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

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА РОЛИКОВОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРА**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601мМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності

Попенко А. К.
(прізвище та ініціали)
Керівник Шефер О.В.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Шнідер В.М.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2023 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри автоматики
електроніки та телекомунікацій

_____ д.т.н., проф. О.В. Шефер
"04" 09 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Попенку Андрію Костянтиновичу

1. Тема проекту (роботи) «**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА РОЛИКОВОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРА**»

керівник проекту (роботи) Шефер Олександр Віталійович, д.т.н., професор
затверджена наказом вищого навчального закладу від "_04_" _09__ 2023 року № 986-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Діапазон зміни швидкості обертання привідних роликів 0,052 - 10 об/хв; повинна забезпечуватись стабільність привідного моменту на всьому діапазоні регулювання швидкості; Максимальна потужність електродвигуна – не більше 1,5 кВт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ та аналіз технологічного процесу зварювання на стенді. Розрахунок діапазону зміни швидкості стенда. Аналіз існуючих систем і вибір типу електропривода. Розрахунок статичних та динамічних навантажень зварювального стенду. Розробка функціональної та електричної принципової схеми електропривода. Розробка схем з'єднань та підключень автоматизованого обладнання ЕП. Розробка структурної схеми САК, оцінка якості та стійкості регулювання. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): Загальний вигляд роликово-поворотного стенда. Механічні характеристики приводного ЕП з різними способами регулювання. Схема зусиль на стенді. Графіки залежності обертаючого зусилля від параметрів роботи ЕП Схема силового блоку керування перетворювачем. Функціональна та електрична принципова схеми ЕП. Функціональна схема та діаграма роботи СІФК. Схема з'єднань та схема підключень автоматизованого ЕП. Годограф Михайлова.

7. Дата видачі завдання 04.09.23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

По р. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			При (пла
1	Вступ та аналіз технологічного процесу для зварювання на роликово-поворотному стенді. Обґрунтування теми проекту.	11.10.23		15%	Пл
2	Розрахунок діапазону зміни швидкості роликоповоротного стенда. Аналіз існуючих систем і вибір типу електропривода.	18.10.23	I	30%	Пл
3	Розрахунок статичних та динамічних навантажень зварювального стенду.	25.10.23		40%	Пл
4	Розрахунок потужності і вибір електродвигуна, муфти та редуктора. Перевірочний розрахунок двигуна.	14.11.23		50 %	Пл
5	Розробка функціональної та електричної принципової схем електропривода.	21.11.23	II	60%	Пл
6	Розробка схем з'єднань та підключень автоматизованого обладнання ЕП.	28.11.23		70%	Пл
7	Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання, оцінка якості та стійкості регулювання.	06.12.23		90%	Пл
8	Висновки. Формування додатків. Оформлення кваліфікаційної роботи та підготовка графічних матеріалів.	13.12.23	III	100%	Пл. 9

Магістрант _____ Попенко А.К.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Шефер О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП **5**
1. **АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА** **7**
1.1. Аналіз технологічного процесу для зварювання на роликово поворотному стенді **7**
1.2. Аналіз технологічного процесу виконання зварювальних робіт за допомогою обертального стенда **9**
2. **РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА** **13**
2.1. Розрахунок діапазону зміни швидкості роликоповоротного стенда для зварювання **13**
2.2. Аналіз існуючих систем і вибір типу електропривода **15**
2.3. Розрахунок статичних навантажень зварювального стенду **24**
2.4. Розрахунок динамічних навантажень **29**
2.5. Розрахунок потужності і вибір електродвигуна, муфти та редуктора **31**
3. **ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА** **34**
3.1. Перевірочний розрахунок двигуна за діючими навантаженнями **34**
3.2. Розробка функціональної схеми електропривода **39**
3.3. Розробка принципової схеми силової частини електропривода **45**
3.4. Розрахунок джерела живлення якоря **48**
3.5. Розрахунок захисних R-C ланцюгів **57**
3.6. Розрахунок джерела живлення обмотки збудження **59**
3.7. Розробка принципової схеми ланцюгів керування **60**
3.8. Розробка схеми з'єднань **66**
3.9. Розробка схеми підключень **68**
3.10. Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання, оцінка якості та стійкості регулювання **70**
3.11. Оцінка якості та стійкості системи автоматичного регулювання **75**
ВИСНОВКИ **79**
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ **80**
ДОДАТКИ **81**

ВСТУП

Зварювання є одним із важливих способів з'єднання металів та технічного прогресу в машинобудуванні, металообробці, будівництві й інших галузях національного господарства України. Розрізняють дугове, контактне, плазменно-дугове та електронно-променеве зварювання [1].

Найбільш поширеним видом зварювання є дугове та контактне зварювання. При дуговому зварюванні деталі нагрівають за допомогою електричної дуги. Деталі самі слугують одним із електродів дуги. Чорні метали зварюються стальним електродом із обмазкою, який у процесі розплавляється і створює шов. Деталі кольорових металів частіше всього зварюються за допомогою вугільного або графітового електроду – катоду. Присадку вводять у зону зварювання у вигляді окремого присадочного прутка.

Серед механізованих способів зварювання основне місце займає контактне, автоматичне, напівавтоматичне, під флюсом і зварювання в захисних газах. Використання цих способів економить 5-7% електроенергії у порівнянні з ручним способом зварювання.

Залежно від призначення зварювальні установки можуть бути виокремлені на такі основні групи:

Установки для автоматичного зварювання листових полотнищ, що мають один або декілька паралельних між собою швів.

Установки для автоматичного зварювання балок, колон і аналогічних механічних конструкцій.

Установки для зварювання циліндричних судин і інших виробів із круговими та поздовжніми швами.

Існує цілий клас верстатів для автоматичного зварювання. Роликовий стенд із типових роликоопор, є технологічним зварювальним обладнанням і призначається для обертання

циліндричних сталевих виробів зі зварювальною чи маршовою швидкістю при автоматичному електродуговому зварюванні внутрішніх і зовнішніх кільцевих швів, збиранні, обробці, а також для встановлення виробів у положення зручне для цих робіт, при цьому, діапазон зміни швидкості обертання привідних роликів залежить від необхідної швидкості зварювання, яка складає від 0,052 об/хв до 3 об/хв.

Оскільки на ролико-поворотному стенді зварюються заготовки діаметром від 800 мм до 1800 мм і довжиною від 800 мм до 7250 мм, що суттєво впливає на вагу заготовки, отже найбільший сумарний крутний момент повинен забезпечувати обертання будь-яких ємностей у потрібному діапазоні швидкостей від 0,052 до 3 м/хв.

Для покращення якості зварювального шва необхідна постійність привідного моменту на всьому діапазоні регулювання швидкості обертання двигуна.

Все це необхідно враховувати для забезпечення високої якості зварного шва.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз технологічного процесу для зварювання на роликово поворотному стенді

Роликовий стенд із типових роликоопор є технологічним зварювальним обладнанням і призначається для зварювання циліндричних сталевих виробів, які обертаються зі зварювальною чи маршовою швидкістю при автоматичному електродуговому зварюванні внутрішніх і зовнішніх кільцевих швів, збиранні, обробці, а також для встановлення виробів у положення зручне для цих робіт.

На стенді можливо виконувати ручне і напівавтоматичне зварювання прямолінійних швів та інші роботи, що потребують повороту труб. Зварювання може виконуватись під шаром флюсу і в середовищі інертних захисних газів.

Роликовий стенд (рис. 1) складається з шести холостих та шести привідних роликоопор і привода. Все монтується на основній рамі. Приводні роликоопори з’єднані між собою за допомогою жорстких муфт і проміжних валів.

Роликоопора складається з литої основи, литих чавунних коліс і осі, що обертається на роликопідшипниках. Оскільки крутний момент передається від ролика до виробу що зварюється, за рахунок сил тертя між поверхнею привідних роликів і поверхнею виробу, то для кращого зчеплення з виробом контактна поверхня роликів вкрита гумовою шиною. Ролики мають загальний діаметр 410 мм.

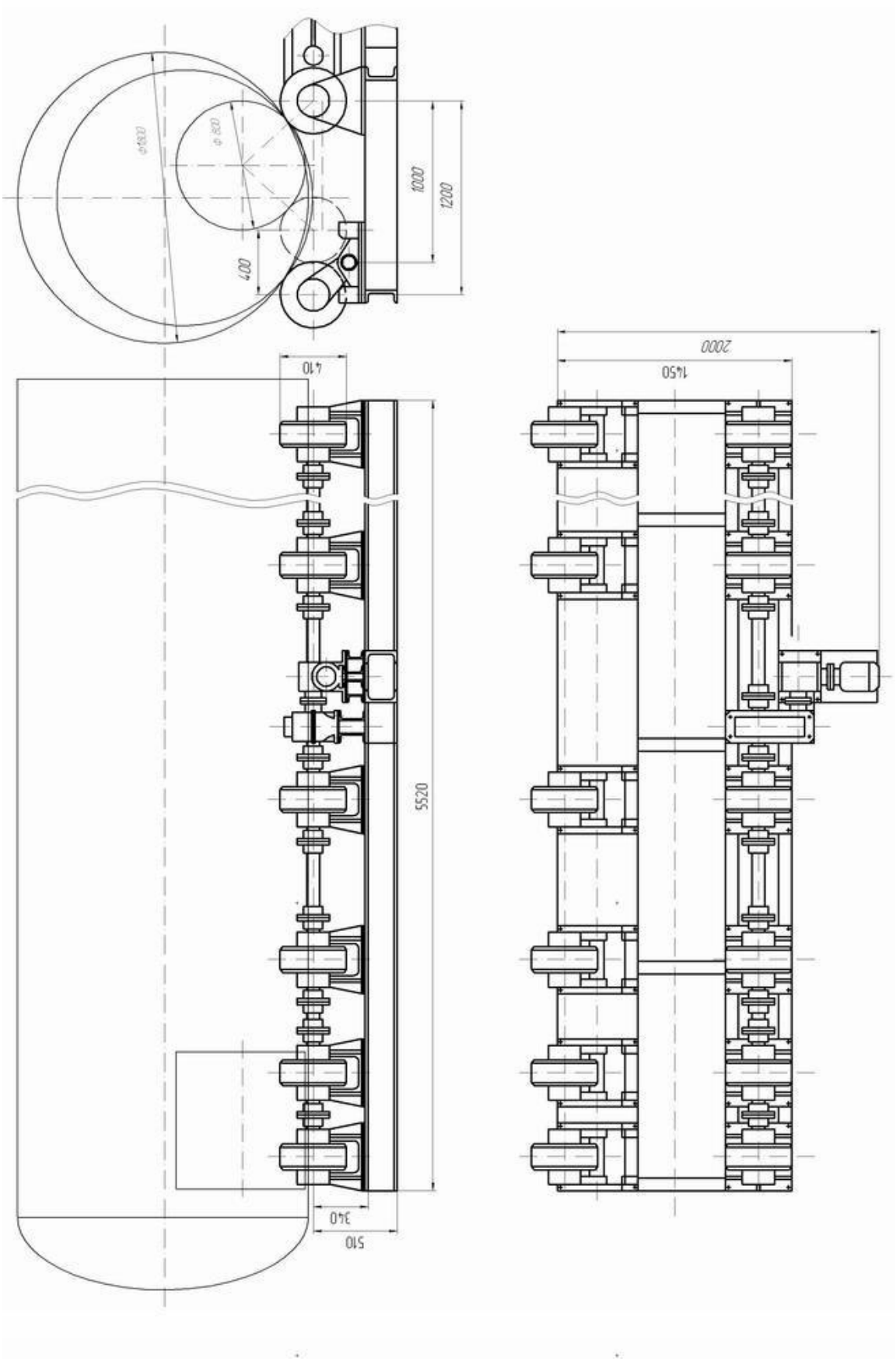


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд роликово-поворотного стенда

Холості роликоопори є перекидними і мають два фіксованих положення, які встановлюються в певне положення залежно від діаметра зварюємого виробу.

Привід роликового стенда складається з електродвигуна, черв'ячного і циліндричного редукторів, шафи управління і пульта керування.

Шафа керування виконана окремою конструкцією і встановлюється поблизу від привода. На лицьовому боці шафи керування і на дистанційному пульті знаходяться всі органи керування приводом.

Принцип виконання зварювальних робіт на роликоповоротному стенді.

Електродвигун передає обертання на черв'ячний редуктор за допомогою втулково-пальцевої муфти, обертовий момент з черв'ячного редуктора передається на циліндричний теж за допомогою втулково-пальцевої муфти, яка передає рух привідним роликам через жорсткі муфти і проміжні вали.

На роликоопорах встановлюється циліндричний виріб, який при обертанні роликоопор теж буде обертатися. При підведенні зварювальної головки до виробу буде відбуватися процес зварювання.

1.2. Аналіз технологічного процесу виконання зварювальних робіт за допомогою обертального стенда

Виготовлення металевих труб малого діаметра виконується в декілька етапів. Спочатку виготовляються циліндричні обичайки потрібного діаметра. Для цього стальні листи з підготовленими кромками вальцюють, а потім виготовляють циліндри шляхом накладання зварного шва. Після цього проводиться зварювання декількох обичайок для утворення потрібної довжини труби, при

Зміст

ВСТУП **5**
1. **АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА** **7**
1.1. Аналіз технологічного процесу для зварювання на роликово поворотному стенді **7**
1.2. Аналіз технологічного процесу виконання зварювальних робіт за допомогою обертального стенда **9**
2. **РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА** **13**
2.1. Розрахунок діапазону зміни швидкості роликоповоротного стенда для зварювання **13**
2.2. Аналіз існуючих систем і вибір типу електропривода **15**
2.3. Розрахунок статичних навантажень зварювального стенду **24**
2.4. Розрахунок динамічних навантажень **29**
2.5. Розрахунок потужності і вибір електродвигуна, муфти та редуктора **31**
3. **ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА** **34**
3.1. Перевірочний розрахунок двигуна за діючими навантаженнями **34**
3.2. Розробка функціональної схеми електропривода **39**
3.3. Розробка принципової схеми силової частини електропривода **45**
3.4. Розрахунок джерела живлення якоря **48**
3.5. Розрахунок захисних R-C ланцюгів **57**
3.6. Розрахунок джерела живлення обмотки збудження **59**
3.7. Розробка принципової схеми ланцюгів керування **60**
3.8. Розробка схеми з'єднань **66**
3.9. Розробка схеми підключень **68**
3.10. Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання, оцінка якості та стійкості регулювання **70**
3.11. Оцінка якості та стійкості системи автоматичного регулювання **75**
ВИСНОВКИ **79**
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ **80**
ДОДАТКИ **81**

цьому накладають кругові зварювальні шви. В залежності від розташування зварювального робочого органу при зварюванні (ззовні чи в середині виробу) кругові шви розділяють на зовнішні і внутрішні. При виготовленні металевих труб малого діаметра з великою товщиною стінок використовують як правило двосторонній шов – зовнішній і внутрішній. Перед накладанням зварного шва для з'єднання обичайок їх з'єднують у декількох точках. Для цього привод повинен забезпечувати повертання виробів з великою швидкістю.

Автоматичне зварювання проводиться на флюсовій подушці чи в середовищі інертних газів з невеликою швидкістю 232 м/год. Зварювання внутрішніх швів виконується в крайній нижній точці циліндричної поверхні в середині виробу, а зварювання зовнішніх кругових швів виконується в крайній верхній точці ззовні виробу.

Для зварювання використовують зварювальний автомат, що розташовується на пересувній колоні чи візку (зварювальний трактор). Зварювальний трактор являє собою візок, на якому розташоване обладнання для підпалювання електричної дуги, механізм подачі зварювального дроту, бункер з флюсом, електропривод візка і контролююча апаратура.

Зварювання з середини виконується зварювальним трактором типу ТС-17МУ. При обертанні виробу на роликовому стенді зварювальний трактор під дією власної сили тяжіння весь час знаходиться в крайній нижній точці окружності.

Зовнішнє зварювання виконується зварювальним автоматом АБСк – підвісна головка, встановлена на балконі велосипедного візка ВТЗ, або зварювальному порталі ПК-1. Для зовнішнього зварювання також може бути використаний і зварювальний трактор.

Отже, для виконання всіх етапів зварювальних робіт ЕП роликоповоротного стенду повинен забезпечувати обертання виробів

різної ваги, як з великою так і з малою швидкістю, конкретний діапазон якої буде встановлений нижче.

Електропривод роликового стенда являє собою систему електродвигуна з редукторами і схемою керування, яка повинна забезпечувати обертання привідних роликів зі зварювальною чи маршовою швидкістю.

На роликовому стенді передбачено виробництво металевих труб діаметром 80 – 180 мм.

Потрібно, щоб в процесі зварювання виробу одержувався зварний шов високої якості. На властивості зварних з'єднань, особливо на стійкість металу проти утворення тріщин впливає форма шва.

На форму шва і розміри шва впливають наступні фактори: режим зварювання і рід струму, форма обробки кромок і величина зазору у з'єднанні, теплофізичні властивості металу, швидкість зварювання, положення електрода, марка флюсу і тип захисного газу. Для обґрунтування швидкості обертання привідних роликів скористаємося джерелами [1,2].

У процесі конструювання приводів зварювального руху необхідно враховувати явище нерівномірності робочого ходу, яке досить часто спостерігається в зварювальних установках і погано впливає на якість зварювання. Суть цього явища полягає в тому, що рух важких мас з малою швидкістю набуває пульсуючого, стрибкоподібного характеру з визначеним ритмом. Ця пульсація збільшується зі збільшенням маси деталей, що рухаються і зменшенням їх швидкості.

Недоліком існуючого стенда є відсутність регулювання швидкості обертання зварювальних об'єктів, що негативно впливає на процес зварювання.

Відомо, що зміна швидкості зварювання при незмінному струмові і напрузі впливає на глибину і ширину проплавлення і на площу перерізу шва внаслідок зміни положення стовпа дуги, товщини шару рідкого металу під дугою і погонною енергією зварювання. Зі збільшенням швидкості зварювання стовп дуги відхиляється в сторону, внаслідок чого з-під дуги витісняється більше рідкого металу і товщина його шару зменшується. Разом з цим зменшується енергія зварювання, що призводить до зменшення площі перерізу шва. Тому питання вибору правильного діапазону регулювання швидкості привідних роликів є одним із найважливіших.

Існуючий електропривод фізично та морально застарів і не забезпечує необхідного діапазону зміни швидкості та постійності моменту в необхідному діапазоні. Що в свою чергу знижує продуктивність роликоповоротного стенду.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок діапазону зміни швидкості роликоповоротного стенда для зварювання

Швидкість зварювання, при якій забезпечується добре формування шва, визначається за формулою [1]:

$$Vзв = \frac{2500}{Iзв}, \qquad (2.1)$$

де Vзв – швидкість зварювання, м/год ;

Ізв – струм зварювання, А.

В таблицях 1, 2, 3 по даним приведеним в [1,2] вказані залежності лінійної швидкості зварювання під флюсом від товщини листа, діаметра електрода, струму зварювання і зазору в стикові.

Таблиця 1. Орієнтовні режими одностороннього автоматичного зварювання листів товщиною до 8 мм.

Товщина листів, мм	Діаметр електрода, мм	Ізв, А	Vзв, м/год
3	1,6 3	275-300 400-425	34 70
5	2 4	425-450 575-625	35 46
8	4	725-775	34

Таблиця 2. Орієнтовні режими одностороннього автоматичного зварювання з зазором стикових з’єднань металу товщиною 10 – 20 мм.

Товщина листів, мм	Зазор в стику, мм	Ізв, А	Vзв, м/год
10	3-4	700-750	30
16	5-6	850-900	20
20	5-6	950-1000	15

Таблиця 3. Орієнтовні режими двостороннього автоматичного зварювання стиків без обробки кромок з обов’язковим зазором.

Товщина листів,	Зазор в стику, мм	Ізв, А	Vзв, м/год

мм			
14	3-4	700-750	30
30	6-7	950-1000	16
50	10-11	1200-1300	10

Відповідно до [1,2] швидкість зварювання в середовищі захисних інертних газів змінюється в межах 10 – 60 м/год.

Виходячи з вище сказаного і даних таблиці 1, 2 і 3 приймемо діапазон зміни швидкості зварювання для роликового стенда від 4 до 70 м/год. Знаючи діаметр привідних роликів можна визначити їх частоту обертання:

$$n_p = \frac{V}{\pi D \cdot 60} \qquad (2.2)$$

$$n_{p\min} = \frac{4}{\pi \cdot 0.41 \cdot 60} = 0{,}052 \text{ об/хв}$$

$$n_{p\max} = \frac{70}{\pi \cdot 0.41 \cdot 60} = 0{,}906 \text{ об/хв}$$

Для швидкого повороту виробу з метою установки його в потрібне положення, а також для швидкого зварювання обичайок в декількох місцях зварюваного шва для зручнішого основного зварювання необхідно передбачити обертання виробу з маршовою швидкістю. Вона приймається рівною $n_{марш}$= 3 об/хв = 231,85 м/год для привідних роликів.

Таким чином електропривод повинен відповідати таким вимогам:

1) живлення електропривода повинно забезпечуватися безпосередньо від промислових мереж напругою 220/380 В і частотою 50 Гц.

Допустимі відхилення параметрів мережі:

- по напрузі +5% ,-10%;
- по частоті ±2%.

2) діапазон зміни швидкості обертання привідних роликів від 0,052 об/хв до 10 об/хв.

3) найбільший сумарний крутний момент повинен забезпечувати обертання будь-яких труб у потрібному діапазоні швидкостей від 0,052 до 10 м/хв.

4) постійність привідного моменту на всьому діапазоні регулювання швидкості обертання двигуна.

2.2. Аналіз існуючих систем і вибір типу електропривода

Для забезпечення раціонального використання роликового обертача виникає необхідність у регулюванні швидкості обертання привідних роликів.

За способом регулювання швидкості зварювання приводи розділяються на дві групи:

- з плавним, безступінчастим регулюванням швидкості;
- зі ступінчастим регулюванням;

Плавне регулювання швидкості здійснюється або за допомогою механічного варіатора, або зміною частоти обертання привідного валу. У даний час спостерігається тенденція до повної відмови від механічних варіаторів і заміні їх електричною системою регулювання, що дозволяє суттєво спростити механічну конструкцію приводного механізму. Крім того, практика експлуатації механічних варіаторів у механічному зварювальному устаткуванні показала їхню недостатню надійність у роботі і складність ремонту. Тому незважаючи на те, що електричний спосіб регулювання вимагає більш складної системи керування частотою обертання привідного валу, що, природно, ускладнює електросхему установки, цей спосіб

все-таки більш надійний і простий порівняно з варіаторами, особливо коли необхідно мати великий діапазон регулювання.

До електричного способу плавного регулювання швидкості ставляться лише дві вимоги:

- повинна бути забезпечена сталість швидкості обертання двигуна, а отже, і швидкості зварювання (жорсткість швидкісної характеристики) у всьому заданому діапазоні;

- при будь-якій частоті обертання момент на валу двигуна повинний бути рівним приведеному розрахунковому моменту опору, а потужність може змінюватися пропорційно частоті обертання. Таким чином, у даному випадку від двигуна вимагається гарантований момент, а не потужність.

Приводи зі ступінчастим регулюванням рекомендується застосовувати в спеціалізованих автоматичних зварювальних установках з обмеженим діапазоном швидкостей, які не потребують частої зміни робочої швидкості, як це буває, наприклад, у масовому виробництві однотипних виробів з однаковими швами.

При виборі систем приводів у цьому випадку доцільно використовувати привод з безступінчастим плавним електричним регулюванням швидкості. Основна перевага таких приводів полягає в можливості дистанційної і швидкої зміни швидкості зварювання в широкому діапазоні. На сьогоднішній день електропривод забезпечує широкий діапазон зміни швидкості обертання вала двигуна, не тільки всі робочі швидкості, але і маршову. Тому необхідність у коробках швидкостей і варіаторах в електроприводах роликових стендів відпадає.

При застосуванні електричного способу регулювання можливе використання електромагнітних і магніто-порошкових муфт. За допомогою їх можливе отримання плавності і безступінчастості регулювання при використанні асинхронних двигунів з

короткозамкненим ротором. Але вони мають такі недоліки, як великі втрати на тертя і необхідний у зв'язку з цим відвід тепла.

У якості приводного двигуна найчастіше використовують асинхронний електродвигун. Найбільш простим, надійним і дешевим є асинхронний електродвигун з коротко замкненим ротором. Регулювання швидкості АД з КЗ ротором може здійснюватися кількома способами [3]:

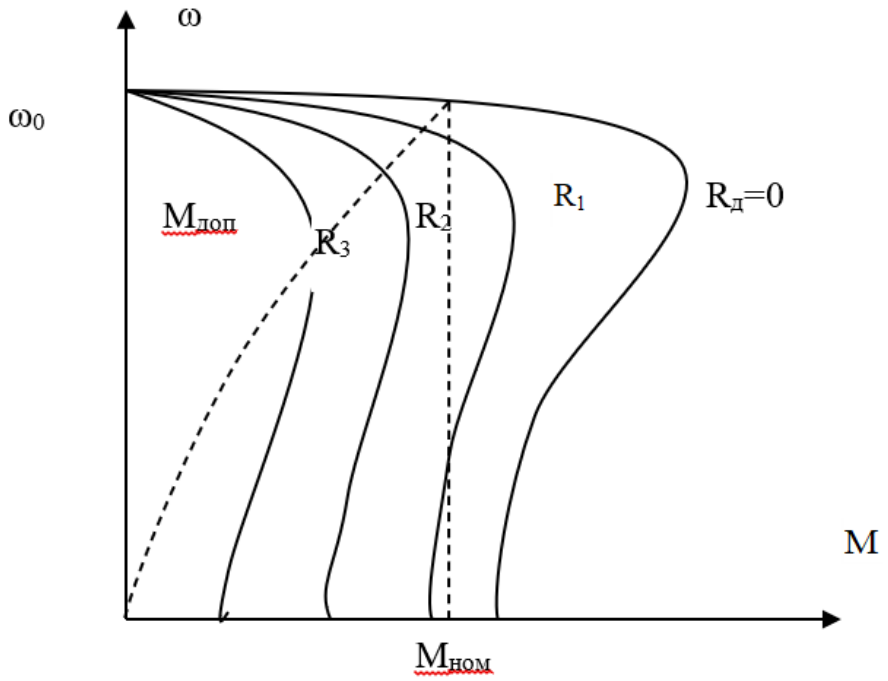


Рисунок 2.1 - Механічні характеристики асинхронного двигуна з реостатним регулюванням

1.Регулювання виконується шляхом зміни опору резисторів, ввімкнених послідовно у фазні обмотки статора. Перевага цього способу – простота. Але він має такі недоліків як: регулювання швидкості забезпечується лише вниз від природної характеристики, модуль жорсткості механічних характеристик зменшується при зниженні кутової швидкості, а втрати потужності в силовому ланцюзі зростають. Критичне ковзання і критичний момент будуть

змінюватися, що відповідає скороченню робочої ділянки механічної характеристики. Діапазон регулювання малий і не перевищує 1,15 – 1,2, а саме регулювання отримується ступінчатим. Отже такий електропривід не підходить.

