

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з графічної частини і пояснювальної записки.

Об'єм графічної (ілюстративної) частини кваліфікаційної роботи становить 18 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 54 друкованих сторінки формату А4 (210×297).

В кваліфікаційній роботі нараховується 15 рисунків та 4 таблиці з даними. Використано 16 літературних джерела.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки програмно-апаратного комплексу для тестування статичних та динамічних характеристик електроприводів постійного струму. Метою даної роботи є можливість вивчення статички і динаміки електроприводу, а також окремих вузлів і елементів, які входять в його склад: силових перетворювачів, регуляторів швидкості, струму, положення, інформаційно-вимірювальних систем.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	8
1.1. Аналіз відомих технічних рішень з питань автоматизації технологічного процесу, що лежить в основі завдання на проектування.....	8
1.2. Обґрунтування вибору системи позиційного електроприводу.....	11
1.3. Обґрунтування актуальності автоматизації виробничого процесу і вибраного напрямку розробки .....	14
2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	16
2.1. Постановка завдання і вимог до лабораторного стенду .....	16
2.2. Опис лабораторного стенду .....	17
2.3. Вибір датчика положення .....	20
2.4. Будова і опис роботи стенду електроприводу .....	23
2.5. Опис роботи інформаційно-вимірювальної системи.....	29
2.6. Розрахунок надійності роботи одного із каналів СІФК позиційного електроприводу.....	29
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	33
3.1. Визначення налагоджувальних параметрів системи .....	33
3.2. Визначення параметрів схеми заміщення.....	34
3.3. Визначення параметрів регулятора струму .....	37
3.4. Визначення параметрів регуляторів швидкості .....	39
3.5. Визначення параметрів регулятора положення .....	41
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ.....	44
4.1. Характеристика роботи з точки зору охорони праці .....	44

4.2. Забезпечення захисту робітників і службовців від зброї масового ураження.....	45
4.3. Захист цінного і унікального обладнання.....	46
4.4. Вплив електромагнітного імпульсу на народногосподарські об'єкти і міри захисту .....	48
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	53

## ВСТУП

Системи керування положенням являють собою клас систем з дуже великим діапазоном призначень. Вони знаходять застосування в різних промислових устаткуваннях, підйомно-транспортних машинах, металорізальних і деревообробних верстатах, роботах і маніпуляторах різного призначення. Контроль положення здійснюється за допомогою давачів, які в аналоговій або дискретній формі дають інформацію про переміщення робочого органу механізму на протязі всього шляху.

В рамках розвитку лабораторного практикуму, дозволяю чого майбутнім спеціалістам глибше засвоїти теоретичні основи і надати необхідні навички для самостійного проведення дослідних робіт по дисциплінах «Основи керування електроприводом» то «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» пропонується створити ряд лабораторних робіт по дослідженню позиційного електроприводу.

В даній кваліфікаційній роботі розглядається питання по створенню лабораторної установки для дослідження позиційного електроприводу постійного струму.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз відомих технічних рішень з питань автоматизації технологічного процесу, що лежить в основі завдання на проектування

За останні роки відбулося багато змін в практиці електроприводу: створення нової елементної бази і технічних засобів автоматизації, швидкого поширення областей і об'ємів, використання керованого електроприводу, який більшість реалізується у вигляді тиристорного електроприводу постійного і змінного струму.

Відомий позиційний електропривід постійного струму, що має в колі обмотки якоря двигуна згладжуючий дросель, шунтованим оберненим діодом, тиристорний переривач, включений в коло, що складається з послідовно з'єднаних двох резисторів і тиристора вибору режиму, підключеного паралельно колу якоря, вихідний індивідуально ємнісний фільтр, підключений паралельно колу якоря через роздільний діод, відрізняється тим, що з метою стабілізації періоду тормозіння в нього введено діод, анод якого підключений до загальної точки резисторів, а катод – до аноду оберненого діода.

Відомо позиційний електропривід, що має випрямляч з анодною і катодною групами тиристорів, включених по нульовій схемі, елемент обмеження вирівнюючого струму, електродвигун, відрізняється тим, що з метою збільшення швидкодії шляхом компенсації індуктивності елемента обмеження вирівнюючого струму в колії якоря двигуна в нього введені додатково два діода, а елемент обмеження вирівнюючого струму виконаний у вигляді двох зустрічно включених між собою нульовою шиною випрямляча і одним з виводів обмоток, другий вивід обмоток з'єднаний з катодною групою тиристорів, перший допоміжний діод підключений анодом до точки з'єднання електродвигуна з виводом обмоток, а катодом – до анодної групи тиристорів і

катоду другого до допоміжного діода, анод якого підключений до середнього виводу обмоток згадуваного елемента обмеження вирівнюю чого струму.

Відомо позиційний електропривід постійного струму, що складається з електричної машини постійного струму, якір якої підключений до джерела живлення, регулятор струму, що має датчик напруги, вхід якого з'єднаний з якорем електричної машини постійного струму, датчик частоти обертання і підсилювач, зв'язаний з обмоткою збудження вказаної електричної машини, відрізняється тим, що з метою покращення якості перехідних процесів електроприводу і підвищення надійності, електропривід оснащений машиною змінного струму, редуктором, кінематично зв'язуючого електричну машину постійного і змінного струму, а в регулятор введено переключатель, виконаний на магнітному підсилювачі з виконавчим реле, обмотка управління якого підключена паралельно шині живлення електричної машини постійного струму, замикаючий контакт виконавчого реле включений між виходом силового підсилювача, загальна точка яких підключена до виходу попереднього підсилювача.

Відомо позиційний електропривід змінного струму, що має трьохфазний асинхронний електродвигун, статорні обмотки якого через контакти пускача з'єднані з мережею, тиристор, включений паралельно контакту в одній з фаз статорної обмотки і вентиль керуючий, включений між цією і другою фазою статорної обмотки, відрізняється тим, що з метою підвищення надійності тормозіння, послідовно з керуючим вентилям зі сторони фази статора з тиристором включений перемінний резистор, движок якого підключений до керуючого електроду тиристора, а точка з'єднання керуючого вентиля з другою фазою статора через додатково введений контакт пускача підключена до нульового приводу.

Відомо пристрій для керування позиційним електроприводом, що має блок порівняння з підключеними до його входів за датчиком і датчиком положення, операційний підсилювач, регулятор частоти обертання і блок задання частоти обертання, відрізняється тим, що з метою підвищення точності зупинки в нього

введені два релейних елемента, резистор, конденсатор і ключ, причім керуючі кола релейних елементів з'єднані з виходом блоку порівняння, резистор, конденсатор і ключ окремо відповідно через розмикаючий контакт, перший і другий розмикаючий контакт першого релейного елемента включені в коло оберненого зв'язку операційного підсилювача і регулятором частоти обертання, його розмикаючий контакт між блоками задання частоти обертання, а коло управління ключа з'єднаний з додатковим положенням.

Відомо пристрій для керування позиційним електроприводом, що складається з підключених до виходу попереднього підсилювача два канали, що складаються з послідовно з'єднаних вихідного каскаду підсилювача і формувача управляючих імпульсів, причім вихідні каскади зв'язані з виводами джерела живлення і з блоком струмообмеження, виконаним на двох транзисторах і з'єднаним з датчиком швидкості двигуна, відрізняється тим, що з метою підвищення точності зупинки, кожен з транзисторів блоку струмообмеження включений послідовно в коло живлення вихідного каскаду відповідного каналу.

Відомо пристрій для керування позиційним електроприводом постійного струму, що має контур регулювання магнітного потоку і контур регулювання частоти обертання двигуна з регулятором і датчиком частоти обертання, контур регулювання струму якоря з блоком виділення модуля на його вході, регулятором і датчиком струму якоря, відрізняється тим, що з метою зменшення пере регулювання і коливально-перехідних процесів в електроприводі, в нього введено коло з обмеженням, блок ділення і блок інтегрування, а також нелінійний блок піднесення в квадрат модуля вхідного сигналу включений між виходом блоку інтегрування і входом кола з обмеженням, а вихід дільника блоку ділення з'єднаний з виходом включеного на вході контура регулювання струму якоря блоку виділення модуля.

Відомо пристрій для керування позиційним електроприводом, що має послідовно з'єднаний тахогенератор, схему регулювання, імпульсний підсилювач і електричний ключ, відрізняється тим, що з метою забезпечення

плавного пуску і стійкості стабілізації частоти обертання електродвигуна на даному заданому рівні, схема регулювання складається з з'єднання послідовно порогового пристрою, широтно-імпульсного модулятора з хронуючим конденсатором і генератором модульованих імпульсів, причім другий вхід модулятора з'єднаний з виходом імпульсного підсилювача.

Відомо пристрій для керування позиційним електроприводом, що складається з перетворювача частоти з автономним інвертором струму, зв'язаним з блоком управління, регулятор струму, підключений виходом до управління мого випрямляча перетворювача частоти, за датчика активної і реактивної складових струму якоря, датчик струму статора, виходом підключений до регулятора струму, блок управління інвертором і датчики потокозціплень ротора двигуна відрізняється тим, що з метою спрощення пристрою і збільшення точності його роботи, введені формувач управляючої напруги і блок компараторів, причім перші входи формувача напруги з'єднані з датчиком активної і реактивної складової струму статора, другі з датчиками потокозціплень ротора, перший вихід з виходом регулятора струму, а другий з одним із входів блоку компараторів, а вихід блоку компараторів з'єднаний з блоком управління інвертором.

## **1.2 Обґрунтування вибору системи позиційного електроприводу**

Машини, робочий орган яких для нормального протікання технологічного процесу повинен або на окремих етапах або в кожен момент часу займати в просторі строго фіксоване положення називається позиційним. До таких машин належать всі підйомно-транспортні машини, однокішєві екскаватори, ряд металорізальних та металообробних верстатів, маніпуляторів і роботи різного призначення та інші аналогічні їм пристрої.

Робочі органи вище вказаних машин і пристроїв переміщуються в просторі за допомогою декількох взаємодіючих механізмів, що забезпечують



переміщення по окремих координаторах простору. Ці позиційні механізми як правило мають індивідуальні електричні приводи керування якими і забезпечує потрібні просторові переміщення.

У випадку ручного управління контроль розміщення виконавчого механізму здійснюється безпосередньо оператором, який включає різні швидкості обертання електричних приводів певних механізмів, забезпечує переміщення робочого органу машини по заданим траєкторіям або установку в фіксованій позиції в відповідності з технологічним процесом. При цьому до електроприводу завдання регулювати положення не ставиться. Але електропривід повинен забезпечити регулювання швидкості і мати хороші динамічні властивості, які покращують параметри управління траєкторією оператором.

Електроприводи, призначені для регулювання положення виконавчого органу машини, називаються позиційними.

В залежності від конкретних вимог можливі чотири наступні варіанти автоматичного регулювання положення:

1. Точне позиціонування електроприводу в заданих точках шляху до дискретних сигналах шляхових здавачів (точна зупинка електроприводу).
2. Безперервне автоматичне регулювання положення по відхиленню (положення) для здійснення дозованих переміщень.
3. Безперервне регулювання положення по відхиленню по заданій програмі (програмно-керований позиційний електропривід)
4. Безперервне регулювання положення по відхиленню при довільно змінюю чомусь сигналу завдання (позиційний слідкуючий електропривід).

При цьому кожному із варіантів поставлено дві основні вимоги: висока швидкодія та точність позиціонування.

Запропонований в першому варіанті електропривід, який задовольняє ці вимоги за рахунок автоматичного вимикання двигуна, по сигналу шляхового давача положення і накладання механічного гальма в такій точці шляху, із якої

електропривід за час гальмування двигуна по інерції переміститься в задану точку шляхом не дасть бажаного результату тому, що веде себе як розімкнена система, в якій зміна всіх факторів, що впливають на шлях при точній зупинці, безпосередньо впливає на досягнену точність, а незначна нестабільність кривої зміни швидкості при сповільненні може суттєво зменшити швидкодію.

В більш складних випадках електроприводи позиційних механізмів включаються в замкнену систему автоматичного регулювання по відключенню. В замкнених системах автоматичного регулювання по відключенню контроль положення здійснюється за допомогою здавачів, які в аналоговій або дискретній формі дають інформацію про переміщення робочого органу механізму протягом всього шляху. Як давачі використовуються сельшни, трансформатори, індуктори, імпульсні цифрові здавачі та інші. В більшості випадків система керування положення будується по принципу підпорядкованого регулювання.

