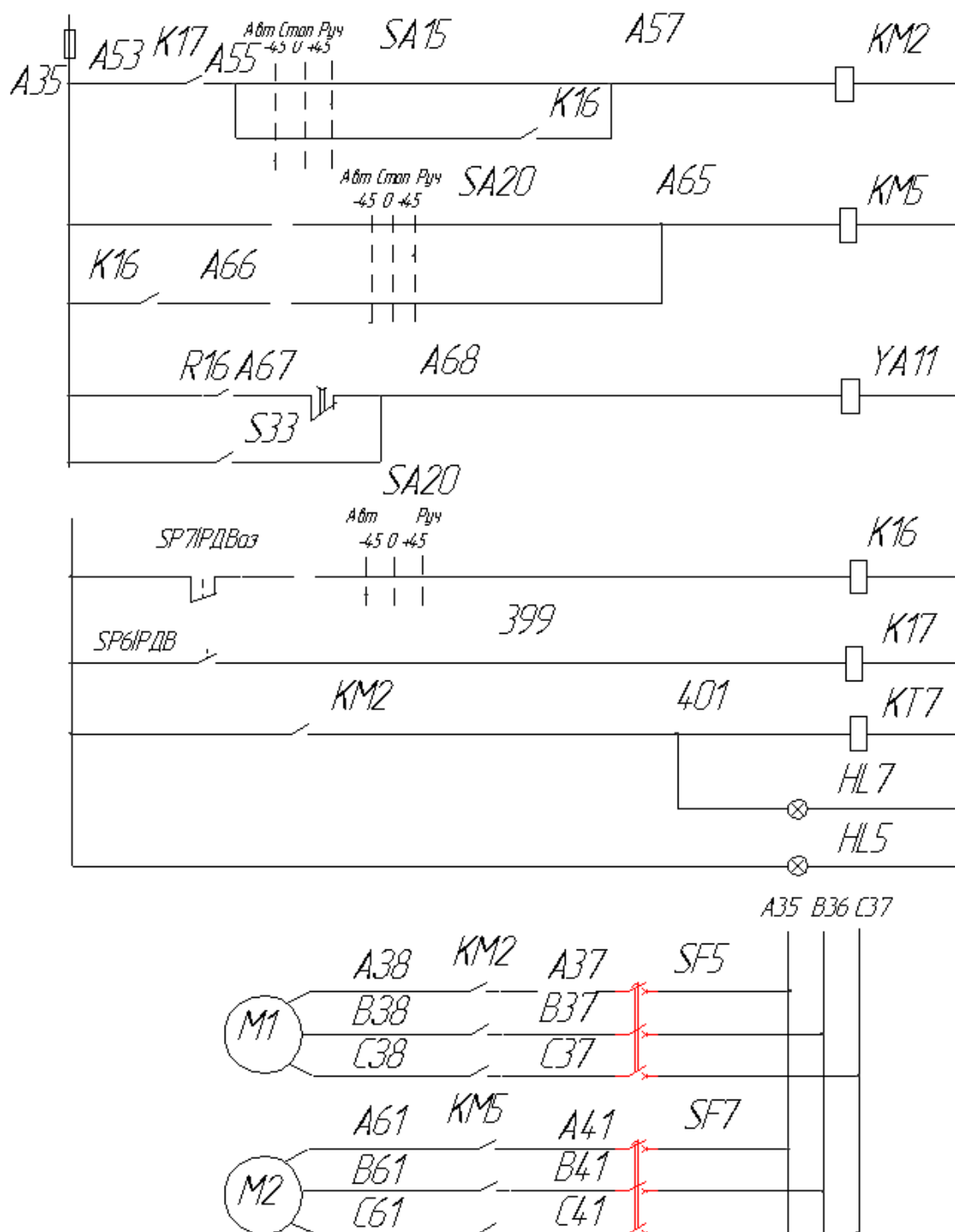


Рисунок 2.19 – Розроблена схема кіл автоматичного керування компресором

При автоматичному режимі роботи виконується автоматичне вмикання продув очного електромагнітного вентиля, котрий вступає в роботу до вмикання електродвигуна компресора і вимикається через 60 с. після вмикання. Крім того, при автоматичному режимі при вмиканні компресора

проходить попереднє автоматичне вмикання водяного циркуляційного насосу МЗ, охолоджуючого компресор.

В ручному режимі роботи компресора вмикання водяного насосу проводиться перемикачем SA20.

При встановленні перемикачів в положення SA15 і SA20 дв положення (автомат) і зриву тиску повітря в пусковій магістралі нижче встановленої межі, проходить спрацювання реле тиску повітря SP7/РДВоз, котре вмикає проміжне реле К16. Реле К16 своїми первими Н.О. контактами вмикає пускач КМ5 водяного насосу МЗ, контактами – клапан продувки компресору YA11, третіми Н.О. контактами – готує коло вмикання пускача КМ2 компресора.

Водяний насос вступає в роботу. Контроль за тиском води в системі охолодження компресора здійснює реле тиску SP6/РДВ. При створенні необхідного тиску води, реле SP6/РДВ вмикає проміжне реле (реле повторювач) К17. Реле К17 Н.О. контактами вмикає магнітний пускач КМ2 електродвигуна компресора, котрий вступає в роботу. При цьому Н.О. блоку контактами КМ2 вмикається сигнальна лампа HL7 (робота компресора) і реле часу КТ7. Починається продувка компресора при його роботі і відлік часу подувки.

Через 60 с. Н.З. контакти реле часу КТ7 розмикаються і продув очний вентиль YA11 вимикається. Продувка зупиняється.

При створенні компресором тиску 3МПа реле тиску SP7/РДВозпослідовно вмикає реле керування К16, КМ5, К17, КМ2, котрі вмикають водяний насос, компресор і приводять схему керування в початкове положення.

При встановленні перемикачів SA20, SA15 в положення (ручне) проходить вмикання компресора незалежно від тиску повітря в пусковій магістралі. В іншому робота схеми проходить аналогічно, як і в автоматичному режимі.



В якості апаратного захисту розроблена схема максимально струмового захисту з пуском мінімальної напруги (рис.2.20).

### **2.11 Висновки за розділом**

В ході виконання другого розділу магістерської кваліфікої роботи отримані такі результати:

Проведена модернізація диференціально-повздовжнього струмового захисту генератора.

Удосконалений максимально струмовий захист та захист від перевантаження пересувного дизель-генератора.

Розроблена система контролю ізоляції кіл збудження генератора, з контролем ізоляції кіл 6 кВ.

Встановлено контрольно-вимірювальні прилади для кіл 6 кВ.

Розроблена схема кіл синхронізації для паралельної роботи пересувного генератора.

Проведена комплексна модернізація кіл керування дизелем.

Удосконалена система вимірювання робочих параметрів.

Усучаснена система сигналізації робочих параметрів пересувної електростанції.

Розроблені системи живлення власних портреб.

### 3. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

У процесі розроблення системи автоматичного керування швидкістю обертання паливного насосу необхідно виконати:

- вибір основного обладнання, до складу якого входить: двигун постійного струму, тиристорний перетворювач, силовий узгоджуючий трансформатор, згладжуючий дросель, шунт та задатчик швидкості;
- опис принципу роботи основних вузлів СКЕП;
- розрахунок параметрів силового ланцюга електропривода;
- розрахунок запасу за напругою тиристорного перетворювача;
- розрахунок параметрів регулятора ЕРС із застосуванням датчика напруги;
- розрахунок параметрів регулятора струму збудження;
- розрахунок механічних (швидкісних) характеристик і їх статизму у замкненій та розімкненій системах електропривода;
- розрахунок величини динамічного падіння швидкості двигуна при набросі моменту навантаження;
- оцінка впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС на процеси, що проходять у контурі струму;
- розрахунок і побудову динамічних характеристик електропривода;
- дослідження динамічних процесів у контурі струму якоря та ЕРС на цифровій моделі;
- складання принципової електричної схеми електропривода і схеми зовнішніх з'єднань.

#### 3.1. Вибір основного електрообладнання

Згідно з технічними вимогами до системи автоматичного керування швидкістю прокачки пального, вибрано двигун постійного струму типу **2ПА** із наступними параметрами:

Номинальна потужність $P_H$ , кВт	4;
Номинальна напруга $U_H$ , В	220;
Номинальний струм $I_H$ , А	18;
Номинальна частота обертання $n_H$ , об/хв.	1500;
Максимальна частота обертання $n_{\text{МАКС}}$ , об/хв.	4000;
Максимальний струм $I_{\text{max}}$	$2 \cdot I_H$ ;
Маховий момент $GD^2$ , кг·м <sup>2</sup>	0,35;
Число полюсів	$2p = 4$ ;
Число витків обмотки якоря, $\omega_Y$	162;
Опір обмотки якоря при 20°C $R_Y$ , Ом	0,564 ;
Число паралельних гілок обмотки якоря	$2a = 2$ ;
Опір додаткових полюсів при 20°C $R_{\text{ДП}}$ , Ом	0,336;
Опір послідовної обмотки $R_{\text{ПО}}$ , Ом	0,042 ;
Число витків на полюс, $\omega_B$	1200;
Опір обмотки головних полюсів $R_{\text{ОЗ}}$ , Ом	134;
Напруга збудження $U_{\text{ЗН}}$ , В	220;
ККД, %	79;

#### Силовий узгоджуючий трансформатор

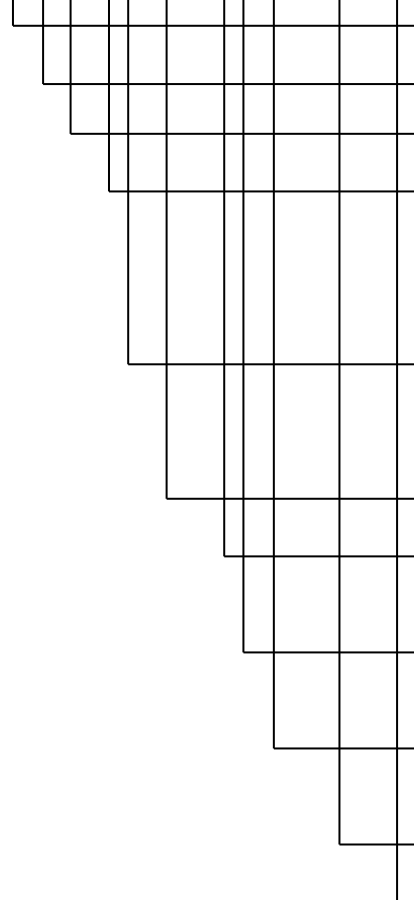
Тип	ТСП-63/0,7;
Напруга обмотки мережі $U_1$ , В	380;
Фазна напруга вентильної обмотки $U_{2\text{ф}}$ , В	115;
Напруга короткого замикання $\Delta U_K$ , %	5,3;
Втрати короткого замикання $\Delta P_{\text{КЗ}}$ , Вт	1900;

#### Згладжуючий дросель:

Тип	ФРОС-65/0,5;
Індуктивність $L_{\text{ЗД}}$ , мГн	1,5;
Втрати у міді при номінальному випрямленому струмі $\Delta P_{\text{СД}}$ , Вт	500.

Тиристорний перетворювач:

**БТУ 3601 4227 УХЛ4**



БЛОК

ТИРИСТОРНИЙ

УНІФІКОВАНИЙ

КЛАС ПЕРЕТВОРЮВАЧА

(3 – статичний напівпровідниковий перетворювач для електроприводів постійного струму)

ГРУПА (тип силової схеми)

6 – реверсивна трифазна мостова схема

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР РОЗРОБКИ

НОМІНАЛЬНИЙ ВИПРЯМЛЕНИЙ СТРУМ (100 А)

НОМІНАЛЬНА ВИПРЯМЛЕНА НАПРУГА (230 В)

НАПРУГА ЖИВЛЕННЯ ЛАНЦЮГІВ КЕРУВАННЯ (380 В, 50 Гц)

КЛІМАТИЧНЕ ВИКОНАННЯ

КАТЕГОРІЯ РОЗМІЩЕННЯ

Шунт у ланцюзі якоря вибрано із умови, щоб його номінальний струм був не меншим номінального струму двигуна. Номінальний струм двигуна  $I_H=18A$ . Вибрано шунт 55 ШСМ на номінальний струм  $I_{нш} = 30A$  та номінальну напругу  $U_{нш} = 75 мВ$ .

Задатчик швидкості:

В якості задатчика швидкості застосовано потенціометр типу ППБ – 15 – 1000 Ом. Так як  $U_{\Pi} = \pm 15$  В, а  $U_{3(\max)} = 10$  В, то послідовно ввімкнено додатковий резистор  $R_{\text{дод}}=500$  Ом, на якому гаситься надлишкова напруга.

### 3.2. Опис принципу роботи основних вузлів СКЕП

Пристрій БТУ являє собою тиристорний перетворювач з системою керування тиристорами, набором регуляторів, пристроїв захисту, джерел живлення і обмотки збудження двигуна

Основними вузлами тиристорного перетворювача є:

- 1) безпосередньо пристрій керування;
- 2) збуджувач для живлення обмотки збудження;
- 3) силовий автоматичний вимикач;
- 4) струмообмежуючий реактор;
- 5) комутаційний реактор для тиристорного перетворювача обмотки збудження.

Силова частина перетворювача складається з двох силових випрямлячів, згладжуючого дроселя та струмообмежуючого реактора. У систему керування реверсивним тиристорним перетворювачем з роздільним керуванням входять вузли, що здійснюють: формування, посилення, гальванічну розв'язку керуючих імпульсів, а також вибір необхідного для роботи комплекту вентилів, його блокування при наявності струму у силовому ланцюзі і відлік паузи при перемиканні комплектів.

У даному перетворювачі застосована багатоканальна синхронна СІФК із вертикальним принципом керування та пилкоподібною опорною напругою. У перетворювачах з роздільним керуванням комплекти тиристорів працюють по черзі, не накладаючись у часі. У інтервалі роботи кожного комплекту в каналі СІФК відбувається формування керуючих імпульсів тільки на два тиристори (на фазний і на протифазний) саме цього робочого комплекту.

Кількість каналів – три, тобто, у кожному каналі формуються керуючі імпульси для тиристорів, приєднаних до однієї фази. Діаграми роботи фазного і протифазного тиристорів у статичному режимі зсунуті у часі на  $180^\circ$ , що дозволяє при пилкоподібній опорній напрузі використовувати один вузол генератора напруги розгортки у кожному каналі СІФК, запускаючи його двічі за період синхронізуючими імпульсами.

Для організації принципу роздільного керування комплектами реверсивного вентиляного перетворювача необхідний логічний сигнал про відсутність струму у силовому ланцюзі. Формування цього сигналу здійснює датчик провідності вентилів (контроль відсутності струму непрямої – за напругою на силових тиристорах).

У контур струму якоря, крім тиристорного перетворювача і якірного ланцюга електродвигуна, входять: датчик струму, регулятор струму, нелінійна ланка та функціональний перетворювач ЕРС двигуна.

Перемикач характеристик погоджує реверсивний вхідний сигнал нелінійної ланки з однополярною регульовальною характеристикою СІФК. У статичному режимі роботи на виході перемикача характеристик формується негативна полярність вихідного сигналу. Регульовальні елементи у перемикачі характеристик відсутні, тому налагодження не потрібно.

У перетворювачі БТУ-3601 живлення усіх функціональних блоків здійснюється від джерела живлення, яке складається із трансформатора та блока живлення. Безпосередньо блок живлення містить діодні мости, конденсаторні фільтри та два параметричних стабілізатори напруги. Для контролю напруги у мережі живлення в блоці живлення алгебраїчно сумуються (з різними коефіцієнтами передачі) невідфільтрована напруга +24 В та відфільтрована -12В. Результуючий сигнал поступає у вузол захисту та блокування.

Вузол захисту та блокування забезпечує захист перетворювача:

- від надмірно-великих струмів (максимально-струмовий захист);
- від тривалого перевантаження по струму (тепловий захист);

- від зниження напруги в мережі живлення. Крім цього, вузол здійснює наступні блокування: забороняє формування керуючих імпульсів у СіФК, а також шунтує ланцюги зворотних зв'язків регуляторів струму і ЕРС при відсутності зовнішньої команди “Деблокування”. При цьому забезпечується безструмовий стан перетворювача та нульові початкові стани регуляторів;
- від погіршення умов охолодження в пристроях із примусовим охолодженням.

Адаптивний регулятор струму дозволяє лінеаризувати структуру вентильного електропривода у режимі преривчастих струмів і тим самим суттєво поліпшити динамічні властивості системи автоматичного регулювання. Він складається із регулятора струму, нелінійної ланки та функціонального перетворювача ЕРС.

Датчик напруги призначений для гальванічної розв'язки системи керування від силової частини і одержання на виході напруги, пропорційної ЕРС або напрузі двигуна.

Пристрій відповідності призначений для виявлення відповідності швидкості обертання двигуна заданому значенню.

Вхідний пристрій служить для гальванічної розв'язки силового ланцюга і ланцюга керування. Він складається із розділяючого трансформатора, захисних і розв'язуючих діодів, а також резисторів, один із яких обмежує струм у первинній обмотці трансформатора і захищає від перевантаження підсилювачі імпульсів, а інший разом з конденсатором шунтує керуючий перехід тиристора, підвищуючи його завадостійкість.

Керуючий орган служить для узгодження виходу системи регулювання з входами каналів фазозміщення СіФК і для встановлення кутів  $\alpha_{\text{МІН}}$ ,  $\alpha_{\text{МАКС}}$  та  $\alpha_{\text{Н}}$ .

У пристрої БТУ застосовується сигналізація:

- наявності напруги живлення;
- спрацьовування захисту.

Функціональна схема тиристорного електроприводу на базі БТУ-3601 наведена на рис. 3.1.

Ця система з регулюванням швидкості і стабілізацією струму збудження побудована за принципом підпорядкованого регулювання і має два контури регулювання: внутрішній контур струму якоря і зовнішній контур ЕРС, а також незалежний контур струму збудження.

У внутрішній контур струму якоря входять: ПІ - регулятор струму якоря, вентильний перетворювач якоря двигуна ВПЯ, якірний ланцюг двигуна та датчик струму якоря.

Зовнішній контур ЕРС складається з ПІ - регулятора швидкості, контуру регулювання струму якоря, механічної частини привода і датчика напруги.

Внутрішній контур струму є астатичним, як за завданням, так і за збуренням (без врахування дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС).

Зовнішній контур швидкості є астатичним за завданням і статичним по збуренню. Таким чином, у цілому, система є астатичною за завданням і статичною за збуренням.

Робота схеми здійснюється в такий спосіб:

На вхід регулятора ЕРС РЕ надходить сигнал  $U_{зш}$  із задатчика швидкості ЗШ, а також сигнал зворотного зв'язку за ЕРС  $U_{де}$ . На виході РЕ формується сигнал  $U_{РЕ}$ , пропорційний різниці вхідних сигналів. Сигнал  $U_{РЕ}$ , у свою чергу, є задаючим для внутрішнього контуру регулювання струму. На вхід регулятора струму РС, крім задаючого, надходить також сигнал зворотного зв'язку за струмом  $U_{дс}$ . На виході РС формується сигнал  $U_{РС}$ , пропорційний різниці вхідних сигналів.

У даній системі електропривода організовані дві ступіні обмеження струму якоря двигуна. Перша – за рахунок контуру струму, шляхом обмеження максимального завдання  $U_{рстmax}$ , чим забезпечується обмеження максимального значення струму якоря.

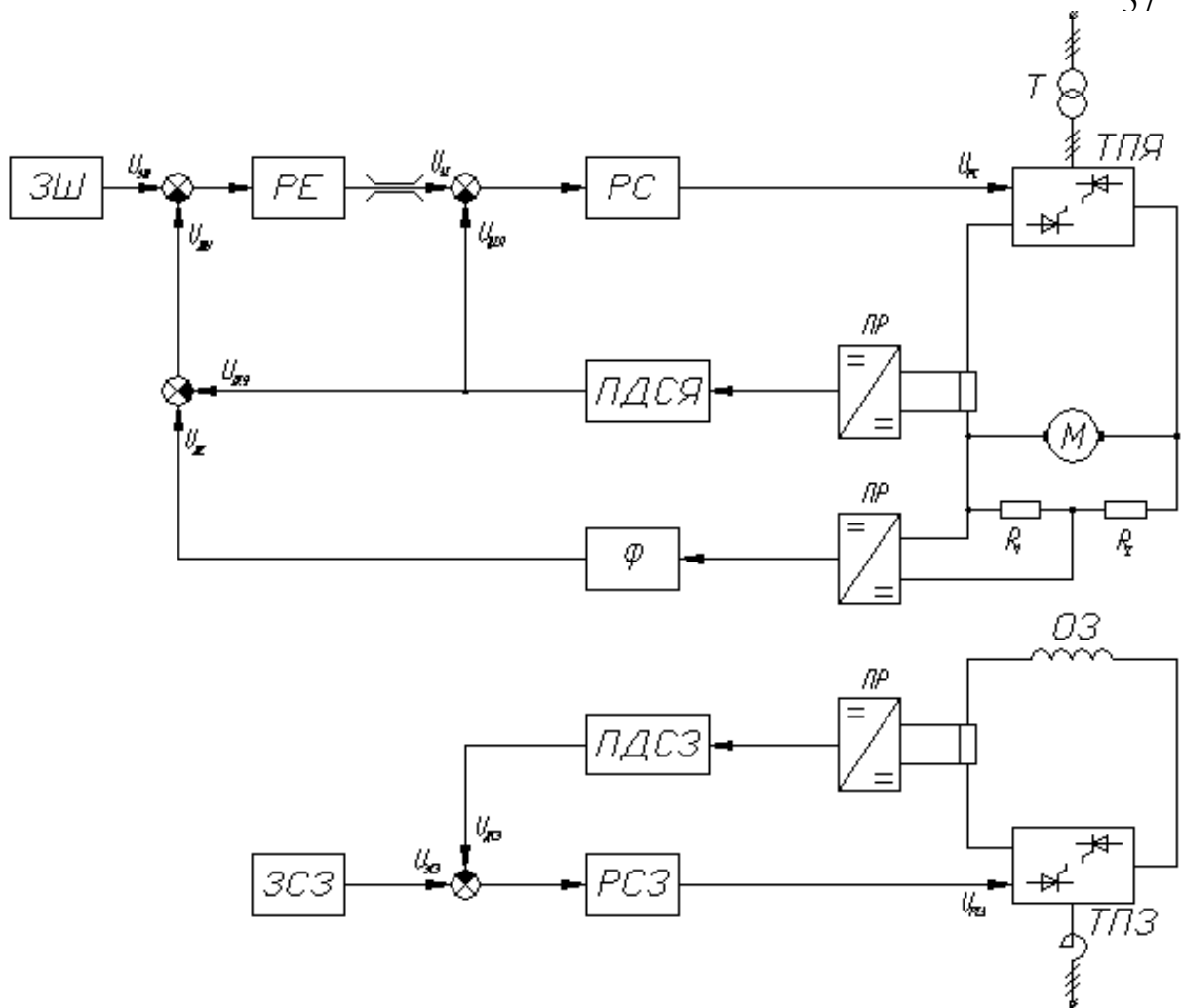


Рисунок 3.1 - Функціональна схема тиристорного електроприводу на базі БТУ-3601

Друга – за рахунок “струмової стінки” і обмеження сигналу  $U_{рстmax}$ , реалізованого в БТУ.