2. Регулювання швидкості зміною індуктивного опору у статорній обмотці.

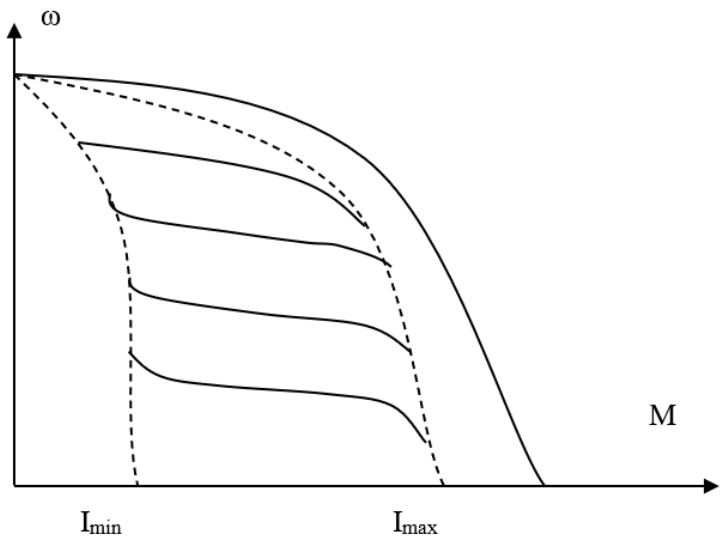


Рисунок 2.2 - Механічні характеристики асинхронного двигуна з регулюванням швидкості зміною реактивного опору у статорній обмотці

Якщо в якості додаткового індуктивного опору в статорну обмотку включити індуктивний опір, що плавно регулюється, наприклад магнітний підсилювач, то у цьому випадку можливе отримання практично безступінчатого регулювання швидкості двигуна без застосування контакторної апаратури в силових колах. Для підтримання приблизно постійної швидкості обертання при зростанні моменту навантаження необхідно збільшити струм підмагнічування, а при зниженні моменту підвищувати. У подібного роду схемах діапазон регулювання може бути розширений до 8 – 10. ККД електроприводу залишається майже таким як у реостатного регулювання, але коефіцієнт потужності помітно знижується.

Крім цього помітно зростають капітальні затрати, так як габарити, маса і вартість реактора порівняні з аналогічними показниками для самого двигуна.

Недоліком є зниження коефіцієнта потужності й економічні витрати.

3. Регулювання швидкості шляхом зміни напруги мережі живлення. Для зміни напруги на статорі АД можуть використовуватися автотрансформатори, магнітні підсилювачі, тиристорні регулятори напруги і т.д. Зміна напруги приводить до зменшення критичного моменту, тоді як критичне ковзання залишається незмінним. У випадку ненасиченого магнітного ланцюга машини, критичний момент зменшується пропорційно квадрату напруги. Переваги і недоліки такі ж, як у вище описаного методу.

4. Регулювання швидкості двигуна зміною числа пар полюсів. Таке регулювання виходить безпосередньо з виразу для знаходження синхронної частоти обертання АД ω_o:

$$w_o = \frac{2pf_1}{p}, \qquad (2.3)$$

де f_1 – частота мережі живлення,

p – число пар полюсів.

Недолік цього методу у тому, що регулювання відбувається ступінчасто, оскільки в знаменнику виразу може знаходитися лише ціле парне число.

5. Регулювання швидкості зміною частоти мережі живлення. З виразу (2.3) очевидно, що регулювати швидкість АД можливо змінюючи частоту живлячої мережі за допомогою перетворювача частоти.

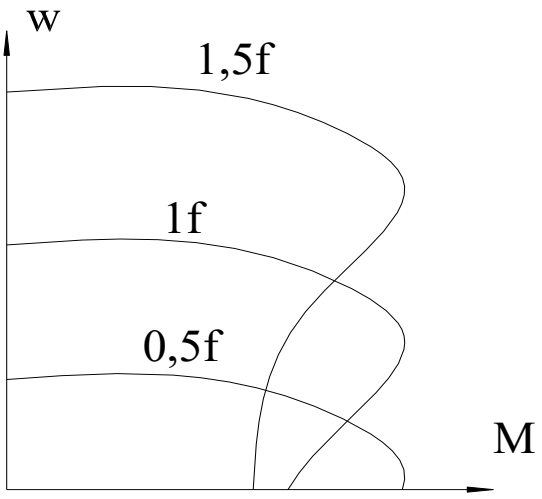


Рисунок 2.3 - Механічні характеристики асинхронного двигуна з регулюванням швидкості зміною частоти живлячої мережі

Змінюючи плавно частоту f_1 можна отримати і плавну зміну ω в широких межах і навіть більшу від $\omega_{ном}$, при цьому момент двигуна залишається постійним. Таке керування ефективне і економічне. При частотному керуванні ковзання машини не залежно від діапазону керування підтримується невеликим, і втрати в двигуні теж невеликі. Забезпечується плавне регулювання в широкому діапазоні зміни швидкостей. Переваги – висока надійність АД. Недоліками цього методу є те, що необхідний досить складний перетворювач який має високу вартість.

Більш складним і дорожчим в порівнянні з АД з КЗ ротором є АД з фазним ротором. Недоліком його конструкції є щітково-кільцевий механізм ротора. Регулювання АД з ФР можливе тими ж методами, що і АД з КЗ ротором. Крім того можливе регулювання швидкості введенням додаткових опорів у коло ротора. Критичне ковзання при такому регулюванні зменшується, а критичний момент залишається незмінним, тобто допустимий момент залишається постійним і рівним номінальному. Взагалі реостатне регулювання в колі ротора має ті ж недоліки, що і реостатне регулювання АД з КЗ ротором.

Асинхронний двигун дешевше ніж двигун постійного струму, але перетворювач частоти має набагато складнішу конструкцію і набагато вищу вартість, ніж система керування ДПС.

Двигун постійного струму є найбільш ефективний. Тому що можливості регулювання ДПС значно вищі ніж АД.

1. Регулювання швидкості введенням додаткових опорів у коло якоря. Переваги і недоліки такого методу такі ж, як і у АД з ФР.

2. Регулювання швидкості послабленням магнітного потоку обмотки збудження двигуна.

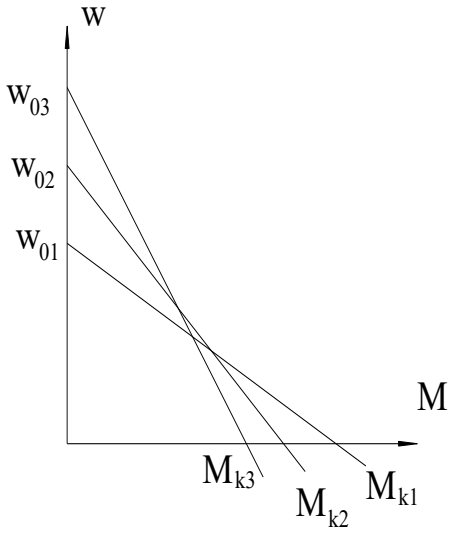


Рисунок 2.4 - Механічні характеристики ДПС з регулюванням швидкості обертання послабленням магнітного потоку обмотки збудження

Таке регулювання забезпечується введенням додаткового опору у ланцюг незалежної обмотки збудження, або зменшенням напруги на ній, або шунтуванням послідовної обмотки збудження. Разом зі зменшенням потоку збудження росте швидкість ідеального холостого ходу, так як $\omega_0=U_c/к\Phi$, залишається незмінним струм КЗ, так як $I_к=U_c/R_я$; знижується момент КЗ так як $M_к=к\Phi I_к$ і модуль жорсткості механічних характеристик $|\beta|=к^2\Phi^2/R_я$, що обмежує діапазон регулювання. Крім того верхня межа регулювання обмежена механічною міцністю елементів якоря машини. Втрати в силовому колі і ККД двигуна залишаються незмінними.

3. Регулювання частоти обертів двигуна зміною напруги на якорі двигуна з незалежним збудженням.

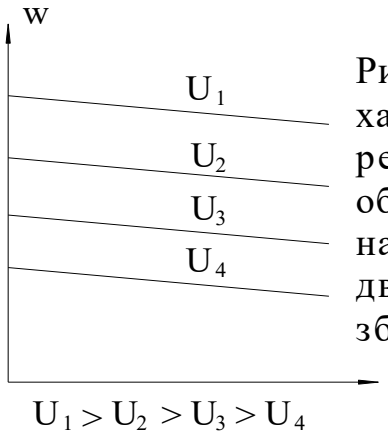


Рисунок 2.5 - Механічні характеристики ДПС з регулюванням швидкості обертання зміною напруги на якорі двигуна з незалежним збудженням

Якщо обмотку збудження живити від незалежного джерела і підтримувати в ній струм збудження постійним, а якір підключити до джерела постійного струму з регулюємою напругою то одержимо систему, у якій швидкість двигуна можна регулювати у широких межах. Нахил механічних характеристик при різних значеннях $U_я$ буде однаковим, тобто вони будуть паралельні. З точки зору навантаження регулювання буде проводитись з постійним моментом. Діапазон регулювання тим більше, чим менше значення сумарного опору кола якоря.

Оскільки при такому способі регулювання додаткові опори в колі якоря не потрібні, а внутрішній опір джерела живлення не великий, то характеристики одержуються досить жорсткі. По цій же причині регулювання досить економічне, по відношенню до втрат у силовому ланцюзі.

Для зміни швидкості автоматичного зварювання металевих труб малого діаметра при різних товщинах зварювального шва і різних типах сталей до електропривода роликового стенда пред'являються вимоги плавності регулювання швидкості привідного двигуна в широких межах при незмінному моменті, оскільки навантаження не змінюється.

Цим вимогам задовольняють електроприводи на базі асинхронного двигуна з тиристорним перетворювачем частоти мережі живлення і двигун постійного струму незалежного збудження з регулюванням напруги якірного кола.

Перетворювач частоти для асинхронного двигуна має складнішу конструкцію і набагато вищу вартість, ніж система керування ДПС, тому для роликоповоротного стенда в даному проекті вибраний регульований електропривод на базі ДПС. Робота такого привода буде забезпечуватися в нормальних для ДПС умовах, так як такі стенди встановлюються в закритих приміщеннях з нормальною вологістю де виконуються зварювальні роботи, тому іскріння на колекторі не призведе до негативних наслідків.

2.3. Розрахунок статичних навантажень зварювального стенду

Розрахунок виконуємо за методикою викладеною у [3].

Активна величина навантаження стенда складається з центральної сили G, яка дорівнює вазі виробу, що обертається.

У статичному режимі сила G утворює на роликоопорах опорні реакції Q, котрі залежать від кута α :

$$Q = \frac{G}{2 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}, \qquad (2.4)$$

де α – кут між центрами роликоопор і центром виробу (α=65...85).

Під час обертання виробу на привідних роликах виникає окружне зусилля T_1. Щоб оцінити вплив цього зусилля на опорні реакції роликів Q, прикладемо до центру О барабана дві рівні і протилежні за напрямом сили T_1. Одна з них, в парі з окружним зусиллям на роликах, утворює момент T_1R, який обертає барабан навколо осі О. Іншу силу розкладемо по напрямках опорних реакцій на дві складових T_3 і T_4. Тоді під дією окружного зусилля T_1 до основних опорних реакцій роликів Q додаються сили: $\pm T_3$ – на привідні роликоопори і T_4 – на ведені. Аналогічну дію виконує сила T_2 , добавляючи до опорних реакцій сили T'_3 і T'_4 . Таким чином сумарні опорні реакції на привідних і холостих роликоопорах будуть відповідно складатися

$$Q_1 = Q + T_3^{/};\ Q_2 = Q + T_4^{/}. \qquad (2.5)$$

За (рис 2.6) маємо

$$T_3 = -T_1 / \mathrm{tg}\alpha; T_4 = T_1 / \sin\alpha; T_3^{/} = T_2 / \sin\alpha; T_4^{/} = -T_2 / \mathrm{tg}\alpha. \qquad (2.6)$$

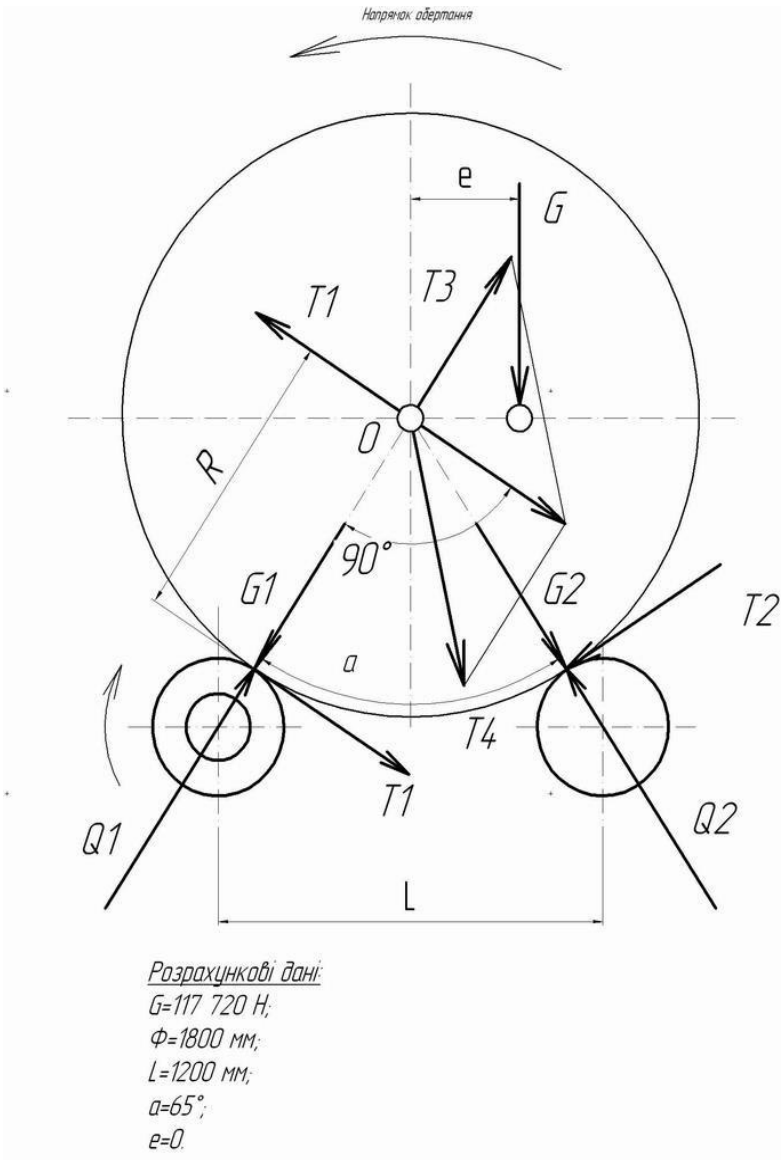


Рисунок 2.6 - Схема дії сил на роликоповоротному стенді

Після підстановки Q, T_3 і T_4 отримані наступні вирази для опорних реакцій:

$$Q_1 = \frac{G}{2 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} - \frac{T_1}{\mathrm{tg}\alpha} + \frac{T_2}{\sin\alpha}; \tag{2.7}$$

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} + \frac{T_1}{\sin\alpha} - \frac{T_2}{\mathrm{tg}\alpha}. \tag{2.8}$$

Величина окружного зусилля T_1 на привідних роликах визначена із умов переборювання (урівноважування) опору обертання холостих роликоопор T_2.

Умова рівності моментів відносно осі виробу, що обертається:

$$T_1R=T_2R \text{ , звідки}$$

$$T_1 = T_2 . \qquad (2.9)$$

Опір обертанню привідних роликів і привідного валу повинно бути враховане в подальших розрахунках, при визначенні крутного моменту і потужності на привідному валу.

Опір обертанню холостих роликоопор, приведений до їх окружності визначається як

$$T_2 = Q_2 \frac{f \cdot d_p + 2\mu}{D_p}, \qquad (2.10)$$

де d_p – діаметр осьового валу ролика в підшипниках, dp= 0.7;

Dp – діаметр ролика;

f – коефіцієнт тертя в підшипниках роликоопор (для підшипників ковзання f = 0,1, для підшипників кочення при конічних роликопідшипниках f = 0,02);

μ - коефіцієнт тертя кочення (для стальних роликів μ=0,0006÷0,0008 м, для вкритих гумою μ=0,0025÷0,0035 м)

Після деяких перетворень підставивши 2.7 в 2.8 одержимо кінцевий вираз для визначення T_1 і T_2:

$$T_1 = T_2 = G \frac{\sin\frac{\alpha}{2}}{b\sin\alpha + \cos\alpha - 1}, \qquad (2.11)$$

$$b = \frac{D_p}{f \cdot d_p + 2\mu}, \qquad (2.12)$$

$$b = \frac{0,41}{0,02 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,003} = 55,4;$$

Окружне зусилля на привідних роликах:

$$T_1 = T_2 = 12000 \cdot 9{,}8 \frac{\sin\frac{65}{2}}{55{,}4\sin 65 + \cos 65 - 1} = 1273 \text{ Н}.$$

Підставивши значення T_1 і T_2 у формули 2.7 одержимо кінцеві вирази для опорних реакцій роликоопор при їх обертанні під навантаженні:

$$Q_1 = Q_2 = \frac{G}{2\cos\frac{\alpha}{2}}\left(1 + \frac{\sin\frac{\alpha}{2}}{b\cos\frac{\alpha}{2} - \sin\frac{\alpha}{2}}\right), \quad (2.13)$$

$$Q_1 = Q_2 = \frac{12000 \cdot 9{,}8}{2\cos\frac{65}{2}}\left(1 + \frac{\sin\frac{65}{2}}{55{,}4\cos\frac{65}{2} - \sin\frac{65}{2}}\right) = 70529 \text{ Н}.$$

Таким чином у діапазоні змінюваних кутів α = 65÷85º величини T і Q змінюються не значно. У зв'язку з цим проведено розрахунки потужності двигуна для максимальної вантажопід'ємності 12000 кг при куті α = 65º.

Крутний момент на валу роликоопори розраховується так:

$$M_{kp} = T_1 \frac{D_p}{2} + \left(f\frac{d_в}{2} + \mu\right)\sqrt{Q_1^2 + T_1^2}, \quad (2.14)$$

$$M_{kp} = 1273\frac{0{,}41}{2} + \left(0{,}02\frac{0{,}03}{2} + 0{,}003\right)\sqrt{70529^2 + 1273^2} = 522 \text{Нм},$$

де $d_в$ = 0,07м – діаметр валу в підшипниках.

За формулою (2.13) побудовані криві залежності окружного зусилля, вираженого в долях ваги виробу, від центрального кута α.

Аналіз кривих приведених на рис. 2.7 і 2.8 показує, що проводити розрахунки потужності двигуна для максимальної

вантажопідйомності 12000 кг при куті α = 65° не враховуючи інші варіанти центрального кута α можливо.

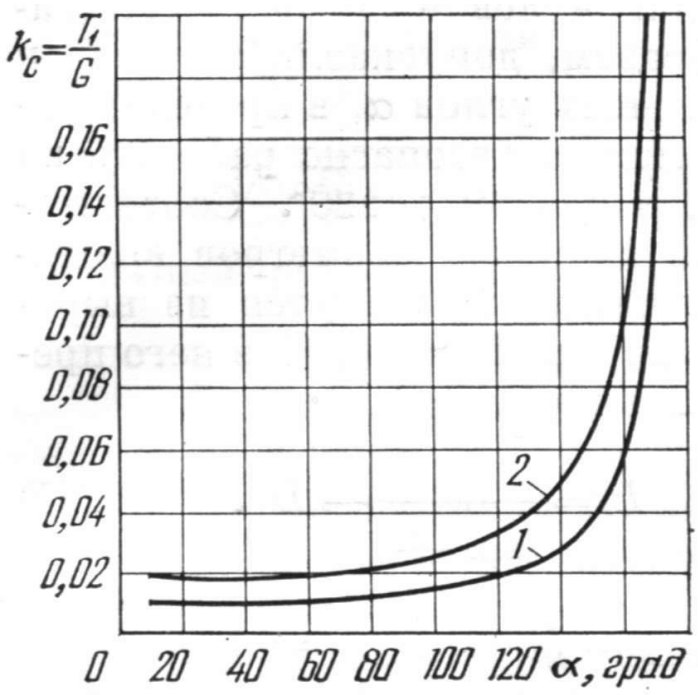


Рисунок 2.7- Залежність окружного (обертаючого) зусилля на привідних роликах від центрального кута α:

1-при конічних роликопідшипниках;

2-при підшипниках ковзання.

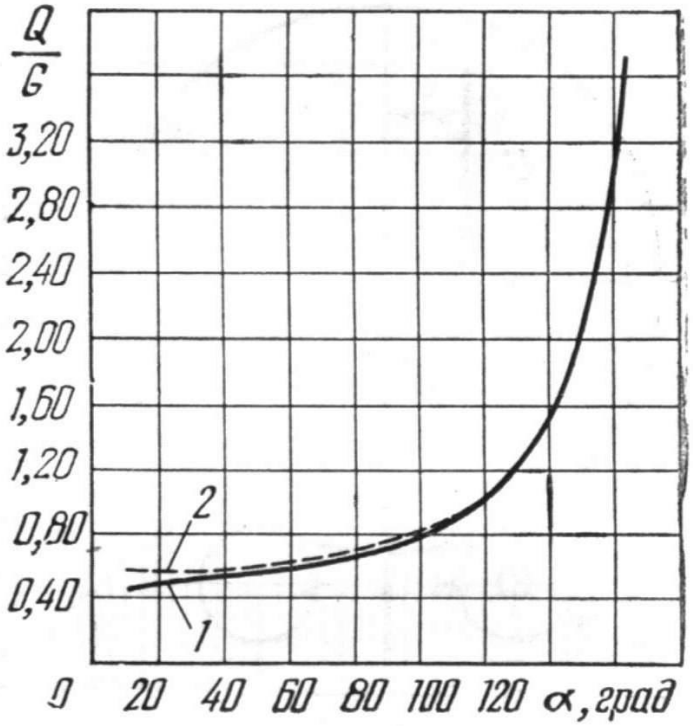


Рисунок 2.8 - Залежність опорних реакцій роликового стенда від центрального кута α :

1-для розрахункового роликового стенда;

2-для спеціальних стендів.

2.4. Розрахунок динамічних навантажень

Основне рівняння руху електропривода записується у вигляді

$$M_р = M_{ст} + M_{дин} , \qquad (2.15)$$

де $M_р$ – момент руху,

$M_{ст}$ – статичний момент опору,

$M_{дин}$ – динамічний момент опору.

Щоб двигун почав обертати систему необхідно, щоб пусковий момент двигуна був більший моменту опору під час пуску.

Так як розрахунок статичних моментів проводився для привідного ролика, то і динамічні моменти будемо вести для привідного ролика, а потім приведемо їх до вала двигуна.

Кутове прискорення для привідного ролика приймаємо ε=0,58 рад/с^2 .

Динамічний момент опору

$$M_{дин} = I_{\Sigma} \cdot \varepsilon , \qquad (2.16)$$

де I_{Σ} – момент інерції всіх мас механізму, що обертаються.

$$I_S = \frac{I_{вир}}{i^2_{рол} \cdot \eta} + 12\left(I_{хр} + I_{пр}\right) + 10 \cdot I_м к_з \quad , \qquad (2.17)$$

$i_{рол}$ – передавальне число ланки виріб – ролик,

$i_{рол}$ =D/d = 1,8/0,41 = 4,39,

η – ККД ланки виріб – ролик, η = 0,6,

$к_з$ – коефіцієнт запасу, який враховує моменти інерції редуктора, муфт і двигуна, $к_з$=1.5,

$I_{вир}$ – момент інерції виробу,

$$I_{вир} = m_{вир} \cdot R^2_{вир} \quad , \qquad (2.18)$$

де $m_{вир}$ – маса виробу,

$R_{вир}$ – радіус виробу,

$$I_{вир} = 12000 \cdot 0{,}9^2 = 9720 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 ;$$

$I_{пр}$, $I_{хр}$ – моменти інерції привідних і холостих роликів, по вазі і розмірам вони однакові, тому мають і рівні моменти інерції.

$$I_{пр} = I_{хр} = (m_{рол} \cdot R^2_{рол})/2, \qquad (2.19)$$

де $m_{рол}$ – маса ролика;

$R_{рол}$ – радіус ролика;

$$I_{пр} = I_{хр} = (175 \cdot 0{,}205^2)/2 = 3{,}675 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 .$$

Як зазначено момент інерції використаних фланцевих муфт серії МФ, $I_м$ = 0,473 кг·м^2.

$$I_S = \frac{9720}{4{,}39^2 \cdot 0{,}6} + 12(3{,}675 + 3{,}675) + 10 \cdot 0{,}473 \cdot 1{,}5 = 1400 \text{кгм}^2 .$$

Тоді $M_р$= 522 + 1400·0,58 = 1334 Нм.

Отже момент руху на привідних роликах становить 1334 Нм.

2.5. Розрахунок потужності і вибір електродвигуна, муфти та редуктора

Потужність двигуна будемо обчислювати з урахуванням не тільки статичних але і динамічних навантажень, так як у моменти пуску і швидкого перекидання виробу останні набагато більші від статичних навантажень. Щоб нормально відпрацьовувався цей режим, як найбільш тяжкий для двигуна, необхідно щоб його пусковий момент двигуна перевищував суму статичного і динамічного моментів.