Слід відзначити в даний час на практиці застосовуються приводи двох видів з підпорядкованими контурами керування.

1. Цифрово-аналогові приводи, при цьому цифровим виконується лише зовнішній контур регулювання положення механізму, а внутрішні контури, в тому числі і пристрій керування силовим перетворювачем, будується на основі аналогових регуляторів і імпульсно-фазових пристроїв.

2. Електроприводи з прямим цифровим регулюванням, які повністю виключають аналогові регулятори і пристрої. Але при прямому цифровому керуванні ускладнюється алгоритм керування і ставляться підвищені вимоги до швидкої керуючої обчислювальної машини (КОМ).

В цифрових системах керування положенням об'єкту найчастіше використовують крокові двигуни. При використанні двигунів постійного струму, добрі результати дають цифро аналогові системи керування положенням об'єкту.

Розглянемо систему електроприводу, запропоновану в даному дипломному проєкті у вигляді лабораторного стенду для дослідження позиційного електроприводу постійного струму. Вона являє собою замкнуту цифро-аналогову систему підпорядкованого регулювання, розроблену на базі комплектного тиристорного електроприводу постійного струму ЭТ6.

Комплексний електропривід ЭТ6 являє собою двоконтурну систему підпорядкованого регулювання, в складі якої аналогові регулятори струму і швидкості. В базову систему вводиться регулятор положення аналогового типу та інформаційно-вимірювальна система про положення робочого органу, виконана на базі цифрової техніки. В якості давача положення використовується фотоелектричний дискретний давач переміщення типу ПДФ-3.

### **1.3 Обґрунтування актуальності автоматизації виробничого процесу і вибраного напрямку розробки**

Для виконання даного завдання по розробці лабораторної установки для дослідження позиційного електроприводу потрібно вибрати такий електропривід, який міг би задовольнити такі умови роботи в лабораторії університету:

- а) висота над рівнем моря не більше 1000 м;
- б) температура навколишнього повітря (всередині шафи) від +5°C до 45°C;
- в) відносна вологість повітря 80% при температурі 30°C
- г) напруга в мережі живлення у лабораторії 380В;
- д) частота в мережі 50Гц.

Навколишнє середовище не є вибухонебезпечним, не містить струмопровідного пилу, агресивних газів та випарів в концентраціях.

Вміст масла та пилу – в межах санітарних норм.

Також потрібно забезпечити великий діапазон регулювання частоти обертання в діапазоні 1:1000.

Беручи до уваги всі вимоги і умови, вибираємо електропривід постійного струму серії ЭТ6, призначений для регулювання і стабілізації частоти обертання електродвигуна постійного струму в потрібному нам діапазоні 1:10000. Даний електропривід призначений для роботи в закритих охоплюваних приміщеннях при потрібних нам умовах.

## 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### 2.1. Постановка завдання і вимог до лабораторного стенду

Проектована лабораторна установка для дослідження позиційного електроприводу являє собою замкнуту цифрово-аналогову систему підпорядкованого регулювання.

Даний електропривід складається з регулятора струму, силової частини, схеми формування керуючих імпульсів, регулятор швидкості, схеми обмеження мінімального кута керування, схеми обмеження струму якоря, схеми захисту, джерела живлення.

Силова частина представляє собою керуючий випрямляч, виконаний по шести імпульсній реверсивній зустрічно паралельній схемі. Схема формування і розподілу керуючих імпульсів на тиристори силової схеми складається із шести однакових каналів керування. Внутрішнім контуром електроприводу є контур струму. Основне призначення регулятора струму є компенсація електромагнітної сталої часу якірного кола двигуна і забезпечення керування струмом цього кола.

Регулятор швидкості входить в склад контура швидкості і перетворює сигнал неузгодження між напругою завдання і напругою давача швидкості, де використовується тахогенератор, вмонтований в електродвигун. Схема обмеження мінімального кута керування служить для того, щоб запобігти перевищенню вхідної напруги СІФК амплітуди опорної напруги мережі живлення. Схема обмеження струму якоря забезпечує, в залежності від налагодження обмеженню струму якоря на заданому рівні і залежне обмеження струму в функції частоти обертання.

Схема захисту призначена для захисту електродвигуна від неправильного чередування фаз мережі живлення, обриву будь-якої із фаз, від зникнення стабілізованої будь-якої полярності, від перегріву електродвигуна. Джерело живлення забезпечує всі кола керування стабілізованою напругою.

При розробці стенда необхідно передбачити можливість вивчення статички і динаміки електроприводу замкнутої по положенню системи автоматичного керування, а також вивчення окремих вузлів і елементів, які входять в склад даного електроприводу, в тому числі і вивчення таких елементів, як силовий перетворювач, регулятори струму, швидкості, положення, інформаційно-вимірювальної системи.

Розглянемо основні вимоги, які поставлені до лабораторного стенду.

1. Необхідність розміщення стенда в існуючій лабораторії.
2. Наявність пневмосхеми, яка пояснює функціональні зв'язки в електроприводі.
3. Можливість здійснювати регулювання параметрів системи з метою зміни статичних і динамічних характеристик електроприводу.
4. Можливість часткової зміни структури системи і підключення додаткової апаратури.

Лабораторний стенд повинен відповідати основним вимогам техніки безпеки, тобто:

- а) компактне розміщення електроустаткування, яке дозволяє легкий доступ до всіх частин схеми;
- б) ізоляція обертових і струмопровідних частин;
- в) надійне і швидке автоматичне відключення схеми від сітки в аварійному режимі;
- г) заземлення установки;
- д) примінення попереджуючої сигналізації;
- е) відповідне освітлення.

## **2.2. Опис лабораторного стенду**

Лабораторний стенд для дослідження позиційного електроприводу (рис. 2.1) виконаний на базі типового електроприводу постійного струму серії ЭТ6, який призначений для дослідження регулювання частоти обертання двигуна постійного струму.

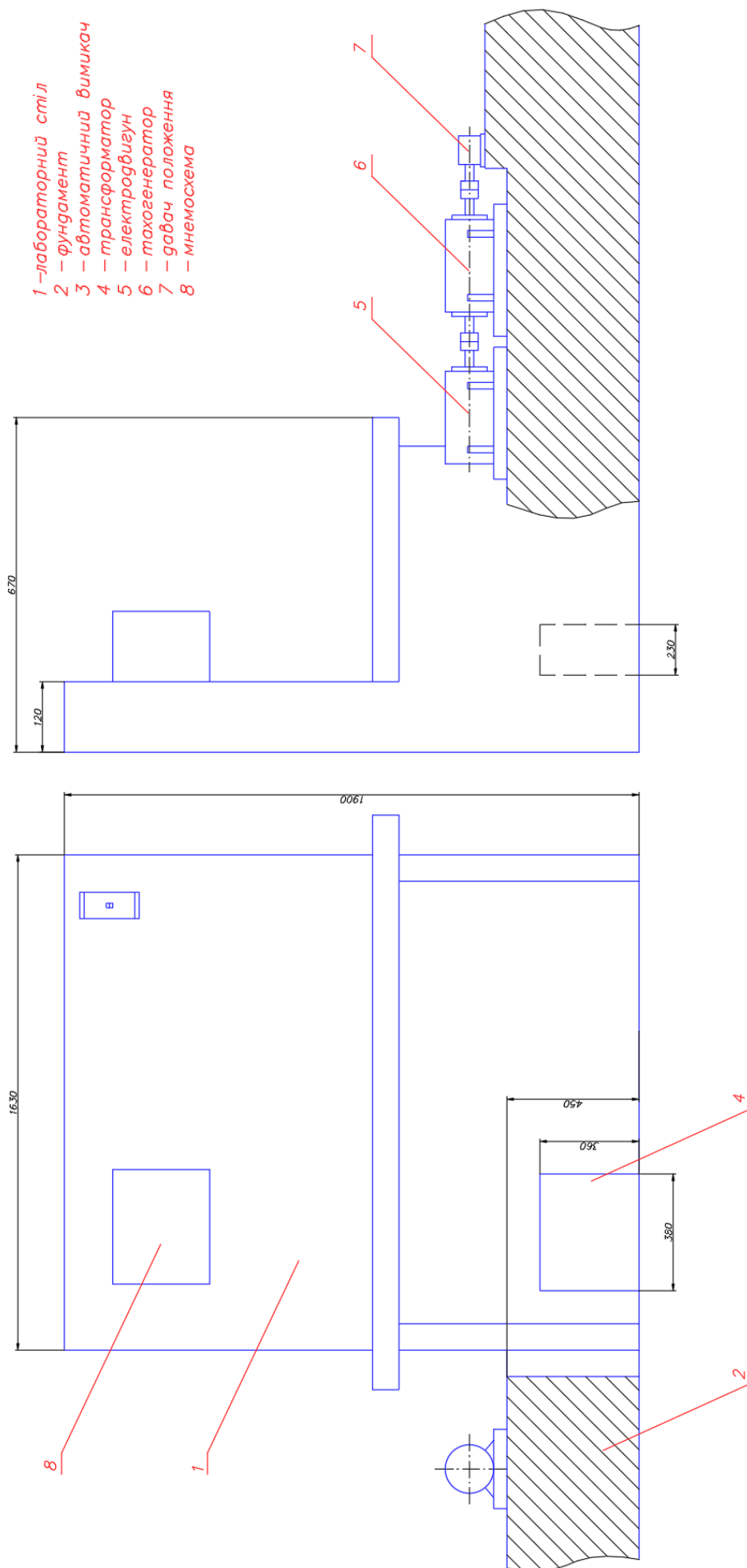


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд лабораторного стану

Основні технічні дані електроприводу:

– напруга мережі, В	$380^{+14}_{-15}\%$
– частота мережі, Гц	$50 \pm 1$
– потужність електродвигуна, кВт	$0,6 \div 11,3$
– максимальний діапазон регулювання частоти обертання двигуна	10000

в даному електроприводі використовується двигун постійного струму серії ПБВ-100αУЗ

Основні паспортні дані двигуна:

– номінальна потужність	$P_n - 1,1 \text{ кВт}$
– номінальний струм	$I_n - 24 \text{ А}$
– номінальна напруга	$U_n - 56 \text{ В}$
– момент інерції	$I - 13 \times 10^{-3} \text{ кг} \times \text{м}^2$
– номінальний момент	$M_n - 11 \text{ Н}$
– максимальний момент	$M_{\text{max}} - 100 Y$
$R_{\text{дв}} = 0,139 \text{ Ом}$	
$\alpha_{\text{дв}} = 0,8 \text{ мГн}$	

Даний стенд виконаний на базі лабораторного столу. Живлення електричної схеми здійснюється від трьохфазної мережі змінного струму напругою 380В через автоматичний вимикач, який одночасно служить для захисту електроустановки від перевантажень і короткого замикання в аварійних режимах роботи.

На передній панелі розміщена пневмосхема, на яку із схеми винесені контакти, комутація яких дозволяє змінювати величини ємностей, які стоять в колі зворотного зв'язку регуляторів. Це дозволяє змінювати параметри регуляторів і відповідно криві перехідних процесів. Також винесені контакти з яких можливий замір вихідних величин напруги задавачів струму і швидкості. Передбачена також можливість на осцилографі спостерігати криві перехідних процесів кожного із регуляторів, керуючі імпульси блоку системи імпульсно-



фазового керування, випрямлену напругу і сигнали, які поступають від давача положення.

Для запуску схеми необхідно наперед задати величину і напрямок переміщення і натиснути кнопку “Пуск”. При цьому спрацюють реле P1 та P2, які своїми контактами розімкнуть ланку, яка монтує регулятори швидкості і струму та подадуть живлення на вихідні каскади системи імпульсно-фазового керування, після чого керуючі імпульси поступлять на випрямляч і двигун почне обертатись. При натисканні кнопки “Стоп” здійснюється повна зупинка приводу.

### 2.3 Вибір давача положення

Для позиційних приводів, як вимірювач положення використовують аналогові і цифрові здавачі. Серед аналогових здавачів найбільш широке застосування знайшли потенціометри, обертові трансформатори, револьвери та індуктосини.