При набросі навантаження по якорю двигуна починає протікати статичний струм, швидкість двигуна починає зменшуватися і на систему починає діяти збурення. В результаті на вході регулятора ЕРС РЕ з'являється сигнал розузгодження додатного знаку, а на вхід регулятора струму РС подається від'ємний сигнал зворотного зв'язку за струмом. З виходу контуру струму знімається сигнал, що по ланцюгу зворотного зв'язку частково компенсує дію збурення.

По мірі зниження швидкості зростає розузгодження на вході регулятора ЕРС, і пропорційно зростає вихідний сигнал регулятора, який компенсує сигнал від'ємного зворотного зв'язку за струмом. В деякий момент часу швидкість зменшиться до такої величини, при якій сигнал на вході регулятора струму стає рівним нулю. Система входить в усталений режим із деякою похибкою за швидкістю.

### 3.3. Розрахунок параметрів силового ланцюга електропривода

Падіння напруги на щітковому контакті прийнято рівним:

$$\Delta U_{\text{щ}} = 2\text{В.}$$

Номінальна кутова швидкість становить:

$$\Omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{н}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} \approx 157 \text{ рад/с.}$$

Опір якорного ланцюга електродвигуна визначено так:

$$R_{\text{а}} = \beta_{\text{т}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{по}} + R_{\text{дп}}) = 1,24 \cdot (0,564 + 0,042 + 0,336) = 1,168 \text{ Ом,}$$

де  $\beta_{\text{т}} = 1,24$  – коефіцієнт, що враховує зміну опору обмоток при нагріванні до  $60^{\circ}\text{C}$ .

Номінальна ЕРС електродвигуна становить:

$$E_{\text{дп}} = U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{а}} - \Delta U_{\text{щ}} = 220 - 18 \cdot 1,168 - 2 = 197 \text{ В.}$$

Конструктивний коефіцієнт електродвигуна визначено так [17]:

$$C_e = \frac{2 \cdot p \cdot \omega_{\text{я}}}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{4 \cdot 162}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} = 103,18$$

де  $\omega_{\text{я}} = 162$  – кількість витків обмотки якоря;

$2a = 2$  – кількість пар паралельних гілок;

$p$  – число пар полюсів,  $2p = 4$ .

Коефіцієнт ЕРС та моменту електродвигуна становить:

$$C = \frac{E_{\text{дн}}}{\Omega_{\text{н}}} = \frac{197}{157} = 1,255 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{рад.}$$

Номінальний потік визначено таким чином:

$$\Phi_{\text{н}} = \frac{C}{C_e} = \frac{1,255}{103,18} = 1,216 \cdot 10^{-2} \text{ Вб.}$$

Опір обмотки збудження при температурі  $60^\circ\text{C}$  становить:

$$R_3 = \beta_T \cdot R_{03} = 1,24 \cdot 134 = 166,16 \text{ Ом.}$$

Номінальний струм збудження визначено так:

$$I_{\text{зн}} = \frac{U_{\text{зн}}}{R_3} = \frac{220}{166,16} = 1,32 \text{ А.}$$

Коефіцієнт нахилу кривої намагнічування при  $\Phi = \Phi_{\text{н}}$  становить:

$$k_{\Phi} = \omega_B \cdot \left( \frac{d\Phi}{dF} \right)_{\Phi=\Phi_{\text{н}}} = 1200 \cdot \frac{2,5 \cdot 10^{-2} - 1,216 \cdot 10^{-2}}{5000 - 1500} = 4,402 \cdot 10^{-3} \text{ Вб} / \text{А,}$$

де  $\left(\frac{d\Phi}{dF}\right)$  визначається за кривою намагнічування двигуна:

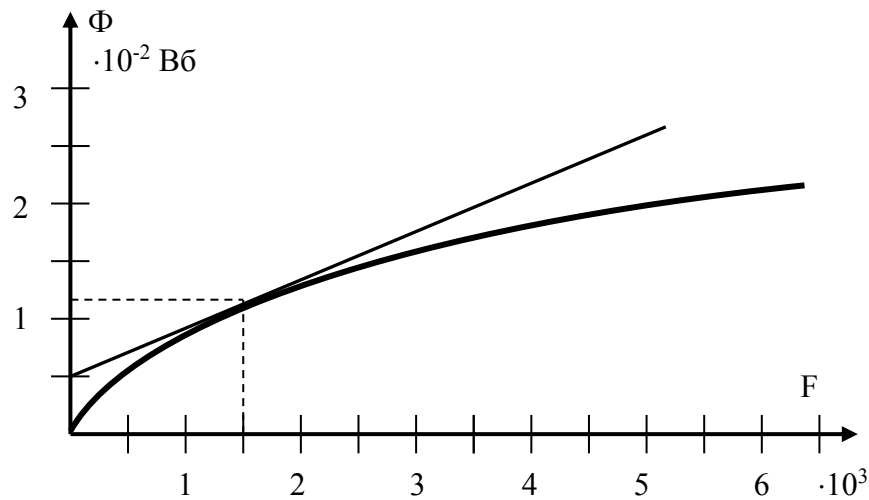


Рисунок 3.1 – Крива намагнічування двигуна 2П2

Індуктивність обмотки збудження становить:

$$L_3 = 2 \cdot p \cdot \omega_b \cdot \left[ k_\Phi + \frac{0,5 \cdot (\sigma - 1) \cdot \Phi_H}{I_{3H}} \right] = 4 \cdot 1200 \times$$

$$\times \left[ 4,402 \cdot 10^{-3} + \frac{0,5 \cdot (1,085 - 1) \cdot 1,216 \cdot 10^{-2}}{1,32} \right] = 23 \text{ Гн.}$$

де  $\sigma = 1,085$  – розсіювання.

Електромагнітна постійна часу ланцюга збудження визначена так:

$$T_3 = \frac{L_3}{R_3} = \frac{23}{166,16} = 0,138 \text{ сек.}$$

Постійна часу контуру вихрових струмів становить:

$$T_{BC} = 0,1 \cdot T_3 = 0,014 \text{ сек.}$$

Індуктивність якоря двигуна визначена таким чином:

$$L_a = C \cdot \frac{U_H}{I_H \cdot p \cdot \Omega_H} = 0,6 \cdot \frac{220}{18 \cdot 2 \cdot 157} = 23,35 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

де  $C = 0,6$  – для некомпенсованих машин.

Електромагнітна постійна часу якоря електродвигуна становить:

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{23,35 \cdot 10^{-3}}{1,168} = 0,02 \text{ сек.}$$

Момент інерції двигуна визначено так:

$$J_d = \frac{GD^2}{4} = \frac{0,35}{4} = 0,0875 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції механізму, приведений до валу електродвигуна становить

$$J_{\text{Мпр}} = \frac{J_M}{k_p^2} = \frac{0,65}{10^2} = 0,0065 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції приводу визначено таким чином:

$$J_{\text{пр}} = J_d + J_{\text{Мпр}} = 0,0875 + 0,0065 = 0,094 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Номінальний момент електродвигуна становить

$$M_H = \frac{P_H}{\Omega_H} = \frac{4000}{157} = 25,47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальне прискорення електродвигуна при пуску від задатчика інтенсивності визначено так:

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{дин}}}{J_{\text{пр}}} = \frac{25,47}{0,094} = 270,9 \text{ рад/с}^2, \quad \text{при } M_{\text{дин}} = M_{\text{н}} = 25,47 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Приведений до ланцюга випрямленого струму опір трансформатора становить:

$$R_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{I_{\text{дн}}^2} = \frac{1900}{100^2} = 0,19 \text{ Ом}.$$

Максимальна випрямлена ЕРС перетворювача ланцюга якоря становить:

$$E_{\text{д0я}} = k_{\text{сх1}} \cdot U_{2\phi} = 2,34 \cdot 115 = 269,1 \text{ В},$$

де  $k_{\text{сх1}} = 2,34$  – коефіцієнт трифазної мостової схеми випрямлення.

Індуктивний опір трансформатора, приведений до ланцюга вторинної обмотки визначено таким чином:

$$x_{\text{т}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{2\phi}}{100 \cdot k_{\text{сх2}} \cdot I_{\text{дн}}} = \frac{5,3 \cdot 115}{100 \cdot 0,815 \cdot 100} = 0,075 \text{ Ом},$$

де  $k_{\text{сх2}} = 0,815$  – для трифазної мостової схеми випрямлення.

Еквівалентний опір трансформатора, що враховує зниження випрямленої напруги при комутації вентиля становить:

$$R_{\text{х}} = \frac{3 \cdot x_{\text{т}}}{\pi} = \frac{3 \cdot 0,075}{3,14} = 0,071 \text{ Ом}.$$

Опір згладжуючого дроселя визначено так:

$$R_{\text{зд}} = \frac{\Delta P_{\text{сд}}}{I_{\text{дн}}^2} = \frac{500}{100^2} = 0,05 \text{ Ом}.$$

Опір шин та кабелів становить:

$$R_{\text{ш}} = 0,1 \cdot R_a = 0,1 \cdot 1,168 = 0,1168 \text{ Ом.}$$

Опір ланцюга ТП – якір двигуна визначено таким чином:

$$R_e = R_a + R_T + R_x + R_{\text{зд}} + R_{\text{ш}} = 1,168 + 0,19 + 0,071 + 0,05 + 0,1168 = 1,596 \text{ Ом.}$$

Індуктивність розсіювання трансформатора становить:

$$L_T = \frac{x_T}{\omega_c} = \frac{0,075}{314} = 0,238 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

$$\text{де } \omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314.$$

Індуктивність ланцюга ТП – електродвигун становить:

$$L_e = L_a + 2 \cdot L_T + L_{\text{зд}} = 23,35 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,238 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 25,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Максимальне значення коефіцієнта підсилення ТП у ланцюзі якоря з СІФК, виконаного за вертикальним принципом керування із пилкоподібною напругою порівняння визначено таким чином:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{\pi \cdot E_{d0я}}{U_{\text{км}}} = \frac{3,14 \cdot 269,1}{10} = 84,5$$

де  $U_{\text{км}} = 10 \text{ В}$  – максимальне значення напруги керування.

Електромагнітна постійна часу ланцюга ТП – електродвигун становить:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{25,3 \cdot 10^{-3}}{1,596} = 0,016 \text{ сек.}$$

Електромеханічна постійна часу становить:

$$T_M = \frac{J_{\text{пр}} \cdot R_e}{c^2} = \frac{0,094 \cdot 1,596}{1,255^2} = 0,0952 \text{ сек.}$$

Передавальний коефіцієнт шунта у ланцюзі якоря визначено так:

$$k_{\text{шя}} = \frac{U_{\text{нш}}}{I_{\text{нш}}} = \frac{0,075}{30} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт передачі комірки датчика струму вибрано із умови:

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{дс max}}}{I_{\text{max}}} = \frac{U_{\text{дс max}}}{2 \cdot I_{\text{н}}} = \frac{10}{2 \cdot 18} = 0,27 \text{ Ом,}$$

де  $U_{\text{дс max}} = 10\text{В}$  – максимально-допустиме значення напруги на виході.

Вибрано шунт у ланцюзі збудження за номінальним струмом збудження електродвигуна. Вибрано шунт на струм  $I_{\text{нш}} = 5\text{А}$ .

Передавальний коефіцієнт шунта у ланцюгу збудження становить:

$$k_{\text{шз}} = \frac{U_{\text{нш}}}{I_{\text{нш}}} = \frac{0,075}{5} = 0,015 \text{ Ом.}$$

Напругу датчика струму збудження прийнято 4 В і розраховано коефіцієнт передачі датчика струму збудження:

$$k_{\text{дсз}} = \frac{U_{\text{дсз}}}{I_{\text{зн}}} = \frac{4}{1,32} = 3.$$

Незкомпенсовані постійні часу контурів струму якоря і струму збудження прийнято:

$$T_{\mu} = 0,01 \text{ с}, \quad T_{\muз} = 0,01 \text{ с}.$$

### 3.4. Розрахунок запасу за напругою тиристорного перетворювача

Необхідний запас за напругою визначено так:

$$U_T^{\text{роз}} = \frac{E_{d0я}^{\text{роз}}}{U_H} = \frac{254,45}{220} = 1,16$$

$$\text{де } E_{d0я}^{\text{роз}} = E_{дн} + \Delta E_{\text{дзап}} = 197 + 57,45 = 254,45 \text{ В};$$

$$\Delta E_{\text{дзап}} = \max[\Delta E_{d1}, \Delta E_{d2}] = \max[57,45, 45,96] = 57,45 \text{ В};$$

$$\Delta E_{d1} = \Delta E_{\text{дст}} = I_{\text{max}} \cdot R_e = 2 \cdot I_H \cdot R_e = 2 \cdot 18 \cdot 1,596 = 57,45 \text{ В};$$

$$\Delta E_{d2} = \Delta E_{\text{ддин}} = \frac{T_e}{2 \cdot T_{\mu}} \cdot 2 \cdot I_H \cdot R_e = \frac{0,016}{2 \cdot 0,01} \cdot 2 \cdot 18 \cdot 1,596 = 45,96 \text{ В}.$$

Отриманий необхідний запас за напругою забезпечує налагодження контуру на всьому діапазоні швидкостей. На практиці коефіцієнт запасу складає 1,1...1,3.

Фактичний коефіцієнт запасу становить:

$$U_T^{\phi} = \frac{E_{d0я}}{U_H} = \frac{269}{220} = 1,22.$$

Гранична величина ЕРС, до якої буде здійснюватись налагодження контуру на модульний оптимум становить:

$$E_{\text{гран}} = E_{d0я} - \Delta E_{\text{дзап}} = 269,1 - 57,45 = 211,65 \text{ В}.$$

Так як  $E_{\text{гран}} > E_{дн}$ , то у всьому діапазоні функціонування швидкості виконується налагодження контуру на модульний оптимум.

### 3.5. Розрахунок параметрів регуляторів струму якоря та ЕРС

Оптимізацію системи, побудованої за принципом підпорядкованого регулювання виконано, починаючи із внутрішнього контуру регулювання – контуру струму якоря.

Розрахунок параметрів регулятора струму якоря

Структурну схему контуру струму якоря зображено на рис.3.3.

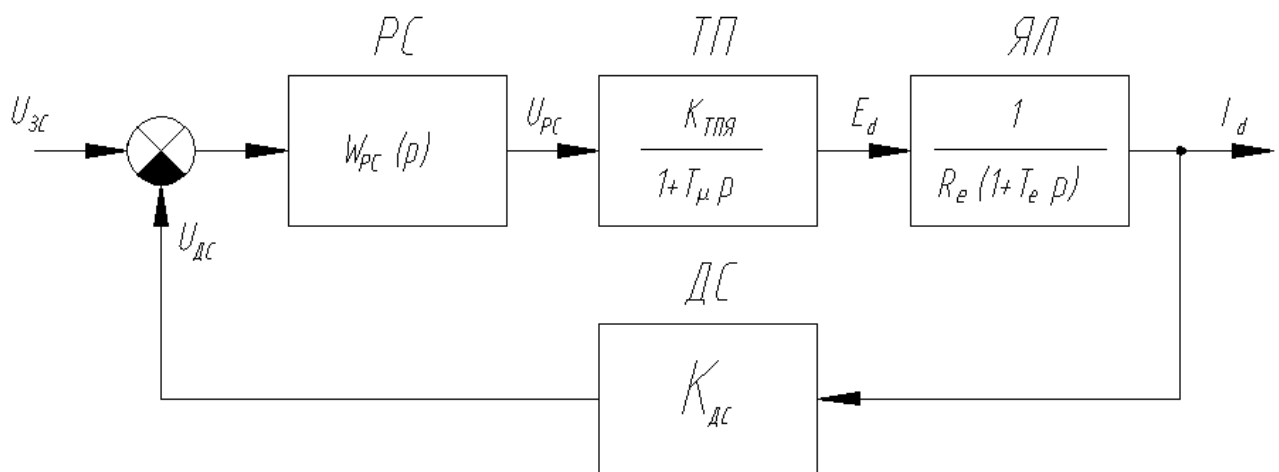


Рисунок 3.3 - Структурна схема контуру струму якоря

РС – регулятор струму;

ТП – тиристорний перетворювач якорного ланцюга двигуна;

ЯЛ – якорний ланцюг двигуна;

ДС – датчик струму;

У ході оптимізації контуру прийняті такі припущення:

- всі малі постійні часу знаходяться у тиристорному перетворювачі:

$$T_{\mu} = T_{TP} + T_{DC} + T_{\mu PC};$$

- датчик струму прийнято безінерційним;
- двигун загальмований: ( $E = 0$ ).

При оптимізації контуру на модульний оптимум:

$$W_{\text{КС}}^{\text{P}}(p) = W_{\text{РС}}(p) \frac{k_{\text{ТП}}}{(1 + T_{\mu} \cdot p) \cdot R_e \cdot (T_e \cdot p + 1)} \cdot k_{\text{ДС}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (1 + T_{\mu} \cdot p)},$$

тоді

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{R_e(T_e p + 1)}{2T_{\mu} k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}} p} \cdot \frac{T_e}{T_e} = \frac{R_e T_e}{2T_{\mu} k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}}} \cdot \frac{T_e p + 1}{T_e p} = k_{\text{РС}} \cdot \frac{T_e p + 1}{T_e p},$$

де  $k_{\text{РС}} = \frac{R_e T_e}{2T_{\mu} k_{\text{ТП}} k_{\text{ДС}}}.$

Отримано пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор струму.

Передавальна функція замкненого контуру струму має вигляд:

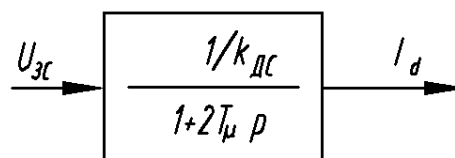
$$W_{\text{КС}}^3(p) = \frac{W_{\text{ПК}}(p)}{1 + W_{\text{КС}}^{\text{P}}(p)} = \frac{W_{\text{КС}}^{\text{P}}(p) / k_{\text{ДС}}}{1 + W_{\text{КС}}^{\text{P}}(p)} = \frac{\frac{1}{2T_{\mu} p(1 + T_{\mu} p) k_{\text{ДС}}}}{1 + \frac{1}{2T_{\mu} p(1 + T_{\mu} p)}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{ДС}}}}{1 + 2T_{\mu} p + 2T_{\mu}^2 p^2}.$$

Так як величина  $T_{\mu}$  незначна, то складовою  $2T_{\mu}^2 p^2$  можна знехтувати, тобто, прийнято  $2T_{\mu}^2 p^2 \approx 0$ . У цьому випадку записано:

$$W_{\text{КТ}}^3(p) \approx \frac{\frac{1}{k_{\text{ДС}}}}{1 + 2T_{\mu} p} = \frac{\frac{1}{k_{\text{ДС}}}}{1 + T_{\text{T}} p},$$

де  $T_{\text{T}} = 2T_{\mu}$  – еквівалентна постійна часу налаштованого на модульний оптимум контуру струму.