Потужність двигуна з урахуванням коефіцієнта корисної дії передачі може бути розрахована по формулі:

$$P_{дв} = \frac{M_p \cdot w_p}{h_м}, \qquad (2.20)$$

де $M_р$ – рухаючий момент,

$\omega_р$ – маршова швидкість обертання ролика,

$\eta_м$ – загальний ККД передачі,

$\eta_м = \eta_{цр}\ \eta_{чр}\ \eta_{мп1}\ \eta_{мп2}\ \eta_{мф1..10} = 0{,}97 \cdot 0{,}54 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}96^{10} = 0{,}32.$

Отже:

$$P_{дв} = \frac{1334 \cdot 0{,}314}{0{,}32} = 1308\text{Вт} = 1{,}3\text{кВт}.$$

За визначеною потужністю і частотою обертання вибираємо двигун постійного струму марки 2ПБ112М з такими характеристиками:

- номінальна потужність $P_н$ = 1,4 кВт,
- номінальна частота обертання $n_{ном}$ = 3000 об/хв,
- максимальна частота обертання n_{max} = 4000 об/хв,
- напруга живлення 110,220 В,
- момент інерції ротора J = 0,015 кгм^2,
- маса 51 кг.

Для передачі обертаючого моменту від двигуна до привідних роликів використовуються два редуктори, сумарне передавальне число яких визначається по заданій маршовій швидкості і номінальній швидкості двигуна.

$$i = \frac{n_{двном}}{n_{ролмарш}} = \frac{3000}{3} = 1000 .$$

Циліндричний редуктор повинен витримувати на тихохідному валу момент не менше 1000 Нм, так як він безпосередньо сполучається з привідними роликами і постійно діючий момент на яких дорівнює 522Нм, а піковий 1334 Нм.

Вибираємо два редуктори :

Циліндричний Ц2У-160-16-13-У2 з передавальним числом 16 і параметрами:

- максимальна потужність, що передається 19,9 кВт;
- крутячий момент на тихохідному валу 1 кНм;
- ККД 97 % ;
- маса 95 кг.

Черв'ячний Ч80-63-1-ЦК-У3 з передавальним числом і параметрами:

- частота обертання швидкохідного валу 1500 об/хв;
- крутячий момент на тихохідному валу 0,200 кНм
- ККД 54 % ;
- маса 46 кг.

Загальне передаточне число двох редукторів 1008.

Фактична маршова швидкість:

$$n_{ролмарш} = \frac{3000}{1008} = 2,97 .$$

При цьому похибка становить:

$$\Delta = \frac{n_{ролз} - n_{ролф}}{n_{ролз}} = \frac{3 - 2{,}97}{3} \cdot 100\% = 1\%$$

.

Отже редуктори вибрані правильно.

Пружні муфти вибираємо марки МУВП згідно моментів що діють на відповідних валах з урахуванням передавальних чисел редукторів і враховуючи діаметри валів.

3. ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Перевірочний розрахунок двигуна за діючими навантаженнями

Для перевірки можливості двигуна витримувати пускове навантаження, а також для розрахунку динамічної міцності деталей, що обертаються, визначаємо моменти сил інерції M_i, тобто динамічний момент, котрий необхідно подолати двигуну при пуску, за формулою :

$$M_i = I_{пр}\,\varepsilon \quad , \qquad (3.1)$$

де $I_{пр}$ – приведений до валу двигуна момент інерції всіх складових частин передаточного механізму і виконуючого механізму, які рухаються, кг м^2,

ε - кутове прискорення вала двигуна, с$^{-2}$.

Приведений до вала двигуна момент інерції $I_{пр}$ визначаємо, виходячи з рівняння кінетичної енергії системи :

, (3.2)

де $I_1 = I_{дв} + I_{мп1} + I_ч$ – моменти інерції ротора двигуна, пружної муфти 1 і черв'яка.

$I_{дв}$ = 0,015 кг м^2,за каталожними даними;

$I_{мп1}$ = 0,009 кг м^2,за каталожними даними.

$$I_ч = \frac{m_ч \cdot R_ч^2}{2} \quad , \qquad (3.3)$$

де $m_ч$ – маса черв'яка, кг;

$R_ч$ – радіус черв'яка, м;

$$m_ч = \rho \cdot V \qquad (3.4)$$

ρ = 7800кг/м^3 – густина сталі,

V – об'єм черв'яка,

$$V = \pi \cdot R^2_ч \cdot b \quad , \qquad (3.5)$$

де b = 74 мм – довжина черв'яка

Радіус черв'яка:

$$R_ч = \frac{q \cdot m}{2}, \quad (3.6)$$

де q – коефіцієнт діаметра черв'яка;

m – модуль черв'яка.

Тоді радіус черв'яка:

$$R_ч = \frac{16 \cdot 2}{2} = 16мм;$$

$$m_ч = 7800 \cdot \pi \cdot 0,0016^2 \cdot 0,0074 = 0,46кг;$$

$$I_ч = \frac{0,46 \cdot 0,0016^2}{2} = 0,6 \cdot 10^{-4} кгм^2;$$

I_1 = 0,00006+0,009+0,015 = 0,02406кг м^2,

I_2 – момент інерції складових частин вала 2, тобто черв'ячного колеса Z2, муфти пружної МП2 і шестерні Z3.

Розрахунок моментів інерції зубчатих коліс практично не відрізняється від розрахунку моменту інерції черв'яка. Єдина відмінність – це розрахунок радіусу зубчатого колеса, він виконаний за такою формулою:

$$R_z = \frac{z \cdot m}{2}, \quad (3.7)$$

де z – кількість зубців на зубчатому колесі;

m – модуль зубчатого колеса;

$$R_{z2} = \frac{63 \cdot 2}{2} = 63мм;$$

$$m_{z2} = 7800 \cdot \pi \cdot 0,063^2 \cdot 0,034 = 3,3кг;$$

$$I_{z2} = \frac{3,3 \cdot 0,063^2}{2} = 6,56 \cdot 10^{-3} кгм^2;$$

$$R_{z3} = \frac{20 \cdot 2}{2} = 20мм;$$

$$m_{z3} = 7800 \cdot \pi \cdot 0,02^2 \cdot 0,02 = 0,2кг;$$

$$I_{z3} = \frac{0,2 \cdot 0,02^2}{2} = 4 \cdot 10^{-5} кгм^2;$$

$I_{мп2}$ - 0,017 кг м^2 за каталожними даними.

$I_2 = I_{z2} + I_{z3} + I_{мп2}$ =0,00656+0,017+0,00004=0,0236 кг м^2.

I_3 – моменти інерції складових частин вала 3, тобто колеса z_4 і шестерні z_5. Враховуючи, що саме вал 3 і шестерня z_3 дають незначну інертність, можна записати :

$I_3 = I_{z4} + I_{z5}$ = 0,01+0,000297=0,010297 кг м^2.

$$R_{z4} = \frac{80 \cdot 2}{2} = 80мм;$$

$$m_{z4} = 7800 \cdot \pi \cdot 0,08^2 \cdot 0,02 = 3,13кг;$$

$$I_{z4} = \frac{3,13 \cdot 0,08^2}{2} = 0,01кгм^2;$$

$$R_{z5} = \frac{20 \cdot 3}{2} = 30мм;$$

$$m_{z4} = 7800 \cdot \pi \cdot 0,03^2 \cdot 0,03 = 0,66кг;$$

$$I_{z5} = \frac{0,66 \cdot 0,03^2}{2} = 0,000297кгм^2,$$

I_4, I_5 – моменти інерції складових частин вала 4 і 5,вони об’єднані тому, що обертаються з однією кутовою швидкістю. Туди входять зубчате колесо z_6, муфти фланцеві МФ1...МФ10, 6 перекидних роликів і 6 привідних роликів. Моменти інерції роликів однакові і вони пораховані у пункті 2.4.

$$I_4 + I_5 = I_{z6} + 10I_{мф} + 12I_{рол};\qquad (3.8)$$

$$R_{z6} = \frac{80 \cdot 3}{2} = 120мм;$$

$$m_{z6} = 7800 \cdot \pi \cdot 0,12^2 \cdot 0,03 = 10,58кг;$$

$$I_{z6} = \frac{10,58 \cdot 0,12^2}{2} = 0,076 кгм^2;$$

$I_{мф}$ = 0,473 кг м^2 за довідником.

$I_{рол}$ = 3,675 кг м^2

I_6 – момент інерції виробу відносно його осі, він обрахований у попередньому пункті і становить 9720кг м^2.

Момент інерції складових частин вала:

$I_4 + I_5 = 0,076+10 \cdot 0,473+12 \cdot 3,675=48,9$ кгм^2

Кутові швидкості валів :

$\omega_1 = \omega_{ном} = 314 с^{-1}$; $\omega_2 = 4,98 с^{-1}$; $\omega_3 = 1,24 с^{-1}$; $\omega_4 = \omega_5 = 0,31 с^{-1}$; $\omega_6 = 0,071 с^{-1}$.

Після підстановки числових значень у формулу (3.2) знаходимо приведений до вала двигуна момент інерції:

Тоді $I_{пр}$=0,024кг м^2.

Щоб вирахувати кутове прискорення ε вала двигуна, тобто першого вала, визначаємо час пуску двигуна $t_п$ за формулою :

, (3.9)

де $I_{пр}$ =0,024кг м^2,

$\omega_1 = 314 с^{-1}$.

$M_{пуск}$ – пусковий момент, який розвиває електродвигун. За каталожними даними:

$$M_{пуск} = 2,2M_{ном} = 2,2 \cdot 4,46 = 9,812 Нм,$$

де $M_{ном}$ – номінальний обертовий момент, який розвиває електродвигун 4,46 Нм.

$M_{ст}$ – статичний момент – момент корисного опору приведений до вала двигуна,

, (3.10)

$M_{ст}^{рол}$ - статичний момент на привідному ролику; $M_{ст}^{рол}$ = 522Н;

$\eta_{пм}$ = 0,32 – загальний ККД механізму.

Тоді статачний момент:

$$M_{ст} = \frac{522 \cdot 0,31}{314 \cdot 0,32} = 1,6 Нм$$

.

Таким чином час пуску двигуна :

$$t_{п} = \frac{0,024 \cdot 314}{9,812 - 1,6} = 0,91 с$$

Середнє кутове прискорення 1-го вала при пуску складає :

$$\varepsilon = \omega_1 / t_n ; \qquad (3.11)$$

$$\varepsilon = 314 / 0,91 = 345 с^{-2}.$$

Динамічний момент буде дорівнювати моменту сили інерції :

$$M_i = M_{дин} = I_{пр}\varepsilon; \qquad (3.12)$$

$$M_i = 0,024 \cdot 345 = 8,2 Нм.$$

Рухаючий момент $M_{рух}$, який двигун повинен розвивати при пуску, визначаємо за основним рівнянням електропривода :

$$M_{рух} = M_{ст} + M_{дин} , \qquad (3.13)$$

де $M_{ст}$ – статичний момент, що рівний 8,2Нм;

$M_{дин}$ – динамічний момент, що рівний 1,6Нм.

Тоді : $M_{рух}$ = 1,6+8,2 = 9,8Нм.

Умова $M_{пуск} \geq M_{рух}$ виконується, отже двигун вибраний правильно.

Визначимо коефіцієнт перевантаження двигуна і складових частин приводу при пуску за формулою :

$$К = M_{рух} / M_{ном} = 9,8 / 4,46 = 2,197.$$

Висновок: коефіцієнт перевантаження двигуна відповідає значенню вказаному у технічних даних двигуна, отже двигун вибраний правильно і під час пуску він не буде зазнавати надмірних навантажень.

3.2. Розробка функціональної схеми електропривода

Електропривод роликового стенда повинен забезпечувати постійність і великий діапазон зміни швидкості зварювання, що є однією з головних вимог до нього. ЕП буде працювати в умовах зварювального цеху де спостерігається підвищена запиленість.

Автоматичне керування електроприводом зводиться до виконання системами керування ЕП заданого об'єкту управління режиму роботи без безпосереднього втручання оператора. Одним із основних типів систем автоматичного управління електроприводами (СУАЕП) є система автоматичної стабілізації, тобто підтримання заданого параметру на визначеному рівні. Таким параметром може бути швидкість, момент, напруга, струм і т.д. Такі системи, що також можуть підтримувати певні якості перехідних процесів, будують за замкненим принципом.

Для систем стабілізації основними особливостями керування є використання різноманітних від'ємних зв'язків, що дозволяють виконати підтримку постійності змінних у статиці і формувати потрібні динамічні характеристики.

Розглянемо систему з від'ємним зворотнім зв'язком (ВЗЗ) за швидкістю.

Такі системи дозволяють отримати прямолінійні характеристики двигуна, жорсткість яких наближається до ідеального значення із збільшенням коефіцієнта підсилення системи. Основний недолік таких систем – наявність ще однієї електричної машини – тахогенератора, який потребує додаткових механічних зв'язків із двигуном чи редуктором.

Подібні до систем з ВЗЗ за швидкістю системи із зворотним зв'язком за напругою. Вони забезпечують приблизно прямолінійні механічні характеристики двигуна. Жорсткість цих характеристик зі

збільшенням коефіцієнту підсилення наближається до жорсткості природної характеристики.

Оскільки електропривод роликового обертача складається з двигуна постійного струму з незалежним збудженням і для регулювання швидкості обертання використовується зміна напруги на якірній обмотці, то функціональна схема складається з:

- двигуна постійного струму з незалежним збудженням - М;
- джерела живлення якоря двигуна – (ДЖЯ);
- блока захисту (тепловий, струмовий і т.д.)

В якості джерела живлення якоря прийнято керований випрямляч, який складається з двох повністю керованих модулів на тиристорах. Випрямляч виконаний за трифазною мостовою схемою.

Для керування моментами відкривання тиристорів у схемі електропривода використана схема імпульсно-фазового керування (СІФК).

Для регулювання швидкості в схемі передбачений регулятор частоти обертання електродвигуна. Він виконаний на мікросхемі – операційному підсилювачі, на вході якого відбувається додавання сигналів завдання і зворотних зв’язків.

Для покращення форми якірного струму двигуна використані згладжуючі реактори.

В якості датчика зворотного зв’язку за швидкостю можливе використання тахометричного моста і тахогенератора. Оскільки у системах з тахомостом діапазон регулювання швидкості не перевищує 50 то остаточно зупинимося на тахогенераторі, тим більше, що є виконання двигунів 2П із вбудованим тахогенератором. У системах із використанням тахогенератора діапазон регулювання досягає 10 000.

Незалежна обмотка збудження живиться від некерованого випрямляча, оскільки магнітний потік, що створюється нею повинен бути постійним.

Таким чином, електропривод роликоповоротного стенда представляє собою систему автоматичного регулювання частоти обертання електродвигуна, що виконана по астатичній структурі з пропорційно-інтегральним регулятором частоти обертання двигуна з гнучким від'ємним зворотним зв'язком за швидкістю. Регулювання частоти обертання ротора здійснюється зміною напруги на якорі двигуна, а керування напругою виконується шляхом зміни кута провідності тиристорного перетворювача. При цьому напруга на обмотці збудження залишається постійною. На вході регулятора частоти обертання додаються два сигнали: завдання і зворотного зв'язку за швидкостю, який формується тахогенератором. Різниця цих сигналів підсилюється і подається на керуючий орган. Він встановлений для відпрацювання різного роду захистів: тепловий двигуна і тиристорів, максимально-стумовий, від перенапруг у силовому ланцюзі і т.д. Потім керуючий сигнал потрапляє на фазозсувний пристрій (СІФК), який формує і розподіляє керуючі імпульси на тиристори силової схеми електропривода.

Так як електропривод роликоповоротного стенда більшу частину робочого часу буде працювати на малих, зварювальних швидкостях, то необхідно забезпечити високу постійність обертів, відсутність пульсацій моменту двигуна, чітке відпрацювання завдання. При цьому сигнал завдання надходить як з пульту керування стенду, так і з автоматичної зварювальної установки чи зі зварювального трактора.

Промисловість випускає велику кількість різних типів комплектних електроприводів для різних механізмів, станків з ЧПУ, промислових роботів і т.д. Тому для ЕП роликоповоротного стенду

вибраний комплектний тиристорний електропривод ЕПУ1.П, який призначений для реверсивних швидкодіючих приводів з однозонним регулюванням швидкості. Даний комплектний ЕП відповідає всім вище згаданим вимогам.

ЕП призначений для роботи в закритих опалюваних приміщеннях при наступних умовах:

- висота над рівнем моря не більше 1000 м;
- температура повітря від 5 до 45 °С;
- відносна вологість повітря 80% при температурі 30 °С;
- навколишнє середовище невибухонебезпечне, що не містить агресивних газів і парів, не насичене струмопровідним пилом і парами.

Електропривод конструктивно представляє собою комплектний прилад виконаний у відкритому виконанні, призначений (окрім двигуна) для вбудовування у шафу.

Конструкція блока управління складається із силового блока і поворотного блока з двобічними печатними панелями і трансформатора керування.

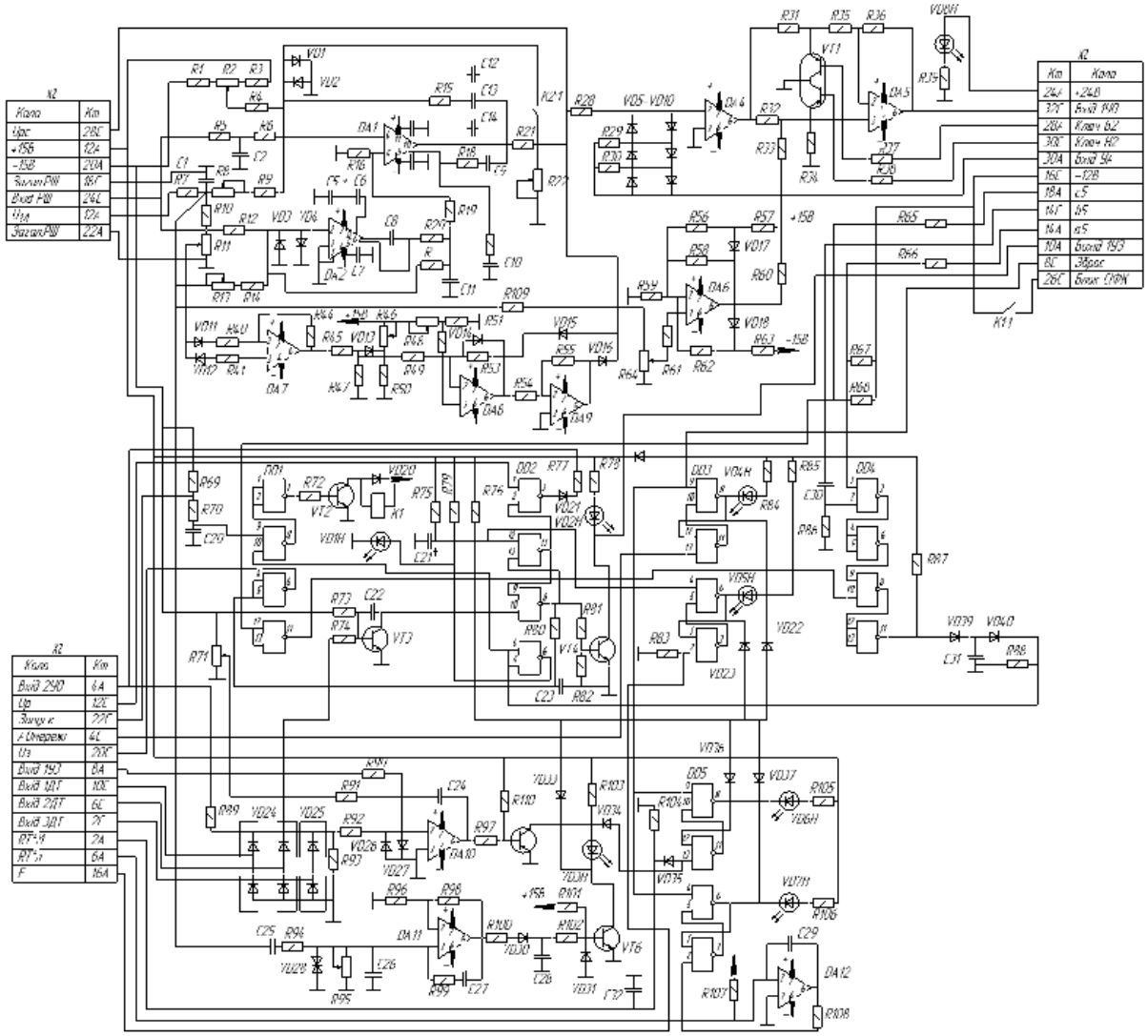


Рисунок 3.1 – Силовий блок керування перетворювачем

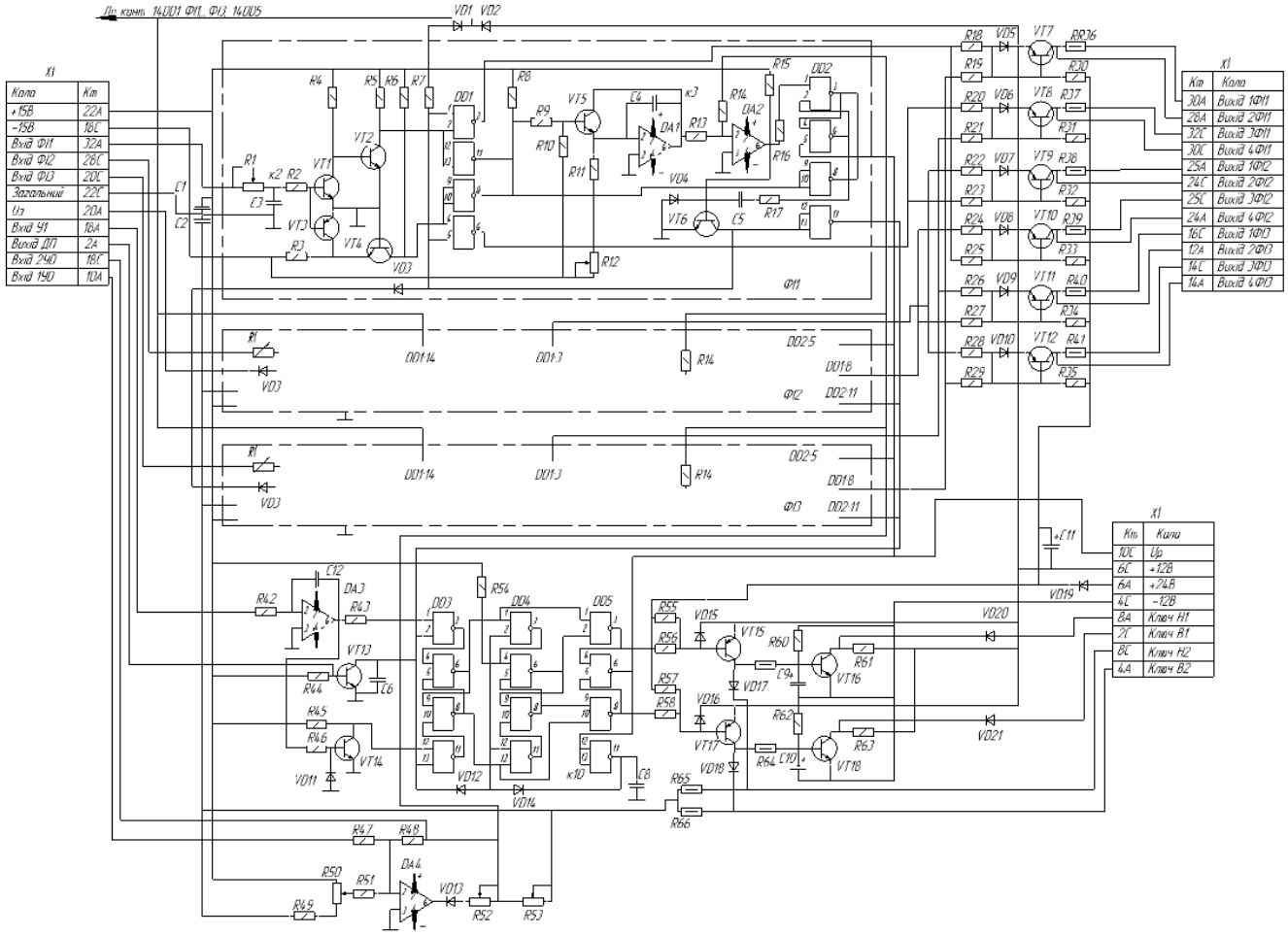


Рисунок 3.2 – Силовий блок керування електроприводом

Блочна конструкція забезпечує можливість ремонту, або заміни окремих елементів.

Електропривод складається із блока керування, перетворювача, узгоджуючого силового трансформатора, апаратури захисту при коротких замиканнях, згладжуючого реактора, задатчика швидкості.

Функціональна схема електропривода представлена на рис. 3.3.