Потенціометричний давач – електро-механічний перетворювач, який перетворює переміщення в напругу постійного або змінного струму. Здавачі такого типу прості в виготовленні, малогабаритні і дешеві. Однак вони мають низьку надійність і обмежену пропускну можливість, а також відхилення характеристики від лінійної.

Револьвер – особлива мікро машина змінного струму, в якій певним чином включені роторні і стопорні обмотки. Фазовий зсув при обертанні відповідає куту повороту ротора, який зв'язаний з об'єктом вимірювання. Давач такого типу може бути приміненний як давач зворотнього зв'язку. При обертанні імпульсного диску, на якому чередуються прозорі і затемнені полоси, змінюється світловий потік джерел світла, ДС1, ДС2, який проходить через диск і сприймається чутливими елементами ЧЕ1 і ЧЕ2 і перетворюються в електричні сигнали. Логічна схема формування імпульсів відробки (СФІВ) формує з них послідовність імпульсів.

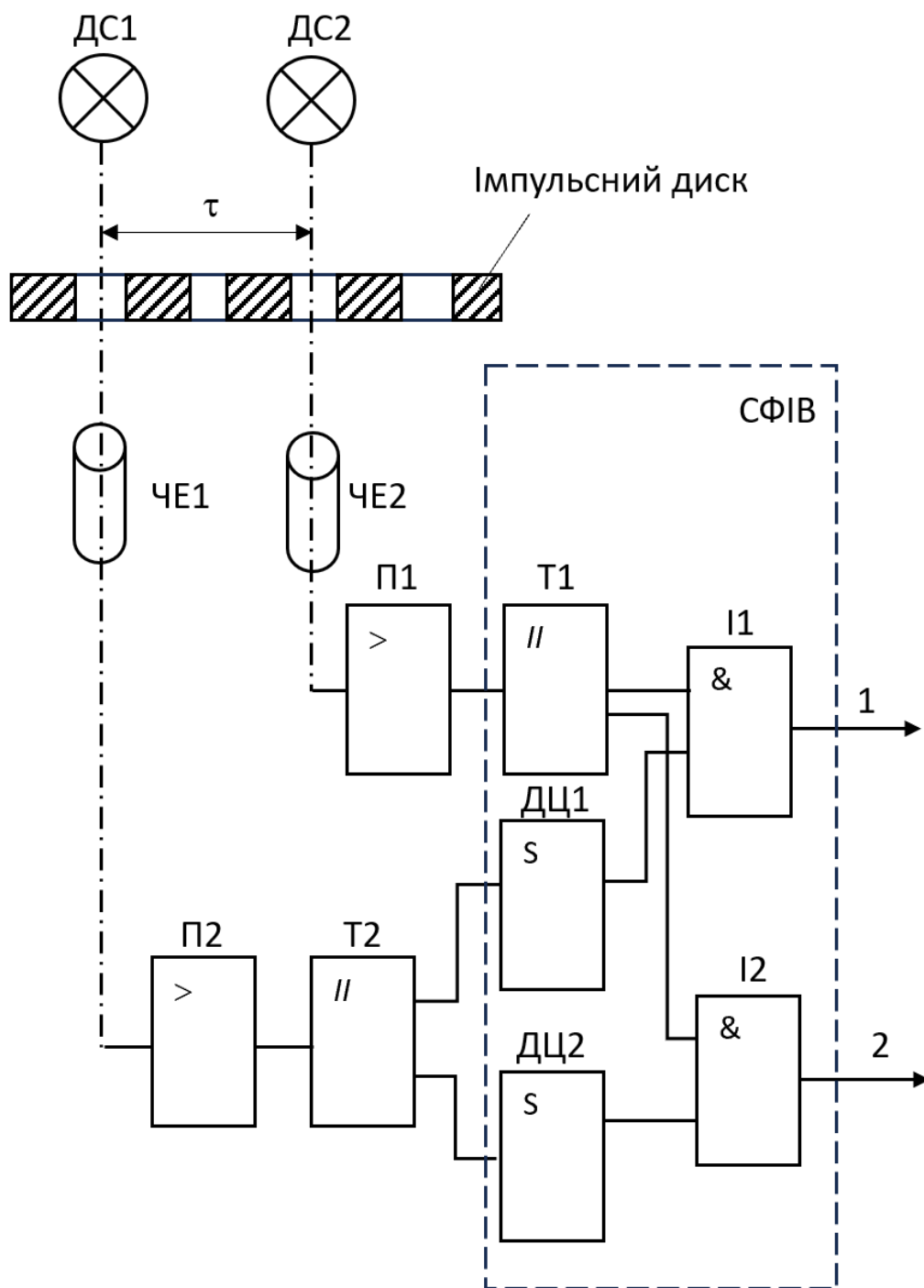


Рис. 2.2. Фотоелектричний давач зворотнього зв'язку

Чутливі елементи зміщені один відносно другого на відстань  $(m+1/4)\tau$ , де:

$\tau$  - крок давача;

$m$  – ціле число.

Це дозволяє забезпечити чутливість СФІВ до напрямку руху ВО.

На рисунку 2.3 показані сигнали на виходах підсилювачів П1 і П2, які призначені для підсилення сигналів ЧЕ1, ЧЕ2. тригери Шмідта формують на своїх виходах послідовність імпульсів з щільністю рівною двом. В результаті прийнятого розміщення ЧЕ сформовані послідовності імпульсів зсунуті один відносно другого на  $\frac{1}{4}$  періоду їх слідування. На виходах диференційних ланок ДЦ1, ДЦ2 формуються короткі імпульси в момент зміни логічного сигналу на виходах тригера Т2 з нуля на одиницю.

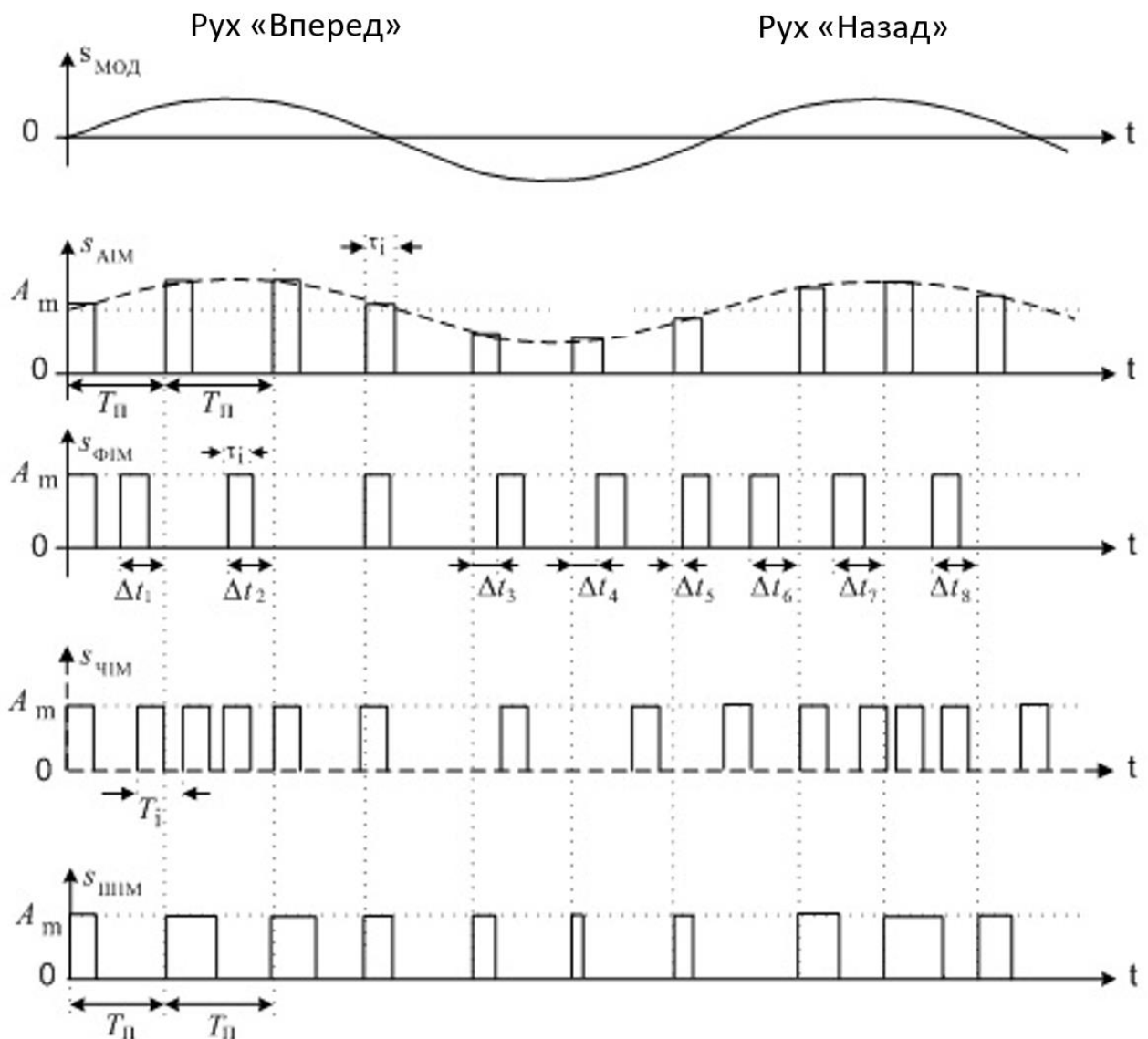


Рис. 2.3. Діаграма вихідних сигналів фотоелектричного давача

Послідовність імпульсів на виходах ДЦ1 і ДЦ2 для обох напрямків руху ВО показані для обох напрямків руху ВО показані на мал.2.2. Поскільки на виході схеми порівняння №1 імпульси можуть з'явитись тільки тоді, коли на її входах є одиничні сигнали з ДЦ1 та Т1 на виході системи №2 – коли на її входах є одиничні сигнали з ДЦ2 та Т2. В залежності на виході якої схеми порівняння є одиничний сигнал, ВО рухається “Вперед” або “Назад”.

Для даного електроприводу використаємо дискретний фотоелектричний давач переміщення типу ПДФ-3.

Технічні дані ПДФ-3.

– вихідні сигнали – дві серії імпульсів та нульовий імпульс;	
– число імпульсів в кожній серії на один оберт вала	600
– зсув різних серій імпульсів відносно один одного, ел	$90 \pm 10$
– ширина нульового імпульсу, ел	$90 \pm 15$
– напруга нульових сигналів, В	
“0”	від 0 до 3,0
“1”	$24^{+2,4}_{-3,6}$
– мінімальний опір навантаження кожного каналу, кОм	12
– частота обертання ведучого вала, об/хв.	3000
– номінальна напруга живлення, В	24
– споживаний струм навантаження, мА	300
– максимальний струм навантаження, мА	500
– наробка до відказу, год	7500
– статичний момент тертя на вхідному валі давача Г×см	500
– режим роботи	реверсивний
– маса, кг	4

## 2.4 Будова і опис роботи стенду електроприводу

Електропривід ЕТ6 виконаний на двохконтурній структурі підпорядкованого керування з регуляторами струму (РС) і швидкості (РШ), які

являють собою ПД регулятори. Робота електроприводу відбувається наступним чином.