Структурна схема замкненого контуру струму має вигляд:



Виконано розрахунок параметрів регулятора струму якоря, зображеного на рис.3.4. Коефіцієнт регулятора струму визначено так:

$$k_{pc} = \frac{T_e R_e}{2T_\mu k_{тп} k_{дс}} = \frac{0,016 \cdot 1,596}{2 \cdot 0,01 \cdot 84,5 \cdot 0,27} = 0,0559.$$

Величина ємності конденсатора у ланцюзі зворотного зв'язку операційного підсилювача регулятора струму прийнята:

$$C_{oc} = 1 \text{ мкФ}.$$

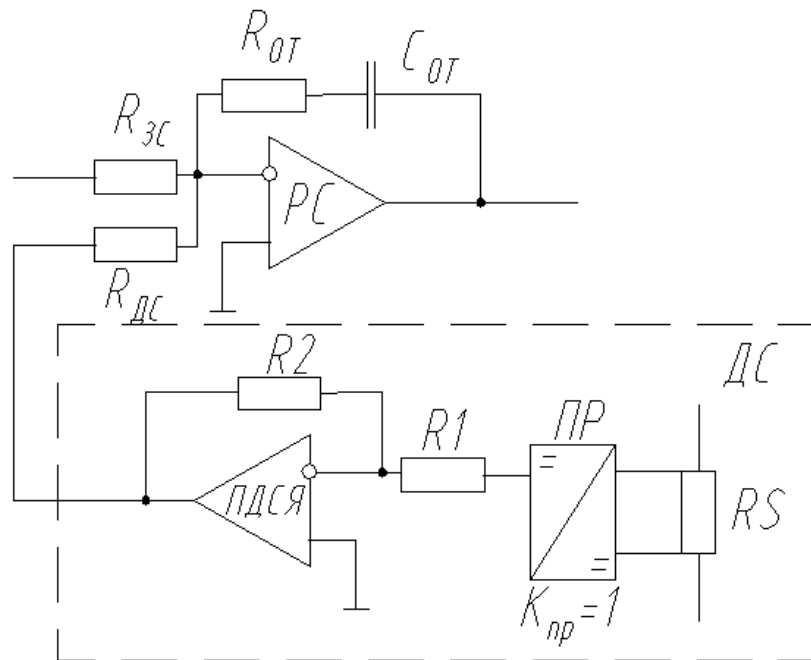


Рисунок 3.4 - Регулятор струму якоря

Опір резистора у ланцюзі зворотного зв'язку операційного підсилювача регулятора струму визначено, як:

$$T_e = R_{oc} \cdot C_{oc} \Rightarrow R_{oc} = \frac{T_e}{C_{oc}} = \frac{0,016}{10^{-6}} = 16 \text{ кОм}.$$

Опір у ланцюзі датчика струму становить:

$$k_{pc} = \frac{R_{oc}}{R_{дс}} \Rightarrow R_{дс} = \frac{R_{oc}}{k_{pc}} = \frac{16 \cdot 10^3}{0,0559} = 286 \text{ кОм}.$$

Опір у ланцюзі завдання струму визначено із умов сталого режиму, в якому:

$$U_{зс} = U_{дс}, \text{ звідки, } \frac{U_{зс \max}}{R_{зс}} = \frac{U_{дс \max}}{R_{дс}} \Rightarrow R_{зс} = R_{дс} \cdot \frac{U_{зс \max}}{U_{дс \max}} = 286 \text{ кОм}$$

$$\text{приймаючи } U_{зс \max} = U_{дс \max}.$$

Коефіцієнт підсилення датчика струму якоря визначено таким чином:

$$k_{дс} = k_{шя} \cdot k_{пр} \cdot k_{пдся},$$

$$k_{пр} = 1, \text{ тоді}$$

$$k_{пдся} = \frac{k_{дс}}{k_{шя}} = \frac{0,27}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 108;$$

$$k_{пдся} = \frac{R_2}{R_1}, \text{ прийнято } R_1 = 5 \text{ кОм, тоді}$$

$$R_2 = R_1 \cdot k_{пдся} = 5 \cdot 108 = 540 \text{ кОм.}$$

### 3.6. Розрахунок параметрів регулятора ЕРС із застосуванням датчика напруги

Структурну схему контуру ЕРС зображено на рис. 3.5.

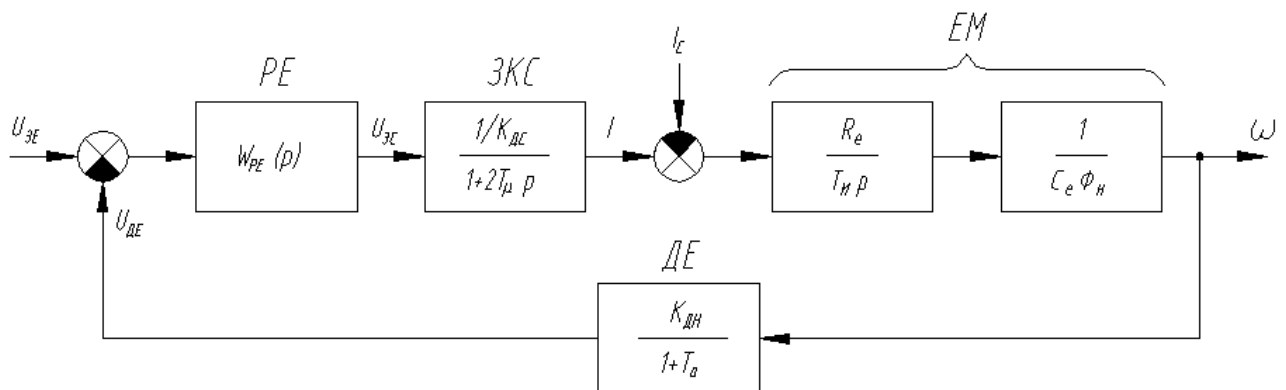


Рисунок 3.5 - Структурна схема контуру ЕРС

РЕ – регулятор ЕРС;

ЗКС – замкнений контур струму;

ЕМ – електромеханічна частина двигуна;

ДЕ – датчик ЕРС;

$T_a$  – постійна часу якоря двигуна, з якого знімається сигнал зворотного зв'язку за ЕРС.

Контур складається з двох ланцюгів із незначними постійними часу, які ввімкнені послідовно і тому можуть бути перетворені в одну ланку із невеликою постійною часу, яка дорівнює їх сумі:

$$\frac{1}{2T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{T_a + 1} = \frac{1}{2T_\mu T_a p^2 + (2T_\mu + T_a)p + 1} \approx \frac{1}{(2T_\mu + T_a)p + 1} = \frac{1}{T_{\mu e} p + 1}$$

Передавальна функція розімкненого контуру ЕРС, налагодженого на модульний оптимум має вигляд:

$$W_{ке}^p(p) = \frac{W_{pe}(p) k_{дн} R_e}{k_{дс} (T_{\mu e} p + 1) T_m p} = \frac{1}{2T_{\mu e} p (T_{\mu e} p + 1)}$$

звідки

$$W_{pe}^p(p) = \frac{k_{дс} T_m}{2T_{\mu e} k_{дн} R_e} = k_{pe}.$$

Отримано П – регулятор ЕРС. З таким регулятором система буде астатичною за завданням та статичною за збуренням.

$$W_{кс}^3(p) = \frac{1}{k_{дн}} \cdot \frac{W_{ке}^p(p)}{1 + W_{ке}^3(p)} = \frac{\frac{1}{k_{дн}}}{1 + 2T_{\mu e} p + 2T_{\mu e}^2 p^2} \cong \frac{\frac{1}{k_{дн}}}{1 + 2T_{\mu e} p}.$$

Через наявність інерційності у датчику ЕРС, перехідний процес буде проходити із великим перерегулюванням. Для зменшення перерегулювання

на вході системи ввімкнено фільтр із постійною часу, яка рівна інерційності датчика.

$$W_{ке}^{3+\phi}(p) = \frac{1}{1 + 2T_{\mu e}p} \cdot \frac{1}{1 + 4T_{\mu e}p} = \frac{1}{1 + 6T_{\mu e}p}$$

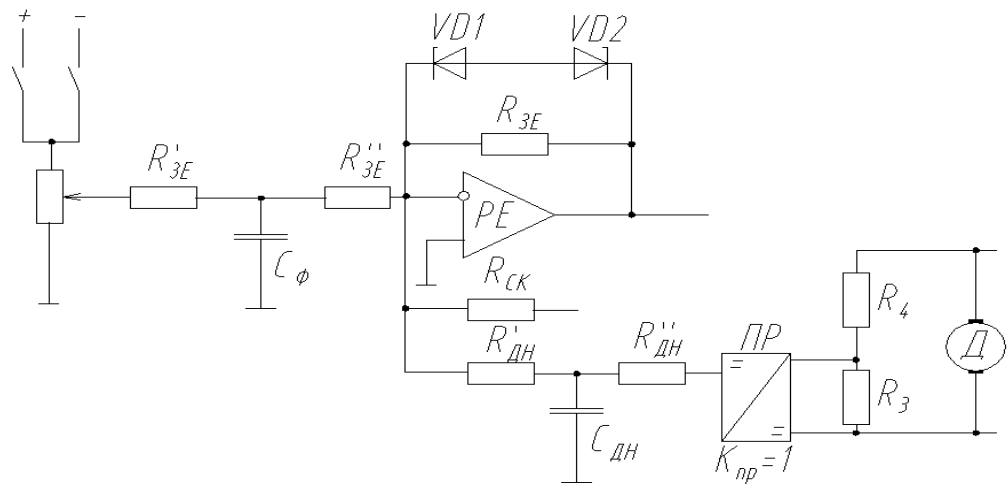


Рисунок 3.6 – Принципова схема регулятора ЕРС

### Розрахунок основних ланцюгів регулятора ЕРС

Регулятор ЕРС зображено на рис. 3.6.

Коефіцієнт датчика напруги визначено таким чином:

$$k_{дн} = \frac{U_{дн}^{\max}}{U_n} = \frac{10}{220} = 0,045.$$

Коефіцієнт передачі регулятора ЕРС становить:

$$k_{pe} = \frac{T_M k_{дс}}{2T_{\mu e} R_e k_{дн}} = \frac{0,0952 \cdot 0,27}{2 \cdot 0,04 \cdot 1,596 \cdot 0,045} = 4,47$$

де  $T_{\mu e} = 2T_{\mu} + T_a = 2 \cdot 0,01 + 0,02 = 0,04$  сек.

Ємність у ланцюзі датчика напруги прийнято:

$$C_{\text{дн}} = 10 \text{ мкФ.}$$

Опір у ланцюзі датчика напруги визначено, як:

$$T_{\text{дн}} = T_a = C_{\text{дн}} \frac{R_{\text{дн}}^1 R_{\text{дн}}^{11}}{R_{\text{дн}}^1 + R_{\text{дн}}^{11}}, \text{ якщо } R_{\text{дн}}^1 = R_{\text{дн}}^{11} = \frac{R_{\text{дн}}}{2}, \text{ то } T_a = \frac{C_{\text{дн}} R_{\text{дн}}}{4} \Rightarrow$$

$$R_{\text{дн}} = \frac{4 \cdot T_a}{C_{\text{дн}}} = \frac{4 \cdot 0,02}{10 \cdot 10^{-6}} = 80 \cdot 10^3 \text{ Ом,}$$

Опір у ланцюзі зворотного зв'язку операційного підсилювача регулятора напруги становить:

$$R_{\text{зЕ}} = R_{\text{дн}} \cdot k_{\text{РЕ}} = 80 \cdot 10^3 \cdot 4,47 = 357,5 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Опір у ланцюзі завдання ЕРС визначено із умов сталого режиму:

$$I_{\text{зЕ}} = I_{\text{дн}}, \text{ так як } \frac{U_{\text{зЕ}}^{\text{max}}}{R_{\text{зЕ}}} = \frac{U_{\text{дн}}^{\text{max}}}{R_{\text{дн}}}$$

$$U_{\text{зЕ}}^{\text{max}} = U_{\text{дн}}^{\text{max}} = 10 \text{ В,}$$

звідси  $R_{\text{зЕ}} = R_{\text{дн}} = 357,5 \text{ кОм.}$

Ємність фільтра у ланцюзі визначено із умови:

$$T_{\text{ф}} = T_{\text{дн}} = T_a = C_{\text{ф}} \cdot \frac{R_{\text{зЕ}}^1 \cdot R_{\text{зЕ}}^{11}}{R_{\text{зЕ}}^1 + R_{\text{зЕ}}^{11}}.$$

$$\text{Якщо } R_{\text{зЕ}}^1 = R_{\text{зЕ}}^{11} = \frac{R_{\text{зЕ}}}{2}, \text{ тоді } C_{\text{ф}} = \frac{4 \cdot T_a}{R_{\text{зЕ}}}.$$

При  $R_{3E} = R_{дн}$        $C_{\Phi} = C_{дн} = 10 \text{ мкФ}$ .

Опір резистора струмової компенсації визначено із умови гальмування двигуна:  $E_{д} = 0$ ,  $U_{дE} = 0$ .

$$\frac{U_{дс}}{R_{ск}} = \frac{U_{дн}}{R_{дн}},$$

$$U_{дс} = I \cdot k_{дс},$$

$$U_{дн} = U_{д} \cdot k_{дн} = I \cdot k_{дн} \cdot R_a,$$

$$R_{ск} = \frac{I \cdot k_{дс}}{I \cdot R_a \cdot k_{дн}} = R_{дн} \cdot \frac{k_{дс}}{R_a \cdot k_{дн}} = 80 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,27}{1,168 \cdot 0,045} = 411 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Опір резисторів подільника визначено так:

$$k_{дн} = k_{пр} \frac{R_3}{R_3 + R_4}, \quad k_{пр} = 1, \quad \text{звідки} \quad k_{дн} = \frac{R_3}{R_3 + R_4}, \quad R_3 = R_4 \frac{1 - k_{дн}}{k_{дн}}.$$

Прийнято  $R_4 = 5 \text{ кОм}$ , тоді:

$$R_3 = 5 \cdot \frac{1 - 0,045}{0,045} = 105 \text{ кОм}.$$

Обмеження вихідного сигналу регулятора ЕРС здійснюється двома зустрічно ввімкненими стабілітронами VD1 та VD2. Оскільки вихідний сигнал регулятора ЕРС є сигналом завдання на струм, то його обмеження приводить до обмеження струму двигуна на рівні максимально-допустимого.

$$U_{VD} = U_{3C}^{\max} - \Delta U.$$

Падіння напруги на стабілітронах прийнято  $\Delta U = 1 \text{ В}$ , максимально допустима напруга завдання на струм  $U_{3C}^{\max} = 10 \text{ В}$ , тоді

$$U_{VD} = 10 - 1 = 9 \text{ В.}$$

### 3.7. Розрахунок параметрів регулятора струму збудження

Задачею оптимізації є стабілізація струму збудження на номінальному рівні незалежно від дії збурень та можливої зміни параметрів. Структурну схему контуру струму збудження зображено на рис. 3.7.

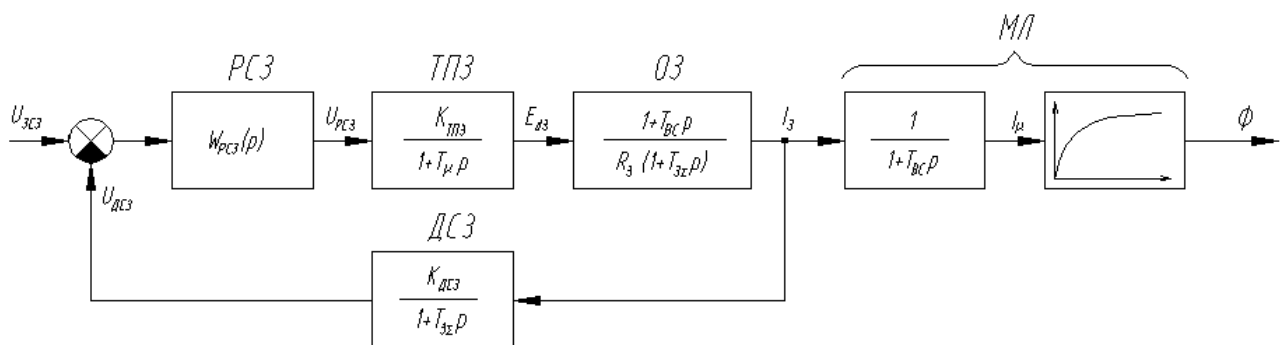


Рисунок 3.7 - Структурна схема контуру струму збудження

РСЗ – регулятор струму збудження;

ТПЗ – тиристорний перетворювач обмотки збудження;

ОЗ – електричний ланцюг обмотки збудження;

МЛ – магнітний ланцюг обмотки збудження;

ДСЗ – датчик струму збудження;

Контур оптимізовано на модульний оптимум:

$$W_{КСЗ}^p(p) = W_{PCZ}(p) \cdot \frac{k_{ТПЗ}}{1+T_{\mu}p} \cdot \frac{T_{BC}p+1}{R_3(1+T_{3\Sigma}p)} \cdot k_{ДСЗ} \cdot \frac{1}{1+T_{BC}p} = \frac{1}{2T_{\mu}p(1+T_{\mu}p)},$$

тоді

$$W_{pc3}(p) = \frac{(1 + T_{\mu 3} p) R_3 (1 + T_{3\Sigma} p)}{2 T_{\mu 3} p (1 + T_{\mu 3} p) k_{тпз} k_{дсз}} = \frac{(1 + T_{3\Sigma} p) R_3}{2 T_{\mu 3} p k_{тпз} k_{дсз}} \cdot \frac{T_{3\Sigma}}{T_{3\Sigma}} =$$

$$= \frac{R_3 T_{3\Sigma}}{2 T_{\mu 3} k_{тпз} k_{дсз}} \cdot \frac{T_{3\Sigma} p + 1}{T_{3\Sigma} p} = k_{pc3} \frac{T_{3\Sigma} p + 1}{T_{3\Sigma} p},$$

де  $k_{pc} = \frac{R_3 T_{3\Sigma}}{2 T_{\mu 3} k_{тпз} k_{дсз}}$ .

Виконано розрахунок основних ланцюгів регулятора струму збудження (рис. 30):

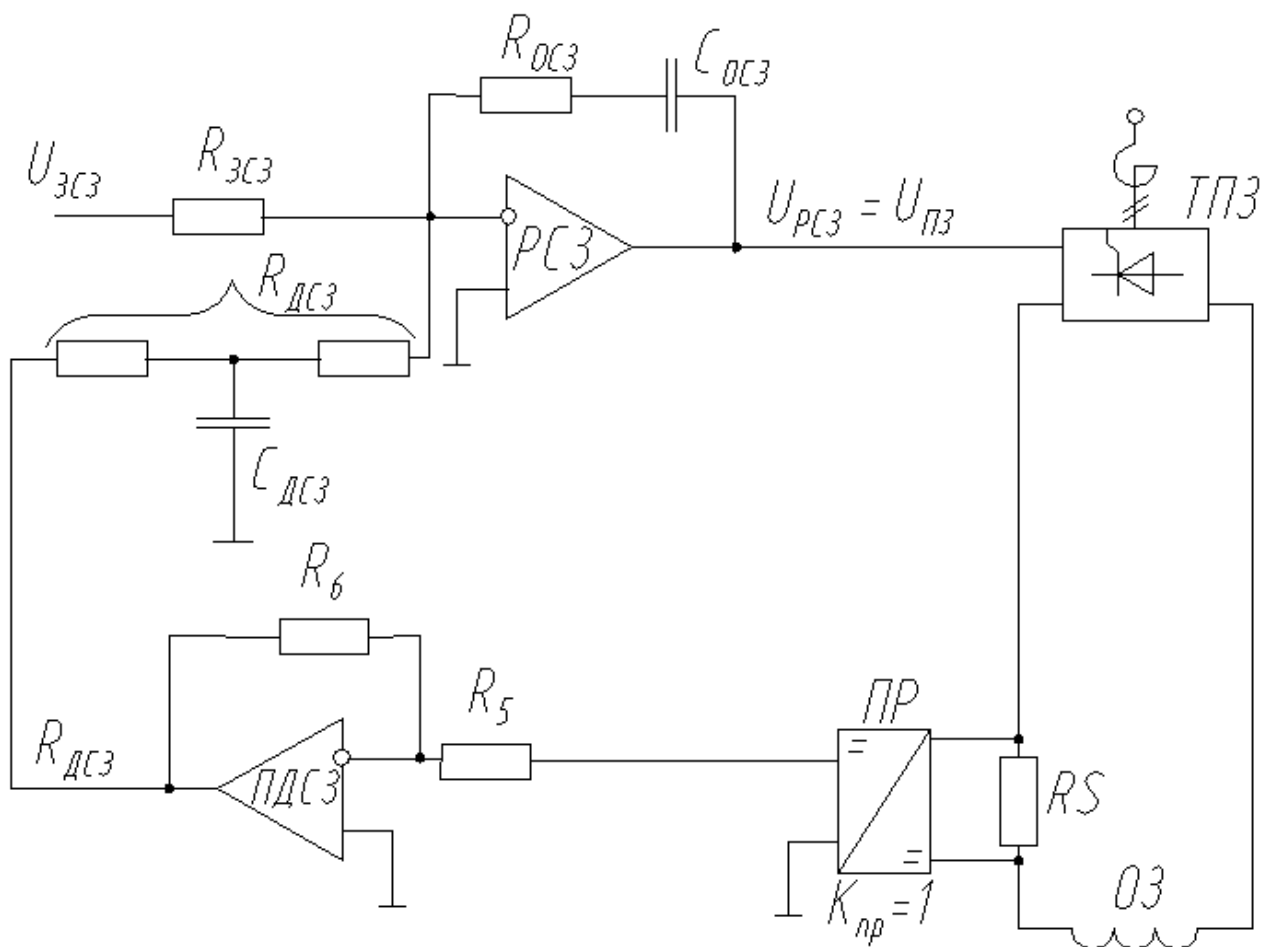


Рисунок 3.8 – Принципова схема регулятора струму збудження

Коефіцієнт тиристорного перетворювача ланцюга збудження становить:

$$k_{\text{ТПЗ}(I_{3\text{H}})} = \frac{\pi \cdot E_{\text{d03}}}{4 \cdot U_{\text{оп}}} \cdot \sin \alpha_{\text{H}} = \frac{3,14 \cdot 342}{4 \cdot 10} \cdot 0,904 = 24,3$$

де  $E_{\text{d03}} = k_{\text{сх}} \cdot U_{\text{л}} = 0,9 \cdot 380 = 342 \text{ В}$ ,

$$\cos \alpha_{\text{H}} = \frac{4 \cdot U_{3\text{H}}}{E_{\text{d03}}} - 3 = \frac{4 \cdot 220}{342} - 3 = -0,427,$$

$$\sin \alpha_{\text{H}} = \sqrt{1 - \cos^2} = \sqrt{1 - (-0,427)^2} = 0,904.$$

Коефіцієнт регулятора струму збудження визначено таким чином:

$$k_{\text{рсз}} = \frac{T_{3\Sigma} R_3}{2T_{\mu\text{з}} k_{\text{ТПЗ}} k_{\text{дсз}}} = \frac{0,152 \cdot 166,16}{2 \cdot 0,01 \cdot 24,3 \cdot 3} = 17,32$$

де  $T_{3\Sigma} = T_3 + T_{\text{вс}} = 0,138 + 0,014 = 0,152 \text{ сек}$ .