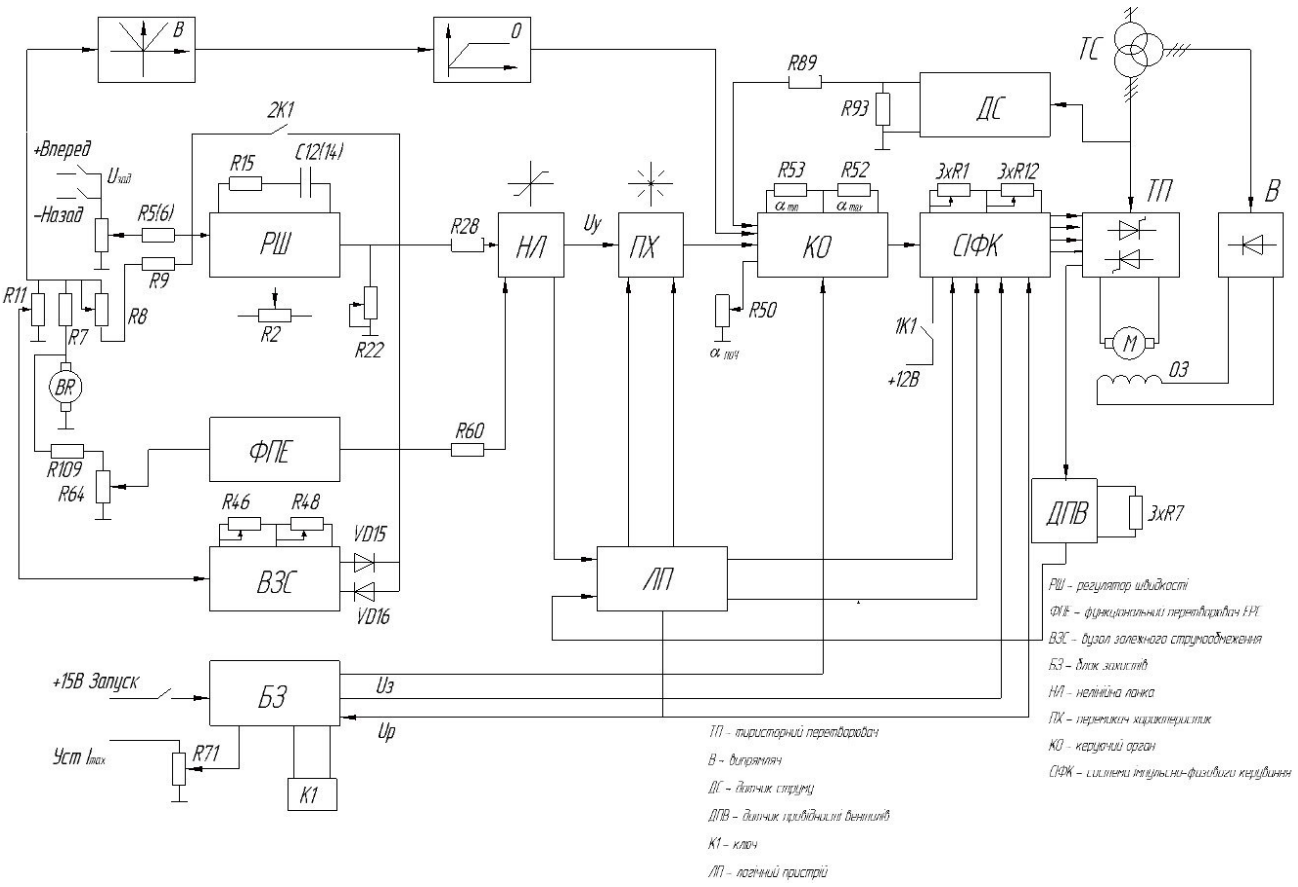


Рисунок 3.3 - Функціональна схема електропривода

3.3. Розробка принципової схеми силової частини електропривода

Для роликоповоротного стенду найкращим є застосування реверсивного електроприводу, це забезпечує хороші якісні і кількісні показники при виконанні підготовчих, зварювальних та інших робіт на стенді. Також використаємо стандартну заводську мережу живлення – трифазну з напругою 380В. Сам електропривод буде живитися від знижуючого трансформатора.

Для живлення якірного кола електродвигуна постійного струму найбільше розповсюдження знайшли тиристорні перетворювачі з мостовими схемами випрямлення [4]. Вони дозволяють регулювати

швидкість двигуна в широких межах шляхом зміни напруги на якорі при незмінному потоці збудження.

Оскільки привод реверсивний, то будемо мати два трифазних мостових випрямлячі, що ввімкнені зустрічно-паралельно.

Тиристор є приладом, що має ключову характеристику, тобто має два стани – відкритий і закритий. Тиристори мають значні переваги порівняно з іншими типами керованих вентилів: менша маса і габарити, великий строк служби, вища робоча частота, більш високий ККД, велика надійність. У теперішній час найбільш розповсюджені тиристори з чотиришаровою структурою з робочими струмами від одиниць до сотень ампер і допустимою зворотною напругою до 1000 В.

Тиристор можна представити як напівпровідниковий діод, у якого крім анода і катода є ще один електрод, за допомогою якого можливо керувати роботою кола, в яке ввімкнений тиристор.

Випрямлячі працюють за принципом роздільного керування. На керуючі електроди тиристорів надходять сигнали керування від системи імпульсно фазового керування (СІФК). Вона має 6 каналів управління, по одному на кожен тиристор. Сигнали з СІФК надходять не прямо на керуючі електроди тиристорів, а через пристрої спряження. Це імпульсний трансформатор, діоди, резистор, конденсатор.

Розглянемо докладніше роботу схеми спряження. Відкривання тиристорів здійснюється імпульсами додатної полярності, що надходять з вторинної обмотки імпульсних трансформаторів. Первинні обмотки цих трансформаторів живляться від каналів управління СІФК. Діоди, що підключені до вторинної обмотки трансформаторів, призначені для захисту керуючих електродів тиристорів від імпульсів від’ємної полярності, а діоди що стоять на вході трансформаторів призначені для захисту блоків керування від

ЕРС самоіндукції. Конденсатори на виході імпульсних трансформаторів шунтують входи тиристорів по високочастотним складовим перешкод.

Для захисту переходів тиристорів від пробою при різних видах перенапруг, паралельно кожному з них під'єднані R-C ланцюги. Також на схемі силової частини передбачені запобіжники, що включені в кожну фазу перед випрямлячем, і автоматичний вимикач.

Для забезпечення максимальнострумового захисту на вході випрямляча встановлені трансформатори струму, сигнали з яких надходять на блок захисту.

Послідовно з двигуном увімкнений згладжуючий реактор, призначення якого покращувати форму струму у якірному ланцюзі двигуна.

Живлення обмотки збудження двигуна здійснюється від другої обмотки силового трансформатора. Напруга випрямляється трифазним мостовим некерованим випрямлячем. На вході випрямляча для захисту теж встановлені запобіжники. Така система живлення обмотки збудження дозволяє якнайбільше зменшити коефіцієнт пульсацій випрямленого струму у ній.

Для унеможливлення одночасного ввімкнення обох груп зустрічно ввімкнених випрямлячів у схемі передбачено встановлення датчика провідності вентилів (ДПВ). Сигнали з ДПВ надходять на логічний пристрій, який потім керує СІФК.

Датчик провідності вентелів призначений для контролю стану (відкритий – закритий) тиристорів і працює за принципом контролю падіння напруги на переході анод – катод тиристорів.

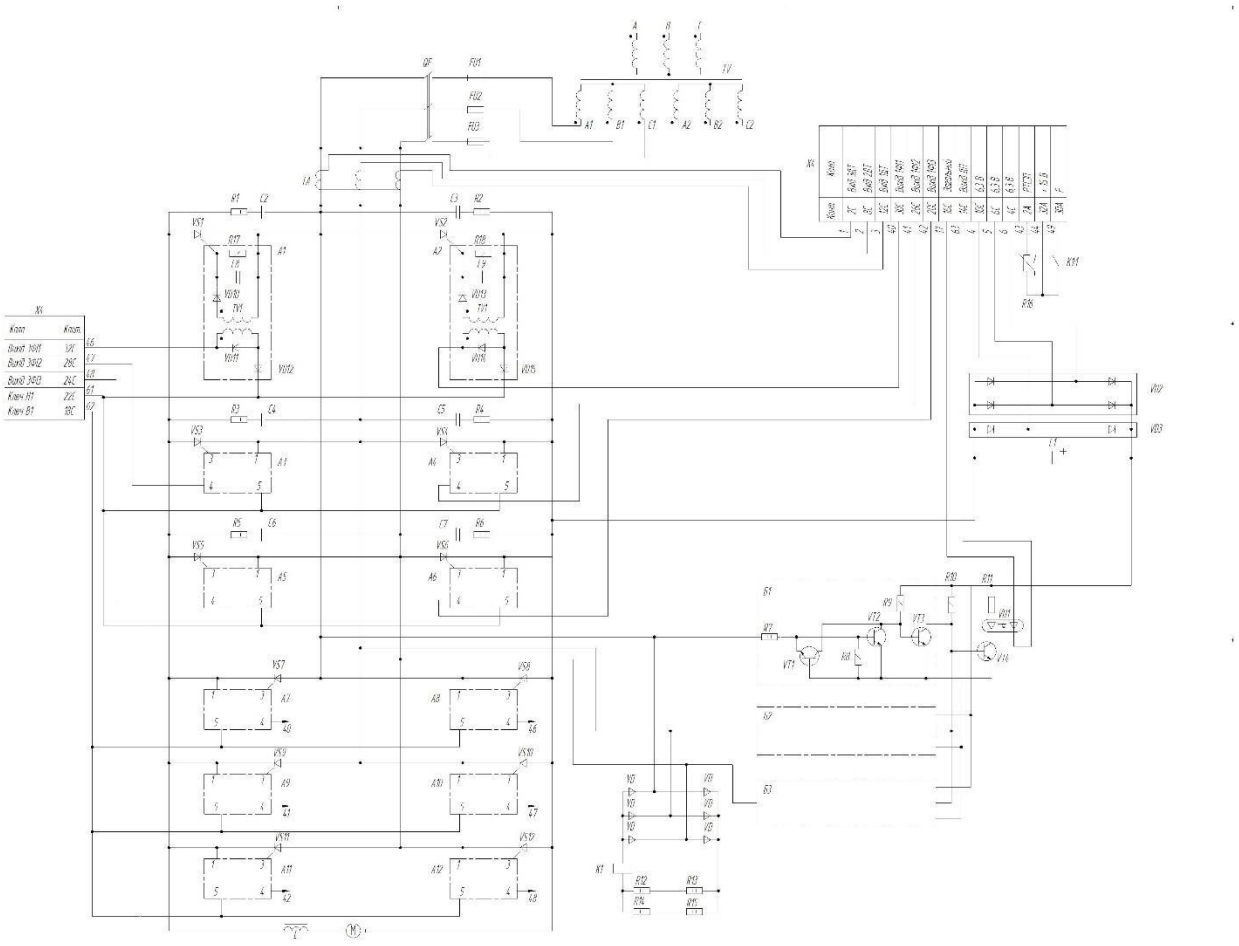


Рисунок 3.4 – Електрична принципова схема електропривода ролико-поворотного зварювального стенду

3.4. Розрахунок джерела живлення якоря

Розрахунок керованого випрямляча проводимо на засаді потужності вибраного двигуна.

Номінальний струм якоря:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cdot \eta}, \qquad (3.14)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність електродвигуна, $P_{ном}$= 1400 Вт;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електродвигуна, $U_{ном}$ = 220 В;

η – ККД електродвигуна, η=0.785

$$I_{ном} = \frac{1400}{220 \cdot 0.785} = 8.106 \text{ А}.$$

Номінальний опір кола якоря за паспортними даними складає $R_{я.ном} = 0,788$ Ом.

ЕРС електродвигуна визначимо за формулою:

$$E = C \cdot \omega_{ном}, \qquad (3.15)$$

де $\omega_{ном}$ – номінальна частота обертання двигуна, $\omega_{ном}$=314

С – коефіцієнт, який визначено за формулою:

$$C = \frac{U_{ном} - I_{ном} R_{я.ном}}{\omega_{ном}}, \qquad (3.16)$$

$$C = \frac{220 - 8,106 \cdot 0,788}{314} = 0,68 В/с.$$

Тоді Е = 0,68·314 = 213,6 В.

Величину випрямленої напруги на випрямлячі визначено за формулою:

$$U_{d0} = \frac{E + 1,1 \cdot I_{ном} R_{я.ном} + a_в \cdot \Delta U_в}{\cos\alpha_{min} \cdot a_в (b \cdot k_{мер} \cdot \varepsilon_к\% + C_т \cdot \Delta P_м\%) - d \cdot \Delta U_{мер}\%}, \qquad (3.17)$$

де Е – ЕРС двигуна;

$a_в$ – коефіцієнт, що залежить від схеми випрямлення, $a_в$=2;

$\Delta U_в$ - спад напруги на вентилі, $\Delta U_в$=1В;

b, $C_Т$, d – розрахункові коефіцієнти: b=0,0025, $C_Т$ =0,0052, d=0,0043;

$к_{мер}$ – коефіцієнт, що враховує індуктивність мережі змінного струму, $к_{мер}$ =1.1;

$\varepsilon_к\%$ - напруга короткого замикання у %;

$\Delta U_{мер}\%$ - запас на коливання напруги в мережі у %.

Для визначення U_{d0} попередньо приймаємо $\varepsilon_к\%$=5%, $\Delta P_м\%$=2%, $\Delta U_{мер}\%$=5%.

Так як вимоги до привода поставлені досить високі, величину α_{min} вибираємо рівною 30^0.

Величина $к_{мер}$ визначається відношенням потужності привода і потужності мережі живлення. Для приводів малої потужності $к_{мер}=1,1$,

$$U_{d0} = \frac{213,6 + 1,1 \cdot 8,106 \cdot 0,788 + 1 \cdot 2}{0,866 \cdot 2(0,0025 \cdot 1,1 \cdot 5 + 0,0052 \cdot 2) - 0,0043 \cdot 5} = 279,61\text{В}.$$

Знаходимо фазну напругу вторинної обмотки трансформатора:

$$U_{2ф} = \frac{U_{d0}}{k_в}, \qquad (3.18)$$

де $к_в$ – коефіцієнт, що для трифазної мостової схеми випрямляча $к_в = 2,34$;

$$U_{2ф} = \frac{279,61}{2,34} = 119,49\text{В}.$$

Номінальний струм первинної обмотки трансформатора:

$$I_{1ф} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{1л}}, \qquad (3.19)$$

де S – прийнята потужність трансформатора, S=3000 ВА;

$$I_{1ф} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 4,55\text{А}.$$

Визначимо повну потужність трансформатора:

$$S_T = 1,045 U_{d0} I_{ном} = 1,045 \cdot 279,61 \cdot 8,106 = 2368 \text{ Вт}. \qquad (3.20)$$

Лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора:

$$U_{2л} = \sqrt{3}U_{2ф} = \sqrt{3} \cdot 119.49 = 206.96\text{В}.$$

Коефіцієнт трансформації силового трансформатора:

$$К_{тр} = \frac{U_{1ф}}{U_{2ф}} = \frac{U_{1л} / \sqrt{3}}{U_{2л} / \sqrt{3}} = \frac{380}{206.96} = 1.84. \qquad (3.21)$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до вторинної

обмотки визначено за формулою:

$$X_{тр} = \frac{1{,}1 \cdot \varepsilon\% \cdot U_{1ф}}{I_{1ф} \cdot к_{тр}^2 \cdot 100}; \quad (3.22)$$

$$X_{тр} = \frac{1{,}1 \cdot 5 \cdot 220}{4{,}55 \cdot 1{,}84^2 \cdot 100} = 0{,}785 Ом.$$

Активний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки визначено за формулою:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_м}{m \cdot I_{1ф}^2 \cdot к_{тр}^2} = \frac{{}^{2}\!/_{100} \cdot S}{m \cdot I_{1ф}^2 \cdot к_{тр}^2}, \quad (3.23)$$

де m – кількість фаз, m = 3

$$R_{тр} = \frac{{}^{2}\!/_{100} \cdot 3000}{3 \cdot 4{,}55^2 \cdot 1{,}84^2} = 0{,}287 Ом.$$

Індуктивний опір визначено за напругою короткого замикання трансформатора при номінальному значенні струму $I_{2ном}$ приведеному до вторинної обмотки.

$$X_a = \frac{U_k\% \cdot U_{2ном}}{I_{2ном} \cdot 100}, \quad (3.24)$$

де $U_{2ном}$, $I_{2ном}$ – номінальні фазові напруга та струм вторинної обмотки.

$$X_a = \frac{5 \cdot 119{,}49}{8{,}106 \cdot 100} = 0{,}73 Ом.$$

Кути комутації струму у випрямлячі визначені за формулою:

$$\cos\alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{2I_d \cdot X_a}{\sqrt{6}\, U_2}. \quad (3.25)$$

При $U_d = U_{dн}$, $\alpha = 0^o$

$$\cos\gamma = 1 - \frac{2I_d \cdot X_a}{\sqrt{6}\, U_2} = 1 - \frac{2 \cdot 8{,}106 \cdot 0{,}73}{\sqrt{6} \cdot 119{,}49} = 0{,}95956; \quad (3.26)$$

γ = arccos0,95956 = 16,35º.

При U_d= 0,5$U_{dн}$, α = 60º

$$\gamma = \arccos(\cos 60^{o} - \frac{2I_d \cdot X_a}{\sqrt{6}\,U_2}) - 60 = 2,64^{0} \quad . \qquad (3.27)$$

Кут зсуву першої гармоніки $\varphi = \alpha + \frac{\gamma}{2}$.

При U_d= $U_{dн}$, α = 0º тоді φ=8,175º.

При U_d= 0,5$U_{dн}$, α = 60º тоді φ=61,32º.

Коефіцієнт потужності випрямляча:

λ= $к_c$ cosφ,

де $к_c$ – коефіцієнт спотворення форми кривої змінного струму, $к_c$= 3/π=0,955.

Тоді при U_d= $U_{dн}$;

λ=0,955·cos8, 75º=0,945;

при U_d= 0,5$U_{dн}$;

λ=0,955·cos61,32º=0,458.

Вибір вентилів проведено за допустимим струмом і допустимою оберненою напругою.

Допустимий струм $I_{acep} \geq \frac{I_{dн}}{3}$; (3.28)

$$I_{acep} \geq \frac{I_{dн}}{3} = \frac{8,106}{3} = 2,702\text{A} \quad .$$

Допустима обернена напруга $U'_{об\,max} = \frac{\sqrt{6}}{2} U_{2ф}$; (3.29)

$$U'_{об\,max} = \frac{\sqrt{6}}{2} 119,49 = 146,34\text{B} \quad .$$

Обернену максимальну напругу вибрано з урахуванням коливань мережі ±10%, а також з урахуванням комутаційних перенапружень. Тому знайдене значення оберненої напруги збільшено на 40%.

$U_{об\,max} \geq$ 1,40·146,34=206,35В.

Вибираємо вентилі Т106-10-6 з такими параметрами:

$I_{асер}$=10А, $U_{зв}$=600В, $t_{ввімкн}$=10мкс, $t_{вимкн}$=100мкс, $U_{кер}$=2,5В, $I_{кер}$=25мА, ΔU_a=1В.

Визначаємо втрати потужності у випрямлячі за формулою:

$$\Delta P_в = m_a \cdot \Delta U_a \cdot I_{асер}, \quad (3.30)$$

де m_a – кількість вентилів у випрямлячі, ma=6;

ΔU_a – падіння напруги на вентилі, В;

$I_{асер}$ – прямий струм у вентилі, А

$$\Delta P_в = 6 \cdot 1 \cdot 10 = 60Вт.$$

Коефіцієнт корисної дії випрямляча визначено за формулою:

$$\eta = \frac{\beta P_{dн}}{\beta P_{dн} + \beta^2 \Delta P_в + P_0 + \beta^2 P_к}, \quad (3.31)$$

де $P_{dн}$ – номінальна корисна потужність;

$\Delta P_в$– втрати потужності на вентилях;

P_0 – втрати у магнітопроводі трансформатора;

$P_к$ – втрати в обмотках трансформатора;

$\beta = \frac{U_d}{U_{dн}}$ – коефіцієнт завантаження.

При $U_d = U_{dн}$

$$\eta = \frac{1 \cdot 230 \cdot 8.106}{1 \cdot 230 \cdot 8.106 + 1^2 \cdot 60 + 70 + 1^2 \cdot 160} = 0,865.$$

При $U_d = 0,5U_{dн}$

$$\eta = \frac{2 \cdot 230 \cdot 8.106}{2 \cdot 230 \cdot 8.106 + 2^2 \cdot 60 + 70 + 2^2 \cdot 160} = 0,8.$$

Розрахунок згладжуючого дроселя.

Необхідна індуктивність згладжуючого дроселя:

$$L_{зд} = \frac{U_{d(1)}}{k_п \cdot \omega \cdot I_н \cdot m} - L_{дв}, \quad (3.32)$$

де $U_{d(1)}$ – амплітудне значення першої гармоніки випрямленої напруги

$$U_{d(1)} = 0,667U_d;$$

$к_п$ – відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленого струму, $к_п$=0.05;

$L_{дв}$ – індуктивність якірної обмотки двигуна, вказана у паспортних даних за двигуна

$$L_{зд} = \frac{0,677 \cdot 220}{0,05 \cdot 0,314 \cdot 8,1 \cdot 2} - 0,011 = 0,57 Гн.$$

Індуктивність згладжуючого дроселя:

$$L_{зд} = \frac{1,26 \cdot V_{ст} \cdot k_{ст} \cdot \mu_{еф} \cdot aW^2{}_0 \cdot 10^{-8}}{I_н}, \qquad (3.33)$$

$\mu_{еф}$ – ефективна магнітна проникність при наявності немагнітного зазору, відносні одиниці;

$V_{ст} = S_{ст} l_{ст}$ – об'єм сталі у магнітопроводі;

$S_{ст}$ – площа перерізу магнітопровода;

$l_{ст}$ – довжина шляху магнітного потоку у магнітопроводі;

aW – питомі намагнічуючі ампер-витки;

$I_н$ – струм у дроселі.

$$LI^2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot V_{ст} \cdot к_{ст} \cdot aW \cdot B \cdot \cos\alpha \cdot 10^{-8}, \qquad (3.34)$$

де B – магнітна індукція у магнітопроводі;

α – кут втрат у дроселі.

$$LI^2 = 0,57 \cdot 8,1^2 = 37,4 \text{ Гн} \cdot \text{А}^2.$$

За літературою [6] по графіку $V_{ст}=f(LI^2)$ визначаємо об'єм сталі у осерді дроселя:

$V_{ст}=1120см^3$.

По $V_{ст}$ вибираємо броньовий стрічковий магнітопровід із сталі Е42 ШЛ50х80, для якого $V_{ст} = 1150\ см^3$.

Для даного магнітопровода густина струму в обмотці дроселя $\delta=1,98А/мм^2$.

Введемо допоміжну величину:

$$M=\frac{LI^2}{V_{ст}}=\frac{37,4}{1150}=0,0325\frac{Гн\cdot А^2}{см^3}. \qquad (3.35)$$

По графікам $\mu_{еф}=f(M)$ і $l_з\%=f(M)$ знаходимо:

$\mu_{еф}=180$;

$l_з\%=1,6$.

Визначимо межі допустимої зміни довжини базового лінійного розміру магнітопровода:

$$a=\sqrt[5]{\frac{к_з}{(к_1\cdot к_2)^2}\cdot\frac{LI^2\cdot 10^4}{1,26\cdot\mu_{еф}\cdot(\delta\cdot к_м)^2\cdot к_{ст}}}, \qquad (3.36)$$

де $к_1=1\div 2$

$к_2=2,5$

$к_3=9\div 18$

$$a=\sqrt[5]{\frac{9}{(1\cdot 2,5)^2}\cdot\frac{37,4\cdot 10^4}{1,26\cdot 180\cdot(1,98\cdot 0,35)^2\cdot 0,91}}=4,23$$

$$a_2=\sqrt[5]{\frac{18}{(2\cdot 2,5)^2}\cdot\frac{37,4\cdot 10^4}{1,26\cdot 180\cdot(1,98\cdot 0,35)^2\cdot 0,91}}=6,41$$

Остаточно вибираємо типорозмір магнітопровода ШЛ50х80, для якого $V_{ст} = 1150\ см^3$, $S_{ст}=34см^2$, $l_{ст}=34,3см$.

Сумарний немагнітний зазор у магнітопроводі:

$$l_з=\frac{l_з\%}{100}l_{ст}=0,016\cdot 34,3=0,548см. \qquad (3.37)$$

Товщина немагнітної прокладки:

$$\Delta_з = \frac{l_з}{2} = \frac{0,548}{2} = 0,274\,см. \quad (3.38)$$

Знаходимо число витків обмотки дроселя:

$$W = 10^4 \sqrt{\frac{L \cdot l_{ст}}{1,26 \cdot \mu_{еф} \cdot S_{ст}}} = 10^4 \sqrt{\frac{0,57 \cdot 34,3}{1,26 \cdot 180 \cdot 34}} = 504 витки. \quad (3.39)$$

Переріз дротів обмотки:

$$S_{др} = \frac{I_н}{\delta} = \frac{8,1}{1,98} = 4,09 мм^2.$$

Вибираємо дріт для обмотки марки ПЕТЛО ∅2,3/2,47мм з площею поперечного перерізу 4,155 мм^2.

Активний опір дроселя:

$$R = \rho_м \frac{l_{срв} \cdot W}{S_{др}}, \quad (3.40)$$

де $\rho_м$ = 2,35·10^{-2} Ом·мм^2/м – питомий опір міді;

$l_{срв}$ – середня довжина витка,

$$l_{срв} = 2 \cdot 10^{-3} (a + b + \pi \cdot r),$$

де a, b – базові лінійні розміри магнітопровода, a=50, b=80;

r=a/2=50/2=25

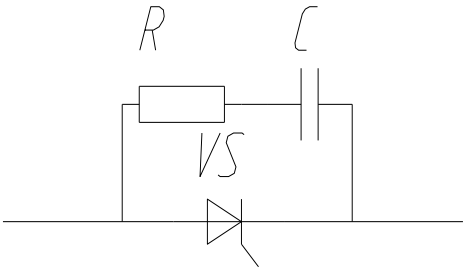
$$l_{срв} = 2 \cdot 10^{-3} (50 + 80 + \pi \cdot 25) = 0,417. \quad (3.41)$$

Отже активний опір дроселя становить:

$$R = 2,35 \cdot 10^{-2} \frac{0,417 \cdot 504}{4,155} = 1,19 Ом.$$

3.5. Розрахунок захисних R-C ланцюгів

В обладнанні силової електроніки правильна робота і захист силових елементів потребують того, щоб зростання напруги на силових напівпровідникових приборах (амплітуда напруги) і швидкість наростання прямої напруги (dU/dt) підтримувалася у нормованих межах. Захист за напругою, таким чином, може бути поділений на захист від перенапруг і на захист від перевищення швидкості наростання прямої напруги. Деякі перенапруги повторюються періодично, наприклад комутаційні перенапруги, що обумовлені накопиченням зарядів у напівпровідникових елементах. Інші перенапруги виникають випадково: грозові, або комутаційні перенапруги у мережах і т. д.



В якості захисту від комутаційних перенапруг використовуються R-C ланцюги, що вмикаються паралельно з напівпровідниковими приладами. При включенні керуючого напівпровідникового приладу розрядний струм зарядженого конденсатора С викликає місцеві втрати у напівпровідниковому приладі, таким чином зменшуються перенапруги на ньому.

Для визначення параметрів елементів R і С демпфуючих контурів, повинен бути обчислений коефіцієнт перенапруги, який відповідно з [6] визначається як

$$k = \frac{1}{b} \cdot \frac{U_{звтир}}{U_{зв}}, \qquad (3.42)$$

де b – коефіцієнт запасу, b=1.3;

$U_{звтир}$ - зворотня напруга на тиристорі, $U_{звтир}$ =600;

$U_{зв}$ - напруга мережі, визначається за формулою

$$U_{зв} = 1{,}1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{2ф} = 1{,}1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 119{,}49 = 322В; \quad (3.43)$$

тоді $k = \frac{1}{1{,}3} \cdot \frac{600}{322} = 1{,}43$.