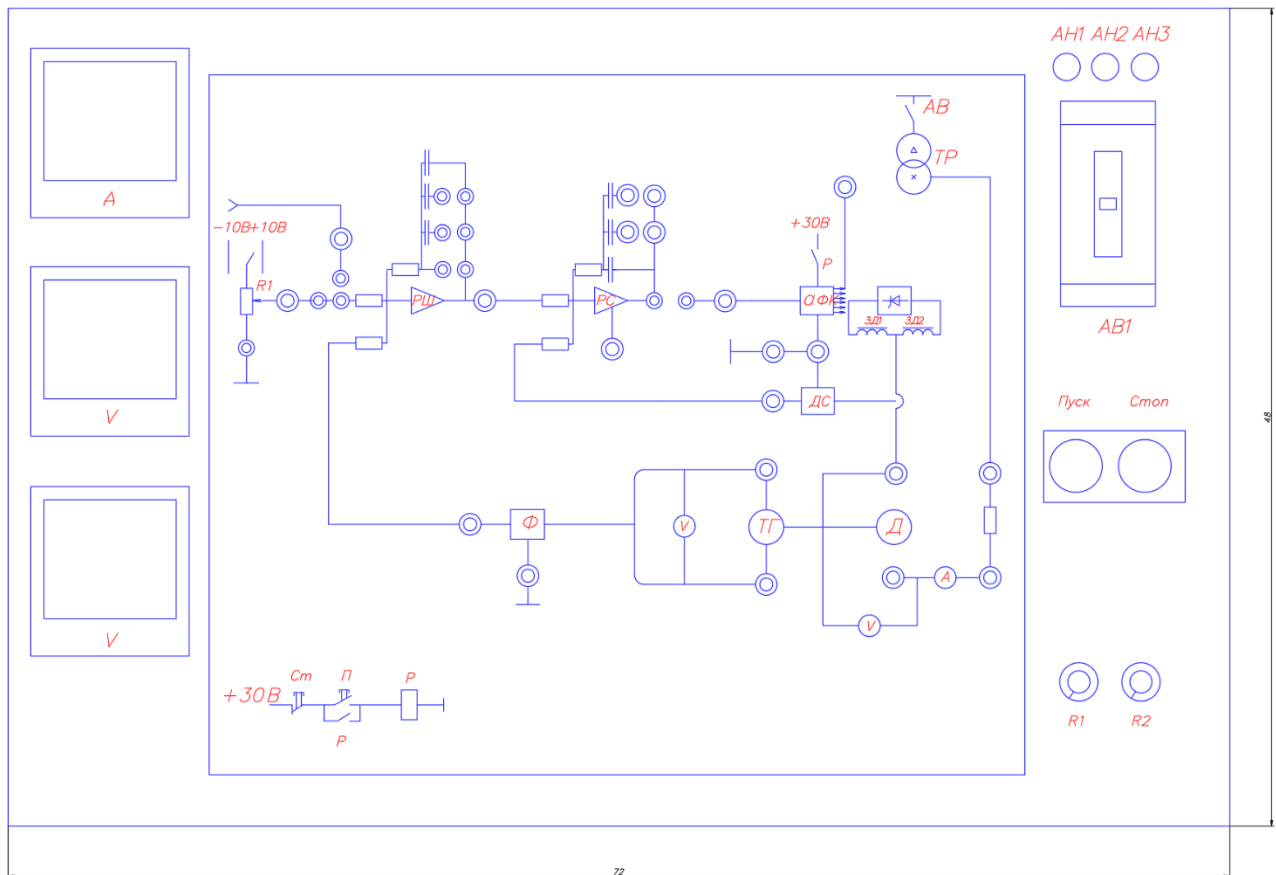


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд лабораторного стенду

При наявності неузгодження швидкості  $\Delta U_2$  між сигналами завдання і зворотнього зв'язку по частоті обертання  $U_{ТГ}$  на виході РШ з'явиться керуюча напруга  $U_{ДС}$ , пропорційній діючому значенню струму якоря електродвигуна.

Напруга неузгодження по струму  $\Delta U_3$  поступає на вхід регулятора струму, що визиває появу на його виході відповідної керуючої напруги  $U_{РС}$ , яка керує схемою імпульсно-фазового керування (СІФК).

Схема імпульсно-фазового керування забезпечує формування і розподіл імпульсів керування силовими тиристорами керуючого випрямляча (КВ). По мірі зменшення неузгодження (за рахунок дії від'ємного зворотного зв'язку по швидкості) відбувається стабілізація частоти обертання двигуна на рівні пропорційному значенню двигуна на рівні пропорційному значенню напруги завдання  $U_3$ . Коефіцієнт підсилення системи керування забезпечує необхідний

діапазон регулювання і точність підтримки частоти обертання двигуна при різних виникаючих виливах.

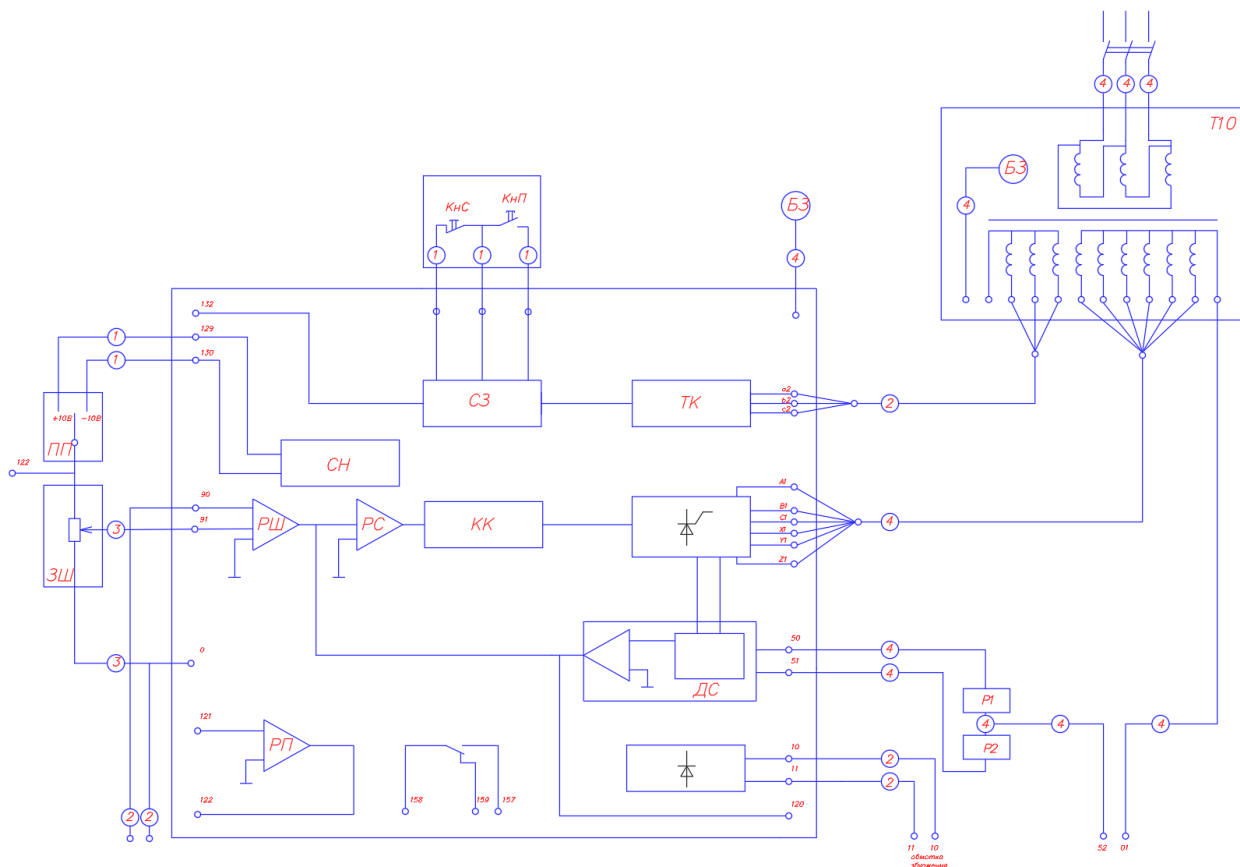


Рис. 2.5. Електрична схема з'єднань електроприводу

Для забезпечення надійності і безпечної роботи електроприводу передбачена схема обмеження струму якоря двигуна в динамічних режимах роботи, схема обмеження мінімального кута регулювання, схема захисту від неправильного чередування фаз сітки живлення або їх обриву, а також при зникненні стабілізованої напруги живлення.

Силова частина представляє собою керуючий випрямляч, виконаний по шести імпульсній реверсивній, зустрічно-паралельній схемі і складається із силового узгоджуючого трансформатора, тобто випрямляча і струмообмежуючих дроселів. Трьохфазний трансформатор  $T_{p13}$  здійснює узгодження напруги живлення двигуна і сітки живлення, і складається із первинної обмотки, двох силових вторинних обмоток і окремої обмотки для

живлення кола керування. Обмотка керування відмежована від силових екраном.

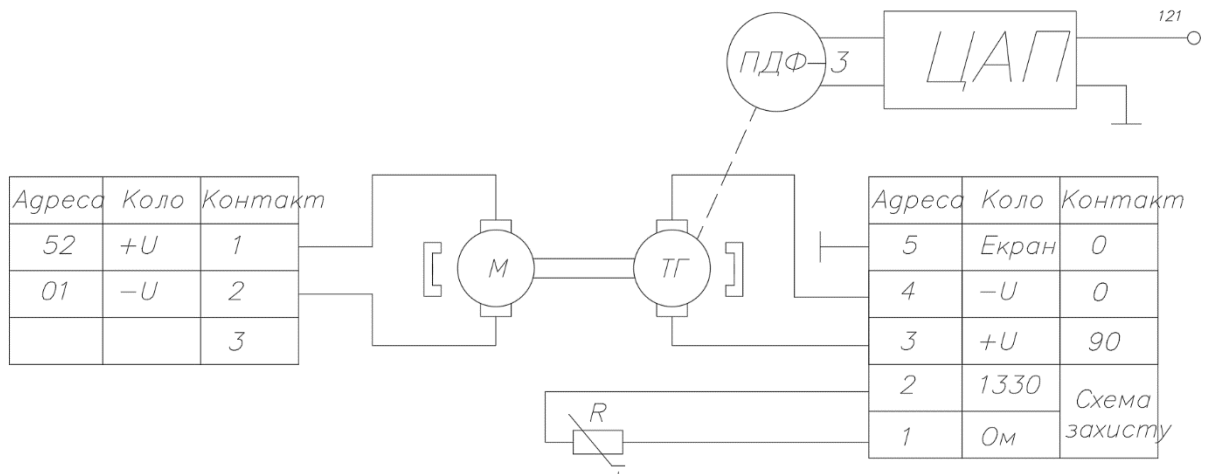


Рис. 2.6. Схема з'єднання шин

Випрямляч виконаний на тиристорах Д01-Д12. для захисту тиристорів від перенапруги включені захисні RC ланки. Керування групами тиристорів сумісне, узгоджене. Для зменшення зрівнюючи струмів включені дроселі Др1, Др2.

Схема формування керуючих імпульсів служить для формування і розподілу керуючих імпульсів на тиристори силової схеми і складається із шести однакових каналів керування.

Напруга  $U_0$  вторинної обмотки трансформатора Тр14, зсунута на  $90^\circ$  в сторону випередження відносно напруги А1, подається на фазозсуваючу ланку, виконану на елементах R101, R102, C101. Регулювання R101 забезпечується зміщенням напруги на конденсаторі C101 (вузол 17А).

Після підсилення додатного імпульсу транзистором Т103 на (внутрішній) вторинній обмотці трансформатора тиристором катодної групи Д01. від'ємний імпульс після інвертування транзистором Т101 і підсиленням транзистором Т02 забезпечує формування на вторинній обмотці трансформатора Тр02 імпульсу для керування тиристором анодної групи Д02. Ширина керуючих імпульсів  $10-12^\circ$ ел.