Прийнято  $C_{\text{дсз}} = 10 \text{ мкФ}$ .

$$R_{\text{дсз}} = \frac{4 \cdot T_{\text{вс}}}{C_{\text{дсз}}} = \frac{4 \cdot 0,014}{10 \cdot 10^{-6}} = 5,6 \text{ кОм}$$

$$k_{\text{рсз}} = \frac{R_{\text{осз}}}{R_{\text{дсз}}} \Rightarrow R_{\text{осз}} = k_{\text{рсз}} \cdot R_{\text{дсз}} = 17,32 \cdot 5,6 \cdot 10^3 = 97 \text{ кОм}$$

В усталеному режимі  $U_{3\text{сз}} = U_{\text{дсз}}$ , звідси  $\frac{U_{\text{п}}}{R_{3\text{сз}}} = \frac{U_{\text{дсзН}}}{R_{\text{дсз}}} \Rightarrow$

$$R_{3\text{сз}} = R_{\text{дсз}} \cdot \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{дсзН}}} = 5,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{15}{4} = 21 \text{ кОм}$$

Коефіцієнт підсилення датчика струму збудження становить:

$$k_{\text{дсз}} = k_{\text{шз}} \cdot k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{пдсз}},$$

$$k_{\text{пр}} = 1, \text{ тоді } k_{\text{пдсз}} = \frac{k_{\text{дсз}}}{k_{\text{шз}}} = \frac{3}{0,015} = 200.$$

$$k_{\text{пдсз}} = \frac{R_5}{R_6}, \text{ приймаємо } R_5 = 5 \text{ кОм, тоді}$$

$$R_6 = R_5 \cdot k_{\text{пдсз}} = 5 \cdot 10^3 \cdot 200 = 1000 \text{ кОм.}$$

Отримали ПІ-регулятор струму збудження. Оскільки  $T_{3\Sigma} = T_{\text{вс}} + T_3 \gg T_\mu$ , то можна використати більш простіший П-регулятор :

$$W_{\text{рсз}}(p) = k_{\text{рсз}} = \frac{R_3 T_{3\Sigma}}{2T_{\mu 3} k_{\text{тпз}} k_{\text{дсз}}}.$$

### 3.8. Розрахунок механічних (швидкісних) характеристик і їх статизму у замкненій та розімкненій системах електропривода

Механічні характеристики двигуна постійного струму лінійні, тому їх побудова проведена за двома точками, які відповідають режимам холостого ходу та номінального навантаження .

При розрахунку механічних характеристик ураховано:

$$\Omega = \Omega_0 - \Delta\Omega,$$

де  $\Omega_0 = \frac{U_H}{C_e \cdot \Phi_H} = \frac{220}{103,18 \cdot 1,216 \cdot 10^{-2}} = 175,3 \text{ рад/с}$ , – кутова швидкість ідеального холостого ходу.

Падіння швидкості при номінальному навантаженні на природній характеристиці становить:

$$\Delta\Omega^{\text{пх}} = \frac{I_H \cdot R_a}{C_e \cdot \Phi_H} = \frac{18 \cdot 1,168}{103,18 \cdot 1,216 \cdot 10^{-2}} = 16,7 \text{ рад/с},$$

Падіння швидкості при номінальному навантаженні у розімкненій системі становить:

$$\Delta\Omega^{\text{рс}} = \frac{I_H \cdot R_e}{C_e \cdot \Phi_H} = \frac{18 \cdot 1,596}{103,18 \cdot 1,216 \cdot 10^{-2}} = 23 \text{ рад/с},$$

Падіння швидкості при номінальному навантаженні у замкненій системі становить:

$$\Delta\Omega^{3c} = \Delta\Omega^{pc} \cdot \frac{2 \cdot T_{\mu e}}{T_M} = 23 \cdot \frac{2 \cdot 0,04}{0,0952} = 19,3 \text{ рад/с.}$$

Механічні характеристики наведені на рис. 3.9.

Статизм природної характеристики становить:

$$S_{\text{пх}} = 100 \cdot \frac{\Delta\Omega_{\text{пх}}}{\Omega_0} = 100 \cdot \frac{16,7}{175,3} = 9,5 \text{ \%}.$$

Статизм характеристики розімкненої системи визначено таким чином:

$$S_{\text{pc}} = 100 \cdot \frac{\Delta\Omega_{\text{pc}}}{\Omega_0} = 100 \cdot \frac{23}{175,3} = 13,1 \text{ \%}.$$

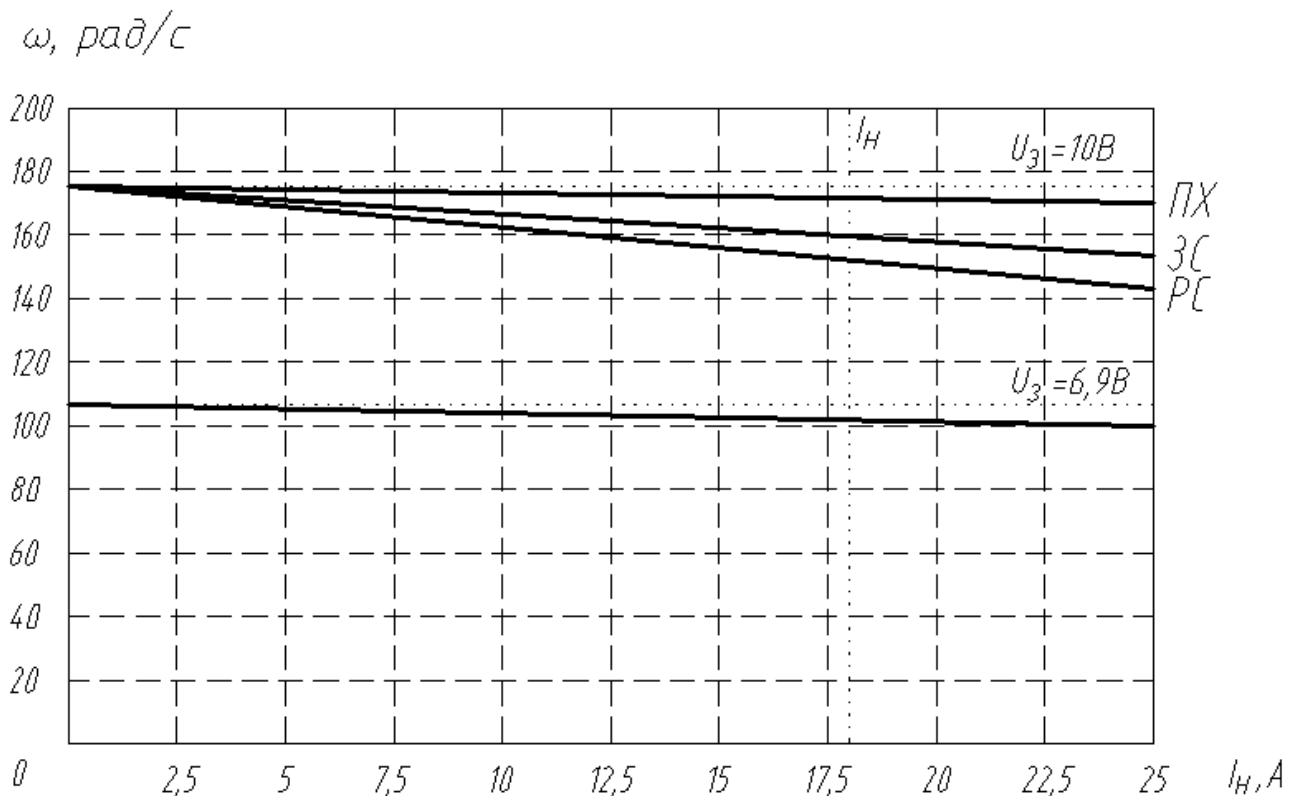


Рисунок 3.9 - Механічні характеристики замкненої та розімкненої систем електропривода

Статизм характеристики замкненої системи становить:

$$S_{3c} = 100 \cdot \frac{\Delta\Omega_{3c}}{\Omega_0} = 100 \cdot \frac{19,3}{175,3} = 11\%.$$

Напруга завдання на швидкість холостого ходу  $\Omega_0$  визначена так:

$$U_{3ш1} = \Omega_0 \cdot k_{дн} \cdot C_e \cdot \Phi_H = 175,3 \cdot 0,045 \cdot 103,18 \cdot 1,216 \cdot 10^{-2} = 10 \text{ В.}$$

Напруга завдання на швидкість холостого ходу  $\Omega = 0,7 \cdot \Omega_0$  на штучній механічній характеристиці при зниженій напрузі становить:

$$U_{3ш2} = 0,7 \cdot \Omega_0 \cdot k_{дн} \cdot C_e \cdot \Phi_H = 0,7 \cdot 175,3 \cdot 0,045 \cdot 103,18 \cdot 1,216 \cdot 10^{-2} = 6,93 \text{ В.}$$

Визначено діапазон регулювання швидкості [29].

Природна механічна характеристика:

$$D^{пх} = \frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} = \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega^{пх}} = \frac{175,3}{16,7} = 10,5;$$

розімкнена система:

$$D^{pc} = \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega^{pc}} = \frac{175,3}{23} = 7,6;$$

замкнена система:

$$D^{3c} = \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega^{3c}} = \frac{175,3}{19,3} = 9.$$

Висновок: Із отриманих графіків механічних характеристик видно, що жорсткою є природна характеристика; характеристика розімкненої системи більш м'яка, а характеристика замкненої системи – ще м'якша.

Причиною того, що жорсткість природної характеристики більша ніж жорсткість характеристики розімкненої системи є те, що величина активного опору у цій системі менше, відповідно, жорсткість більша.

Найбільша величина статизму відповідає розімкненій системі, тобто, вона володіє найменшою швидкодією.

Велика м'якість механічної характеристики - це недолік замкненої системи. Однак, система налагоджена на модульний оптимум і перехідні процеси будуть проходити з малим (4,3 %) перерегулюванням та достатньо високою (8,4Тμ) швидкодією.

### **3.9. Розрахунок величини динамічного падіння швидкості двигуна при набросі моменту навантаження**

На рис. 3.10 наведено залежність зміни падіння швидкості  $\Delta\Omega$  у функції часу  $t$ . Вона отримана перерахунком кривої зміни відносного падіння швидкості  $\delta v = \Delta\Omega/\Delta\Omega_{\text{In}}^{3C}$  у функції відносного часу  $\tau = t/T_{\mu c}$ .

Побудована крива зміни швидкості у абсолютних величинах  $\Delta\Omega = f(t)$ , де  $\Delta\Omega = \delta v \cdot \Delta\Omega_{\text{сн}}$ ,  $t = \tau \cdot T_{\mu c}$ . Параметри перехідного процесу відповідають налагодженню контуру на модульний оптимум.

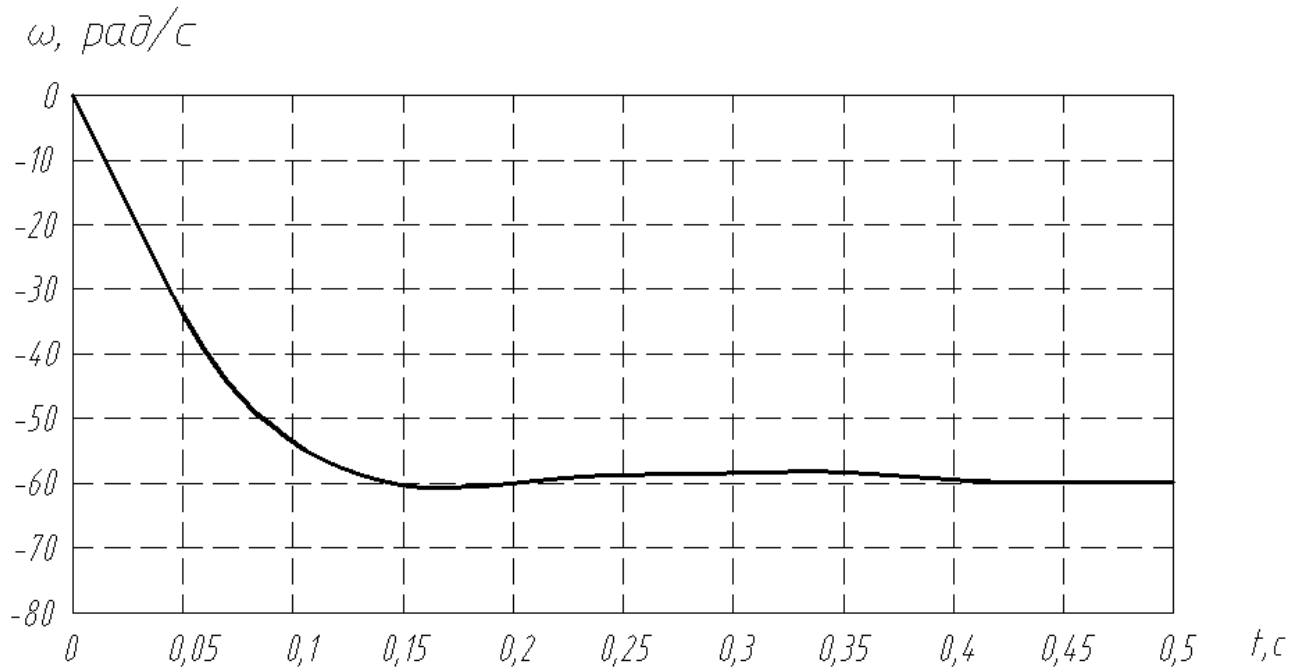


Рисунок 3.10 - Графік зміни падіння швидкості у функції часу

Видно, що перехідний процес проходить із перерегулюванням 4,3% та швидкодією 8,4Тм .

### 3.10. Оцінка впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС на процеси, що проходять у контурі струму

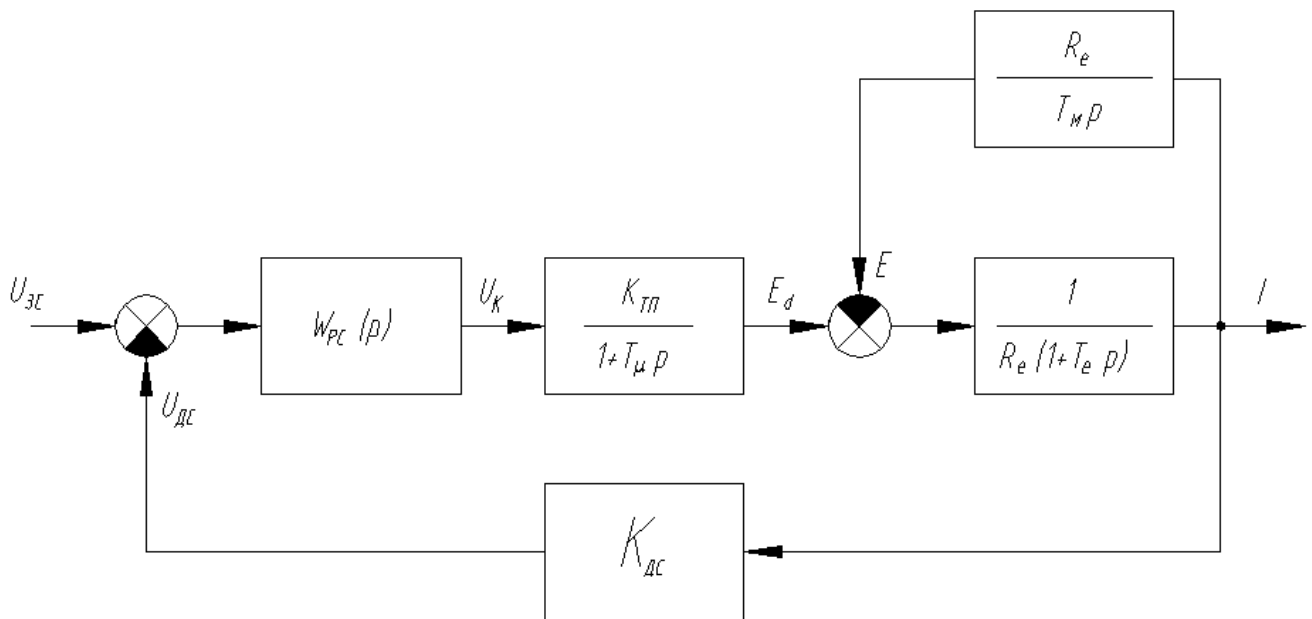


Рисунок 3.11 - Структурна схема контуру регулювання струму якоря з урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС

Для такої структури:

$$W'_{\text{ял}}(p) = \frac{I(p)}{E_d(p)} = \frac{W_{\text{пк}}(p)}{1 + W^p(p)} = \frac{\frac{1}{R_e(T_e p + 1)}}{1 + \frac{1}{R_e(T_e p + 1)} \cdot \frac{R_e}{T_m p}} = \frac{T_m p}{R_e(1 + T_m p + T_m T_e p^2)}.$$

Передавальній функції ланки якірного ланцюга у даному випадку притаманні диференційні властивості. При цьому компенсуються інтегральні властивості регулятора.

Передавальна функція розімкненого контуру струму, із урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС, записана, як:

$$\begin{aligned} W_{\text{кc}}^{p'}(p) &= \frac{T_e R_e}{2T_\mu k_{\text{дc}} k_{\text{тп}}} \cdot \frac{T_e p + 1}{T_e p} \cdot \frac{k_{\text{тп}}}{T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{R_e} \cdot \frac{T_m p}{1 + T_m p + T_e T_m p^2} \cdot k_{\text{дc}} = \\ &= \frac{T_m (T_e p + 1)}{2T_\mu (T_\mu p + 1) \cdot (1 + T_m p + T_e T_m p^2)}. \end{aligned}$$

Передавальна функція замкненого контуру струму, із урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС, записана, як:

$$\begin{aligned} W_{\text{кc}}^{3'}(p) &= \frac{\frac{T_m}{2T_\mu k_{\text{дc}}} \cdot \frac{T_e p + 1}{(T_\mu p + 1)(1 + T_m p + T_e T_m p^2)}}{1 + \frac{T_m}{2T_\mu} \cdot \frac{T_e p + 1}{(T_\mu p + 1)(1 + T_m p + T_e T_m p^2)}} = \\ &= \frac{\frac{T_m}{k_{\text{дc}}} (T_e p + 1)}{2T_\mu (T_\mu p + 1)(1 + T_m p + T_e T_m p^2) + T_m (T_e p + 1)}. \end{aligned}$$

В усталеному режимі:  $U_{\text{зс}} \lim_{p \rightarrow 0} W_{\text{кc}}^{3'}(p) = I_{\text{уст}}$ .

У контурі струму без урахування дії внутрішнього зворотного зв'язку за

$$\text{ЕРС: } I_{\text{уст}} = U_{\text{зс}} \lim_{p \rightarrow 0} W_{\text{кс}}^{3'}(p) = U_{\text{зс}} \frac{1}{\frac{k_{\text{дс}}}{2 \cdot T_{\mu}} + 1},$$

тоді

$$I_{\text{уст}} = \frac{I_3}{\frac{2 \cdot T_{\mu}}{T_M} + 1} = \frac{I_3}{\frac{2 \cdot 0,01}{0,0952} + 1} = 0,83 \cdot I_3.$$

Таким чином, контур струму в перехідному режимі ( $\Delta E \neq 0$ ) стає статичним, у ньому з'являється похибка, яка тим більша, чим більша постійна часу  $T_{\mu}$ .

Ще одним проявом впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС є поява перерегулювання у контурі струму під час перехідних процесів пуску та гальмування. Величина перерегулювання збільшується по відношенню до сталого, а не до заданого значення струму.

Для компенсації дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС часто застосовують більш складніші регулятори, наприклад  $(\text{П})^2$  – типу.

### 3.11. Розрахунок і побудова динамічних характеристик електропривода

Одним із варіантів визначення запасу стійкості системи автоматичного керування приводом обертання патронів є побудова логарифмічних амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик, за якими графічно визначається запас стійкості за амплітудою  $\Delta L$  та за фазою  $\Delta \psi$ .

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика системи описується рівнянням :

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|.$$

Логарифмічна фазочастотна характеристика системи має вигляд [12]:

$$\varphi(\omega) = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(W(j\omega)).$$

Для побудови логарифмічних характеристик використаний математичний пакет MathCAD.

Передавальна функція розімкненого контуру струму має вигляд:

$$W_{\text{КС}}^{\text{P}}(p) = W_{\text{РС}}(p) \frac{k_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{ДС}}}{(1 + T_{\mu} \cdot p) \cdot R_e \cdot (T_e \cdot p + 1)}.$$

Передавальна функція розімкненого контуру струму з урахуванням впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС має вигляд:

$$W_{\text{КС}}^{\text{P}'} = W_{\text{РС}}(p) \cdot \frac{k_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{ДС}} \cdot T_{\text{М}} p}{R_e (T_{\mu} p + 1) (1 + T_{\text{М}} p + T_e T_{\text{М}} p^2)}.$$

Передавальна функція розімкненого контуру ЕРС записана у вигляді:

$$W_{\text{КЕ}}^{\text{P}}(p) = W_{\text{РЕ}}(p) \cdot \frac{k_{\text{ДС}} T_{\text{М}}}{2T_{\mu e} k_{\text{ДН}} R_e}.$$

Логарифмічні амплітудно-частотні характеристики розімкнених контурів системи наведені на рис. 3.12-3.17.