У цьому випадку відповідно [6]

$C^*_{min} = 3{,}2 \quad R^*_{min} = 0{,}3 \quad R^*_{max} = 0{,}6$.

За паспортними даними $\frac{di}{dt}$ =160 А/мкс, а накопичений заряд у тиристорі становить 30 Амкс.

Обчислимо мінімальну ємність конденсатора C_{min} за формулою:

$$C_{min} = \frac{3}{5} C'_{min}, \quad (3.44)$$

де $C'_{min} = C^*_{min} \frac{2 \cdot Q}{U_{зв}} = 2{,}8 \frac{2 \cdot 30}{1{,}1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 119{,}49} = 0{,}52мкФ$. (3.45)

$\frac{3}{5}$ - коефіцієнт переводу до трифазної мостової схеми випрямлення;

$$C_{min} = \frac{3}{5} 2{,}78 = 0{,}313мкФ.$$

Обчислимо опір резистора R:

$$R^*_{min} \sqrt{\frac{L' \cdot U_{зв}}{2 \cdot Q}} \le R' \le R^*_{max} \sqrt{\frac{L' \cdot U_{зв}}{2 \cdot Q}}, \quad (3.46)$$

де $L' = 2L_{фт} = 2 \cdot 0{,}000833 = 0{,}001667$Гн, у формулу потрібно підставляти значення у мкГн, тобто 1667мкГн.

$L_{фт}$ – індуктивність фази трансформатора,

$$L_{фт} = (X_{тр}/314)/3 = (0{,}785/314)/3 = 0{,}000833Гн;$$

$X_{тр}$ – індуктивний опір трансформатора приведений до вторинної обмотки.

Тоді $0{,}3 \sqrt{\frac{1667 \cdot 1{,}1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 119{,}49}{2 \cdot 30}} \le R' \le 0{,}6 \sqrt{\frac{1667 \cdot 1{,}1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 119{,}49}{2 \cdot 30}}$;

$$28,3\frac{5}{3} \le R \le 56,7\frac{5}{3};$$

$\frac{5}{3}$ - коефіцієнт переводу до трифазної мостової схеми випрямлення;

$$47,2 \le R \le 94,5 \text{ Ом}.$$

Для установки приймаємо такі деталі: конденсатори МБГЧ-1-2А-500В-0,5мкФ, резистори МЛТ-2-56 Ом.

3.6. Розрахунок джерела живлення обмотки збудження

Обмотка збудження живиться від некерованого трифазного мостового випрямляча, оскільки потік збудження двигуна постійний. Випрямляч складається з шести діодів. Вибір діодів проводимо за допустимою оберненою напругою і допустимим прямим струмом.

Максимальний можливий струм в обмотці збудження визначено як:

$$I_{зб\,max} = \frac{U_{зб}}{R_{зб}}, \qquad (3.47)$$

де $U_{зб}$ – напруга збудження,

$R_{зб}$ – опір обмотки збудження, за паспортними даними двигуна він рівний 111 Ом.

$$I_{зб\,max} = \frac{U_{зб}}{R_{зб}} = \frac{220}{111} = 1,98\text{А}. \qquad (3.48)$$

Тоді допустимий середній струм через діоди випрямляча:

$$I_{асер} \ge \frac{I_{зб\,max}}{3} = \frac{1,98}{3} = 0,66\text{А}.$$

Допустима обернена напруга:

$$U'_{об\,max} = \frac{\sqrt{6}}{2}U_{2ф}; \quad U'_{об\,max} = \frac{\sqrt{6}}{2}120 = 147\text{В}. \qquad (3.49)$$

Обернена максимальна напруга вибрана з урахуванням коливань мережі ±10%, а також з урахуванням комутаційних перенапружень. Тому знайдене значення оберненої напруги збільшене на 40%.

$U_{об\,max} \geq 1{,}40 \cdot 147 = 206$В.

Вибрані діоди Д229К з такими параметрами:

$I_{асер} = 0{,}7$А, $U_{зв} = 300$В.

3.7. Розробка принципової схеми ланцюгів керування

Згідно розробленої функціональної схеми електропривода, регулювання швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження здійснюється вниз від номінальної швидкості обертання двигуна. Таке регулювання здійснюється шляхом зміни живлячої напруги обмотки якоря електродвигуна, при постійній напрузі збудження. При такому способі регулювання зберігається постійний момент на валу електродвигуна.

Принцип роботи блока регулювання базується на властивості тиристорів змінювати в широких межах середнє значення випрямленної напруги шляхом зміни часу відмикання тиристорів по відношенню до початку додатної півхвилі змінної напруги, яка підводиться. Згладжування випрямленої напруги керованого тиристорного випрямляча проведено за допомогою фільтра, який утворений індуктивністю реактора і опором якоря.

Керування тиристорним випрямлячем здійснено вибраною системою імпульсно-фазового керування, яка в даний час знаходить все більш широке застосування в керуванні вентильними перетворювачами, оскільки вони мають ряд переваг перед електромагнітними системами: висока швидкодія, надійність, мала потужність, що використовується, малі габарити і вага.

Оскільки керування здійснюється шістьма тиристорами, то система має канальне виконання і використано принцип вертикального керування. При вертикальному методі керування формування керуючого імпульсу в результаті порівняння на нелінійному елементі величин змінної (синусоїдальної, пилкоподібної) і постійної напруг. У момент, коли ці напруги стають рівними і їх різниця змінює знак, відбувається формування імпульсу. Часове положення імпульсу можна регулювати, змінюючи величини постійної напруги.

Діаграма сигналів СІФК зображена на рис.3.5.

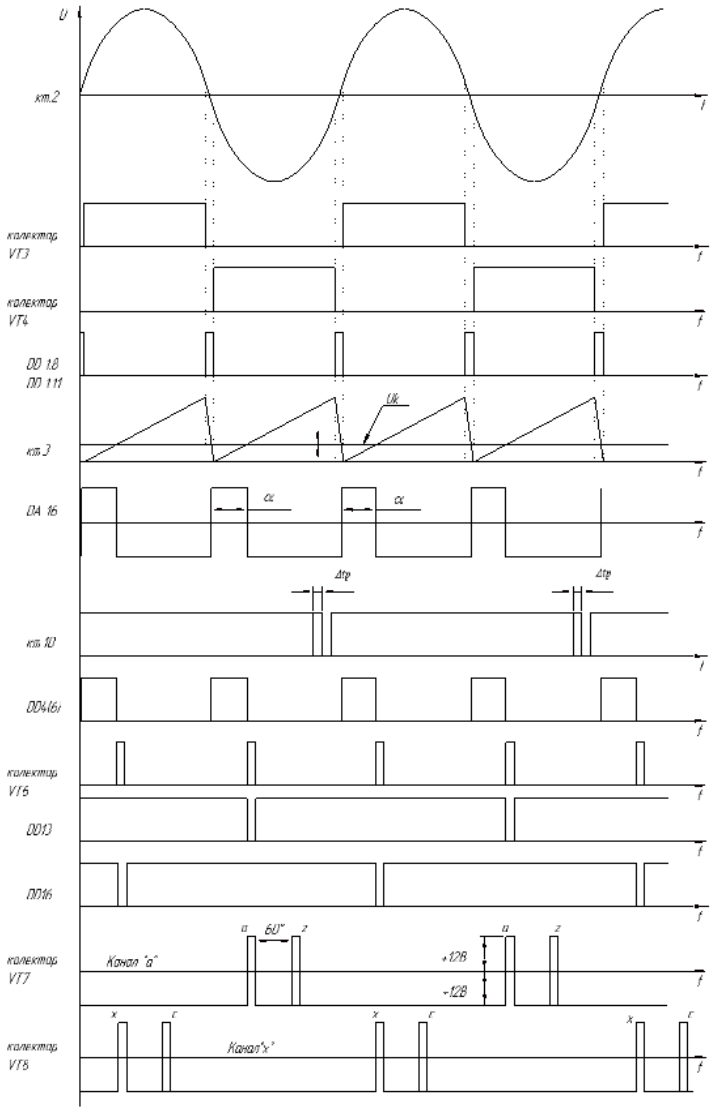


Рисунок 3.5 – Діаграма сигналів СІФК

Система імпульсно-фазового керування (СІФК) призначена для перетворення постійної керуючої напруги у послідовність керуючих імпульсів відповідної фази, що подаються на керуючі електроди силових тиристорів.

Формувач імпульсів складається із наступних вузлів: фільтра (Ф) R1, R2, C2, двох порогових елементів (ПЕ) VT1, VT2, VT3, VT4, формувача синхронізуючих імпульсів (ФСІ) DD1, генератора пилкоподібної напруги (ГПН) VT5, C4, DA1, нуль-органа (НО) DA2, RS-тригера (Т) DD2, формувача довжини імпульсів (ФДІ) C5, VT6.

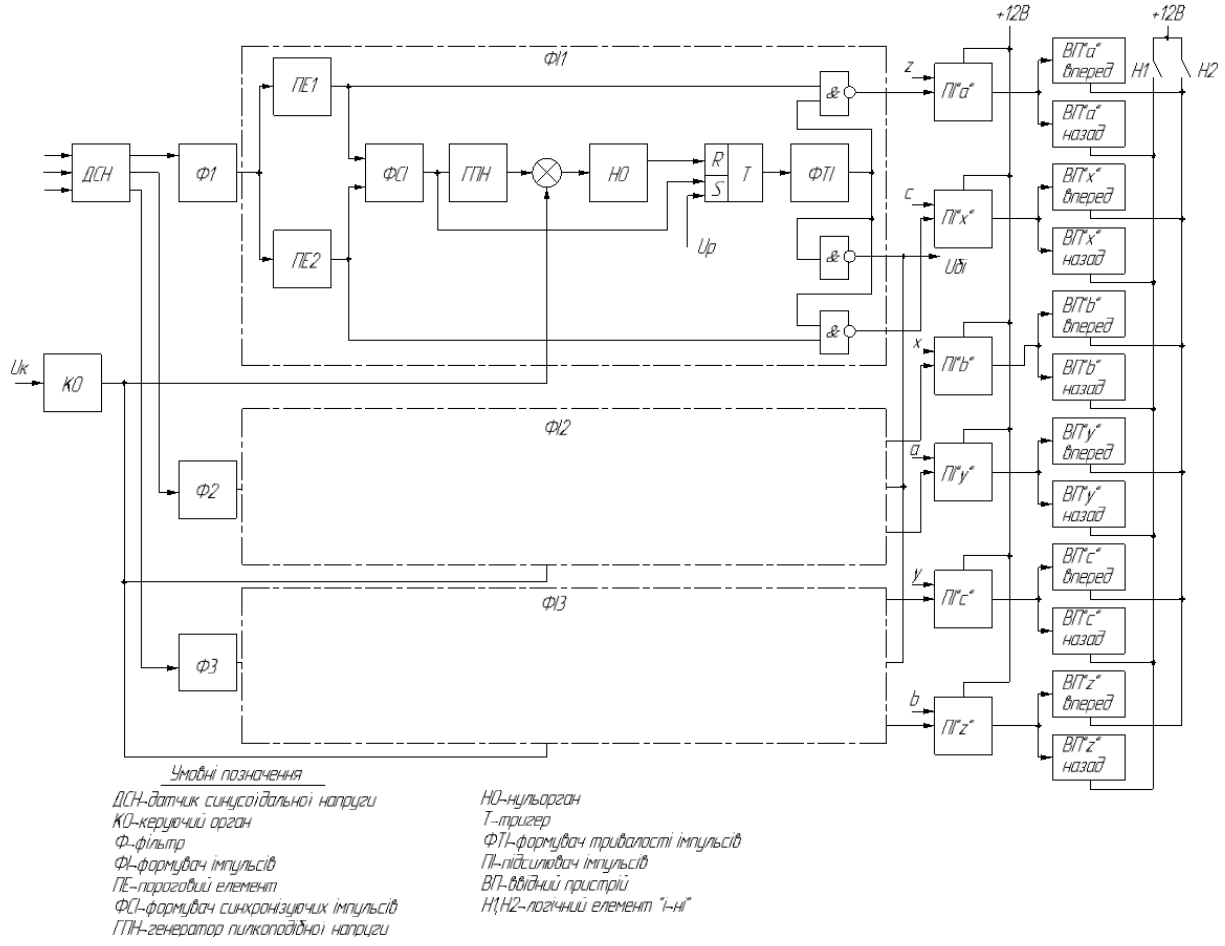


Рисунок 3.6 – Функціональна схема імпульсно-фазового керування електроприводом

Схема, рис.3.6, працює наступним чином:

Синхронізуюча фазна напруга, що надходить від джерела синусоїдальної напруги (ДСН) зсувається по фазі фільтром Ф на кут 30°. З виходу фільтра синусоїдальна напруга надходить на порогові елементи ПЕ1, ПЕ2, де перетворюється у прямокутні імпульси. Тривалість прямокутних імпульсів визначає зону дозволу видачі керуючих імпульсів для відповідних тиристорів і складає для кожної фази приблизно 176°, що виключає одночасну видачу керуючих імпульсів для двох протифазних вентилів випрямляючого моста.

При логічному сигналі „0” на виходах обох порогових елементів, на виході ФСІ формується синхроімпульс (сигнал логічної „1”), яким здійснюється через транзистор VT5 розряд інтегруючої ємності ГПН. З моменту зникнення синхроімпульсу напруга на виході ГПН починає лінійно наростати від нуля до 10В. Момент перевищення рівня напруги ГПН над керуючою напругою, що надходить з виходу управляючого органа (УО), фіксується нуль-органом, який змінює свій стан з „1” на „0”. При цьому тригер перемикається і на його виході встановлюється сигнал „0”, який призводить до появи на виході ФДІ імпульсу, котрий у відповідності із сигналом порогових елементів ПЕ1 і ПЕ2 формує керуючі імпульси на входах підсилювачів імпульсів (ПІ) „а” чи (ПІ) „х”.

Далі підсилений імпульс надходить на ввідний пристрій (ВП) комплекту „вперед” чи „назад”. Тригер після появи „0” на виході нуль-органа зберігає свій стан до тих пір, поки з ФСН на інший його вхід не надійде синхроімпульс, що підготовить його для видачі чергового керуючого імпульсу. Тригер може підготуватися до видачі керуючого імпульсу також і сигналом з блоку логіки ($U_р$).

Підсилювачі імпульсів виконані на транзисторах, навантаженням яких є ввідні пристрої. ПІ мають два входи: один для „свого” імпульсу, інший для чужого, що надходить з іншого

формувача імпульсів. Це необхідно для отримання здвоєних імпульсів, що забезпечують нормальну роботу трифазної мостової схеми випрямлення.

Ввідний пристрій призначений для гальванічного розділення силового ланцюга і ланцюга керування. Ввідним пристроєм є світло випромінюючий діод оптронного тиристора і послідовно з ним ввімкнений обмежуючий резистор. Керуючий орган узгоджує вихід каналу регулювання з входами СІФК.

Логічний пристрій (ЛП) здійснює керування силовими вентилями перетворювача і виконує наступні функції:

- вибір потрібного напрямку обертання залежно від знаку вхідного сигналу $U_з$ шляхом ввімкнення відповідних ключів, що визначають потрібний напрямок струму перетворювача;
- блокування входу ЛП сигналом датчика стану тиристорів;
- формування витримки часу між моментом зняття імпульсів з комплекту, що раніше працював і подачу імпульсів на комплект, який вступає в роботу.

Адаптивний пристій (АП) дозволяє лінеаризувати структуру електропривода в режимі переривчастих струмів і тим самим поліпшити динамічні характеристики електропривода.

АП складається з нелінійної ланки і функціонального перетворювача ЕРС (ФПЕ). Нелінійна ланка має характеристику обернену до регулювальної характеристики керуємого випрямляча в режимі переривчастого струму і виконана на операційному підсилювачі з нелінійним зворотним зв’язком. ФПЕ має арксинусну характеристику.

Регулятор швидкості (РС) виконаний на операційних підсилювачах і забезпечує діапазон регулювання 10000. Регулятор швидкості виконаний двоканальним: перший канал забезпечує

підсилення сигналу і швидкодію, другий канал – виконує компенсацію температурної і часової нестабільності регулятора.

В електроприводі передбачені захисти при аварійних ситуаціях. Усі види захистів впливають на керуючий орган КО. В електроприводі також забезпечується блокування регулятора та блокування керуючих імпульсів.

Види захистів:

- максимально струмовий захист і захист від коротких замикань забезпечується за допомогою силового автомата і пристрою, що встановлює кут регулювання тиристорів рівним α_{max};
- захист від перевантажень по струму виконується за допомогою інтегратора, що зібраний на операційному підсилювачі. Цей захист може бути використаний для теплового захисту двигуна;
- захист від зниження напруги живлячої мережі, він спрацьовує при зниженні напруги всіх чи однієї з фаз більше ніж на 15%;
- захист від зникнення напруги живлячої мережі силового кола і кола керування і від неправильної послідовності підключення фаз до мережі;
- захист від перегріву двигуна, він забезпечується за допомогою датчика температури – позистора, що вбудований у двигун. При перевищенні допустимої температури двигуна опір позистора підвищується і спрацьовує захист;
- захист від перегріву перетворювача, забезпечується терморезистором встановленим на охолоджувачі. Принцип дії захисту подібний до захисту від перегріву двигуна;
- блокування регулятора. Цей захист призначений для

запобігання повзучій швидкості двигуна при знятті напруги завдання;

- вузол блокування керуючих імпульсів призначений для блокування видачі керуючих імпульсів з СІФК під час спрацювання одного чи декількох видів захисту.

Блок живлення забезпечує живлення всіх кіл керування постійною стабілізованою напругою ±15В, не стабілізованою напругою ±24В, ±12В. Стабілізатор напруги зібраний за схемою двоканального стабілізатора із загальною точкою.

Блок зміни початкового кута регулювання призначений для усунення пульсацій струму на високих швидкостях обертання двигуна. До складу блоку входить випрямляч із зоною нечутливості і ланка обмеження на стабілітроні.

3.8. Розробка схеми з’єднань

Схема з’єднань визначає конструктивне виконання електричних з’єднань елементів у виробі. На схемі зображаються всі пристрої і елементи, що входять до складу виробу, їх вхідні і вихідні елементи (з’єднувачі, плати, затискачі і т. д.) і з’єднання між ними. Пристрої зображаються у вигляді прямокутників чи спрощених зовнішніх обрисів, елементи – у вигляді умовних графічних позначень, встановлених стандартами ЕСКД, прямокутників чи спрощених зовнішніх обрисів. У середині прямокутників чи спрощених обрисів, що зображають елементи допускається вміщувати їх умовні графічні позначення, а для пристроїв – їх структурні, функціональні чи принципіальні схеми.

Вхідні і вихідні елементи зображаються умовними графічними позначеннями. Розташування зображень вхідних і вихідних елементів чи виводів всередині умовних графічних позначень

пристроїв і елементів повинно приблизно відповідати їх дійсному розташуванню у пристрої чи елементі.

Поблизу умовних графічних позначень пристроїв вказують відповідні позначення, що присвоєні їм на принциповій схемі. Біля чи в середині графічного позначення допускається вказувати його найменування і тип.

На схемі необхідно вказувати позначення виводів (контактів) елементів (пристроїв) нанесених на виріб чи встановлених на виріб.

Електропривод роликоповоротного стенда складається з таких складових частин: блок керування, перетворювач, згладжуючий реактор, задатчик частоти обертання, узгоджувальний силовий трансформатор.

Електропривод конструктивно представляє собою комплектний пристрій, виконаний у відкритому виконанні і призначений (крім електродвигуна) для вбудовування у шафу.

Конструкція блока керування складається з силового блока і поворотного блока з двобічними печатними панелями і трансформатором керування.

Для електропривода роликоповоротного стенда розроблена наступна схема з’єднань.

Блок керування розміщується у окремому монтажному блоці і сполучається з іншими елементами схеми за допомогою роз’ємного з’єднання Х3 і клемника Х12. Напруга мережі подається на клемник вводу Х7. Для підключення автоматичного вимикача, запобіжників, реактора, електродвигуна використано клемники Х10, Х11, Х14, Х15.

Підключення двигуна і тахогенератора проводиться безпосередньо на місці їх встановлення за допомогою затискачів на їх клемах.

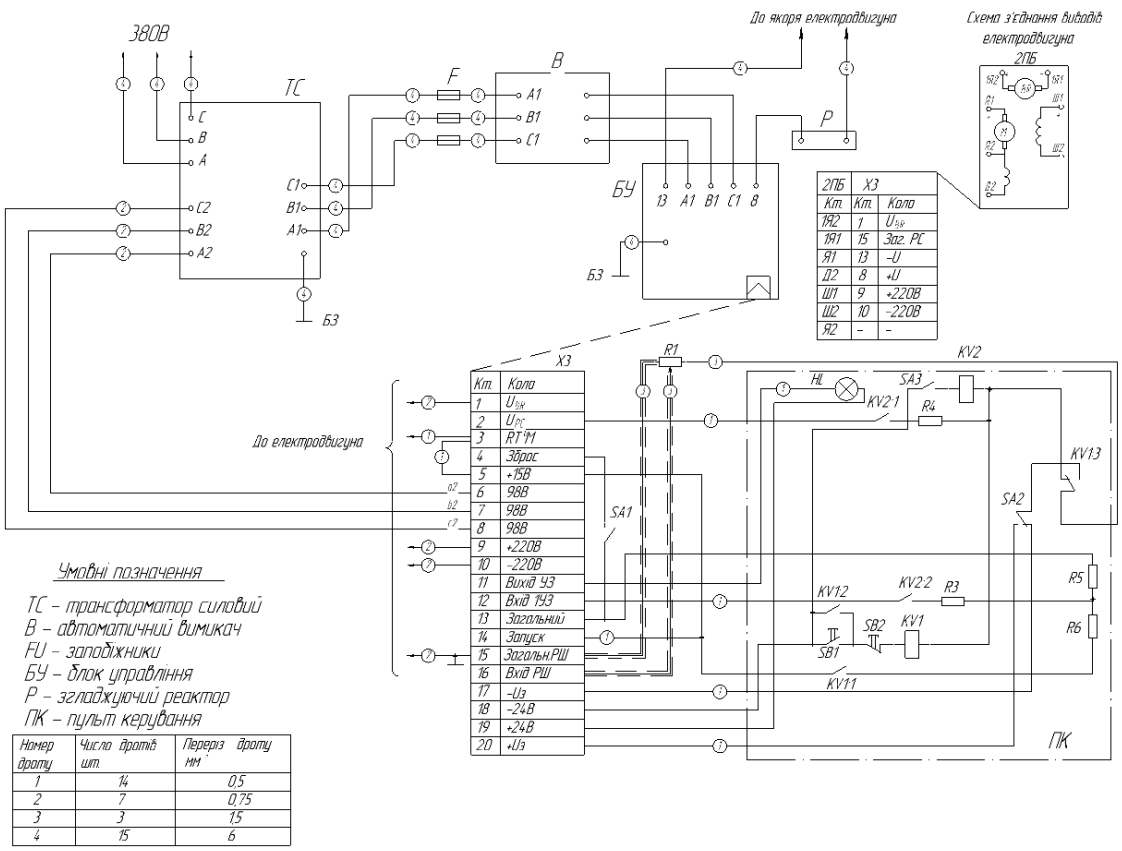


Рисунок 3.7- Схема з’єднань елементів системи автоматизованого електропривода

3.9. Розробка схеми підключень

Схема підключень показує зовнішні підключення виробу. На схемі повинні бути зображені виріб, його вхідні і вихідні елементи (з'єднувачі, затискачі і т.п.) і кінці проводів і кабелів зовнішнього монтажу, що підводяться до виробу, біля яких розташовують дані про підключення виробу (характеристики зовнішніх ланцюгів, адреси). На схемі виробу його складові частини зображують у виді прямокутників, а вхідні і вихідні елементи (з'єднувачі) - у виді умовних графічних позначень. Допускається зображувати виріб, а також вхідні і вихідні елементи у виді спрощених зовнішніх обрисів.

Вхідні і вихідні елементи усередині графічного позначення виробу розміщають відповідно до їх дійсного розташування у виробі

і вказують їхні позиційні позначення, привласнені їм на принциповій схемі виробу.

На схемі варто вказувати позначення вхідних, вихідних або вивідних елементів, нанесені на виріб. Якщо позначення цих елементів у конструкції виробу не зазначені, то допускається умовно присвоювати їм позначення на схемі.

Дозволяється біля умовних графічних позначень з'єднувачів указувати їхні найменування або позначення документів, на підставі яких вони застосовані.

Проводи і кабелі на схемі показують окремими лініями. На схемі допускається вказувати марки і перетини проводів, їхнє забарвлення, марки кабелів, кількість і зайнятість жил, їхній перетин. Якщо для цього використовують умовні позначення, вони повинні бути розшифровані на полі схеми.