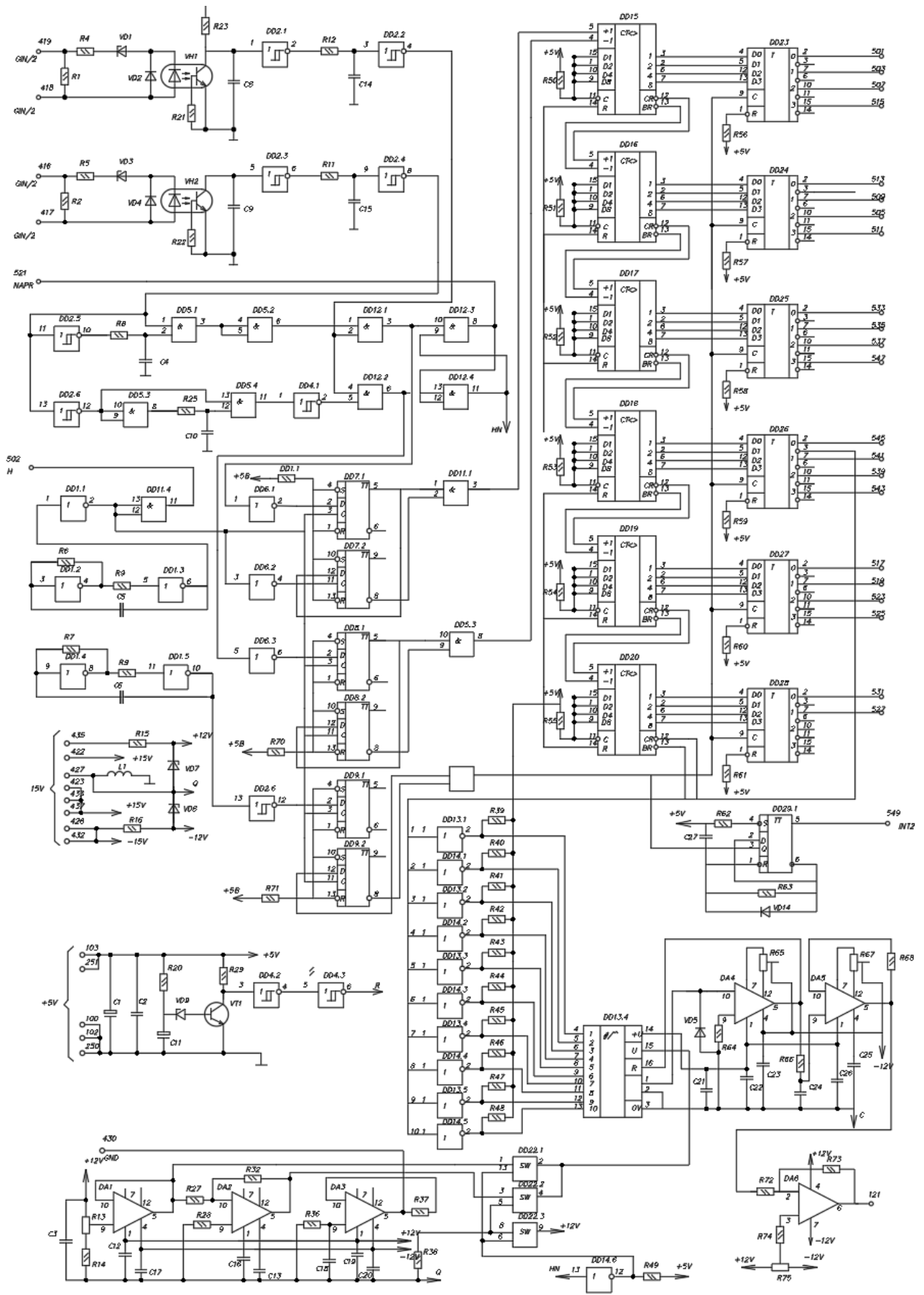


Рис. 2.7. Принципова електрична схема інформаційно-вимірювальної системи



Подача напруги живлення на вихідні каскади СІФК відбувається через контакт реле 1Р2 після його спрацювання.

Внутрішнім контуром електроприводу є контур струму. В цей контур крім тиристорного перетворювача, якісного кола двигуна входить регулятор струму (РС) і давач струму (ДС). Основне призначення регулятора струму є компенсація електромагнітної сталої часу якісного кола двигуна, і забезпечення керування струмом цього кола, в відповідності з сигналом неузгодження між заданою величиною струму з виходу РШ і фактичним значенням, яке визначається за допомогою ДС.

Регулятор швидкості входить в склад контура швидкості і перетворює сигнал неузгодження між напругою завдання  $U_{зав}$  і напругою давача швидкості  $U_{тг}$ , де використовується тахогенератор, вмонтований в електродвигун.

Параметри регулятора швидкості співпадають з регулятором струму і забезпечують потрібні показники електроприводу в статиці і динаміці. Регулятор швидкості є пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором. З допомогою регулятора швидкості компенсується електромеханічна постійна часу двигуна. Сам регулятор виконаний на трьох операційних підсилювачах і є двокаскадним.

Другий каскад виконаний на операційному підсилювачі А303 і служить для отримання необхідного коефіцієнта підсилення регулятора швидкості. Оба каскади обхвачені зворотніми зв'язками відповідним пропорційно-інтегральним регулятором.

Джерело живлення забезпечує всі кола керування стабілізованою напругою і побудоване на схемі двоканального стабілізатора з послідовно включеними регулюючими транзисторами. В ролі підсилювачів постійного струму використані операційні підсилювачі А901, А902. На виході джерела живлення ми одержуємо стабілізовану напругу  $\pm 12,6\text{В}$  відносно загального приводу.

## 2.5 Опис роботи інформаційно-вимірювальної системи

Дана інформаційно-вимірювальна система служить для перетворення дискретних імпульсів із давача переміщення в аналоговий сигнал. Імпульси, які видає давач переміщення поступають на 416, 417, 418 і 419 точки системи. Оптотранзистори А01 і А02 служать для гальванічної розв'язки схеми з здавачем. Потім імпульси поступають на диференційні ланки, на виходах цих ланок формуються короткі імпульси в момент зміни логічного сигналу. Далше імпульси поступають на імпульсні модулі, побудовані на елементах D7, D8, D9, які синхронізують частоту імпульсів з частотою тактового генератора 500кГц, який побудований на елементах D1.1 – D1.3, D11.4. Другий генератор на елементах D1.4, D1.5 частотою близько 3кГц синхронізує лічильники. Далше імпульси з модулятора імпульсів поступають на лічильники D15-D20, де відбувається підрахунок імпульсів. З лічильників імпульси поступають на десяти розрядний цифроаналоговий перетворювач, на виході якого сигнал має вже аналогову величину. На 15 ніжку D21 ЦАП поступає опорна напруга, в залежності від її полярності міняється полярність вихідного сигналу цифроаналогового перетворювача.

Блок опорних напруг зібраний на операційних підсилювачах А1, А2 і комутується за допомогою комутатора на мікросхемі D22. Дана інформаційно-вимірювальна система крім аналогового виходу має цифровий вихід прямо з лічильників, де інформація видається у двійково-десятковому кодi і може бути використана для обробки на цифрових обчислювальних машинах.

## 2.6 Розрахунок надійності роботи одного із каналів СІФК позиційного електроприводу

Надійність роботи є одним з важливих показників, що характеризують роботу пристрою, чи окремо взятої схеми. Тому, при їх проектуванні потрібно приділяти увагу надійності проєктованих пристроїв.

Значення інтенсивності відмов  $\lambda_{л}$  будь-якого елемента може бути визначена на основі тривалих спостережень за роботою системи чи її елементів в реальних умовах експлуатації і визначається шляхом уточнення, які приводяться в довідниковій літературі і були визначені експериментально.

Завдання: розрахувати надійність роботи одного із каналів СІФК. Забезпечити ймовірність безвідмовної роботи не менше 0,95 на протязі 8800 годин роботи системи.

Розрахунок проведено за методом середньо-групових інтенсивностей відмов:

а) система розбивається на групи елементів з однаковим рівнем інтенсивностей відмов, взятих з довідникової літератури;

б) інтенсивність відмов кожної групи елементів визначається як добуток кількості елементів кожної групи на інтенсивність відмов елемента даної групи;

в) за розрахунковими даними  $K_n$  та температурою визначають поправочний коефіцієнт  $\alpha$  ( $K_n$  t°C);

г) уточнюють інтенсивність відмов кожної групи за допомогою коефіцієнта  $\alpha$ ;

д) визначають сумарну інтенсивність відмов системи шляхом додавання інтенсивностей відмов всіх груп;

е) для заданого розраховують ймовірність безвідмовної роботи системи.

У логічній схемі всі групи елементів з однаковою інтенсивністю відмов з'єднують послідовно, бо вихід з ладу будь-якої групи призводить до виходу з ладу всього блоку [2].

Визначимо інтенсивність відмов кожного елемента в номінальному режимі  $\lambda_0$ , виходячи з даних, приведених в таблицях 4.2.-4.6. [8]. Для зручності занесемо їх у таблицю 4.5.1.

Тепер враховуючи коефіцієнти  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  поправочний коефіцієнт  $a$  та інтенсивність відмов в номінальному режимі визначимо інтенсивність відмов в робочих умовах:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot a \cdot (K_n \text{ t}^\circ\text{C}) \cdot \ell_{\text{вих}}$$

Результати обчислень занесемо в таблицю. Інтенсивність відмов групи  $\alpha_{гр}$  знаходимо шляхом множення інтенсивності відмов кожного елемента на кількість елементів в групі:

$$\lambda_{гр} = \lambda_i \cdot n_i$$

Додавши інтенсивності відмов всіх груп, отримаємо інтенсивність всієї схеми:

$$\lambda_{сх} = \lambda_{гр1} + \lambda_{гр2} + \dots + \lambda_n$$

$$\lambda_{сх} = 0,055 + 1,4 + 0,8 + 0,4 + 0,001 + 0,192 + 0,096 + 0,83 + 1,15 + 0,76 + 0,64 + 0,08 + 0,49 = 6,89 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Г}$$

надійність роботи схеми визначається згідно формули:

$$P_{сх}(t) = e^{-\lambda_{сх} t}$$

або по середній формулі:

$$P_{сх}(t) = 1 - \lambda_{сх} \cdot t$$

де  $t=8800$  год – річний час роботи блоку

$$P_{сх}(t) = 1 - 6,89 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 = 0,938$$

Так, як це не відповідає поставленим вимогам, введемо пасивний резерв для елементів 3-ї та 9-ї групи (інтенсивність відмов яких найбільша у схемі), діодів Д101-Д104 та резисторів R102-R104

$$P_3^{pez}(t) = \exp[-\lambda_3 t] \cdot (1 + \lambda_3 t) = (1 - \lambda_3 t) \cdot (1 + \lambda_3 t) = \\ = (1 - 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 8800) \cdot (1 + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 8800) = 0,9999$$

$$P_9^{pez}(t) = \exp[-\lambda_9 t] \cdot (1 + \lambda_9 t) = (1 - \lambda_9 t) \cdot (1 + \lambda_9 t) = \\ = (1 - 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 8800) \cdot (1 + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 8800) = 0,9999$$

Інтенсивність відмов відповідно третьої та дев'ятої резервованих груп:

$$\lambda_3^{pez} = \frac{1 - P_3^{pez}}{t} = \frac{1 - 0,9999}{8800} = 0,056 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Г}$$

$$\lambda_9^{pez} = \frac{1 - P_9^{pez}}{t} = \frac{1 - 0,9998}{8800} = 0,116 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Г}$$

Тоді інтенсивність відмов резервованої схеми:

$$\lambda_{cx} = \lambda_{1гр} + \lambda_{2гр} + \lambda_{3гр}^{pez} \dots + \lambda_{9гр}^{pez} + \dots + \lambda_{13гр}$$

$$\lambda_{cx} = 0,055 + 1,4 + 0,056 + 0,4 + 0,001 + 0,192 + 0,096 + 0,83 + 0,116 + 0,76 + \\ + 0,64 + 0,08 + 0,49 = 5,11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{г}$$

Ймовірність безвідмовної роботи резервної схеми

$$P_{cx}^{pez} = 1 - \lambda_{cx}^{pez} \cdot t = 1 - 5,11 \cdot 10^{-6} \cdot 8800$$

$$P_{cx}^{pez} = 0,954$$

Отже, система з резервованими елементами на протязі 8800 годин буде працювати з ймовірністю безвідмовної роботи  $P(t)=0,954$ . для забезпечення номінального опору резервованих резисторів, їхні величини приймаємо у два рази більшими.

## 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Визначення налагоджувальних параметрів системи

Система керування в даному електроприводі найбільш близька до лінійної, порівняно з іншими приводами. Це забезпечує при сумісному способі керування реверсивним тиристорним перетворювачем узгодження груп тиристорів при куті регулювання  $\alpha_{\text{поч}}=90^\circ$  ел, що виключає зону перервних струмів в якірному колі двигуна.

Крім того, введення в СІФК опорної напруги синусоїдної форми приводить до того, що регульовальна характеристика тиристорного перетворювача стає лінійною у всьому діапазоні зміни керуючої напруги СІФК.

Регулятори швидкості і струму в електроприводі є пропорційно-інтегральним і тому в установленому режимі сигнал на виході регуляторів, який є сумою сигналу завдання і зворотнього зв'язку, практично рівний нулю. Ця обставина враховується на структурній схемі введенням додаткових умовних ланок включених перед вузлами порівняння швидкості і струму. Таким чином для установленого режиму будуть справедливі співвідношення:

$$\frac{U_{\text{рш}}}{R_{1c}} = \frac{U_{\text{дс}}}{R_{2c}}$$

і

$$\frac{U_{\text{зав}}}{R_{1ш}} = \frac{U_{\text{гт}}}{R_{2ш}}$$

де  $R_{1c}$  і  $R_{1ш}$  – резистори в колі завдання регуляторів струму і швидкості ( $R_{1c}=R602$ ;  $R_{1ш}=R301+R306$ );

де  $R_{2c}$  і  $R_{2ш}$  – резистори в колі зворотного зв'язку регуляторів по струму і швидкості ( $R_{2c}=R601$ ;  $R_{2ш}=R307+R302+ R303$ ).