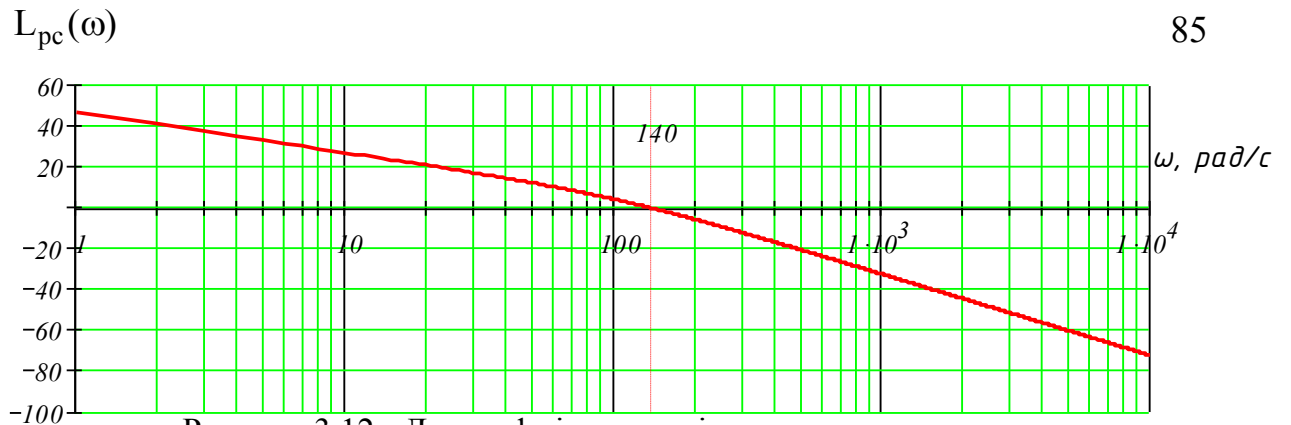


Рисунок 3.12 - Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика контуру струму



Рисунок 3.13 - Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика контуру струму з врахуванням 33



Рисунок 3.14 - Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика контуру ЕРС

Побудовані логарифмічні фазочастотні характеристики розімкнених контурів системи наведені на мал. 37-39.

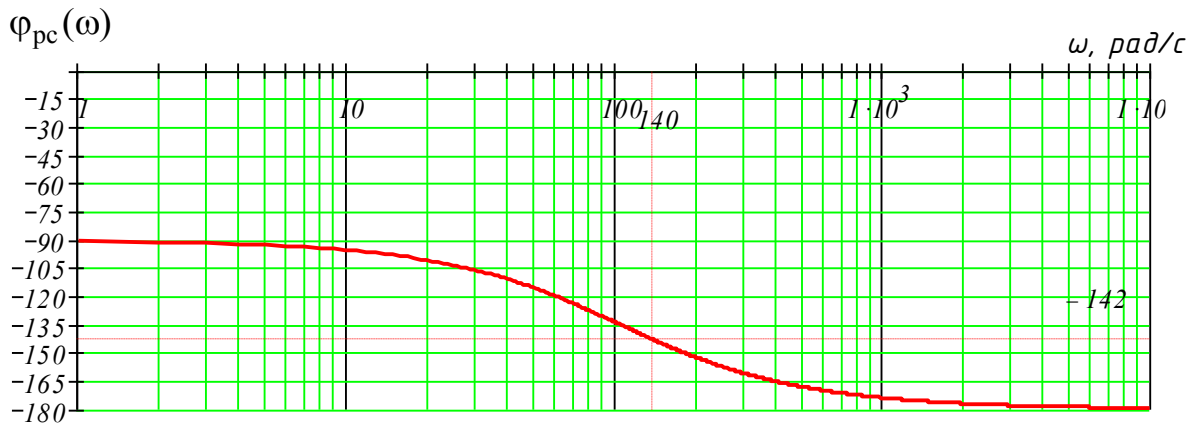


Рисунок 3.15 - Логарифмічна фазочастотна характеристика контуру струму



Рисунок 3.16 - Логарифмічна фазочастотна характеристика контуру струму з



Рисунок 3.17 - Логарифмічна фазочастотна характеристика контуру ЕРС

Як видно з побудованих характеристик для кожного контуру запас за амплітудою та фазою становить :

- розімкнений контур струму:  $\Delta L(\omega) = |L(\omega_{-180})| = \infty$ ;  $(\varphi(\omega_{-180}) = -180^\circ)$ ;  $\Delta\psi(\omega) = |-180^\circ - \varphi(\omega_c)| = |-180^\circ - (-142^\circ)| = 38^\circ$ ;
- розімкнений контур струму з урахуванням ЗЗ за ЕРС:

$$\Delta L(\omega) = |L(\omega_{-180})| = \infty; \quad (\varphi(\omega_{-180}) = -180^\circ);$$

$$\Delta\psi(\omega) = |-180^\circ - \varphi(\omega_c)| = |-180^\circ - (-111^\circ)| = 69^\circ;$$

– розімкнений контур швидкості:

$$\Delta L(\omega) = |L(\omega_{-180})| = \infty; \quad (\varphi(\omega_{-180}) = -180^\circ);$$

$$\Delta\psi(\omega) = |-180^\circ - \varphi(\omega_c)| = |-180^\circ - (-115^\circ)| = 65^\circ;$$

### 3.12. Дослідження динамічних процесів у контурі струму якоря та ЕРС на цифровій моделі

Для цифрового моделювання прийнято:

Швидкість холостого ходу:

$$\Omega_{02} = 0,7 \cdot \Omega_0 = 0,7 \cdot 175,3 = 122,7 \text{ рад/с.}$$

Сигнал завдання на швидкість холостого ходу:

$$U_{\text{ХХ}}^3 = 0,7 \cdot \Omega_0 \cdot k_{\text{ДН}} \cdot C_e \cdot \Phi_{\text{Н}} = 0,7 \cdot 175,3 \cdot 0,045 \cdot 103,18 \cdot 1,216 \cdot 10^{-2} = 6,93 \text{ В.}$$

Динамічний струм:  $I_{\text{Дин}} = 0,5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ А.}$

Статичний струм:  $I_{\text{Ст}} = 0,9 \cdot I_{\text{НОМ}} = 0,9 \cdot 18 = 16,2 \text{ А.}$

У ході розроблення САК обертання патронів виконано налагодження контуру струму. Параметри структурної схеми електропривода наведено у таблиці 3.1, а параметри навантажувальної діаграми у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1

Параметри структурної схеми електропривода

Електромагнітна постійна часу ланцюга ТП-Д, с	0,016
Некомпенсована постійна часу якорного ланцюга, с	0,01
Опір ланцюга ТП-Д, Ом	1,71
Коефіцієнт підсилення регулятора струму	0,0559
Коефіцієнт передачі вентильного перетворювача	84,5
Коефіцієнт передачі датчика струму якоря	0,27

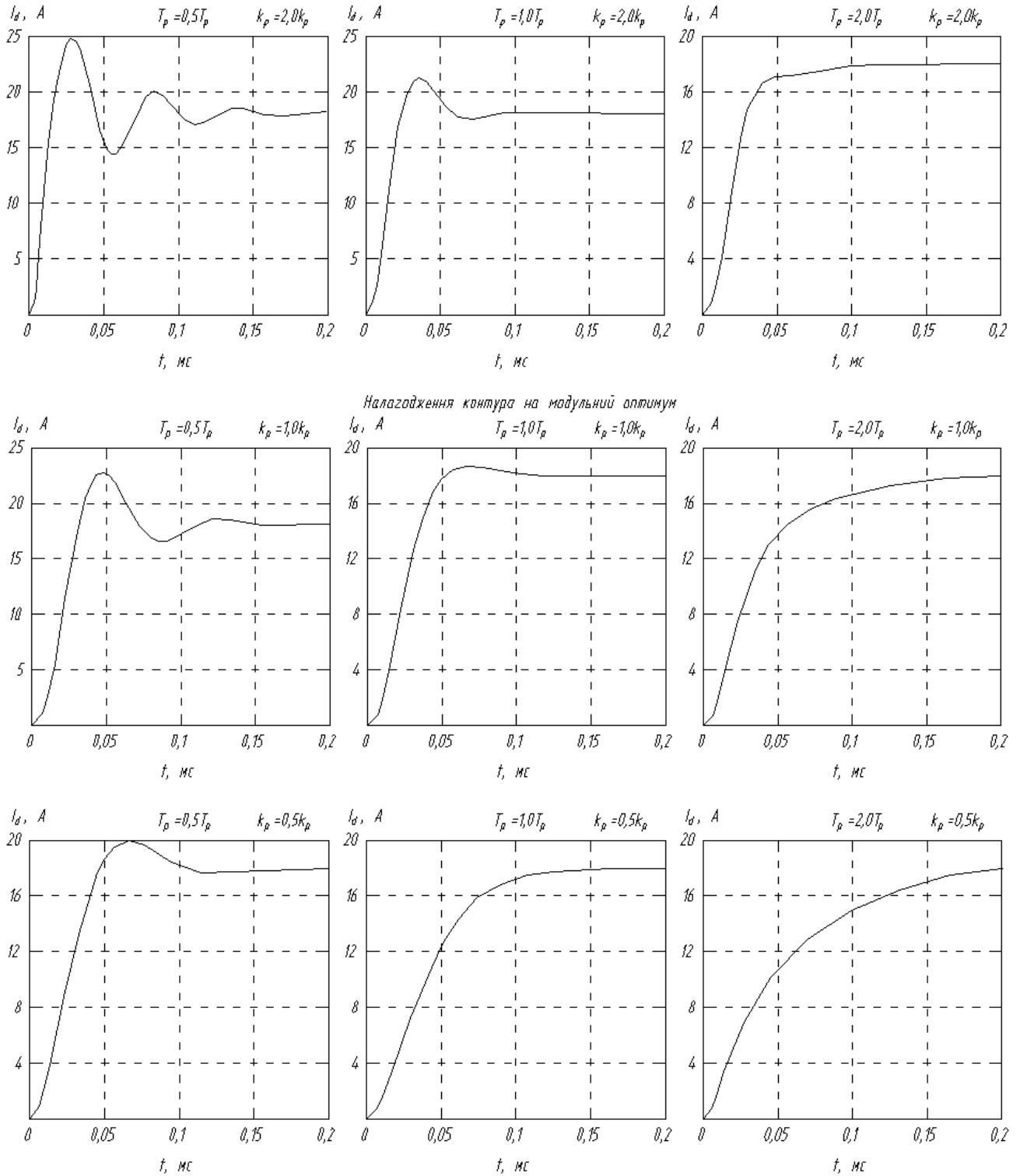


Рисунок 3.18 - Графіки перехідних процесів при налагодженні контуру струму.

Параметри навантажувальної діаграми

Тривалість, с	Сигнал завдання на струм, В
0,2	5
0	-5

На рис. 3.19 наведено графіки перехідних процесів при налагодженні контуру струму. Графіки розташовані зліва направо по зростанню постійної часу регулятора  $T_{I3}$ , і зверху вниз по зменшенню коефіцієнта передачі регулятора  $K_r$ . На центральному графіку – перехідний процес при налагодженні системи на модульний оптимум. Як видно із графіків, при збільшенні постійної часу регулятора зменшується коливальність перехідного процесу, а при зменшенні коефіцієнта передачі регулятора - зменшується перерегулювання.

Оптимальний перехідний процес спостерігається в системі, налагодженій на модульний оптимум. Його параметри: тривалість процесу  $t=8,4T_{\mu}$ , перерегулювання  $\delta=4,3\%$ .

На рис. 3.18 наведено графіки перехідних процесів у контурі струму. Як видно із графіків, процеси носять аперіодичний характер, струм досягає максимального рівня відповідно до сигналу завдання із перерегулюванням приблизно  $\delta=4\%$ . Причому при реверсі абсолютна величина перерегулювання більша в 2 рази ніж при пуску, оскільки більше фактичне завдання на струм (при пуску фактичне завдання з 0 на  $I_{CT}$ , а при реверсі з  $I_{CT}$  на  $-I_{CT}$ , тобто  $2I_{CT}$  – у 2 рази більше).

У ході розроблення САК обертання патронів виконано налагодження контуру ЕРС. Параметри структурної схеми електропривода наведено у таблиці 3.3, а параметри навантажувальної діаграми у таблиці 3.4.

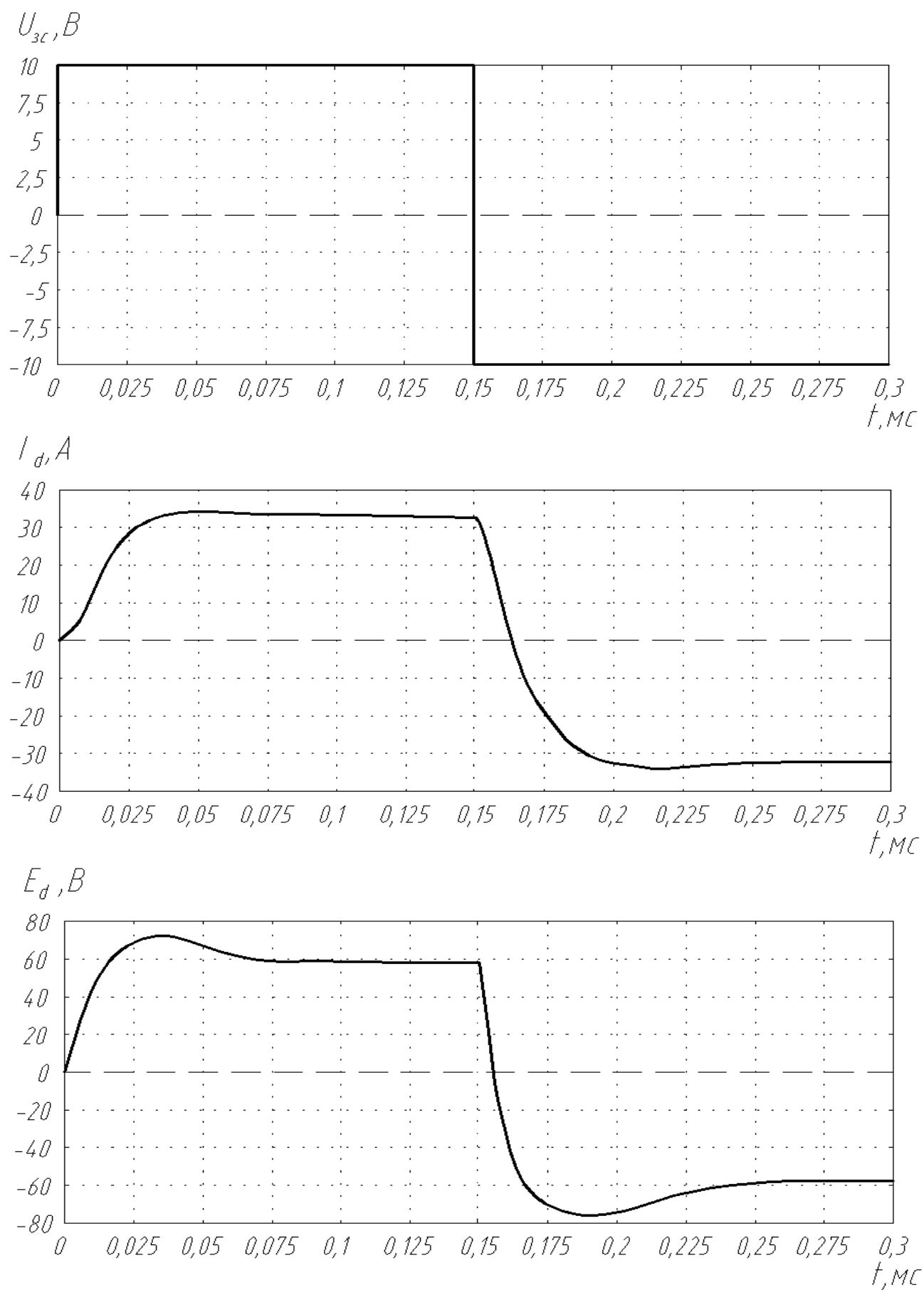


Рисунок 3.19 - Графіки дослідження контуру струму

## Параметри структурної схеми електропривода

Електромагнітна постійна часу ланцюга ТП-Д, с	0,0116
Некомпенсована постійна часу якірного ланцюга, с	0,01
Електромеханічна постійна часу, с	0,0952
Опір ланцюга ТП-Д, Ом	1,596
Коефіцієнт ЕРС і моменту ДПС, В·с/рад.	1,255
Коефіцієнт передачі вентильного перетворювача	84,5
Коефіцієнт передачі датчика струму якоря	0,27
Коефіцієнт передачі датчика напруги	0,045
Постійна часу датчика ЕРС, с	0,02
Динамічний струм, А	9
Номінальна ЕРС електродвигуна, В	197
Напруга відсікання регуляторів, В	10

## Параметри навантажувальної діаграми

Таблиця 8.

Тривалість, с	Сигнал завдання на струм, В	Статичний струм, А
1	10	0
1	10	16,2
2,5	-7	16,2
1	-7	0
0,1	0	0

а) П-регулятор ЕРС

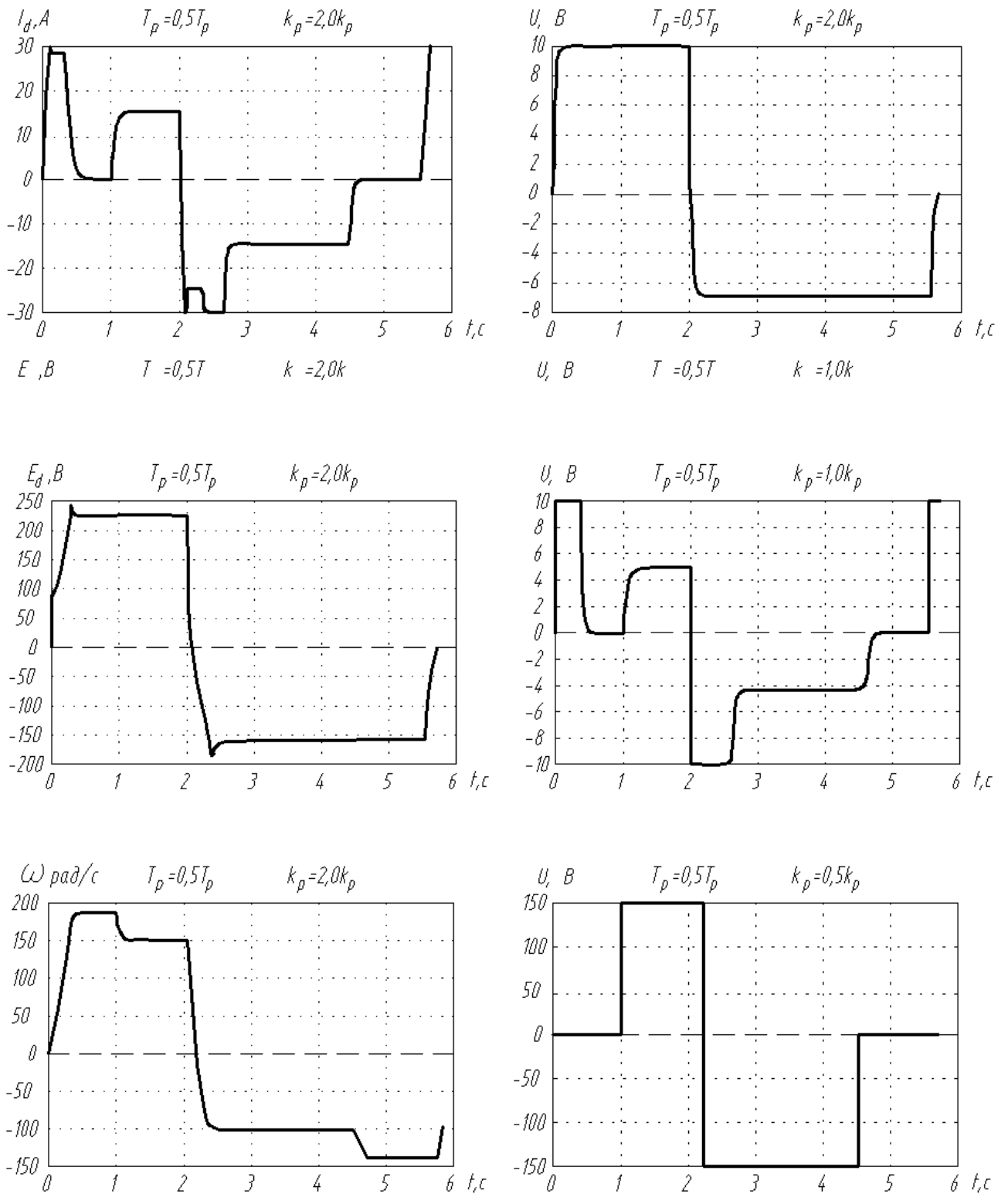


Рисунок 3.20 - Осцилограми перехідних процесів у контурі ЕРС

На рис. 3.20 наведено осцилограми струму та швидкості двигуна.