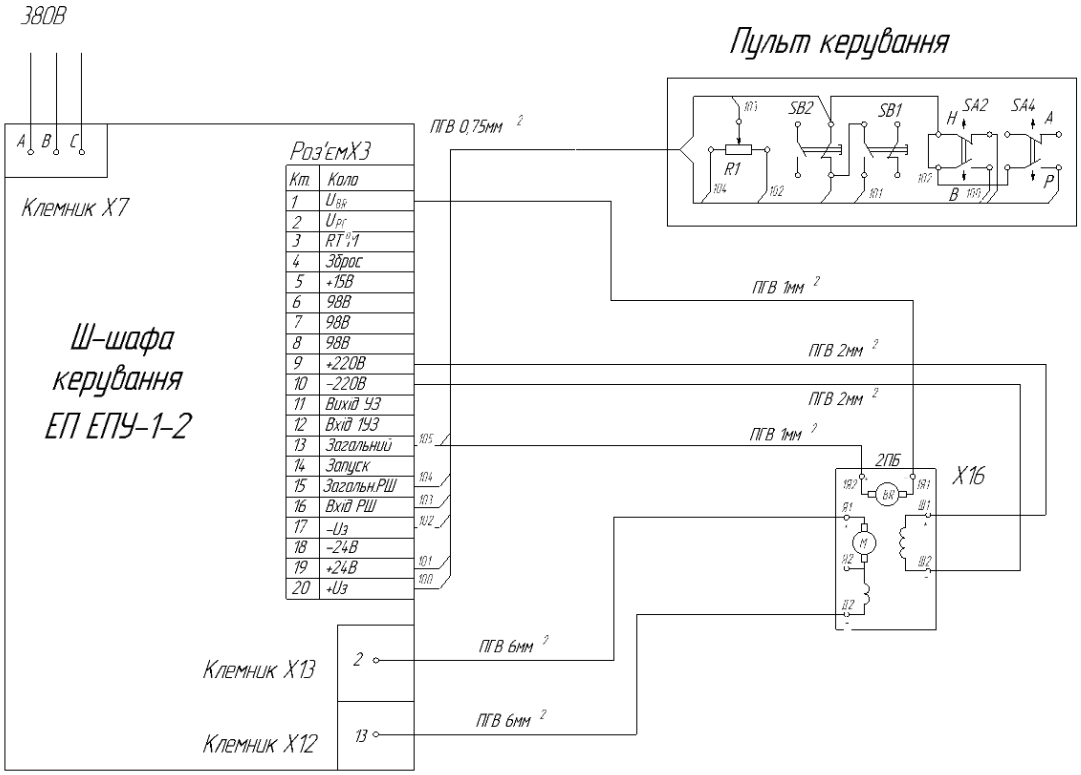


Рисунок 3.8 - Схема підключення електропривода роликового стенда

На схемі підключення електропривода роликового стенда рис.3.8 складові частини виробу зображені у вигляді прямокутників, а вхідні і вихідні елементи (клемні затискачі) — у виді умовних графічних позначень, що розташовані усередині складових частин виробу. Їхнє розташування приблизно відповідає дійсному розташуванню контактів. На схемі зазначені марки і перетин проводів, марки кабелів, кількість і перетин жил кабелів.

Усі елементи системи керування електродвигуном постійного струму незалежного збудження, ланцюги захисту і сигналізації монтуються у шафі керування. Зовнішнє з'єднання для підключення живлення виконане через клемник Х5; якірна обмотка двигуна підключена до клемників Х12 і Х13; тахогенератор, обмотка збудження двигуна і пульт керування підключені до роз'ємного з'єднання Х3. Дроти, які йдуть до електродвигуна вкладені у металорукав.

3.10. Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання, оцінка якості та стійкості регулювання

Система автоматичного керування (САК) швидкістю містить в собі силову частину у вигляді двигуна постійного струму з незалежним збудженням, який живиться від тиристорного перетворювача, та керуючу частину у вигляді регулятора швидкості і вимірно-перетворюючого пристрою, що являє собою датчик швидкості. В якості датчика швидкості використовується тахогенератор. Напруга тахогенератора, що пропорційна дійсному значенню швидкості обертання двигуна, подається на вхід регулятора швидкості по каналу зворотного зв'язку за швидкістю та порівнюється із заданим значенням $U_з$, що задає значення швидкості.

Розроблена система регулювання електроприводу, дозволяє

здійснювати плавне регулювання частоти обертання електродвигуна вниз від номінальної, шляхом зміни напруги на якорі при постійному потоці збудження. При такому способі регулювання зберігається постійний момент на валу електродвигуна. У розробленій схемі регулювання швидкості електродвигуна використовуються такі елементи : регулятор швидкості, керований випрямляч, елемент завдання, тахогенератор, які забезпечують роботу електроприводу із заданими технічними характеристиками. Розроблений електропривод забезпечує підтримання потрібної швидкості зварювання автоматично, що дозволяє розглядати його, як систему автоматичного регулювання.

З метою визначення якості роботи та оцінки стійкості системи автоматичного регулювання, визначено ланки системи та їх передавальні функції, складено структурну схему системи.

Аналіз функціональної та принципової схем електроприводу показує, що він являє собою двоконтурну систему регулювання швидкості із зворотнім зв'язком по струму і швидкості обертання двигуна.

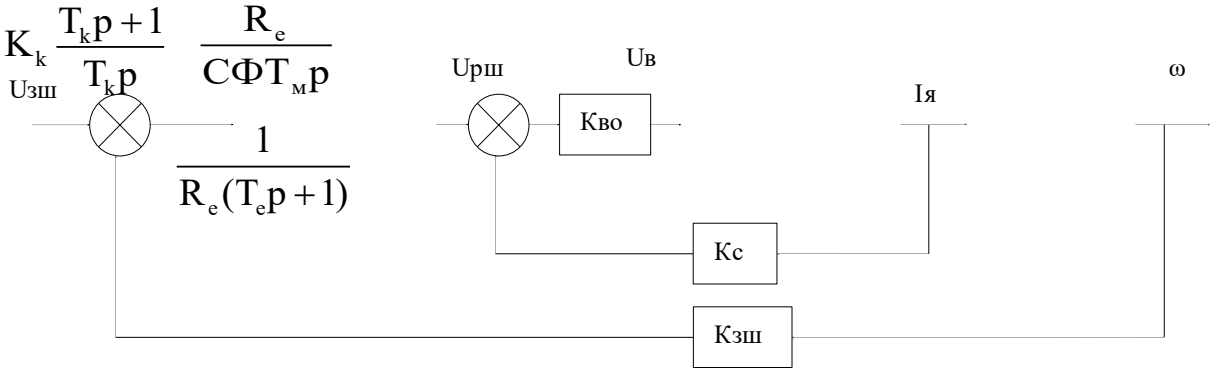


Рис. 3.9 - Структурна схема електропривода

Позначенням на структурній схемі відповідають:

$U_{зш}$ – напруга завдання швидкості;

$К_к$, $К_{во}$ – коефіцієнти підсилення регулятора швидкості і регульованого випрямляча;

$Т_к$ – постійна часу регулятора швидкості;

$U_{рш}$ – напруга на виході регулятора швидкості;

$U_в$ – напруга на виході керованого випрямляча;

$R_е$ – еквівалентний опір ланцюга якоря;

$Т_е$ – еквівалентна електромагнітна постійна ланки якоря двигуна;

$І_я$ – струм якоря двигуна;

С – конструктивна постійна двигуна;

Ф – магнітний потік двигуна;

$Т_м$ – електромеханічна постійна двигуна;

$К_с$, $К_{зш}$ – коефіцієнти зворотного зв'язку за струмом і швидкостю обертання;

$К_{тг}$ – коефіцієнт передачі тахогенератора;

р – оператор Лапласа;

ω – швидкість обертання двигуна.

Якість регулювання та стійкість системи автоматичного регулювання визначено за допомогою комп'ютерної програми "COBRA", для цього визначені коефіцієнти та сталі часу передавальних функцій ланок системи автоматичного регулювання.

Початковими даними для розрахунку є смуга пропускання електроприводу $ω_р$ та вигляд перехідної характеристики, яка визначається параметрами А, В, С для різних варіантів налагоджування. Параметри настройки: А=0,823; В=0,2; С=0,7, смуга пропускання 150 Гц.

Розрахунок проводимо у наступній послідовності:

Сумарний момент інерції ротора:

$$J\sum=0,024 кг\cdot м^2, \qquad (3.50)$$

де $J_{дв}$ – момент інерції приведений до двигуна, що визначений у пункті 2.6 пояснювальної записки.

Еквівалентний опір силового ланцюга:

$$R_е = R_я + 2R_ф + 1{,}91X_ф, \quad (3.51)$$

де $R_я$ – опір якоря двигуна, визначається за каталогом,

$R_я$ =0.788 Ом;

$R_ф$ – активний опір фази вторинної обмотки трансформатора,

$R_ф$ =0.287 Ом;

$X_ф$ - реактивний опір фази вторинної обмотки трансформатора,

$X_ф$ =0.262 Ом.

$$R_е = 0{,}788 + 2 \cdot 0{,}287 + 1{,}91 \cdot 0{,}262 = 1{,}862 \text{Ом}.$$

Передаточний коефіцієнт двигуна при номінальному потоці СФ визначено експериментально при $\omega=\omega_{ном}$ і за формулою:

$$СФ = \frac{U_{дв.ном}}{\omega}, \quad (3.52)$$

де $U_{дв.ном}$ – номінальна напруга на якорі електродвигуна,

$U_{дв.ном}$ =220 В;

ω – швидкість обертання двигуна, що відповідає номінальній напрузі, $с^{-1}$.

$$СФ = \frac{220}{314} = 0{,}7 \text{Вс}.$$

Еквівалентна електромагнітна постійна ланцюга якоря $T_е$:

$$T_е = \frac{0{,}19 \cdot U_л}{314 \cdot I_{дв.м} \cdot R_е}, \quad (3.53)$$

де $U_л$ – діюча лінійна напруга мережі, $U_л$ =206.96В;

$I_{дв.м}$ – амплітуда пульсацій струму якоря при його граничному неперервному значенні, $I_{дв.м}$ =11.3 А.

$$T_е = \frac{0{,}19 \cdot 206{,}96}{314 \cdot 11{,}3 \cdot 1{,}862} = 5{,}95 \cdot 10^{-3} \text{с}.$$

Електромеханічну постійну двигуна $T_м$ визначаємо в секундах за формулою:

$$T_м = \frac{J\Sigma \cdot R_е}{(СФ)^2}, \quad (3.54)$$

$$T_м = \frac{0,024 \cdot 1,862}{0,7^2} = 0,0912с.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$К_{зш} = \frac{U_з}{\omega}, \quad (3.55)$$

де $U_з$ – напруга завдання, $U_з$ =10 В, що відповідає номінальній (максимальній) швидкості обертання;

$$К_{зш} = \frac{10}{314} = 0,0318.$$

Коефіцієнт підсилення керованого випрямляча за формулою:

$$К_{во} = 0,3 \cdot U_м, \quad (3.56)$$

де $U_м$ – амплітуда лінійної напруги вторинної обмотки трансформатора, $U_м$ = 206.96 В;

$$К_{во} = 0,3 \cdot 206,96 = 62,09.$$

Коефіцієнт підсилення датчика струму:

$$К_{дс} = \frac{U_{дс}}{I_{дв}} = 0,06$$ - такий встановлений у електроприводі

де $U_{дс}$ – напруга на виході датчика струму.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$К_с = \frac{R_е}{К_{во}} \cdot \left(\frac{T_е \cdot \omega_р}{С} - 1 \right), \quad (3.57)$$

де $\omega_р$ - смуга пропускання, $\omega_р$ = 150 Гц.

$$К_с = \frac{1,862}{62,09} \cdot \left(\frac{5,95 \cdot 10^{-3} \cdot 150}{0,7} - 1 \right) = 8,25 \cdot 10^{-3}.$$

Параметри регулятора швидкості визначено за формулами:

$$К_к = \frac{А \cdot T_м \cdot СФ \cdot T_е}{0,49 \cdot К_{во} \cdot К_{зш} \cdot 6} \omega_р^2; \quad (3.58)$$

$$T_к = \frac{A \cdot C}{B \cdot \omega_р}; \qquad (3.59)$$

$$К_к = \frac{0,823 \cdot 0,0912 \cdot 0,7 \cdot 5,95 \cdot 10^{-3}}{0,49 \cdot 62,09 \cdot 0,0318 \cdot 6} 150^2 = 1,211;$$

$$T_к = \frac{0,823 \cdot 0,7}{0,2 \cdot 150} = 0,0192.$$

За передавальними функціями усіх ланок системи визначено показники якості і стійкості системи автоматичного регулювання.

3.11. Оцінка якості та стійкості системи автоматичного регулювання

Стійка система при відпрацюванні різних впливів може бути недостатньо точною, перехідні процеси керування в ній можуть затухати занадто повільно, не буде забезпечена потрібна плавність вихідних сигналів, тобто система не зможе достатньо добре виконувати автоматичне керування. Комплекс вимог, що визначає поведінку системи в усталеному і перехідному процесах відпрацювання заданого впливу, об'єднується поняттям якості процесу керування (якості системи).

Показниками, що відображають якість системи є: час регулювання, характер затухання перехідного процесу; пере регулювання, число коливань протягом всього часу перехідного процесу і ступінь затухання перехідного процесу.

Проведено аналіз перехідних процесів системи під навантаженням і без навантаження.

Час регулювання – це час, після якого відхилення керованої змінної не буде перевищувати допустиму похибку. Вважають, що перехідний процес закінчується в той момент часу, починаючи з якого відхилення керованої змінної відрізняється від нового усталеного значення не більше ніж на 5%. Коли система знаходиться

без навантаження, то час регулювання дорівнює 0,25с, а коли з навантаженням – час регулювання дорівнює 0,26с.

Перехідний процес в обох випадках коливальний.

Перерегулювання системи без навантаження і з навантаженням становить 43%, з чого можна зробити висновок, що система налаштована на симетричний оптимум.

Кількість коливань за час перехідного процесу для обох випадків дорівнює двом.

Ступінь затухання перехідного процесу становить 5%.

Система автоматичного керування досліджена на стійкість. Система стійка, якщо вона повертається до усталеного стану після припинення дії збурення, що вивело її з цього стану.

Для визначення стійкості системи знайдене характеристичне рівняння замкненої системи, яке в свою чергу знайдене з передаточної функції замкненої системи. Вона записана у вигляді:

$$W_{зс} = \frac{к_к к_{во} R_е (T_к p + 1)}{к_{зш} к_к к_{во} R_е (T_к p + 1) + к_{во} к_с С Ф T_к p T_м p + С Ф R_е T_к p T_м p (T_е p + 1)}. \qquad (3.60)$$

Після підстановки усіх коефіцієнтів і сталих часу характеристичне рівняння системи записано у вигляді:

$$1{,}36 \cdot 10^{-5} p^3 + 2{,}91 \cdot 10^{-3} p^2 + 0{,}086 p + 4{,}46 = 0. \qquad (3.61)$$

Для стійкості лінійної САК за критерієм Гурвіца необхідно і достатньо, щоб сам головний визначник і всі головні діагональні мінори визначника Гурвіца були додатні *(>0)*. Визначник Гурвіца будують із характеристичного рівняння так: всі коефіцієнти, починаючи з коефіцієнта при *n-1* похідній *(a_1),* виписують послідовно до вільного члена a_n по головній діагоналі. Стовпчики вищі від головної діагоналі доповнюють коефіцієнтами із

зростаючими індексами, а стовпчики нижчі - коефіцієнтами із спадаючими індексами. Місця, що повинні бути заповнені коефіцієнтами з індексами вищими a_n і нижчими a_0, заповнюють нулями.

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0$$

або для n=3: $a_0>0$; $a_1>0$; $a_3>0$;

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1a_2 - a_0a_3 > 0; \quad \Delta_3 = a_3\Delta_2;$$

$a_0=0,0000136$; $a_1=0,00291$; $a_2=0,086$; $a_3=4,46$.

Після підстановки значень маємо

$\Delta_2=0,00291\cdot0,086-0,0000136\cdot4,46=0,0001896>0$;

$\Delta_3=4,46\cdot0,0001896=0,000845>0$.

Висновок: за критерієм Гурвіца система стійка.

Дослідимо систему на стійкість за критерієм Михайлова.

За цим критерієм для стійкості САК n-го порядку необхідно і достатньо, щоб характеристична крива Михайлова при зміні ω від 0 до ∞ починаючи з додатної дійсної осі обійшла послідовно в додатному напрямі (тобто проти руху годинника) n квадрантів, не попадаючи в початок координат, де n – максимальна ступінь характеристичного рівняння. Вектор Михайлова одержуємо підстановкою jω замість p у характеристичне рівняння, він має вигляд:

$$\vec{M}(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + ... + a_n;$$

$$\vec{M}(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega).$$

Криву, що описує кінець вектора Михайлова на комплексній площині при зміні ω від 0 до ∞ називають кривою (годографом) Михайлова. Криву будуємо на площині (U;jV).

Вирази мають вигляд:

$U(\omega)=4,46-2,91\cdot10^{-3}\omega^2$;

$jV(\omega)= j0,086\omega-j1,36\cdot10^{-5}\omega^3$.

Крива Михайлова побудована у програмі Mathcad.

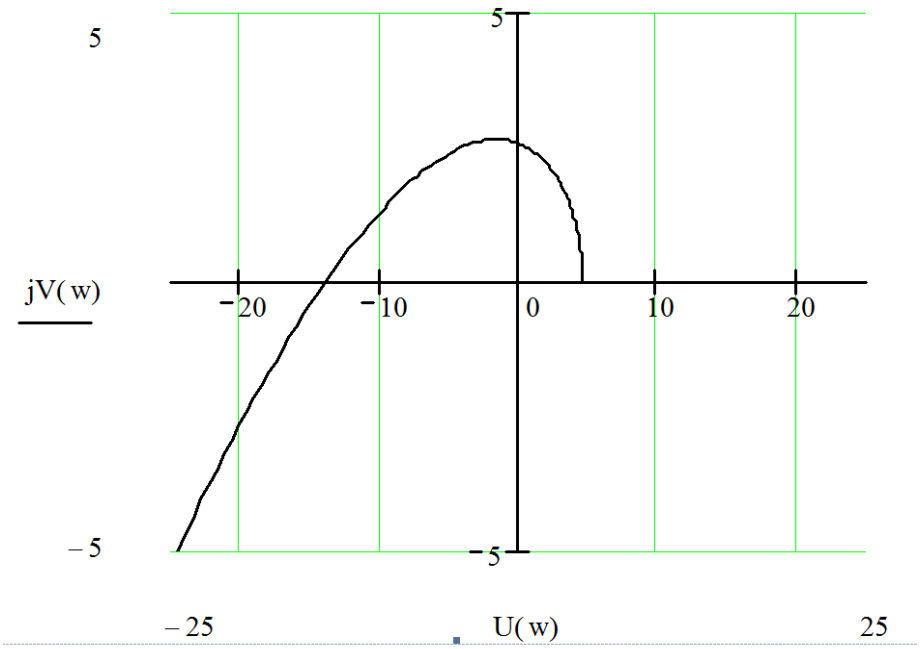


Рисунок 3.10 - Годограф Михайлова

Висновок: з рисунка 3.10 видно, що за критерієм Михайлова система стійка, так як починається на додатній півосі дійсних чисел і послідовно проходить три квадранти.

ВИСНОВКИ

У данній магістерській роботі був проаналізований технологічний процес зварювання на роликоповоротному стенді та визначені його недоліки. Розраховано діапазон зміни швидкості роликоповоротного стенда, залежно від діаметру виробу він становить від 0,052 об/хв до 3 об/хв. Проаналізовано існуючі системи ЕП і вибраний регульований електропривод на базі ДПС з незалежним збудженням. Розраховано статичні та динамічні навантаження та встановлено, що момент руху на привідних роликах становить 1334 Нм. Розраховано потужність і вибрано електродвигун постійного струму потужністю 1,4 кВт. Проведено перевірочний розрахунок двигуна по діючим навантаженням з чього можна зробити висновок, що коефіцієнт перевантаження двигуна відповідає значенню вказаному у технічних даних двигуна. Розроблені функціональна схема ЕП та принципова схема силової частини ЕП. Розраховано джерело живлення якоря та обмотки збудження яка живиться від некерованого трифазного мостового випрямляча. Розроблена принципова схема ланцюгів керування, схеми з'єднань і підключень. А також розроблена структурна схема автоматичного регулювання. Система автоматичного керування (САК) швидкістю містить в собі силову частину у вигляді двигуна постійного струму з незалежним збудженням, який живиться від тиристорного перетворювача, та керуючу частину у вигляді регулятора швидкості і вимірювально перетворюючого пристрою, що являє собою датчик швидкості. В якості датчика швидкості використовується тахогенератор.

Електропривод являє собою двоконтурну систему регулювання швидкості із зворотнім зв'язком за струмом і швидкістю обертання двигуна. Також проведена оцінка якості і стійкості системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1) Сільвестров А.М. Сучасні системи автоматичного керування технологічними комплексами: навчальний посібник / А.М. Сільвестров, М.Я. Островерхов, О.В. Шефер, Н.А. Ладік, Д.К. Зіменков // – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. – 386 с.

2) Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: Підручник / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.

3) Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-е видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник // А.С. Карпенко. – К.: Арістей, 2006. – 272 с.

4) Александров О.Г. Проектування та експлуатація обладнання для дугового зварювання: Навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк. – Львів: Новий Світ, 2011. – 312 с.

5) Сливінський О.А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: навч. посіб. / О.А. Сливінський. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 260 с

6) Конспект лекцій з дисципліни «Допоміжне обладнання зварювального виробництва» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 91 с.

7) Чертов І.М. Зварні конструкції: підручник / І.М. Чертов – К.: Арістей, 2006. – 376 с.

8) Blodgett O.W. Design of Welded Structures / Omer W. Blodgett, Sc.D., P.E. - Cleveland, Ohio : The James f. Lincoln Arc Welding Foundation, 1996. – P: 832.

ДОДАТКИ

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

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

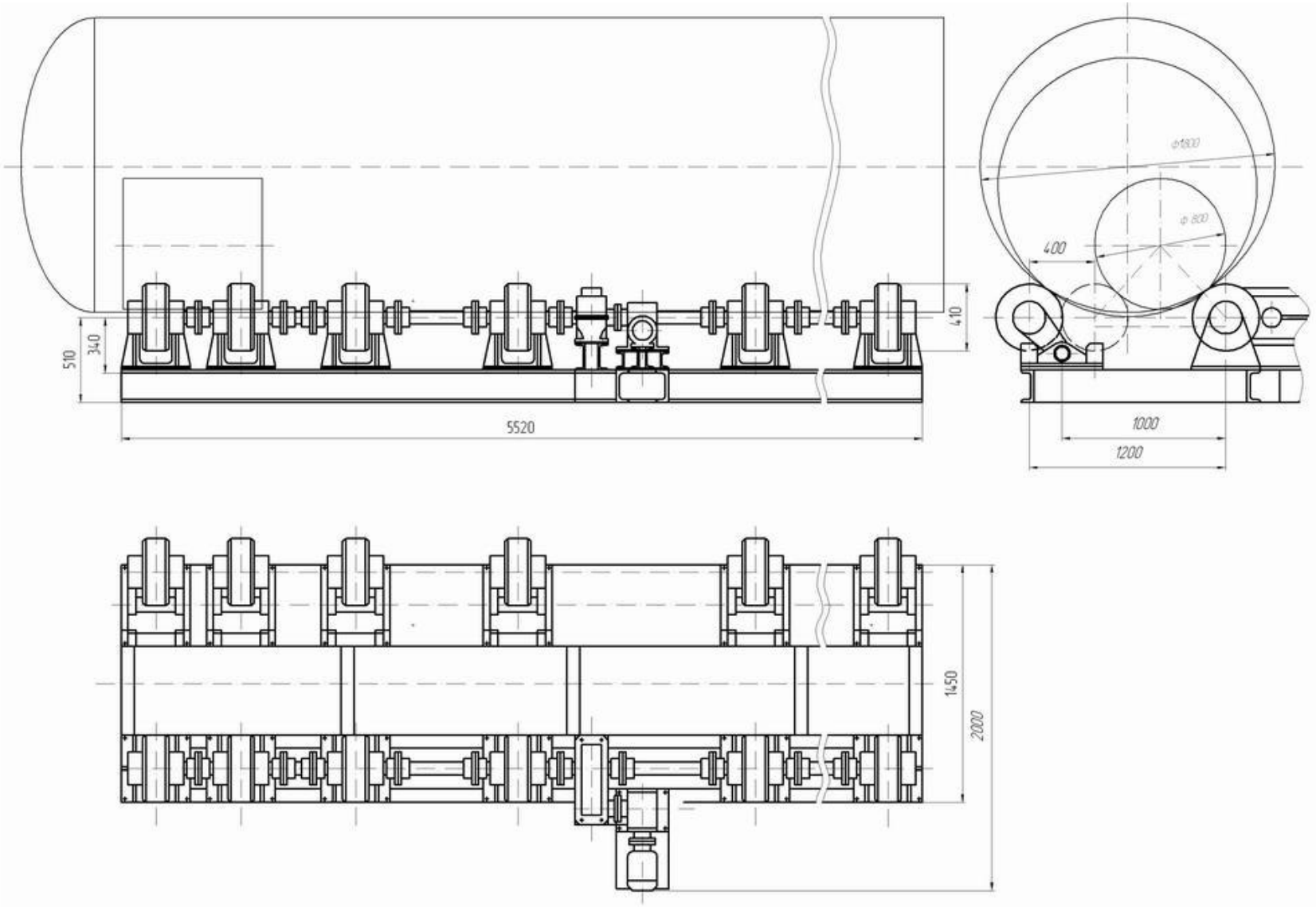
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА РОЛИКОВОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРА

Магістерська кваліфікаційна робота

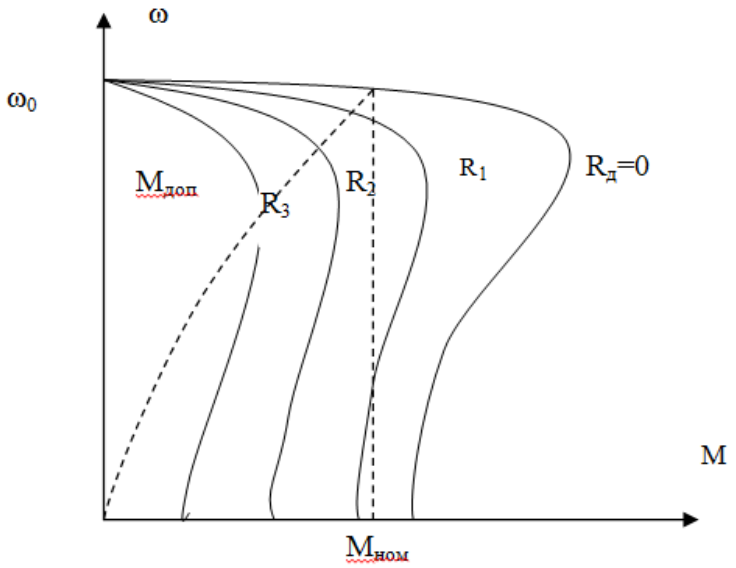
Виконав
магістрант: **А. К. ПОПЕНКО**

Керівник:
д.т.н., професор **О.В. ШЕФЕР**

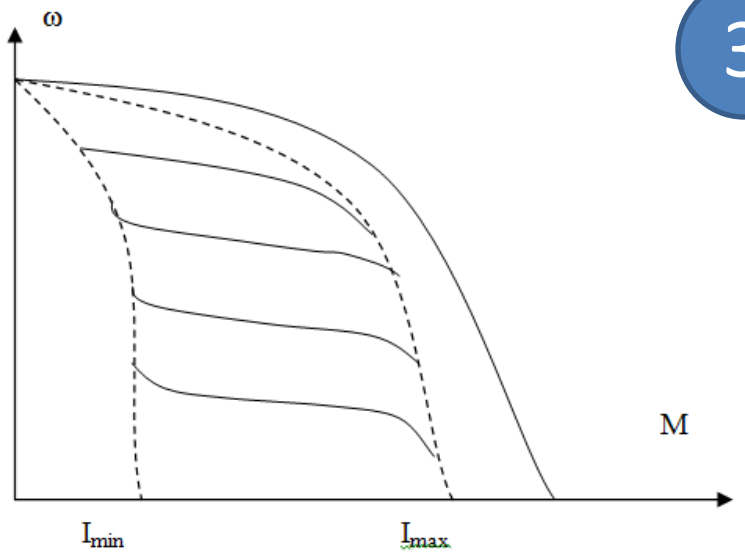
Полтава 2023



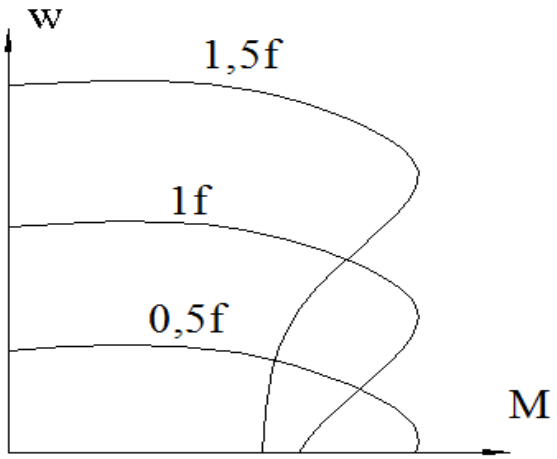
Загальний вигляд роликово-поворотного стенда