Приведені співвідношення відображають умови рівності нулю алгебраїчної суми струмів на інвертованому або не інвертованому входах операційних підсилювачах регуляторів струму і швидкості.

Даний електропривід побудований по системі тиристорний перетворювач-двигун (ТП-Д), структурна схема якого приведена на рис. 3.1.

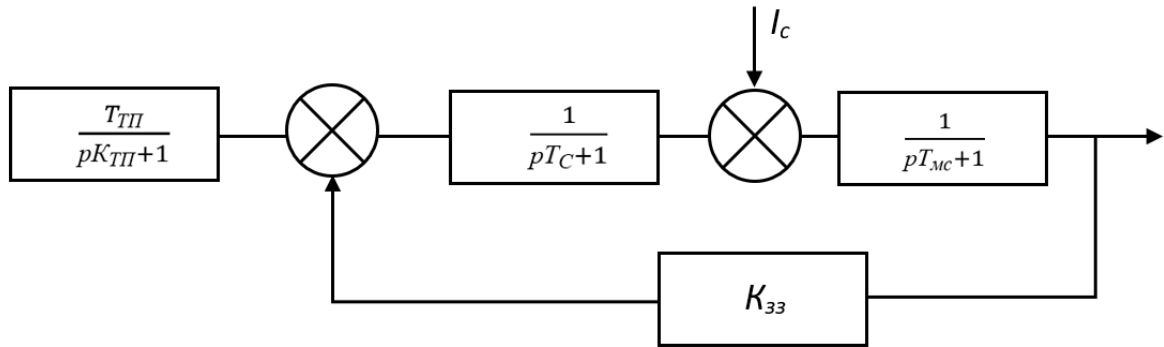


Рис. 3.1. Структурна схема системи ТП-Д

Схема заміщення силового кола показана на рис. 3.2.

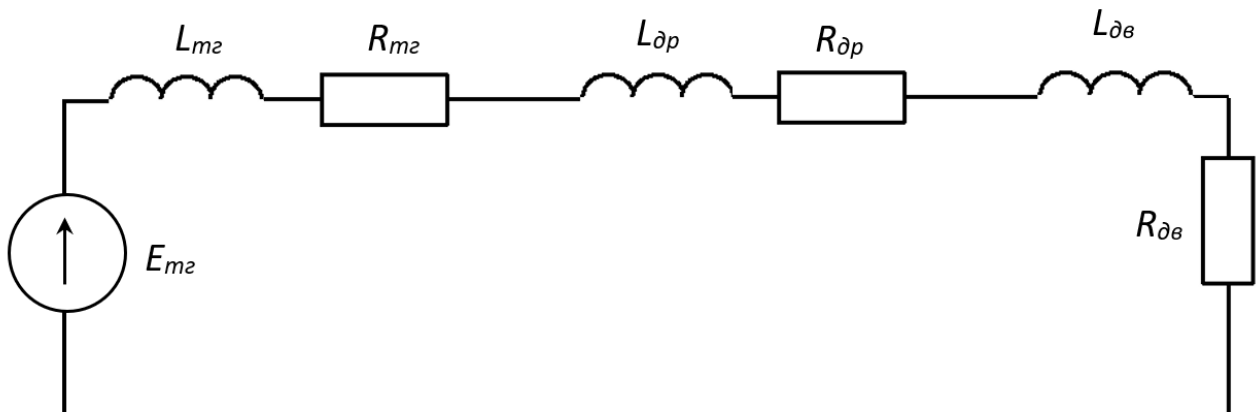


Рис. 3.2. Схема заміщення силового кола

### 3.2. Визначення параметрів схеми заміщення

Активний опір якоря двигуна  $R_{дв}$  і його індуктивність  $\alpha_{дв}$  визначимо по паспортних даних двигуна ПБВ100а:

$$R_{дв}=0,139 \text{ Ом}$$

$$\alpha_{дв}=0,8 \text{ мГн}$$

Активний опір дроселя і його індуктивність визначимо експериментальним шляхом. Для визначення активного опору  $R_{др}$  зберемо установку по схемі на рис. 3.3.

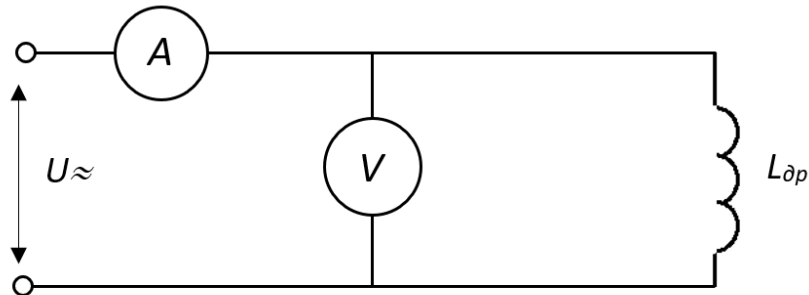


Рис. 3.3. Схема для визначення активного опору

Таблиця 3.1 – Експериментальні дані

$U$	0,09	0,112
$I$	4	5

$$R_{др} = \frac{U}{I} = \frac{0,09/2 + 0,012/5}{2} = 0,022 \text{ Ом}$$

Для визначення повного опору дроселя подамо на схему змінну напругу і виконаємо ті ж заміри. Результати експерименту занесемо у таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані

$U$	23,4	29,5
$I$	3	5

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{23,4/3 + 29,5/5}{2} = 6,85 \text{ Ом}$$

Із співвідношення  $z^2 = z^2 - r^2$  визначимо індуктивний опір дроселя

$$x_{др} = \sqrt{z^2 - r^2} = \sqrt{6,85^2 - 0,022^2} = 6,8 \text{ Ом}$$

Тоді індуктивність дроселя рівна

$$\alpha_{др} = \frac{x_{др}}{2\pi f} = \frac{6,8}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,022 \text{ Гн}$$



Опір тиристорного перетворювача і його індуктивність будуть визначатись параметром силового трансформатора ЕТ6 потужністю 6кВт по паспортних даних:

$$\alpha_{\text{тр}}=0,63\text{мГн}$$

$$R_{\text{тр}}+r_{2\text{тр}}=0,188\text{Ом}$$

Визначивши параметри схеми заміщення, перейдемо до визначення сталих часу  $T_M$  і  $T_e$ .

Електротехнічна стала часу  $T_M$  буде рівна:

$$T_M = \frac{2I_{\text{дв}} R_{\text{як}}}{c^2}$$

де  $I_{\text{дв}}$  – по паспортних даних  $0,013 \text{ кг}\times\text{м}^2$

$$R_{\text{як}}=R_{\text{дв}}+R_{\text{др}}+R_{\text{тр}}=0,139+0,022+0,188=0,35\text{Ом}$$

$$c = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{56 - 24 \times 0,139}{104,5} = 0,5$$

Тоді

$$T_M = \frac{2 \times 0,013 - 0,35}{0,25} = 0,036\text{с}$$

Визначимо електромеханічну сталу часу

$$T_e = \frac{\alpha_{\text{як}}}{R_{\text{як}}}$$

$$\text{де } \alpha_{\text{як}} = \alpha_{\text{дв}} + \alpha_{\text{др}} + \alpha_{\text{тр}} = 0,00063 + 0,022 + 0,0008 = 0,0234\text{Гн}$$

Отже

$$T_e = \frac{0,0234}{0,35} = 0,067\text{с}$$

Коефіцієнт передачі ТП визначимо із експериментальних даних.

Таблиця 3.3 – Експериментальні дані

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	3,25	5,77	8,04
$U_{\text{вих}}, \text{В}$	50	100	150

Звідси

$$K_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{вих ТП}}}{U_{\text{вх ТП}}} = \frac{50/3,25 + 100/5,77 + 150/8,04}{3} = 17,12$$

Постійна часу тиристорного перетворювача

$$T_{\text{тп}} = \frac{1}{2Pf} = \frac{1}{2 \times 6 \times 50} = 0,0017\text{с}$$

### 3.3. Визначення параметрів регулятора струму

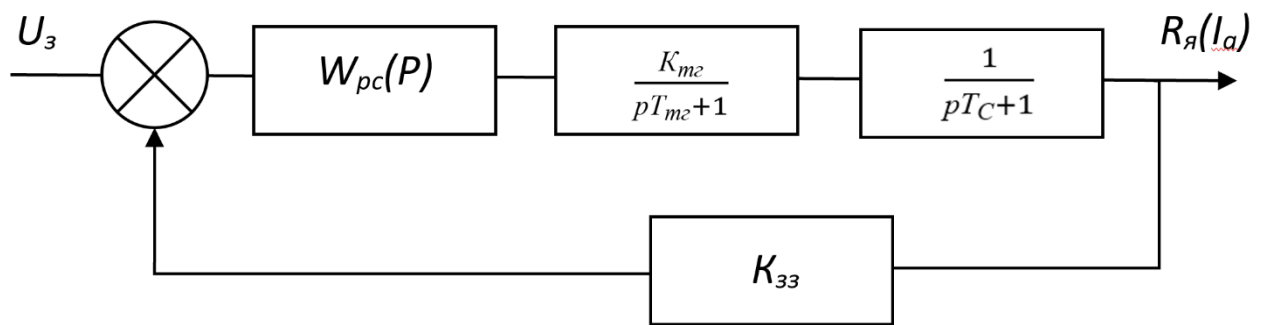


Рис. 3.4. Структурна схема контуру струму

Суттєвою сталою часу, яка підлягає компенсації в контурі струму є електромагнітна стала часу якірного кола  $T_e$ . В ролі некомпенсованої сталої часу контура струму, яка визначає його швидкодію, приймемо сталу часу  $T_{Me}$ , яка являє собою еквівалентну сталу часу тиристорного перетворювача

$$T_{Me} = T_{\text{тп}} = 0,0017\text{с}$$

Регулятор струму виконаний по схемі пропорційно-інтегральною функцією виду:

$$W_{\text{pc}}(P) = \frac{PT_c + 1}{P_{\text{ac}} T_{\text{MC}} K_{\text{ззс}} K_{\text{тп}}}$$

Визначаємо параметри елементів зворотних зв'язків і вхідних елементів регулятора

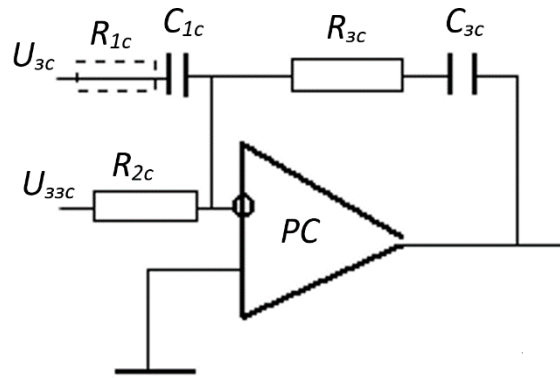


Рис. 3.5. Схема пропорційно–інтегрального регулятора струму

$$R_{зс} = \frac{T_c}{C_{зс}}$$

$$R = \frac{U_{зс\max} R_{2с}}{K_{зс} R_{як} I_c}$$

$$R = \frac{a_c T_{мс} K_{зс} K_{п}}{C_{зс}}$$

Задамося величиною ємності конденсатора:

$$C_{зс} = 0,47\mu\text{к} \quad \Phi = 0,47 \times 10^{-6} \Phi$$

Визначимо величину  $R_{зс}$ :

$$R_{зс} = \frac{0,067}{0,47 \times 10^{-6}} = 143\text{кОм}$$

Для визначення  $R_{2с}$  необхідно визначити  $K_{зс}$ :

$$K_{зс} = \frac{K_{дс}}{R_{як}}$$

$K_{дс}$  визначимо експериментальним шляхом:

Таблиця 3.4 – Експериментальні дані:

$I_{я}, A$	10	8	6	4	2	0
$U_{дс}, B$	0,52	0,4	0,31	0,2	0,1	0

Тоді

$$K_{дс} = \frac{U_{дс}}{I_{я}} = \frac{0,52 \cdot 10 + 0,41 \cdot 8 + 0,31 \cdot 6 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2}{5} = 0,052 \text{ В / А}$$

$$K_{ззс} = \frac{K_{дс}}{R_{як}} = \frac{0,052}{0,35} = 0,149$$

Знайдемо величину  $R_{2с}$ :

$$R_{2с} = \frac{2 \times 0,0017 \times 0,149 \times 17,12}{0,47 \times 10^{-6}} = 18,5 \text{ кОм}$$

тоді  $R_{1с}$  буде рівне

$$R_{1с} = \frac{10 \times 18500}{0,149 \times 0,35 \times 24} = 148 \text{ кОм}$$

тоді передаточна функція контуру струму при вибраних параметрах має вигляд

$$W_{рс}(P) = \frac{R_{як} I_{я}(P)}{U_{зс}(P)} = \frac{K_{прс}}{a_c p T_M (p T_M + 1) + 1}$$

де  $K_{прс} = \frac{R_{2с}}{R_{1с}}$  - коефіцієнт приведення сигналу завдання до сигналу зворотного зв'язку.