При розгоні на холостому ході без задатчика інтенсивності по якорю двигуна протікає значний динамічний струм, відбувається розгін двигуна. Коли двигун виходить на усталену швидкість, струм у якорі знижується практично до нуля, оскільки розгін закінчено і динамічний струм уже дорівнює нулю, а момент навантаження ще не наброшений і статичний струм ще дорівнює нулю. При набросі моменту навантаження по якорю двигуна починає протікати статичний струм, а швидкість двигуна зменшується на деяку величину  $\Delta\Omega$ , що відповідає падінню швидкості при даному навантаженні. Це показує, що система статична за збуренням. Під час реверсу струм у двигуні збільшується за рахунок стрибка динамічного струму і одночасно змінює свій напрямок. Коли перехідний процес реверсу закінчується, струм у двигуні знижується до статичного значення, а при знятті навантаження – зменшується до нуля. В останньому випадку швидкість двигуна збільшується на величину падіння швидкості при набросі навантаження  $\Delta\Omega$ . Далі проходить процес гальмування на холостому ході. При цьому швидкість двигуна зменшується до нуля, а в якорі двигуна виникає динамічний струм, що забезпечує перехідний процес гальмування.

#### б) П-регулятор ЕРС та задатчик інтенсивності

Задатчик інтенсивності не здійснює впливу у статичних режимах і починає працювати тільки в динамічних режимах.

У системі із задатчиком інтенсивності графіки перехідного процесу якісно мають такий же вигляд, але більше розтягнуті у часі (рис. 43). Це відбувається тому, що задатчик інтенсивності у динамічних режимах роботи дозволяє обмежити динамічний струм на заданому рівні. При цьому забезпечується обмеження на відповідному рівні прискорення двигуна, а значить і заданої швидкості перехідного процесу.

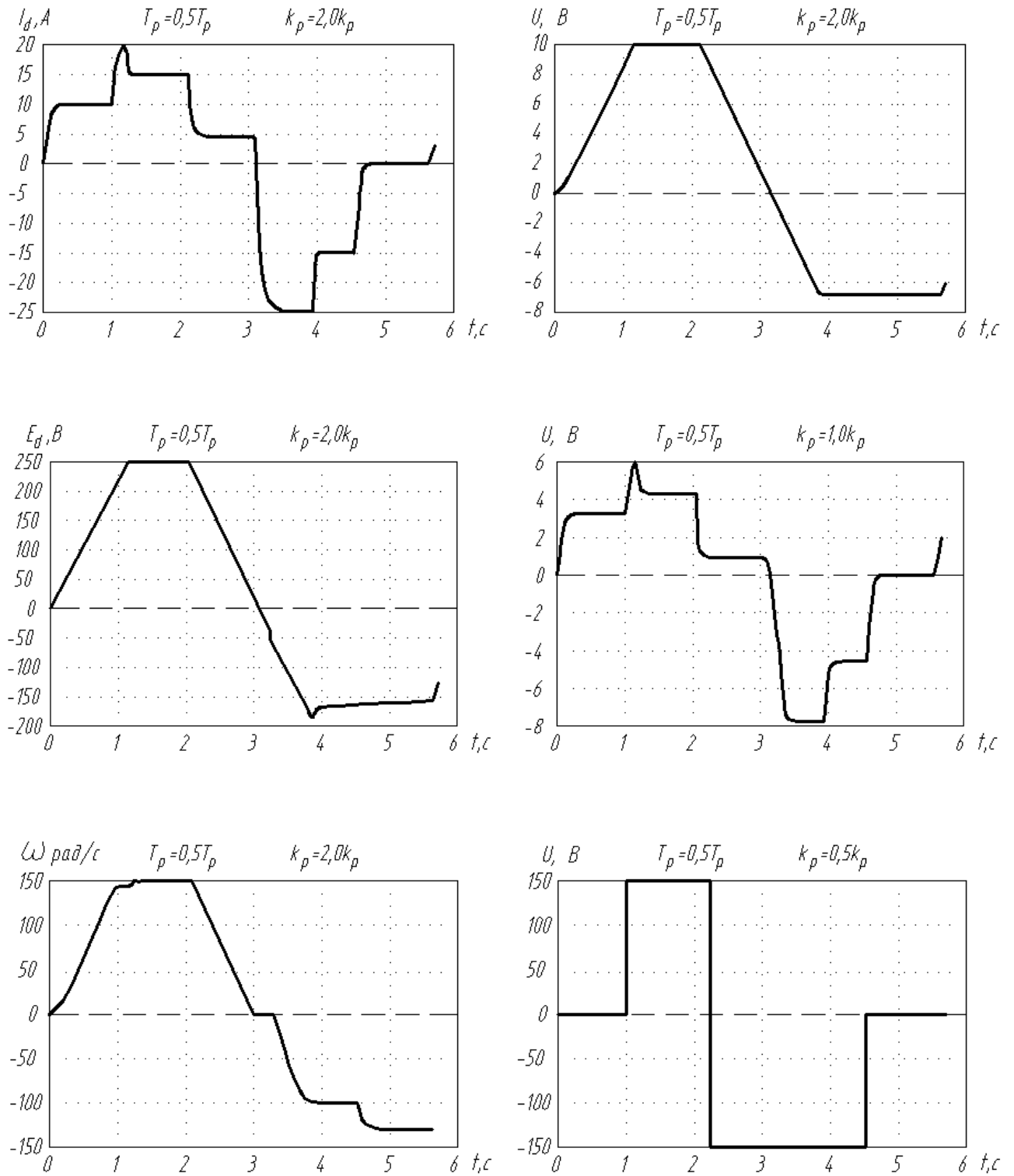


Рисунок 3.21 - Осцилограми перехідних процесів у контурі ЕРС із задатчиком інтенсивності

### 3.13. Висновок за розділом

Розроблено систему однозонного тиристорного електропривода постійного струму із зворотнім зв'язком за ЕРС і стабілізацією струму збудження. Відповідно обрано тип комплектного тиристорного електропривода (ЕП), розроблена функціональна схема ЕП, вибрано основне обладнання ЕП (тиристорний агрегат, тиристорний збуджувач, шунти, задатчик швидкості). Розраховано запас за напругою тиристорного перетворювача, оптимізовані контури струму якоря, струму збудження і ЕРС системи та розраховані параметри регуляторів. Виконано розрахунок механічних характеристик і динамічного падіння швидкості двигуна при набросі моменту навантаження.

Результати проведених розрахунків підтверджені за допомогою цифрового моделювання осцилограмами перехідних процесів.

Розроблена система ЕП є двоконтурною системою з підпорядкованим регулюванням параметрів: внутрішній контур струму якоря із ПІ – регулятором струму, а зовнішній контур ЕРС із ПІ – регулятором і датчиком напруги. Система є астатичною за завданням і статичною за збуренням. Статичне падіння швидкості в системі досить суттєве і механічні характеристики системи м'які, що характерно для систем із зворотним зв'язком за ЕРС з датчиком напруги. Характер перехідних процесів відповідає критеріям модульного оптимуму. Розроблена принципова електрична схема і схема зовнішніх з'єднань.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи отримані такі результати:

1. Проведена оптимізація параметрів системи автоматичного керування, що підвищує ефективність роботи пересувної дизельної електростанції. Впровадження запропонованих рішень дозволяє зменшити витрати пального, мінімізувати знос обладнання та підвищує стабільність генерації енергії.

2. Автоматичне регулювання навантаження є ключовим фактором для досягнення оптимального балансу між споживаною та виробленою енергією. Вдосконалення алгоритмів керування дозволяє системі адаптуватися до змінних умов, таких як коливання в навантаженні, що забезпечує економію ресурсів та підтримку стабільних параметрів генерації.

3. Оптимізація налаштування параметрів системи автоматичного керування дозволяє знизити ризики аварій та підвищити надійність експлуатації дизельної електростанції.

4. Оптимізація параметрів не лише підвищує ефективність, але й забезпечує екологічну безпеку експлуатації дизельних електростанцій, що дозволяє зменшити витрати пального та оптимально використовувати ресурси, допомагає знизити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

5. Модернізація системи автоматичного керування через впровадження автоматичних засобів регулювання дозволяє забезпечити довгострокову стабільність і економічну ефективність експлуатації пересувних дизельних електростанцій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
2. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко /КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.
3. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/ Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. 250 с.
4. Костишин, В. С. Електрична частина станцій та підстанцій: навч. посіб./ В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. - 243 с.
5. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) /В.М. Гаряжа, А.О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. –Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. –149 с.
6. Методи оптимізації та дослідження операцій: навчальний посібник / Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.
7. Електрична частина станцій та підстанцій: лабораторний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю.П. Матеєнко, П.Л. Денисюк, Г.М. Гаєвська, Р.В. Вожаков – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 179 с.
8. Електрична частина станцій та підстанцій. Виконання курсового проекту Навчальний посібник для студентів спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»/уклад.: П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко, Р.В. Вожаков Є.І. Бардик / К. КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021 р. 71 с.

9. MCDONALD, John D. Electric power substations engineering. CRC press, 2016.

10. DRBAL, Larry; WESTRA, Kayla; BOSTON, Pat (ed.). Power plant engineering. Springer Science & Business Media, 2012.

11. Букович Н. В. Розрахунок струмів короткого замикання електроенергетичних систем. – Львів: Вища школа, 1988. – 248 с.

12. Мельник В.П. Математичні моделі і методи аналізу режимів електроенергетичних систем. – К., 2005. – 608 с.

13. Панченко С.В., Медиченко М.П., Лисечко В.П. Методи оптимізації та моделювання: Навч. посібник / – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Ч.1. – 128 с.

14. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни "Управління режимами електростанцій" для студентів напряму підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" спеціальності "Електричні станції"/ Укл. О.Г. Філатов – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 40с.

15. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. - Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.

16. Електронний ресурс: <https://generator.ua/content/104-dizelnyj-generator>

17. Yandulskyy A. Modeling System ACFP PS of Ukraine in the regulation of flow / A. Yandulskyy, A. Stelyuk, Y. Bondarenko // Technical electroynamics. The problems of modern electrical engineering: thematic issue. - 2002. – Part 7. - S. 76-79.

18. Compound excitation system for synchronous generators // Siemens AG Power Generation. – Manual, 2004. – 11 p. – Available at: <https://www.siemens.com.tr/i/content/>

## ДОДАТКИ

## **1. TECHNOLOGICAL PART**

### **1.1 Purpose of the mobile power plant**

The PE6M mobile diesel power plant is designed to generate three-phase alternating current electricity of high voltage of industrial frequency and serves to supply electricity to newly built, operating enterprises and those that are expanding, as well as facilities that are de-energized in accordance with the power outage schedules associated with the aggression of the Russian Federation.

The power plant is designed to operate at an ambient temperature of 323K to 223K (from +50 °C to -50 °C).

In terms of design, the power plant is a four-axle railway car of a special design, which houses a 1100 kW alternating current diesel generator set with all auxiliary devices and equipment that ensure its normal operation.

Under standard conditions (temperature +40 °C, altitude 1000 m and humidity 98% at 25 °C), the power of the power plant is 1000 kW, which corresponds to the standard power range. At ambient air temperatures above 313K (+40 °C), the power of the power plant must decrease by 45 kW with each degree increase in temperature.

### **1.2 Characteristics of the power plant**

Type of power plant - mobile, diesel, three-phase alternating current.

Nominal power at the generator output terminals, kW 1100

Voltage, V 6300

Frequency, Hz 50

The power plant is mounted on two wagon platforms of the 18-100 brand.

Mass of the power plant in an unfueled state, t, not more than ... 74

Wheel diameter, mm 950

Water capacity, kg 800

Lubricant capacity, kg 900

Fuel capacity, kg 4080

Minimum radius of curves, m 100

Transportation speed m/s (km/h) 27.8 (100)

## **1.2 Composition and operation of the main units of the mobile power plant**

A 4-26DG diesel generator is used as a power plant, consisting of a 12CHN26/26 diesel engine and a SGS 1370-750UZ generator, interconnected by a semi-elastic coupling and mounted on a common diesel frame.

The diesel generator is mounted on two supports welded to the main frame of the diesel station symmetrically relative to the longitudinal axis, and is supported on them by its sub-diesel frame at six points: the sub-diesel frame has two points at the front and rear ends of the diesel engine and two points under the generator legs.

To reduce frame vibrations that occur during operation of the 4-26DG diesel generator, two anti-vibrators are installed on the diesel power plant.

The anti-vibrator consists of a cast-iron plate, springs placed above and below the plate. The anti-vibrators are installed on the frame ridge beam near the end doors (in the service room - under the floor shield, in the refrigeration chamber - under the fence sheet).

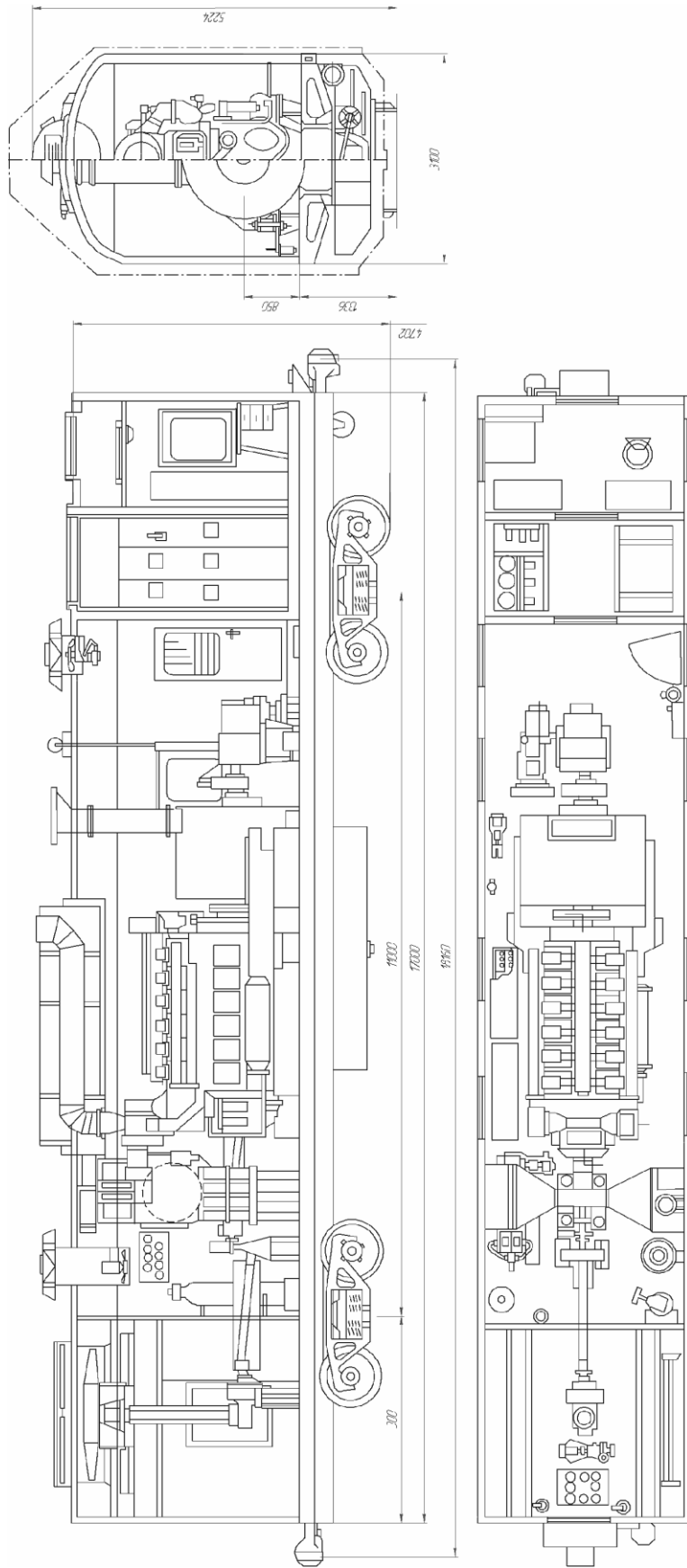
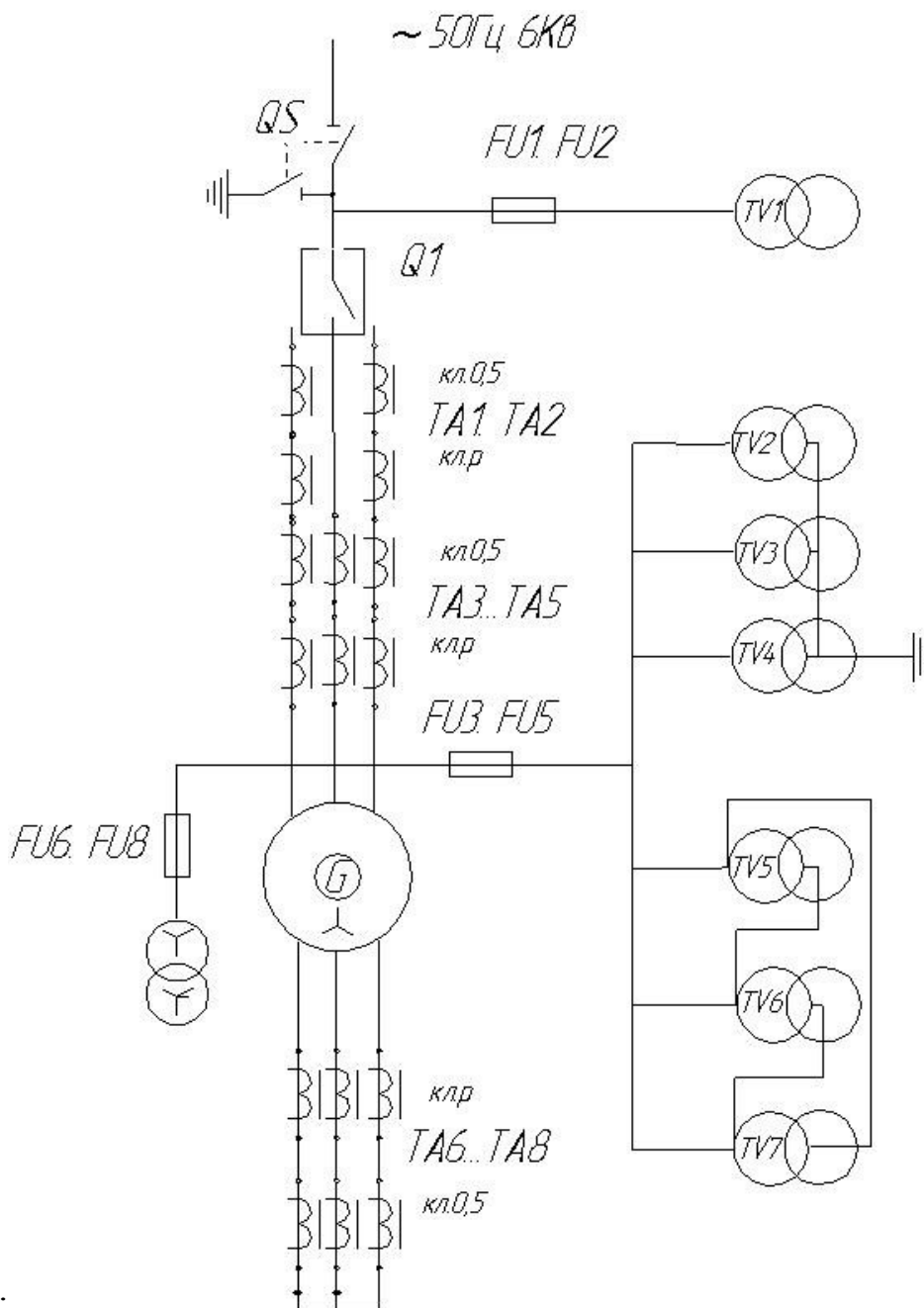


Figure 1.1 – General view of the mobile diesel power plant PE6M

### 1.3 Electrical equipment of the mobile power plant

Circuit of primary connections 6 kV. The circuit of primary connections consists of:

- the main circuit including the generator G (Fig. 1.2), the circuit breaker Q1, the disconnector QS and the current transformer TA1...TA2;
- the circuit of the transformer for own needs T1, containing fuses



FU1...FU5;

Figure 1.2 - Power circuit diagram of primary connections

- circuits of voltage measuring transformers TV1...TV7, protected by fuses FU1...FU5.

The generator G is connected to consumers via current transformers TA1...TA5, oil circuit breaker Q1, disconnector QS and high-voltage hose cable.

The oil circuit breaker Q1, which has a remote-controlled drive and is used to turn the generator on and off.

The disconnector QS provides disconnection of the station from the 6 kV network with a visible circuit break for inspection and repair of high-voltage equipment.

The disconnector has a locking electromagnetic lock YAB1, preventing erroneous operations, as well as grounding knives.

Current transformers TA1...TA8 serve for the own needs of the generator's control and measuring instruments, protection devices and automatic generator voltage regulator.

Transformer T1 is protected from short circuits in the 6 kV circuit by fuses FU6...FU8.

Voltage transformer TV1 is used for synchronization and measurement of the voltage and frequency of the external 6 kV circuit.

Transformers TV2...TV4 are designed to supply circuits of control and measuring instruments, protection and synchronization devices. The primary and secondary windings of transformers of this group are connected in a star.

Transformers TV5...TV7 are designed for el. supply of an automatic voltage regulator. The primary windings of transformers of this group are connected in a triangle.

Generator G has independent excitation from the exciter GE (Fig. 1.3). The excitation winding of the generator is connected to the exciter by means of field quenching Q2, consisting of control and discharge resistance R4. The control unit is designed to switch the excitation winding of the generator from the discharge resistance to the exciter and from the exciter to the discharge resistance.



Switching performed by the control unit occurs without breaking the excitation winding circuit, which protects the latter from overload and ensures the safety of the operating personnel.

The control unit consists of a KGvT excitation contactor, an intermediate relay RP and a KG protection trip coil.

The main contacts of the KGvT contactor are included in the generator excitation circuit. When the excitation is removed, the generator excitation winding is first closed to the discharge resistance, and then disconnected from the GE exciter.

The excitation contactor is equipped with an electromagnetic hook that holds it in the on position after the dying coil is de-energized.

Field extinction is controlled by the SA7 switch.

Generator voltage regulation can be carried out manually and by the AV automatic regulator.

When starting and stopping the station, a manual adjustment method is used using a shunt rheostat RP1.