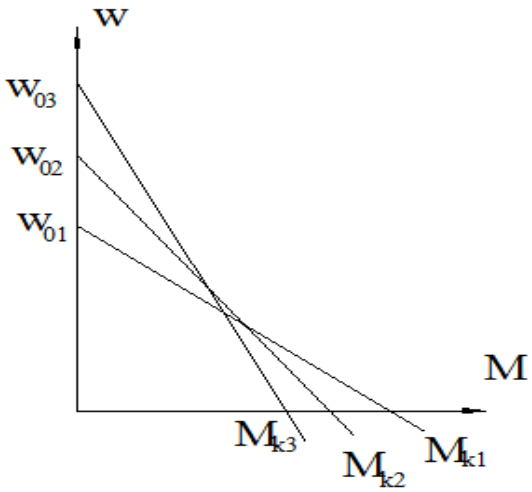
Механічні характеристики асинхронного двигуна з реостатним регулюванням



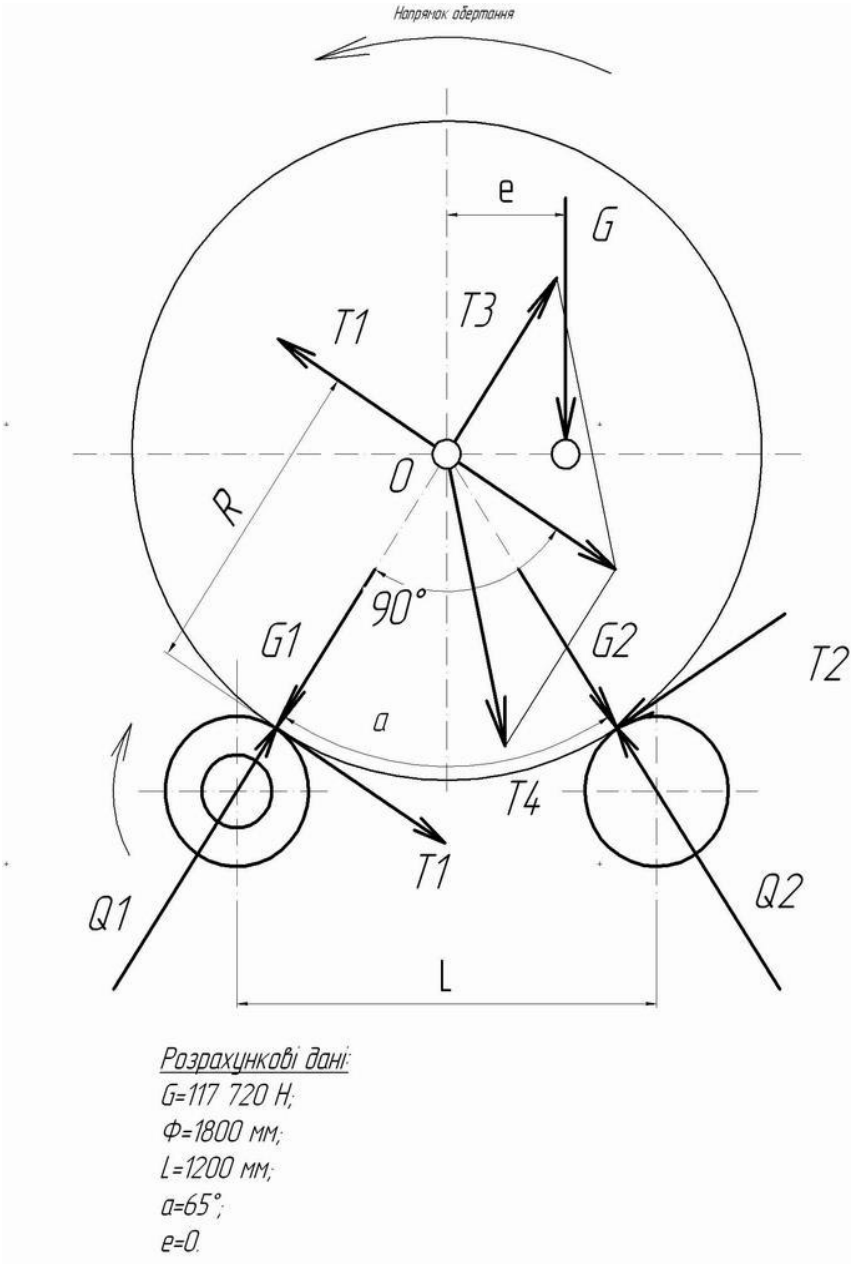
Механічні характеристики асинхронного двигуна з регулюванням швидкості зміною реактивного опору у статорній обмотці



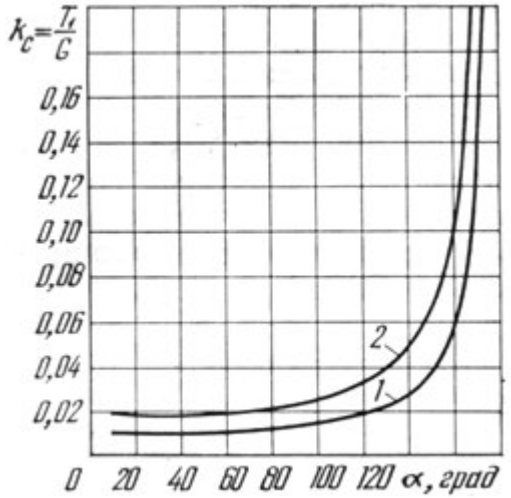
Механічні характеристики АД з регулюванням швидкості зміною частоти



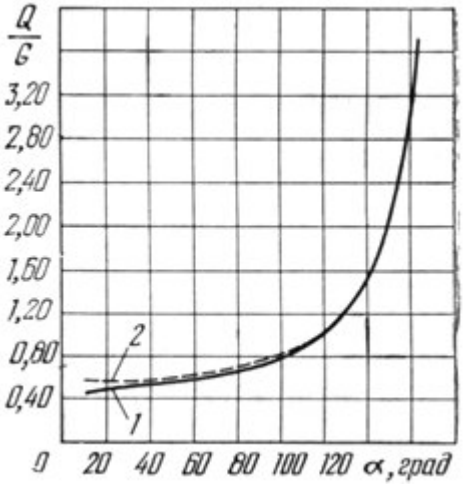
Механічні характеристики ДПС з регулюванням швидкості зміною магнітного потоку обмотки збудження



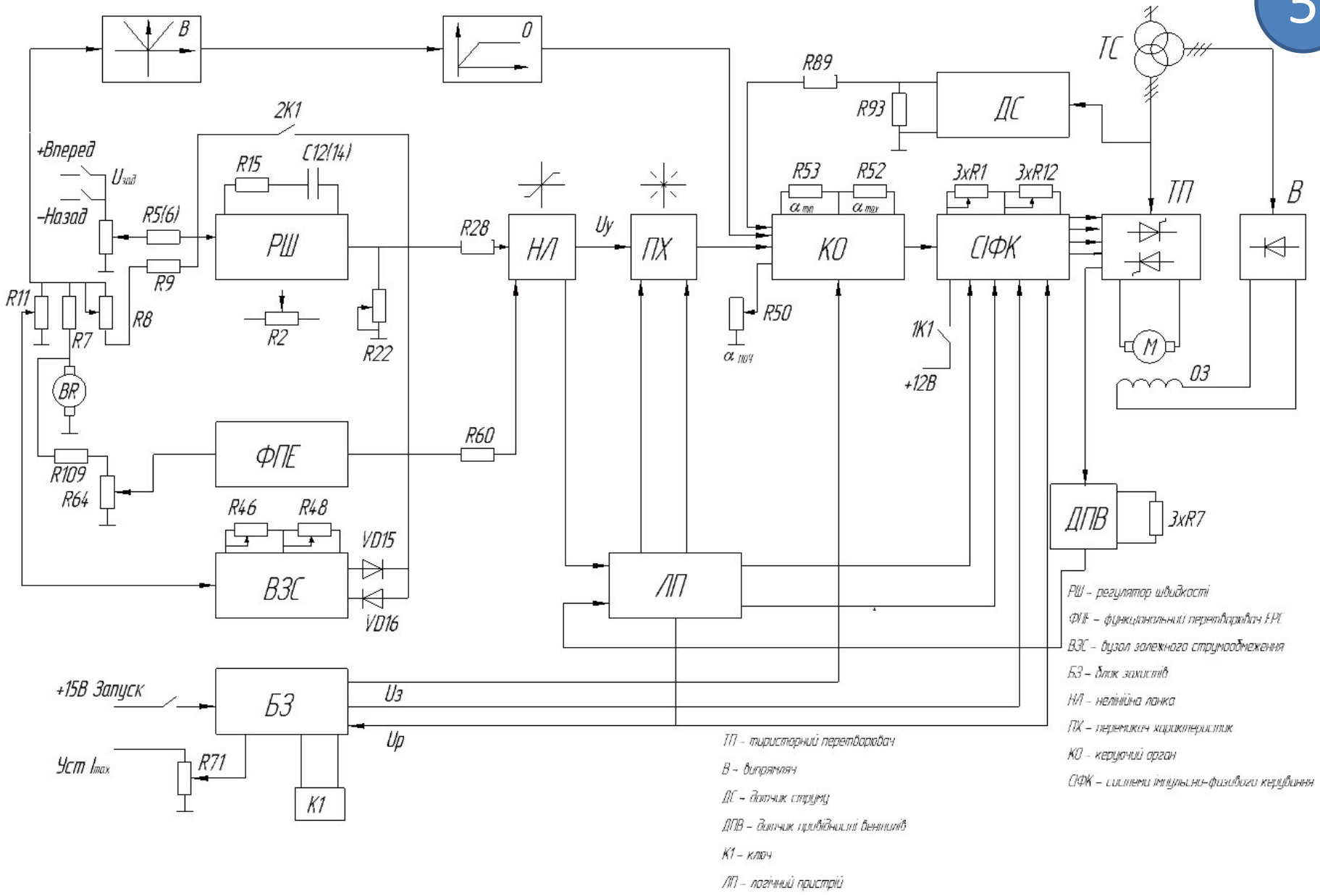
Епюри дії сил на роликоповоротному стенді



Залежність обертового зусилля на привідних роликах від центрального кута α: 1-при конічних роликопідшипниках;2-при підшипниках ковзання.

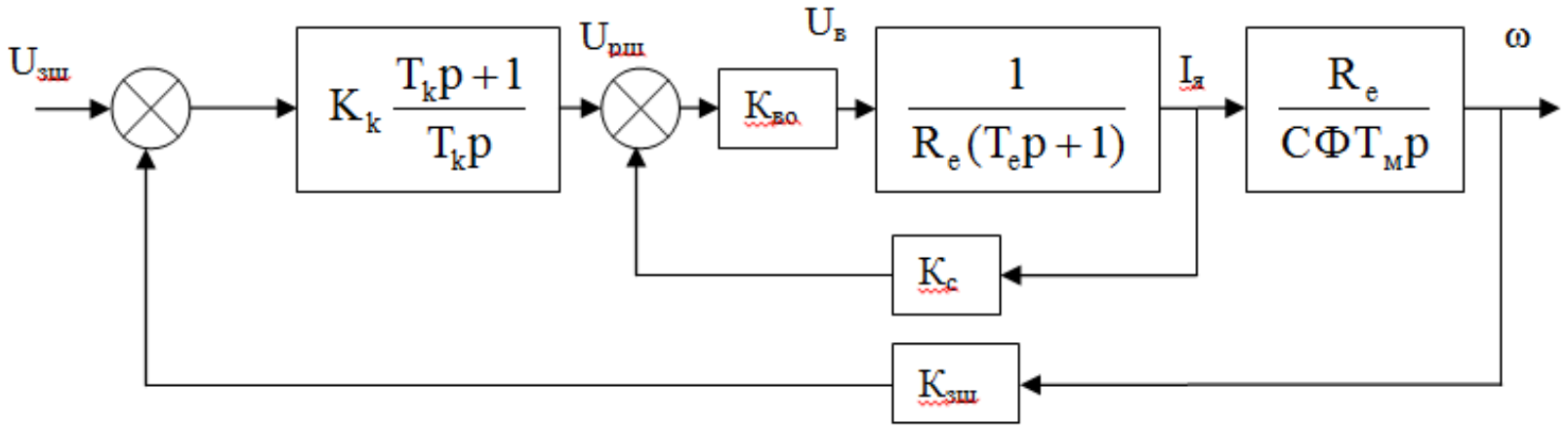


Залежність опорних реакцій роликового стенда від центрального кута α

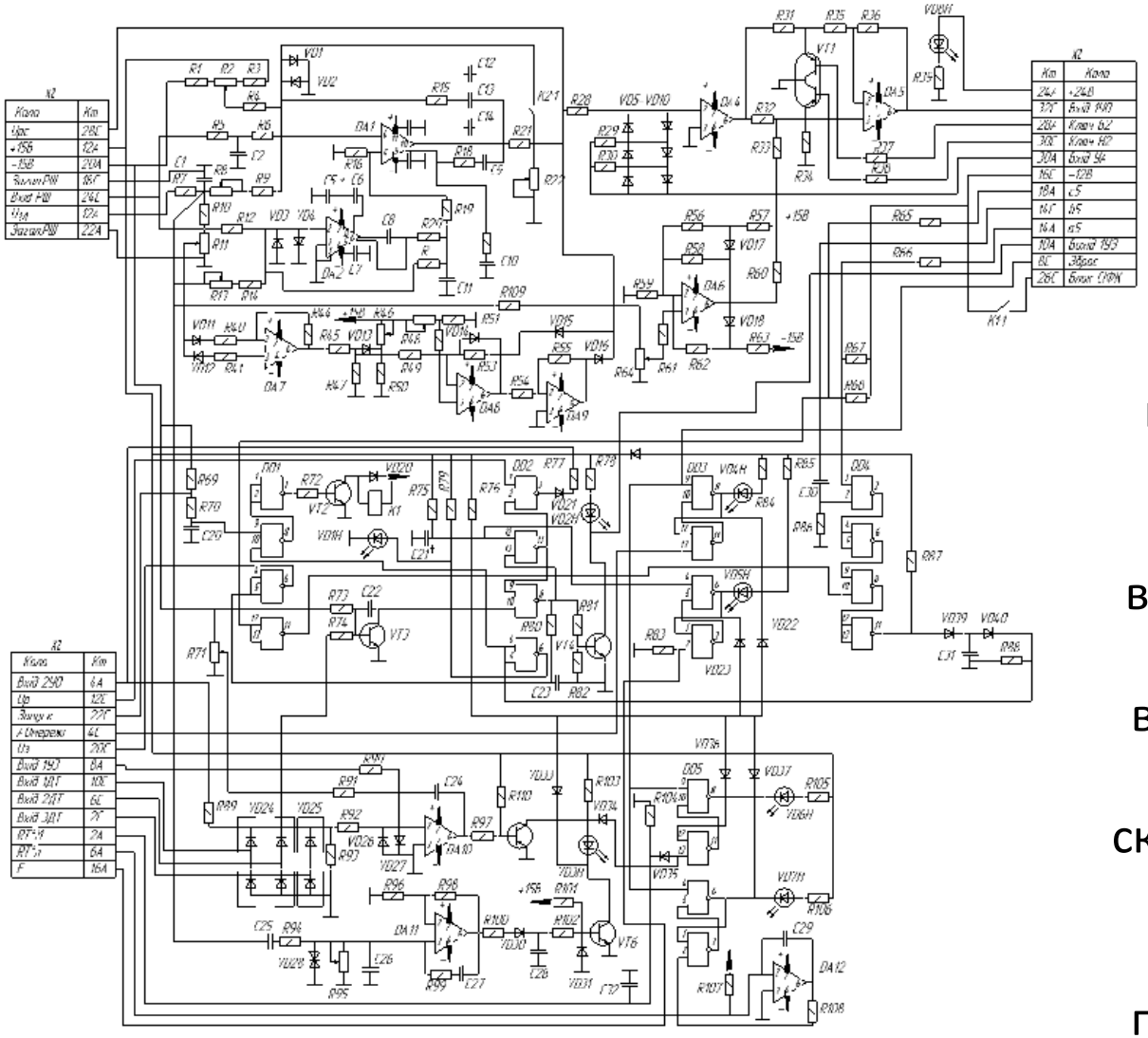


Функціональна схема електропривода

Структурна схема електропривода

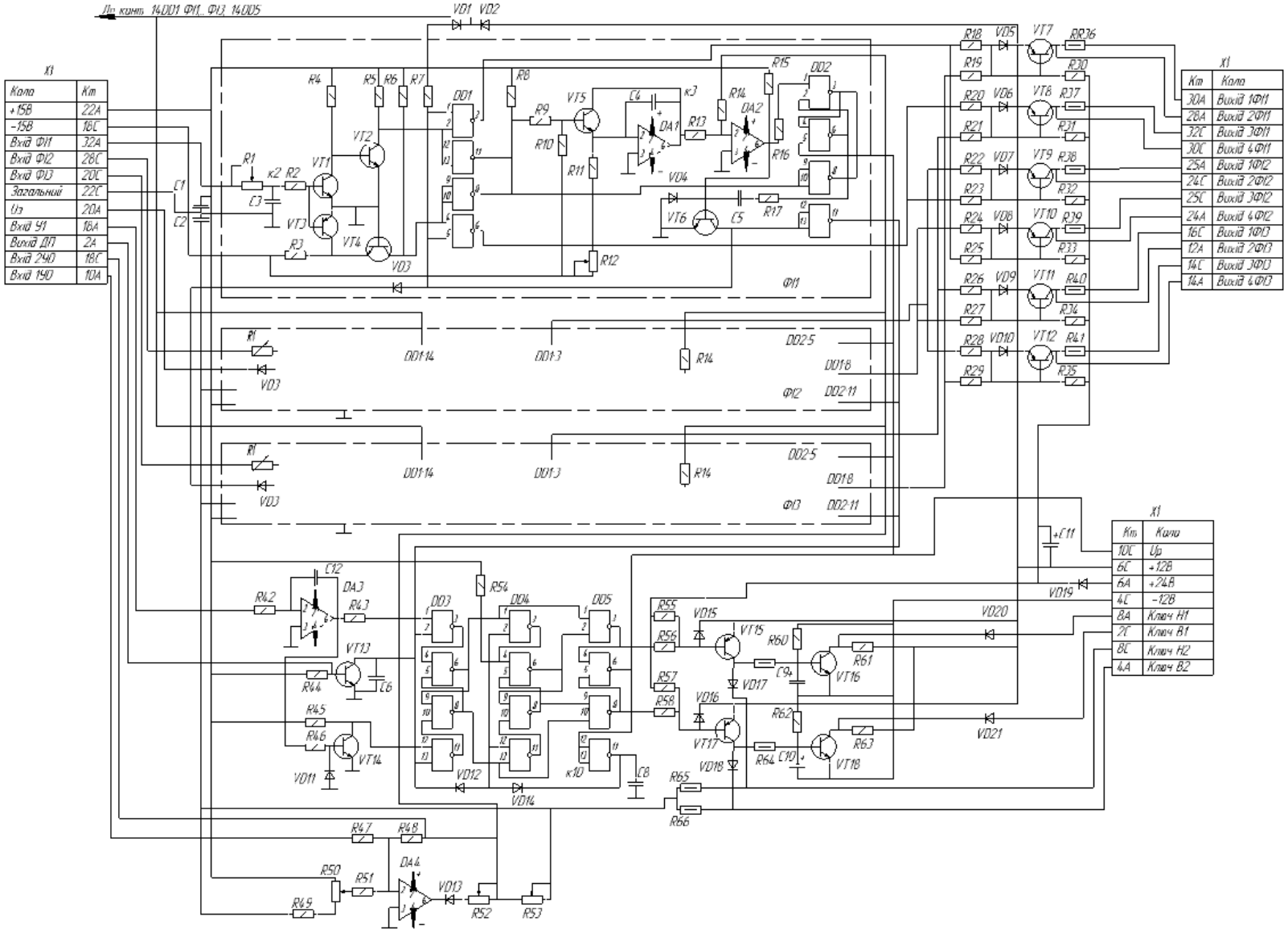


$U_{зш}$ – напруга завдання швидкості;
$К_к$, $К_{во}$ – коефіцієнти підсилення регулятора швидкості і регульованого випрямляча;
$Т_к$ – постійна часу регулятора швидкості;
$U_{рш}$ – напруга на виході регулятора швидкості;
$U_в$ – напруга на виході керованого випрямляча;
$R_е$ – еквівалентний опір ланцюга якоря;
$Т_е$ – еквівалентна електромагнітна постійна ланки якоря двигуна;
$I_я$ – струм якоря двигуна;
С – конструктивна постійна двигуна;
Ф – магнітний потік двигуна;
$Т_м$ – електромеханічна постійна двигуна;
$К_с$, $К_{зш}$ – коефіцієнти зворотного зв’язку за струмом і швидкостю обертання;
$К_{тг}$ – коефіцієнт передачі тахогенератора;
р – оператор Лапласа;
ω – швидкість обертання двигуна.



Електропривод конструктивно являє собою комплектний прилад виконаний у відкритому виконанні, призначений для вбудовування у шафу. Конструкція блока складається із силового блока і поворотного блока з двобічними печатними панелями.