### 3.4 Визначення параметрів регуляторів швидкості

Структурна схема контуру швидкості при оптимізованому контурі струму показана на рис. 3.6.

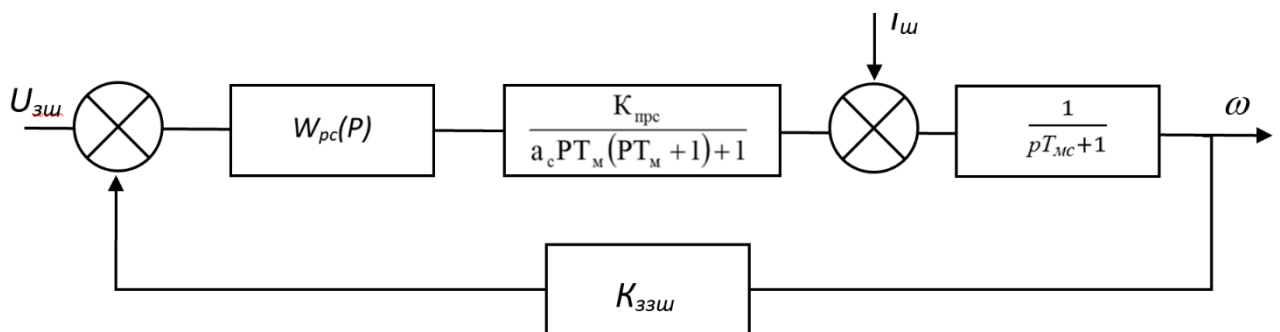


Рис. 3.6. Структурна схема контуру швидкості

Суттєвою сталою часу контура швидкості є електромеханічна стала часу  $T_m$ . У вигляді некомпенсованої сталої часу контура, приймем еквівалентну сталу  $T_{мш}$ , яка є сумою малих сталих:

$$T_{мш} = a_c T_{мс} + T_{фт}$$

де  $T_{мс}$  – мала постійна часу контура струму, рівна 0,0017с;

$T_{фт}$  – стала часу фільтра на виході тахогенератора;

$$T_{фш} = R_{303} \times C_{302} = 1000 \times 0,1 \times 10^{-6} = 0,0001 \text{с}$$

$$\text{Тоді } T_{мш} = 2 \times 0,0017 + 0,0001 = 0,0035 \text{с}$$

Регулятор швидкості виконаний пропорційно-інтегральним, передаточна функція якого має вигляд

$$W_{рш}(p) = \frac{(pT_{мш} + 1)T_{мс} K_{ззс}}{p8T^2_{мс} K_{ззм} K_{прс}}$$

Визначимо параметри вхідних елементів і елементів зворотного зв'язку регулятора швидкості.

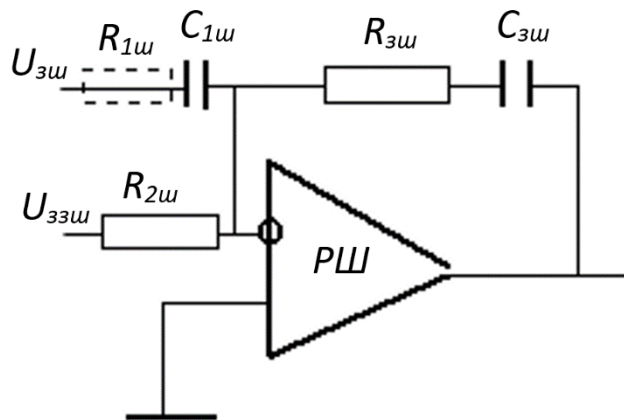


Рис. 3.7. Схема пропорційно-інтегрального регулятора швидкості

$$R_{зо} = \frac{4T_{мш}}{C_{зт}}$$

$$R_{1ш} = \frac{U_{зш} R_{2ш}}{U_{дтн}}$$

$$R_{2ш} = \frac{8T_{мш}^2 K_{зш} K_{прс}}{T_{мс} K_{ззс} C_{зш}}$$

Заданося величиною ємності  $C_{зш}$

$$C_{зш} = 0,47 \text{ мкФ} = 0,47 \times 10^{-6} \text{ Ф}$$

і визначимо  $R_{зш}$

$$R_{зш} = \frac{4 \times 0,0035}{0,47 \times 10^{-6}} = 30 \text{ кОм}$$

Для визначення  $R_{2ш}$  знайдемо спочатку

$$K_{прс} = \frac{R_{2с}}{R_{1с}} = \frac{18,5}{147,8} = 0,125$$

$$K_{ззш} = 0,095$$

$$R_{2ш} = \frac{8 \times 0,0035^2 \times 0,095 \times 0,125}{0,036 \times 0,5 \times 0,149 \times 0,47 \times 10^{-6}} = 923 \text{ Ом}$$

Величина  $R_{1ш}$  рівна:

$$R_{1ш} = \frac{U_{зш} R_{2ш}}{U_{дш}} = \frac{10 \times 923}{10} = 923 \text{ Ом}$$

Передаточна функція контура швидкості при вибраних параметрах має вигляд

$$W_3^{ш}(p) = \frac{K_{прш} / K_{ззш}}{p^4 T_{мш} \{ p T_{мш} [ p^2 T_{мс} (p T_{мс} + 1) + 1 ] + 1 \} + 1}$$

де  $K_{прш} = \frac{R_{2ш}}{R_{1ш}}$  - коефіцієнт приведення сигналу завдання до сигналу

зворотнього зв'язку по швидкості.

### 3.5 Визначення параметрів регулятора положення

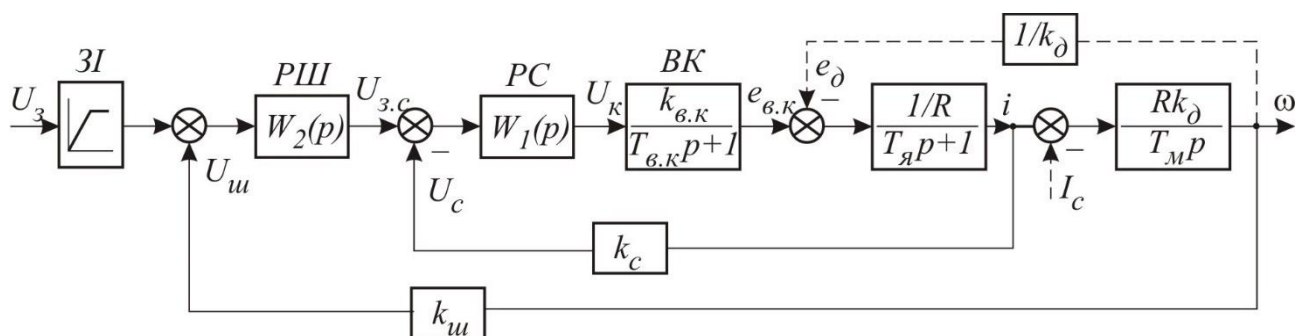


Рис. 3.8. Структурна схема контура керування положення

Виконаємо оптимізацію контура регулювання положення методом послідовної корекції, визначивши необхідну для цього передаточну функцію регулятора положення:

$$W_{\text{орп}} = W_{\text{зом}} \frac{1}{P} = \frac{1/K_{\text{зш}}}{a_{\text{ш}} a_{\text{с}} T_{\text{мр}} + 1} \times \frac{1}{P}$$

Передаточна функція розімкненого контура має вигляд

$$W_{\text{розп}} = \frac{1/K_{\text{зп}}}{a_{\text{п}} a_{\text{ш}} a_{\text{с}} T_{\text{мр}} (a_{\text{ш}} a_{\text{с}} T_{\text{мр}} + 1)}$$

Регулятор положення повинен мати передаточну функцію вигляду:

$$W_{\text{рп}} = \frac{K_{\text{зш}}}{K_{\text{зп}} a_{\text{п}} a_{\text{ш}} a_{\text{с}} T_{\text{м}} } = K_{\text{рпо}}$$

Передаточна функція замкнутого контура керування положенням:

$$W_{\text{замп}} = \frac{1/K_{\text{зп}}}{a_{\text{п}} a_{\text{ш}} a_{\text{с}} T_{\text{мр}} (a_{\text{ш}} a_{\text{с}} T_{\text{мр}} + 1) + 1}$$

Проведемо якісний аналіз роботи синтезованої системи керування положення при умові, що система замикається при підході до зони точної зупинки електроприводу, для збільшення точності позиціонування. В момент замикавання системи керування електропривід рухається з початковою установленою швидкістю  $w_{\text{поч}}$  і давач положення видає сигнал помилки  $\Delta\varphi'_{\text{поч}}$  рівний відстані від початкової точки до заданої позиції  $\varphi'_z$ .

Для даних електроприводів використовується регулятор положення з параболічною характеристикою.

Визначимо помилку позиціонування даного електроприводу:

$$K_{\text{рп}} \Delta\varphi' = K_{\text{зш}} \omega$$

$$\Delta\varphi' = \frac{K_{\text{зш}} \omega}{K_{\text{рп}}}$$

Для цього необхідно визначити коефіцієнт передачі регулятора положення і коефіцієнта зворотнього зв'язку по положенню.

Так як коефіцієнт зворотнього зв'язку по положенню  $K_{zn}$  залежить від передаточних функцій давача положення і інформаційно-виміральної системи, то визначимо їхні параметри.

Так як давач положення за один оберт видає 600 імпульсів, то

$$2\pi_{\text{рад}} (1\text{оберт}) = 600\text{імпульсів}$$

В основу ІВС входить цифрово-аналоговий перетворювач ЦАП, вхід якого є десяти розрядний, і тому коли на його вхід поступить  $2^{10}=1024$  імпульси на виході ЦАП буде аналоговий сигнал величиною 10В.

Знайдемо величину вихідного сигналу ЦАП за один оберт вала:

$$\frac{1024 - 10\text{В}}{150 - U}$$

$$U = \frac{1500}{1024} = 1,46(\text{В/оберт})$$

Звідси

$$K_{zn} = \frac{U}{\varphi} = \frac{1,46}{2\pi} = 0,233(\text{В/рад})$$

Визначимо  $K_{рг}$

$$K_{рг} = \frac{K_{zn}}{K_{zn} a_{п} a_{ш} a_{с} T_{м}} = \frac{0,095}{0,233 \times 8 \times 0,0035} = 14,35$$

Отже помилка позиціонування

$$\Delta\varphi' = \frac{K_{zn} \omega_{н}}{K_{рг}} = \frac{0,095 \times 104,5}{14,35} = 0,69\text{рад}$$

де

$$\omega_{н} = \frac{2\pi_{н}}{60} = \frac{2\pi \times 1000}{60} = 104,5\text{рад/с.}$$



## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Характеристика роботи з точки зору охорони праці

Одним з основних завдань ЦО є підвищення стійкості роботи об'єктів народного господарства в воєнний час. Для цього на кожному об'єкті народного господарства завчасно організовується і проводиться великий об'єм робіт, які спрямовані на підвищення стійкості його роботи в умовах ракетно-ядерної війни. До них відносяться інженерно-технічні, технологічні і організаційні міроприємства.