Relay boosting raises the generator voltage in emergency modes, reserving the operation of the automatic voltage regulator. During deep voltage drops, the contacts of the minimum voltage relay KV4...KV5, switched on to the secondary voltage of the transformers TV2...TV4, collect the circuit of the forcing contactor KM1. When the S15 toggle switch is turned on, the KM1 contactor shunts the rheostat RP1 with its contact, increasing the current in the exciter excitation winding.

To maintain a constant generator voltage, as well as to force excitation, the station has a high-speed automatic voltage regulator AV, operating according to the phase compounding scheme with an electromagnetic voltage corrector. The regulator consists of a universal transformer controlling my phase compounding T4 and a voltage corrector.

Transformer T4 is made as a magnetic amplifier with two power windings. The primary series winding W1 is connected to the generator stator current circuit

through current transformers TA1, TA2. The primary parallel winding  $W_H$  is powered by the generator voltage through voltage transformers TV5...TV7, the secondary windings of which are connected in a star.

The voltage and current of the secondary winding W2, the EMF of which is the geometric sum of the EMF proportional to the stator current and the EMF proportional to the generator voltage, are rectified by the rectifier VS and fed to the excitation winding of the exciter.

For biasing T4, it provides a control winding  $W_y$ , connected to the input of the magnetic amplifier MU, powered by the generator voltage and controlled by the three-phase measuring element TI. When the voltage on the generator changes, the generator voltage changes. During deep voltage drops or short-circuit biasing disappears, the degree of compounding increases sharply, thereby ensuring the forcing of the exciter. When the generator is idling, the T4 transformer is powered only by the generator voltage. The  $W_H$  winding in this case performs compounding in the phase diagram and provides regulation of the generator voltage at idle and at low loads.

The insertion of the voltage supported by the regulator is set by the RP2 rheostat. An ammeter is connected to the output circuits of the regulator.

## **1.5 Conclusions by section and research tasks**

The analysis of the technological and structural features of the reseeded power plant and the state of the electrical equipment showed that the specified systems require modernization. Based on the experience of operating modern power plants with similar characteristics in this power plant, it is advisable to perform design and calculation work.

The tasks of the master's thesis are:

- Analysis of existing methods of automatic control of mobile diesel power plants, in particular in terms of fuel efficiency;

- Modernize the generator relay protection;
- Provide more effective control of the 6kV circuit;
- Modernize the oil circuit breaker and field extinguishing unit control circuits;
- Modernize the diesel engine control circuits;
- Modernize the diesel engine start protection and blocking circuits;
- Modernize the diesel engine emergency stop system;
- Modernize the fire alarm and self-service control circuits;
- Modernize the compressor control circuits.

The research objectives are aimed at creating a more effective and automatic control system that will ensure reliable operation of a mobile diesel power plant with minimal resource consumption and high operational reliability.

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Оптимізація параметрів системи автоматичного керування пересувної дизельної електростанції з регулюванням навантаження**

Кваліфікаційна робота магістра

**Виконав:**

**А. М. ШАПГАЛА**

**Керівник:**

**В.М. ГАЛАЙ**

**к.т.н., доцент**

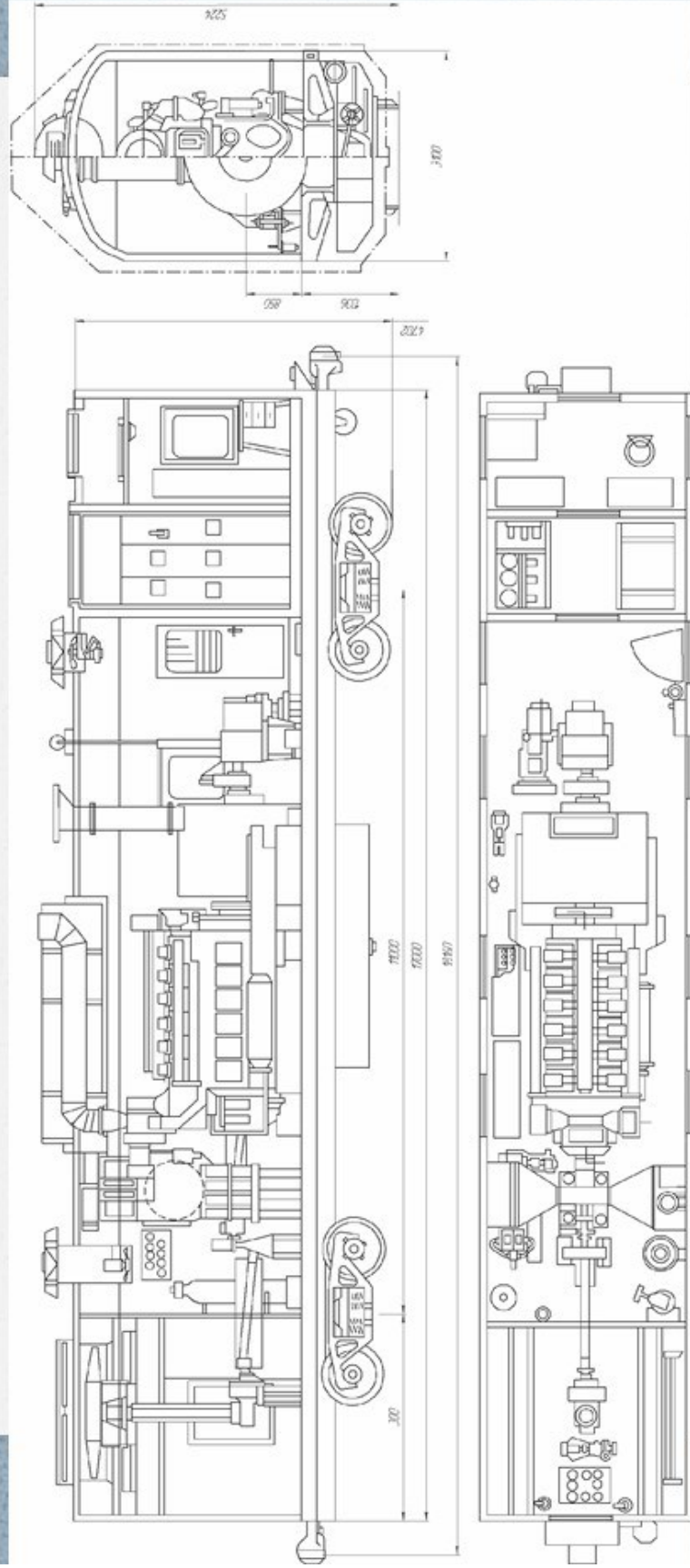
Полтава 2025

**Мета роботи:** полягає в створенні більш ефективної та надійної системи автоматичного керування пересувної дизельної електростанції, яка буде здатна адаптуватися до змінюваних умов навантаження, знижувати витрати пального, а також забезпечувати стабільну роботу в довгостроковій перспективі.

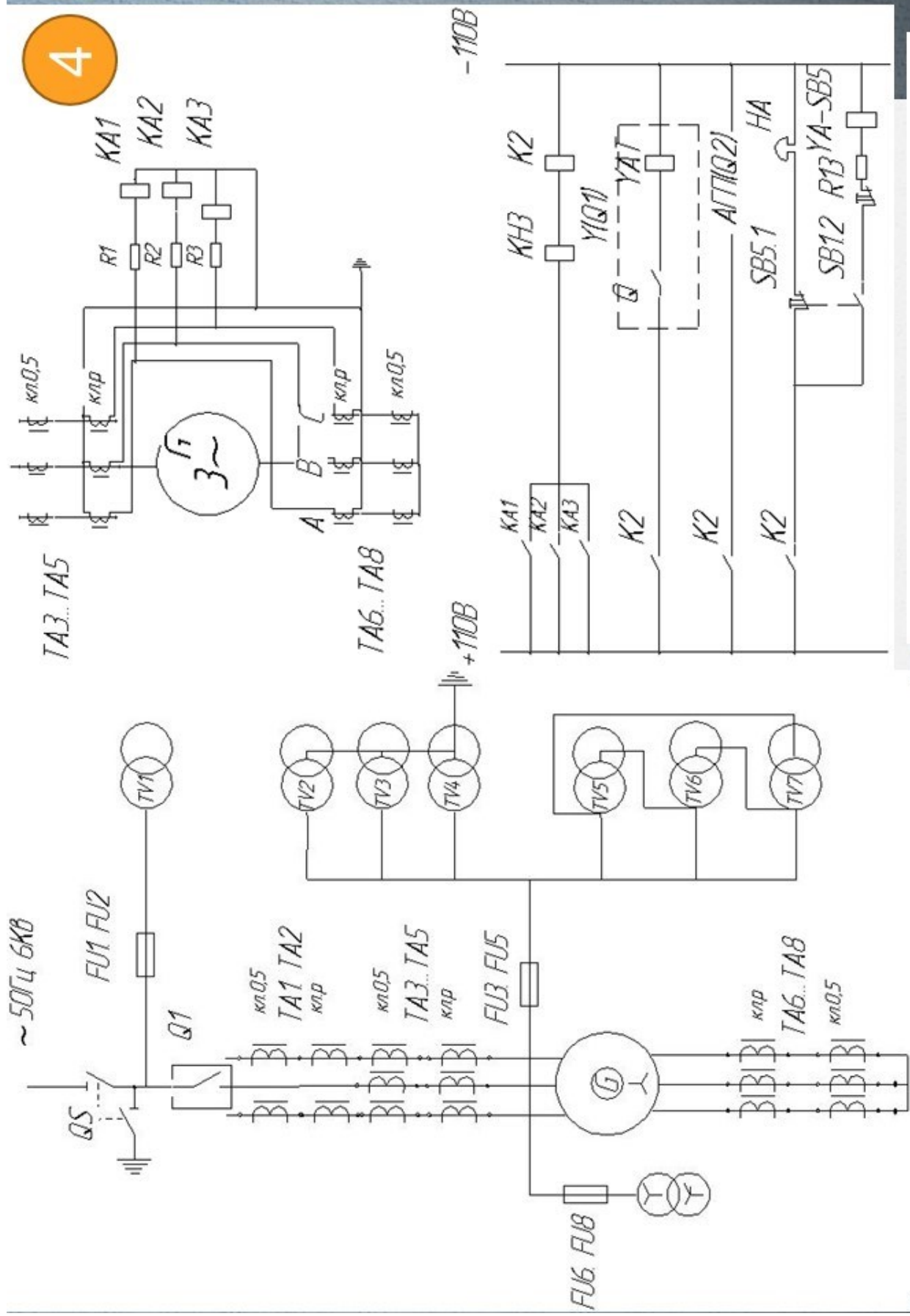
**Об'єкт дослідження:** процеси керування генератором та регулюванням навантаження, що включають в себе технічні, алгоритмічні та операційні параметри, які визначають ефективність її роботи.

**Предмет дослідження** включає в себе теоретичні та практичні аспекти, пов'язані з розробкою, налаштуванням та вдосконаленням алгоритмів автоматичного керування навантаженням, а також з аналізом і оптимізацією роботи дизельної електростанції для підвищення її ефективності та надійності.