Інженерно-технічними міроприємствами забезпечується підвищення стійкості промислових будівель, споруд, обладнання і комунікацій підприємств до дії вражаючих факторів ядерної зброї.

Технологічними міроприємствами здійснюється підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, який виключає можливість виникнення вторинних вражаючих факторів, викликаних вражаючими факторами ядерного вибуху.

Організаційними міроприємствами передбачається завчасна розробка і планування дій особистого складу штабу, служб і формувань ЦО об'єкту в умовах застосування противником зброї масового враження.

Зі всього комплексу міроприємств, що підвищують стійку роботу об'єктів народного господарстві в воєнний час, особливо важливе значення має проведення інженерно-технічних міроприємств. Їх значення видно з наступного прикладу.

При ядерному вибуху потужністю 1 Мт тиск ударної хвилі 10 кПа виникає в радіусі 11,2 км; 20 кПа в радіусі 7 км. Отже, якщо підвищити стійкість об'єкту народного господарства тільки на 10 кПа (з 10 до 20 кПа), то радіус поразення об'єкту при наземному вибуху зменшиться з 11,2 до 7 км, тобто на 4,2 км, а при повітряному вибуху - на 6,8 км.

Об'єм і характер проведення інженерно-технічних міроприємств залежать від важливості об'єкту, його місцезнаходження, щільності забудовлі і розмірів території, а також чисельності робітників.

Об'єкти народного господарства відрізняються по своєму призначенню, характеру виробничого процесу і умовах розміщення. Тому на кожному об'єкті господарства проведення інженерно-технічних міроприємств передбачається виходячи з конкретних умов. Але деякі інженерно-технічні міроприємства є загальними і повинні проводитися на всіх об'єктах. До таких міроприємств відносяться:

- забезпечення захисту робітників і службовців від зброї масового ураження;
- підвищення стійкості управління ЦО об'єкту;
- підвищення стійкості будівель і споруд;
- захист цінного і унікального обладнання;
- підвищення стійкості постачання електроенергією, газом, паром, водою і роботи сіток комунального господарства;
- захист об'єктів від пожеж і інших вторинних факторів ураження<sup>4</sup>
- підвищення стійкості матеріально-технічного обладнання;
- підготовка до відновлення порушеного виробництва.

#### **4.2 Забезпечення захисту робітників і службовців від зброї масового ураження**

Основним способом захисту робочих і службовців підприємств ж переховування їх в захисних спорудах (сховищах).

Для захисту персоналу, обслуговуючого агрегати, зупинка яких внаслідок особливості процесу неможлива навіть при оголошенні сигналу "Повітряна тривога", доцільно будувати спеціальні захисні споруди.

Управління складає основу діяльності начальника ЦО об'єкту і його штабу і полягає в здійсненні постійного керівництва робітниками і службовцями, формуванням ЦО об'єкту на всіх етапах ведення громадянської оборони.

Для підвищення стійкості управління в умовах воєнного часу на об'єкті народного господарства повинна бути розроблена схема оповіщення і зв'язку, яка є складовою частиною загального плану ЦО об'єкту.

На важливих об'єктах народного господарства при загрозі нападу створюються дві групи управління: одна безпосередньо на підприємстві, а інша в заміській зоні.

Зруйнування виробничих будівель в більшості випадків веде до поломок станкового обладнання і вихід із строю комунікацій. Особливо чутливі до дії ядерного вибуху різноманітні прилади і електронна техніка.

Стійкість будівель і споруд від ядерних вибухів досягається підвищенням їх механічної міцності і вогнетривкості. Підвищення механічної міцності будівель і споруд, які будуються, досягається відповідним їх плануванням; а також використанням більш стійких конструкцій і матеріалів.

### **4.3 Захист цінного і унікального обладнання**

Захист, здійснюється в першу чергу шляхом проведення загальних інженерно-технічних міроприємств, які здійснюються для підвищення стійкості роботи підприємства.

Захист обладнання і готової продукції може здійснюватись шляхом розміщення деяких видів найбільш цінного обладнання в заглиблених приміщеннях і використанні для цього захисних улаштувань.

Захист об'єктів від вторинних факторів ураження на об'єкті народного господарства сприяють захисту від пожеж. Для цього нові промислові споруди і будівлі будуються з вогнестійких матеріалів. Між спорудами передбачаються протипожежні розриви і достатня кількість виїздів з території промислових підприємств.

В основу розрахунків при плануванні робіт беруться пошкодження і зруйнування елементів виробничого комплексу об'єкту, які визначені при оцінці стійкості.

По кожному варіанту можливого поразення розробляється план відновлення об'єкту. При цьому складаються розрахунки потрібних матеріалів, механізмів і сил.

При розробці планів і проектів відновлення, підрахункові сил і засобів потрібно виходити з того, що відновлення може носити тимчасовий характер. В основу планів і проектів повинна бути закладена вимога - як можна швидше відновити випуск продукції. Тому в проектах відновлення припустимі (в розумних межах) відступлення від прийнятих будівельних і технічних норм.

#### **4.4 Вплив електромагнітного імпульсу на народногосподарські об'єкти і міри захисту**

Ядерний вибух супроводжується електромагнітним випромінюванням у вигляді короткого імпульсу, який вражає головним чином електричну та електронну апаратуру.

Електромагнітні імпульси виникають в основному в результаті взаємодії гамма-випромінювання з атомами навколишнього середовища.

На утворення електромагнітного імпульсу використовується невелика кількість ядерної енергії, але він здатен викликати високі імпульси струмів та напруг в кабелях повітряних і підземних ліній зв'язку, сигналізації, управління, електропередачі, в антенах радіостанцій.

Вплив ЕМІ може привести до згорання чутливих електронних та електричних елементів, зв'язаних з великими антенами чи відкритими дротами, а також до порушень в числових та контрольних пристроях. Вплив електромагнітного імпульсу необхідно враховувати для всіх електричних та електронних систем. Для найбільш важливих приладів треба використовувати міри захисту і підвищувати їх стійкість до електромагнітного імпульсу.

Особливістю ЕМІ, як вражаючого фактору є його здатність розповсюджуватись на десятки і сотні кілометрів в оточуючому середовищі. Тому ЕМІ може вплинути своєю дією на об'єкти, там де вибухова хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори.

При наземних та низьких повітряних вибухах в лініях зв'язку та електрозабезпечення виникають напруги, які можуть викликати пробій ізоляції провідників та кабелів відносно землі, пробій ізоляції елементів приладів підключених до повітряних і підземних ліній.

Степінь враження залежить від наведеного імпульсу напруги чи струму і також електричної міцності обладнання.

Найбільш піддані впливу ЕМІ системи зв'язку, сигналізації, управління. Використані в цих системах кабелі та апаратура мають обмежену електричну міцність не більше 10кВ імпульсної напруги, тоді як наведені імпульси напруги від ЕМІ можуть перевищувати ці значення. Найбільш піддана впливу ЕМІ радіоелектронна апаратура виконана на напівпровідниках та інтегральних схемах, працюючих на малих струмах і напругах, і значить відчутних до впливу зовнішніх електричних і магнітних кіл. ЕМІ пробиває ізоляцію, спалює елементи електричних схем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях, іонізацію діелектриків, змінює або повністю стирає магнітний запис.

Встановлено, що при дії електромагнітного імпульсу на апаратуру найбільша напруга наводиться на вході. В транзисторах відбувається така

залежність: чим більший коефіцієнт підсилення транзистора, тим менша його електрична міцність.

ЕМІ пошкоджує також резистори, викликає іскріння в їх міжконтактних з'єднаннях і деяких областях провідної поверхні. Найбільшу небезпеку ЕМІ представляє для апаратури, яка встановлена в особливо міцних спорудах, які витримують великі тиски ударної хвилі. В цих спорудах апаратура не виходить з ладу від механічних пошкоджень, але ЕМІ може вивести з ладу всю незахищену апаратуру системи зв'язку, сигналізації і керування. Найбільших значень досягають напруги, які наводяться між кабелем і землею. Напруженість електромагнітного поля всередині споруди в деяких випадках недостатня для того, щоб вивести з ладу апаратуру, але такі поля в змозі викликати короткочасний збій роботи радіотехнічних пристроїв.

Розглянемо можливі шляхи рішення задачі захисту від ЕМІ. Ідеальним захистом від ЕМІ виявилось б повне укриття помешкання, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном.

Водночас ясно, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки, або плівкові покриття для вікон, щільникові металеві конструкції для повітрезабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, розміщені по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою рахується захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різноманітні кабельні входи. Радикальним рішенням даної проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильних до впливу ЕМІ волоконно-оптичних. Проте заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можлива тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час в якості засобів захисту кабельних входів найбільш широко використовуються фільтри, у тому числі волоконні, а також

іскрові розрядники, металлоокисні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

Всі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри достатньо ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники мають значну інерційність й в основному придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшивці літака, кожусі апаратури й оплітці кабеля.

Металоокисні варистори, являють собою напівпровідникові прилади, що різко підвищують свою провідність при високій нарузі. Проте, при застосуванні цих приладів у якості засобів захисту від ЕМІ варто враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при кількаразовому впливі навантажень. Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких заснована на різкій лавиноподібній зміні опору від високого значення практично до нуля, при перевищенні прикладеної до них напруги визначеного граничного розміру. Крім того на відміну від варисторів характеристики зенеровських діодів після багатократних впливів високих напруг і переключень режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних входів є створення таких роз'ємів у конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вмонтованих зенеровських діодів. Подібне рішення сприяє одержанню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, що мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження малогабаритних характеристик пристрою захисту.

Складність рішення задачі захисту від ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей засобів і методів змушують піти на перших порах по шляху їхнього вибіркового застосування в особі важливих системах зброї і військової техніки. Першими цілеспрямованими роботами в даному напрямку були

програма захисту від ЕМІ стратегічної зброї. Такий же шлях обраний і для захисту систем, що мають велику протяжність, керування і зв'язку. Проте основним методом рішення даної проблеми закордонні спеціалісти вважають створення так званих розподілених мереж зв'язку.



## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було розроблено програмно-апаратний комплекс для тестування електроприводів постійного струму, що надасть можливість вивчення статичної і динамічної характеристик електроприводу, а також окремих вузлів і елементів, які входять в його склад: силових перетворювачів, регуляторів швидкості, струму, положення, інформаційно-вимірних систем.

Для стабільної роботи пристроїв забезпечена синхронність між механізмами проектованої автоматизованої системи за рахунок впровадження керування електроприводом.

В даній роботі приводяться обґрунтування вибору системи позиційного електроприводу, визначення налагоджувальних параметрів системи, а також здійснено розрахунок надійності роботи одного із каналів СІФК позиційного електроприводу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт бакалаврів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.І. Королюк – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 81с.
2. Автоматизований електропривод: навч. посіб. для студентів ВНЗ, які навчаються за напрямом підгот. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / І. В. Коробійчук, В. С. Конищев ; Житомир. держ. технол. ун-т. - Житомир : ЖДТУ, 2014. - 285 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник / М.Г.Поповіч, О.Ю.Лозинський, В.Б.Клепиков та ін.; За ред. М.Г.Поповіча, О.Ю.Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Комплектні електроприводи: Навч. посібник / М.М.Казачковський. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 226 с.
5. Автоматизований електропривод машин та установок: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 61 с.
6. Баховець Б.О. Автоматизований електропривод: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2011, 238 с.
7. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч1.
8. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та інші; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища школа, 1993 – 494 с.

9. Булгар В.В. Теорія електроприводу: збірник задач. / ОНПУ Одеса: Поліграф, 2006 – 408 с.
10. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навчальний посібник / Куцик А., Місюренко В.. — Львів: Львівська політехніка, 2011. — 200 с.
11. Основи електропривода/ Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко О.Ю. Синявський та інші. – К.: Вид-во Ліра-К, 2017. – 524 с.
12. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи./ Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Мацко Б.М., Теряєв В.І. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
13. Житецький В.Ц. Основи охорони праці.- Львів: Афіша, 2000.- 350 с.
14. Губський А. І., Цивільна оборона.- К.: Міністерство освіти, 1995. - 216 с.
15. Пістун І.П., “Безпека життєдіяльності” – Суми: Університетська книга, 2000, - 302с.
16. Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. Цивільна оборона. Навчальний посібник / За ред. Полковника В.С.Франчука. – Львів : Афіша, 2000. – 336с.