3



Загальний вигляд пересувної дизельної електростанції ПЕ6М



4

Силова схема кіл первинних з'єднань

Схема захисту генератора

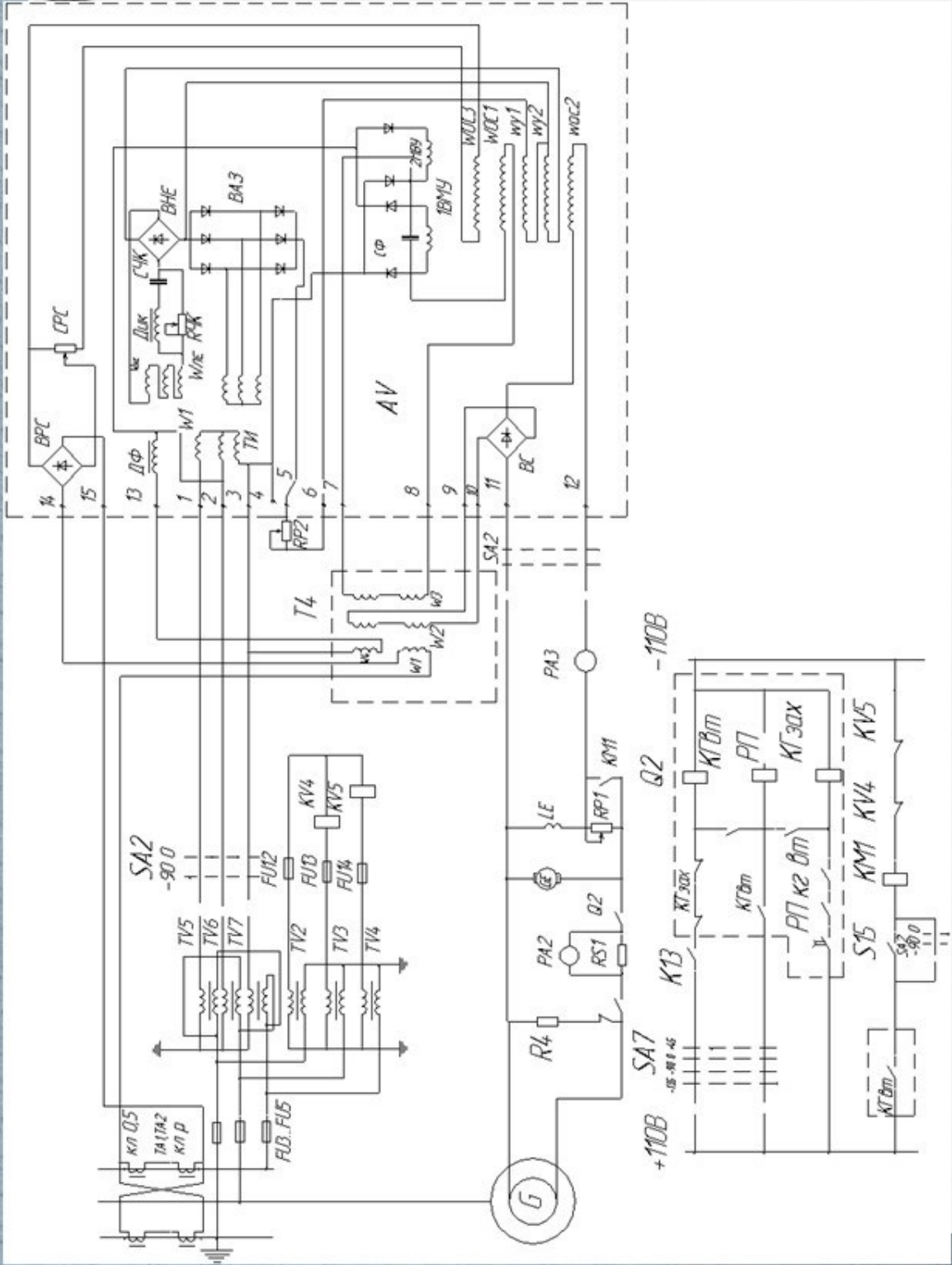


Схема регулювання напруги генератора

Силовая схема  
контролю ізоляції  
квіл 6 кВ

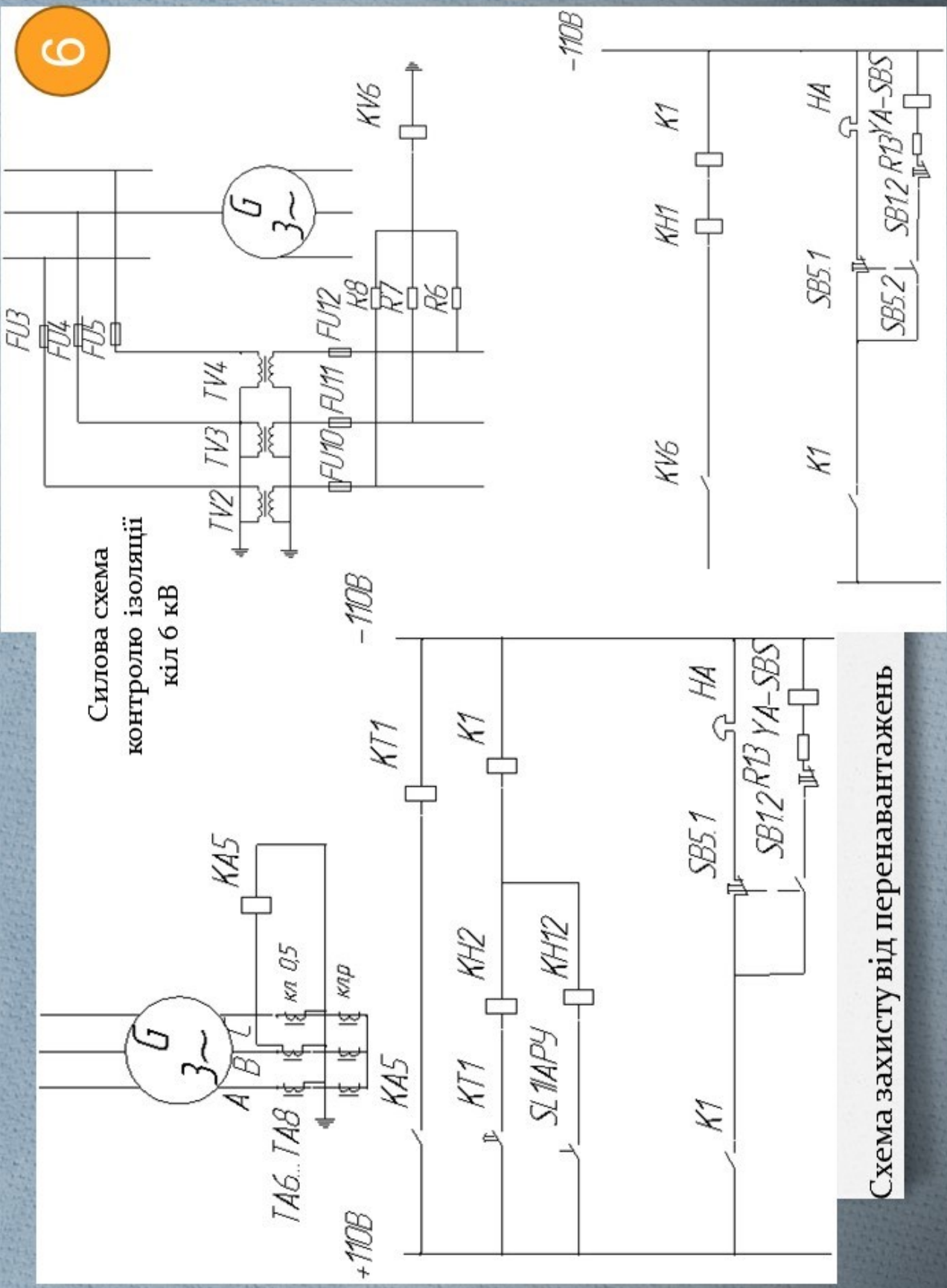


Схема захисту від перенавантажень

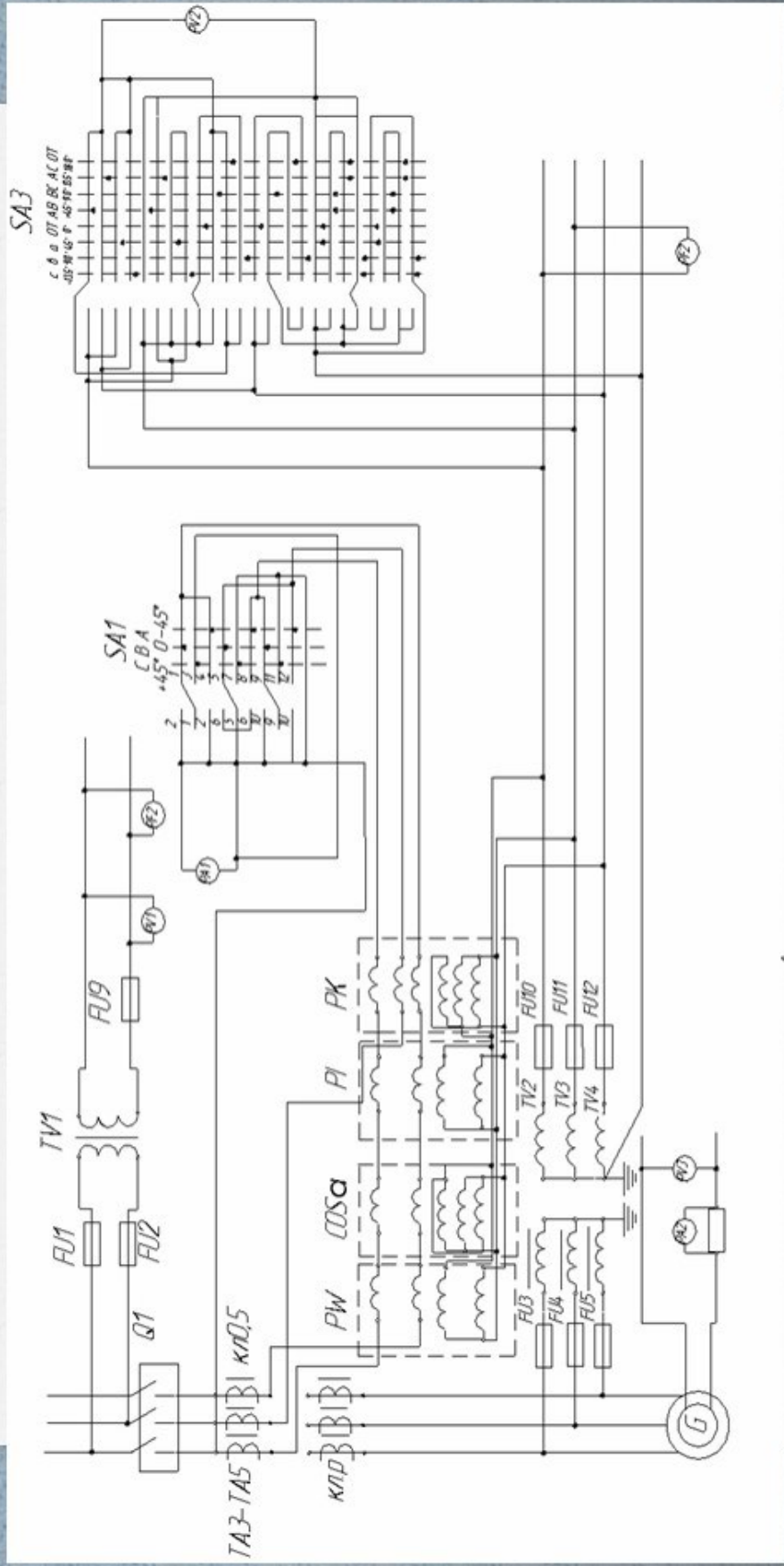
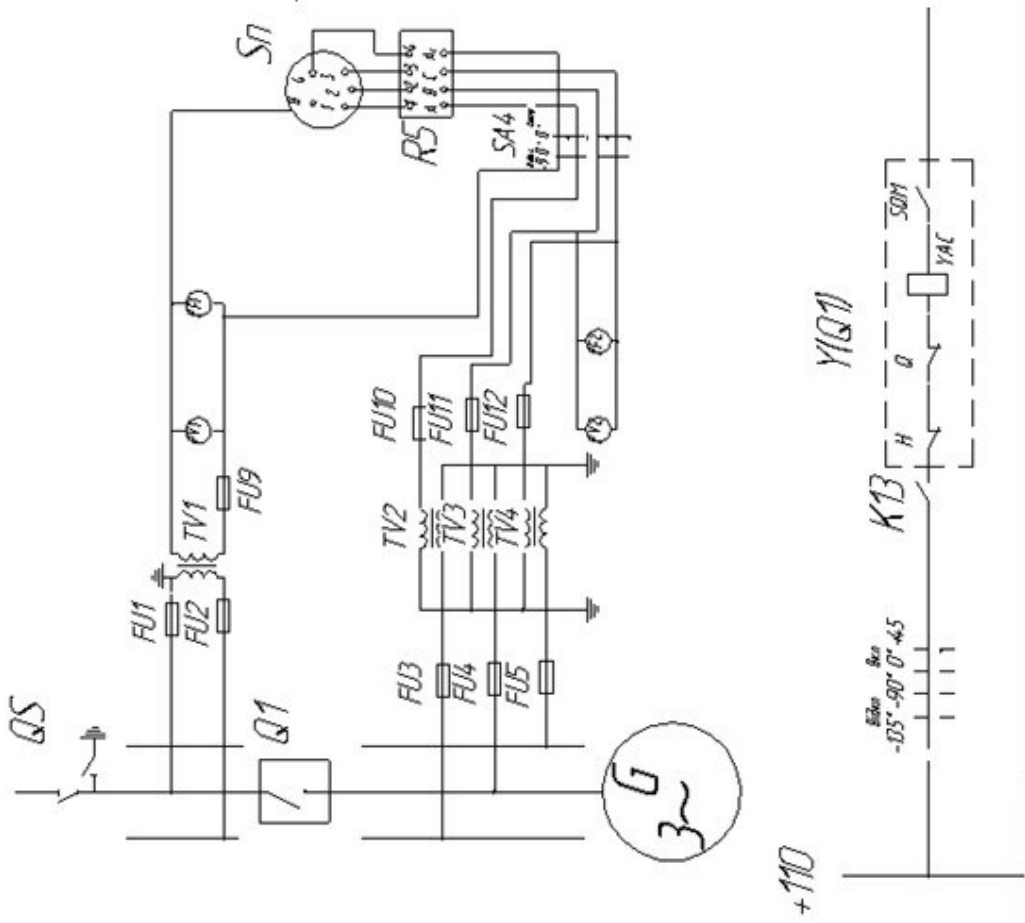


Схема встановлення контрольно вимірювальних приладів силового кола 6 кВ



+110

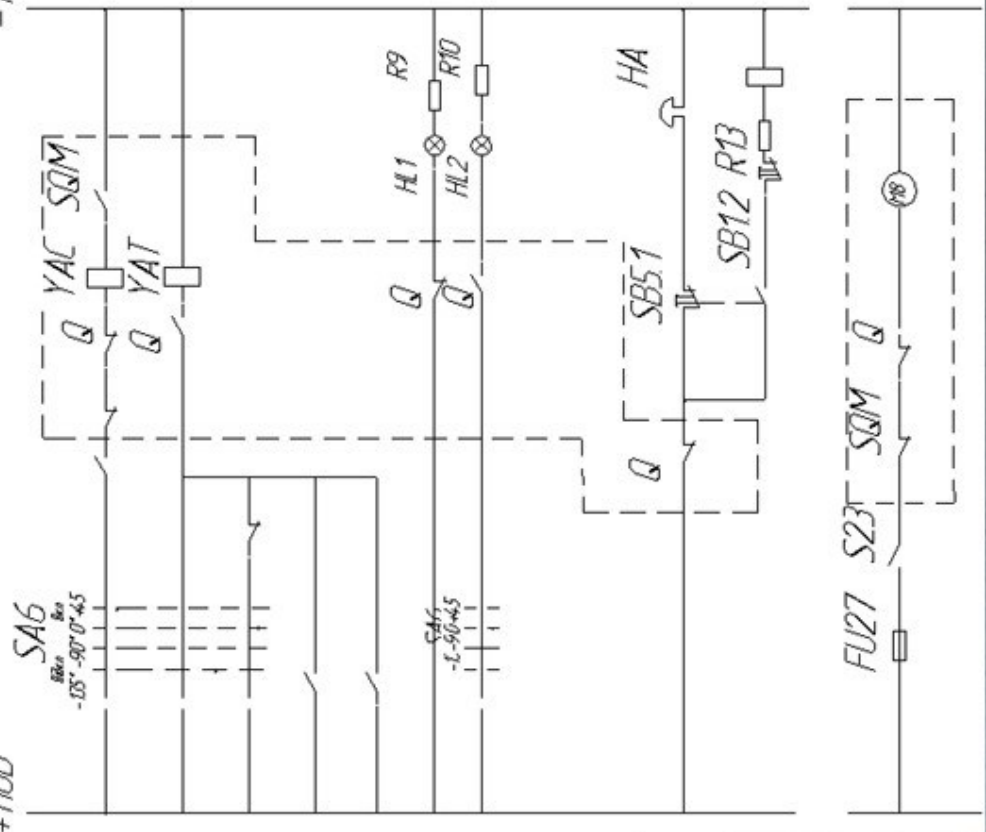
YIQ1



## Розроблена схема кіл керування масляним вимикачем

8

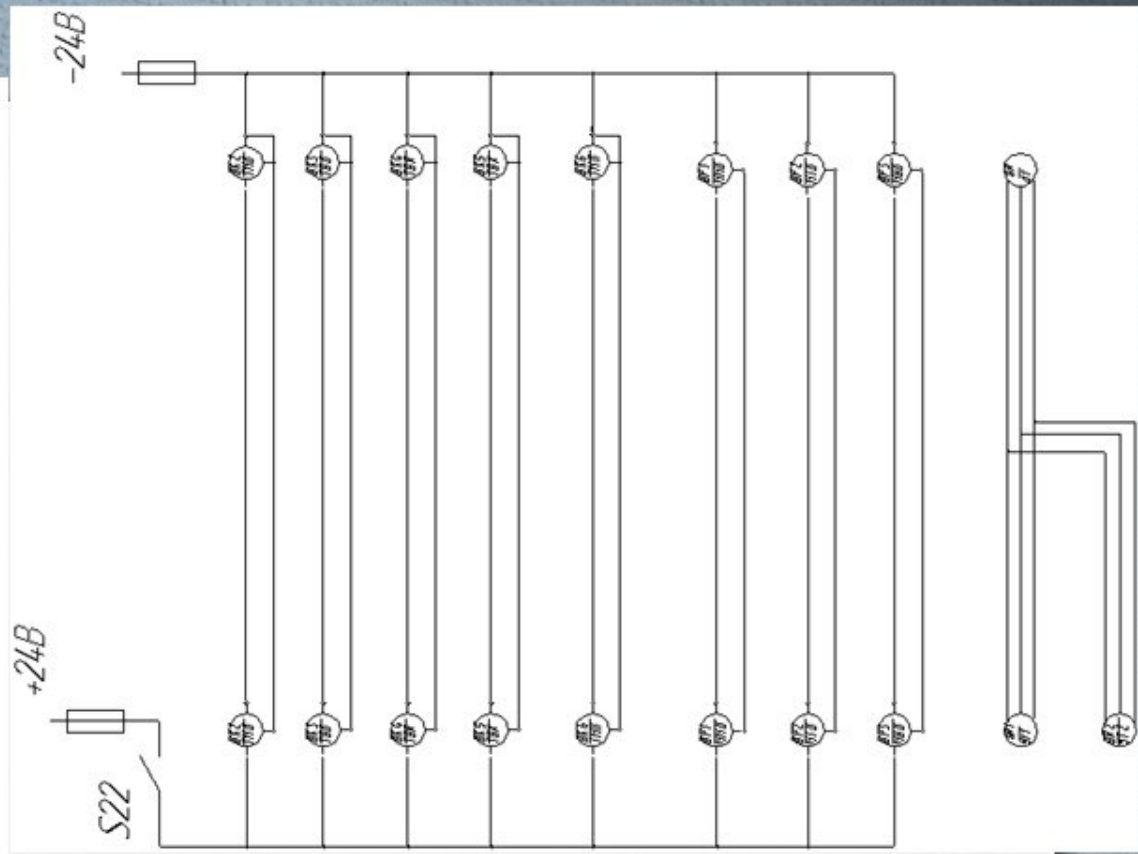
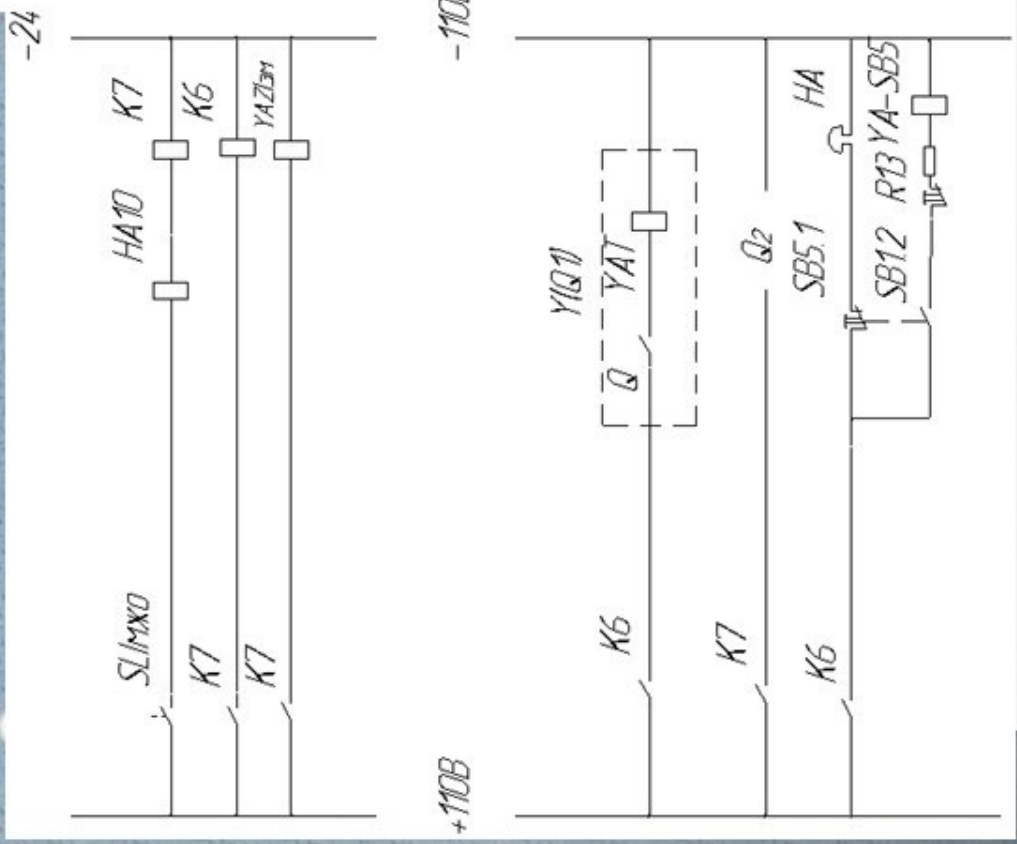
-110В



## Схема кіл синхронізації



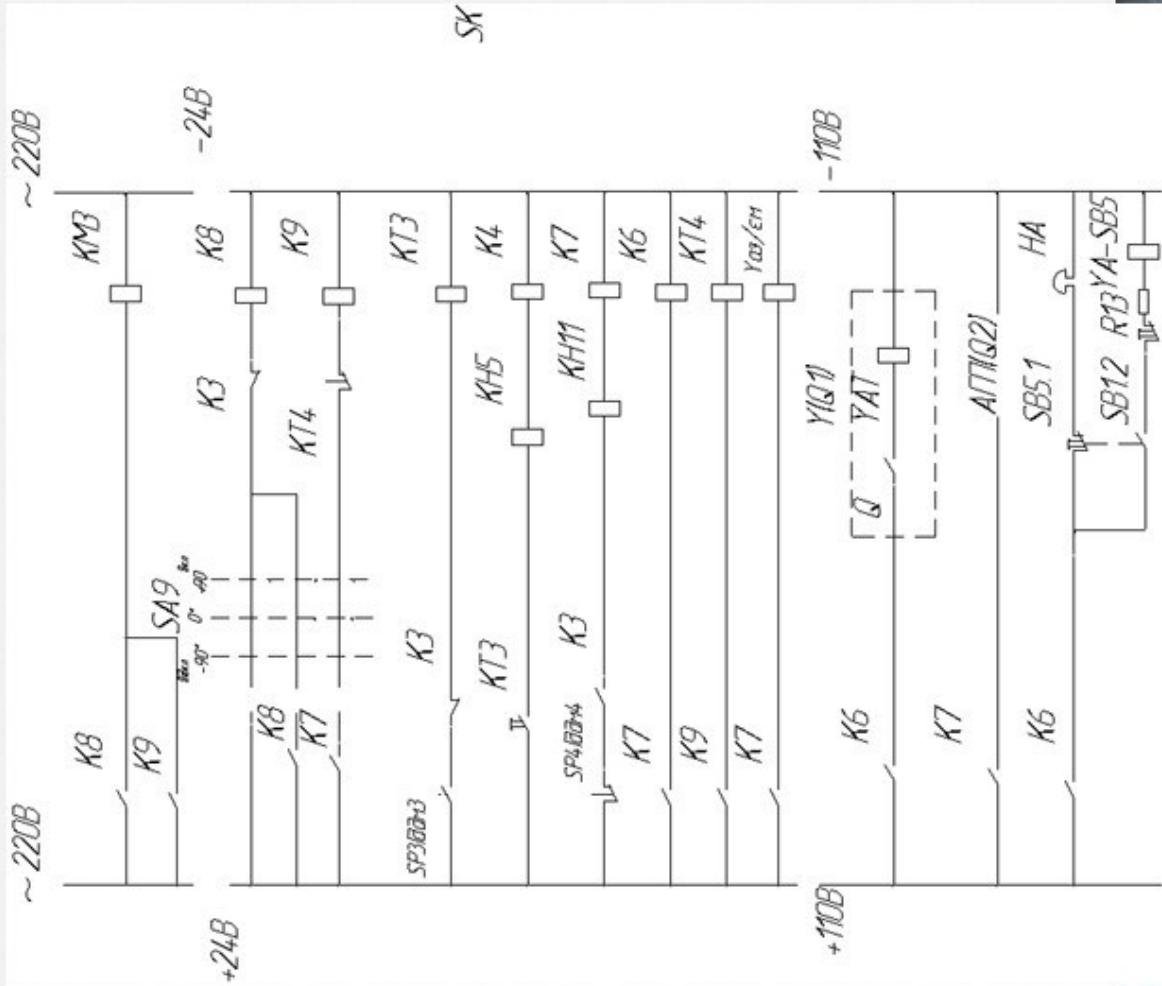
Удосконалення системи контролюно вимірювальних приладів



Модернізована схема кіл захисту дизеля від збільшення тиску газів в картері

# Удосконалена схема кіл керування маслопорожачкою дизеля

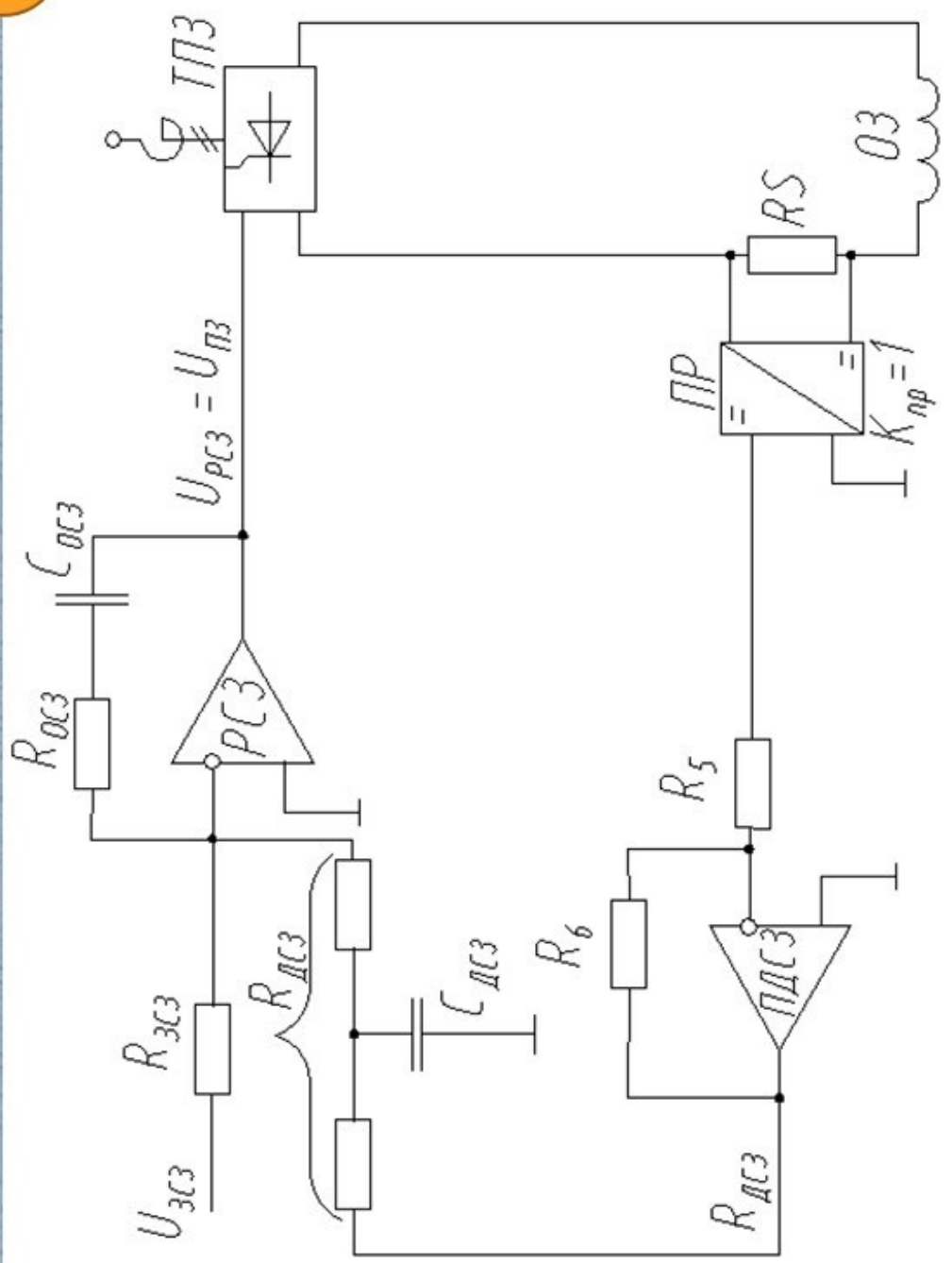
11



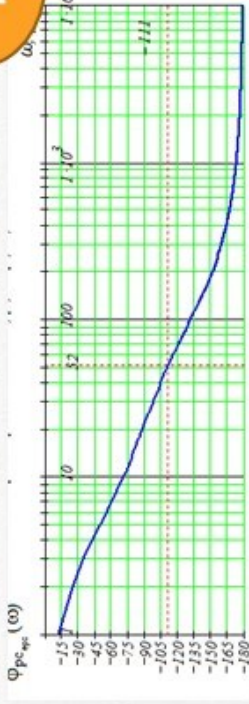
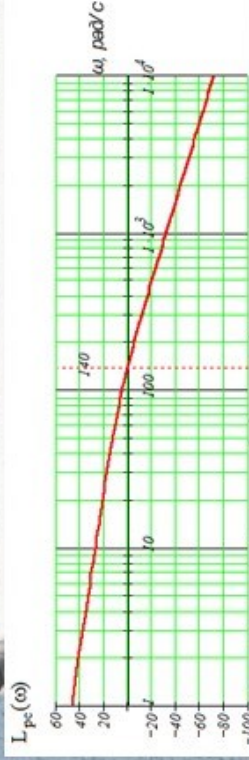








Принципова схема регулятора струму збудження



Логарифмічна амплітудно-частотна та  
 логарифмічна фазо-частотна характеристики  
 контуру струму

Графіки перехідних процесів при налагодженні контуру струму