Силовий блок керування перетворювачем



Силовий блок керування електроприводом

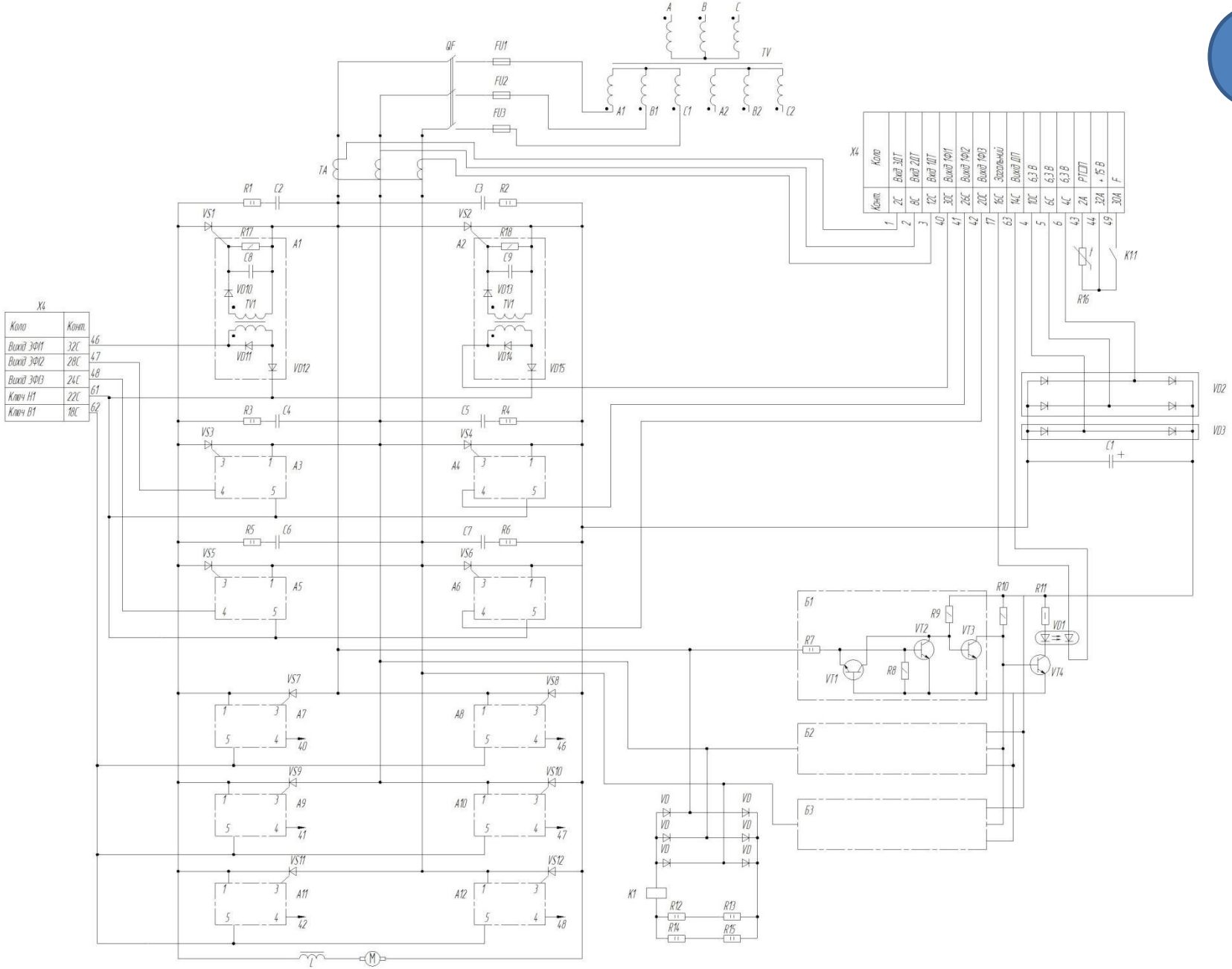
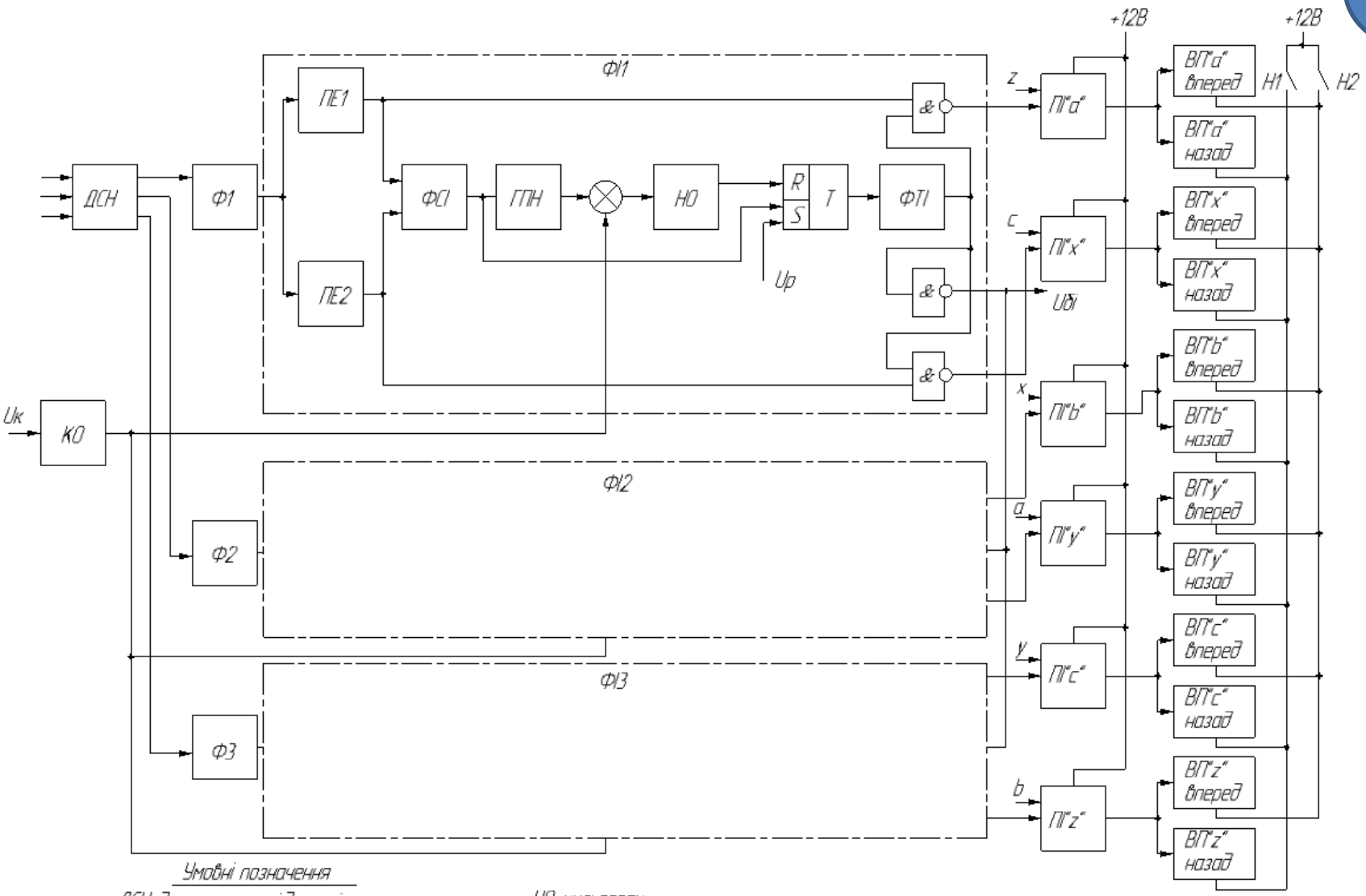


Схема електрична принципова ЕП ролико-поворотного зварювального стенду

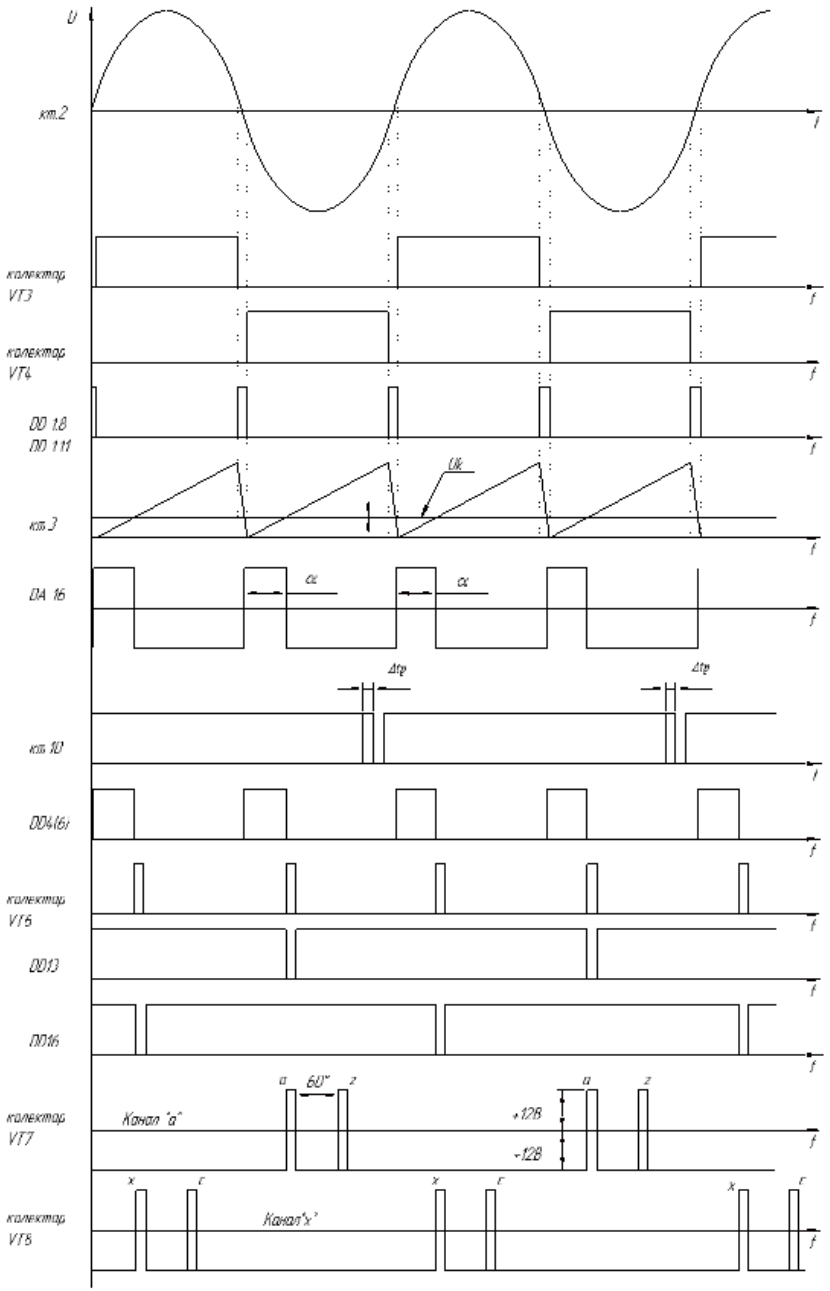
Функціональна схема імпульсно-фазового керування ЕП

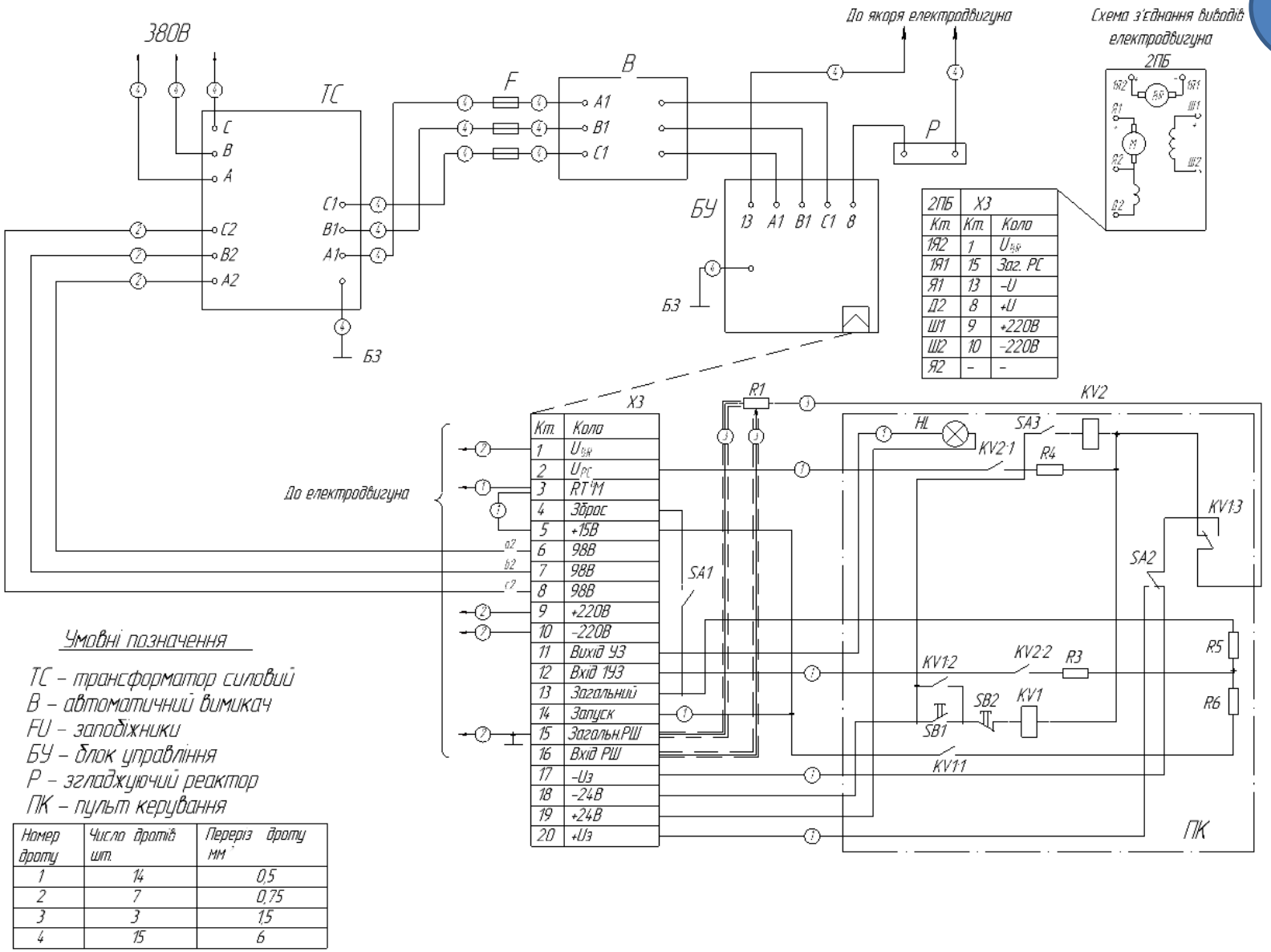


Умовні позначення

ДСН-датчик синусоїдальної напруги
КО-керуючий орган
Ф-фільтр
ФІ-формувач імпульсів
ПЕ-пороговий елемент
ФСІ-формувач синхронізуючих імпульсів
ГПН-генератор пилкоподібної напруги
НО-нульорган
Т-тригер
ФТІ-формувач тривалості імпульсів
ПІ-підсилювач імпульсів
ВП-вводний пристрій
Н1,Н2-логічний елемент "і-ні"

Діаграма сигналів СІФК





Умовні позначення

ТС – трансформатор силовий
В – автоматичний вимикач
FU – запобіжники
БУ – блок управління
Р – згладжуючий реактор
ПК – пульт керування

Номер дроту	Число дротів шт.	Переріз дроту мм²
1	14	0,5
2	7	0,75
3	3	1,5
4	15	6

Схема з'єднань елементів системи автоматизованого електропривода

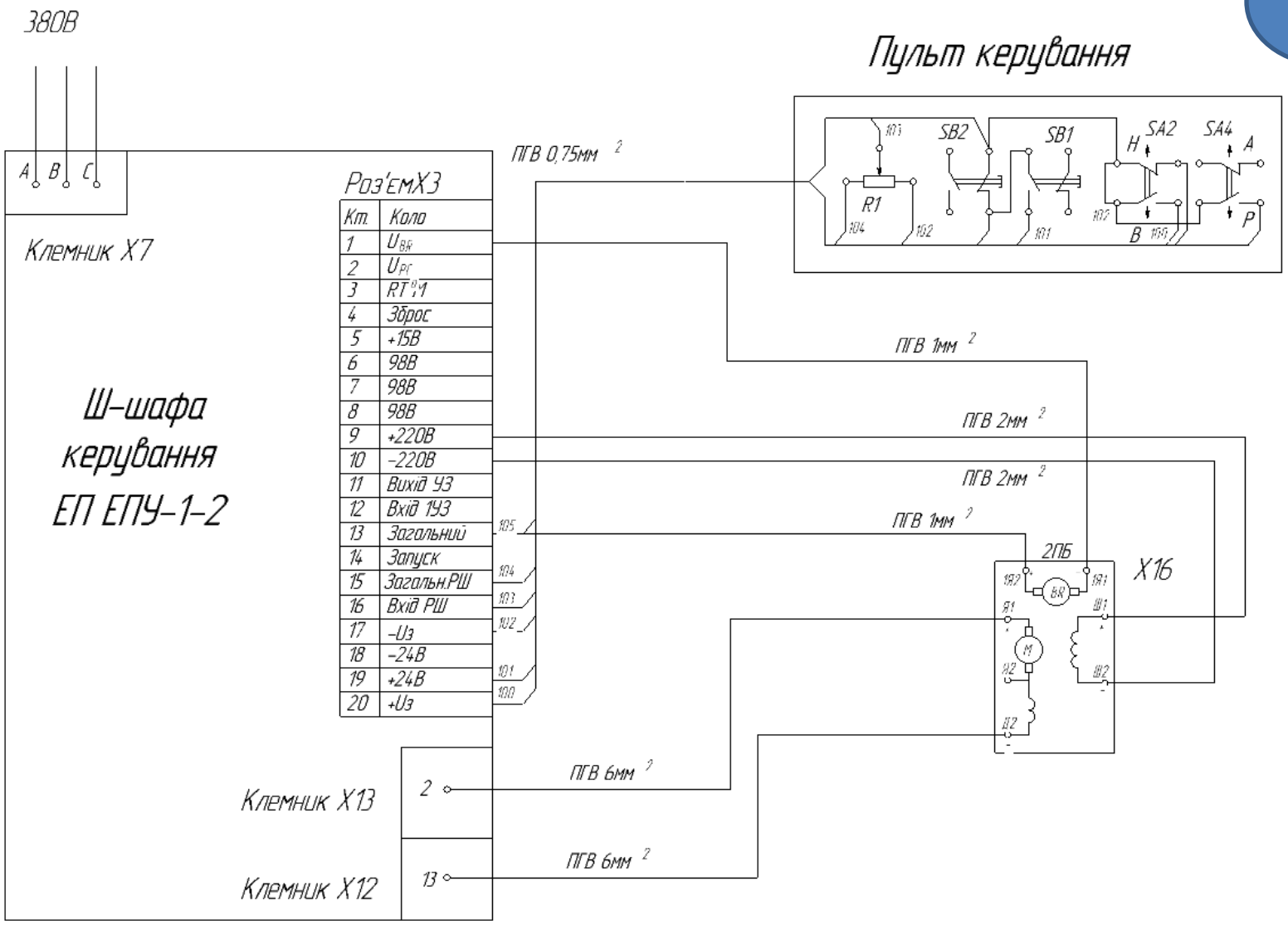


Схема підключення електропривода роликового стенда

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0$$

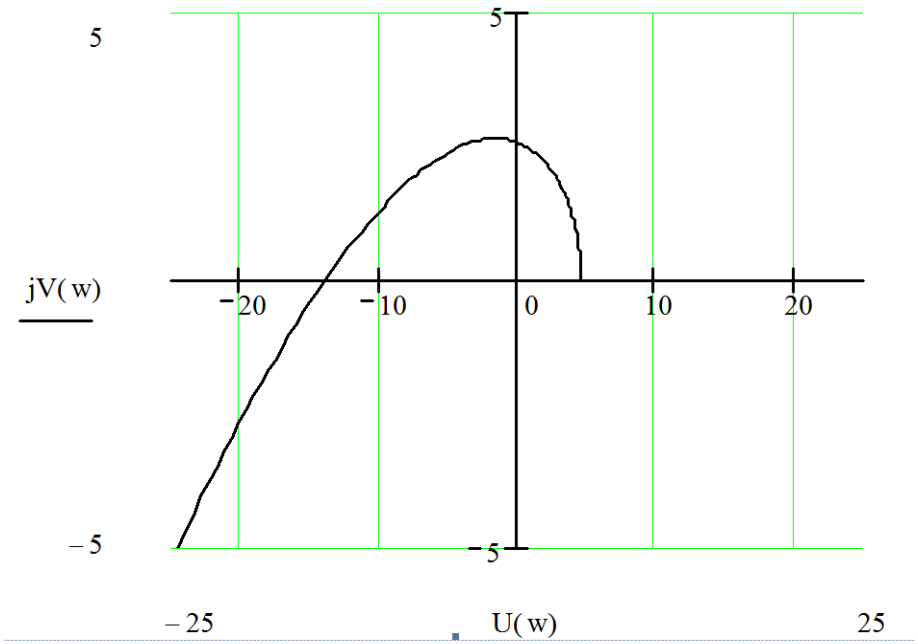
Для стійкості лінійної САК за критерієм Гурвіца необхідно і достатньо, щоб сам головний визначник і всі головні діагональні мінори визначника Гурвіца були додатні *(>0).*

a_0=0,0000136; a_1=0,00291; a_2=0,086; a_3=4,46.

Після підстановки значень маємо

Δ_2=0,00291·0,086-0,0000136·4,46=0,0001896>0;

Δ_3=4,46·0,0001896=0,000845>0.



Годограф Михайлова

за критерієм Михайлова система стійка, так як починається на додатній півосі дійсних чисел і послідовно проходить три квадранти

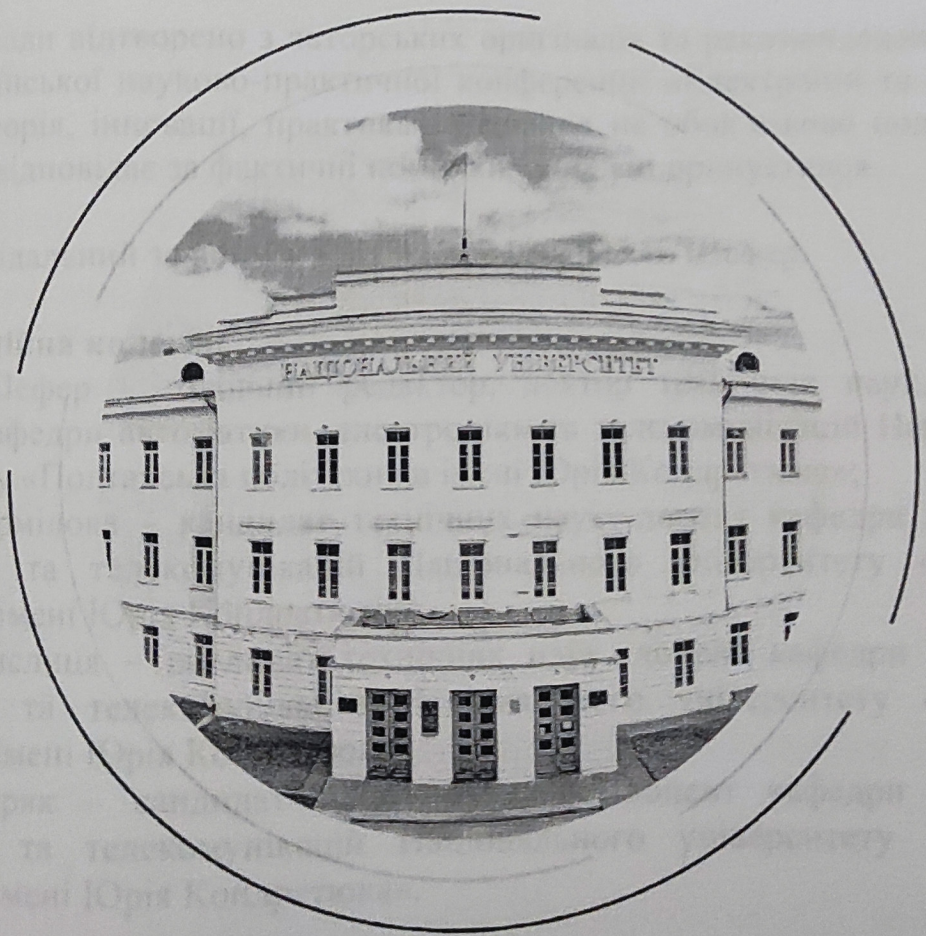
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами IX Всеукраїнської науково-практичної конференції

«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»

10 листопада 2023 року



Полтава 2023

УДК 004.89 + 681.51

Збірник наукових праць за матеріалами IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 10 листопада, 2023 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 141 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машини і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думки автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск - д.т.н., професор О.В. Шефер.

Редакційна колегія:

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Н.В. Єрмілова – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

С.Г. Кислиця – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

© Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

О. Шефер, М. Бібік
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ АНТЕН БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ... 78

М.А. Штомпель, С.Ю. Кальченко
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ..... 80

О.І. Безверхий, В.Є. Луц
ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОПОМОГИ ЛЮДЯМ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ..... 81

В.В. Гавриленко, І.І. Пекневич
ХМАРНА ІНФРАСТРУКТУРА ЯК БАЗА ДЛЯ ПІДХОДІВ РІШЕНЬ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ..... 83

О. Шефер, А. Попенко
ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЛИКОВИМ ЗВАРІОВАЛЬНИМ СТЕНДОМ..... 85

М.О. Педан, А.В. Трет'як
РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ..... 87

В.В. Гавриленко, А.О. Блиндарук
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК NURBS КРИВИХ..... 89

O. Shefer, Ya. Mykhailenko, E. Sidan
METHOD FOR RADIO SIGNAL INTERFERENCE COMPENSATION BASED ON A RECURSIVE ALGORITHM WITH CORRELATION FEEDBACK..... 91

О.Г. Дрючко, В.В. Соловйов, Н.В. Бунякіна, Д.Ю. Гончар, Я.С. Пащенко
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ЛІТІЄВОЇ РУДНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА LI-ІОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ НА РОДОВИЩАХ УКРАЇНИ..... 93

O. Shefer, O. Kushch, Ya. Sheptun
ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NONLINEARITIES ON THE DISTORTION OF THE USEFUL SIGNAL..... 96

В.М. Галай, І.О. Сілін
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КРИВОШИПНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ РУЙНІВНОГО ВИПРОБУВАННЯ ПРУЖИН..... 98

Р.Р. Кісельов, М.К. Бороздін
НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ..... 100

плануванню та використанню спеціалізованих інструментів та підходів компанії можуть ефективно орієнтуватися в складностях хмарних рішень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Ali M., Khan S. U., Vasilakos A. V. (2015). "Security in Cloud Computing: Opportunities and Challenges". Information Sciences 305, pp.357-383.*
2. *Pearson S., Charlesworth A. (2009). "Accountability as a Way Forward for Privacy Protection in the Cloud", CloudCom, LNCS 5931, pp.131-144. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.*
3. *Armbrust M., Fox A., Griffith R., Joseph D. A., Katz R., Konwinski A., Lee G., Patterson D., Rabkin A., Stoica I., Zaharia M. (2010). "Above the Clouds: A View of Cloud Computing", Communications of the ACM, Volume 53, Number 4.*

CLOUD INFRASTRUCTURE AS A BASE FOR APPROACHES THE SOLUTION OF MODERN CHALLENGES

*V. **Gavrilenko**, Doctor of physical and mathematical sciences, Professor,*
*I. **Peknevych**, Assistant Lecturer*
National Transport University, Kyiv

УДК 621.34

*О. **Шефер**, д.т.н., професор,*
*А. **Попенко**, магістрант*
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЛИКОВИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ СТЕНДОМ

Комплекс вимог, що визначає поведінку системи автоматичного керування роликовим зварювальним стендом в усталеному і перехідному процесах, відпрацювання заданого впливу, об'єднується поняттям якості процесу керування [1, 2].

Стійка система при відпрацюванні різних впливів може бути недостатньо точною, перехідні процеси керування в ній можуть затухати занадто повільно, не буде забезпечена потрібна плавність вихідних сигналів, тобто система не зможе достатньо добре виконувати автоматичне керування.

Показниками, що відображають якість системи є: час регулювання характер затухання перехідного процесу; пере регулювання, число коливань протягом всього часу перехідного процесу і степінь затухання перехідного процесу.

Система автоматичного керування вважається стійкою, якщо вона повертається до усталеного стану після припинення дії збурення, що вивело її цього стану.

За критерієм Михайлова для стійкості САК n-го порядку необхідно і достатньо, щоб характеристична крива Михайлова при зміні ω від 0 до ∞ починаючи з додатної дійсної осі обійшла послідовно в додатному напрямі (проти руху годинника) n квадрантів, не попадаючи в початок координат, де n – максимальна ступінь характеристичного рівняння:

$$\overline{M}(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \ldots + a_n;$$

$$\overline{M}(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$$

Криву, що описує кінець вектора Михайлова на комплексній площині при зміні ω від 0 до ∞ називають годографом Михайлова. Криву будуємо на площині (U,jV).

Вирази мають вигляд:

$U(\omega)=4,46-2,91\cdot10^{-3}\omega^2$;

$jV(\omega)= j0,086\omega-j1,36\cdot10^{-5}\omega^3$.

Крива Михайлова побудована у програмі Mathcad.

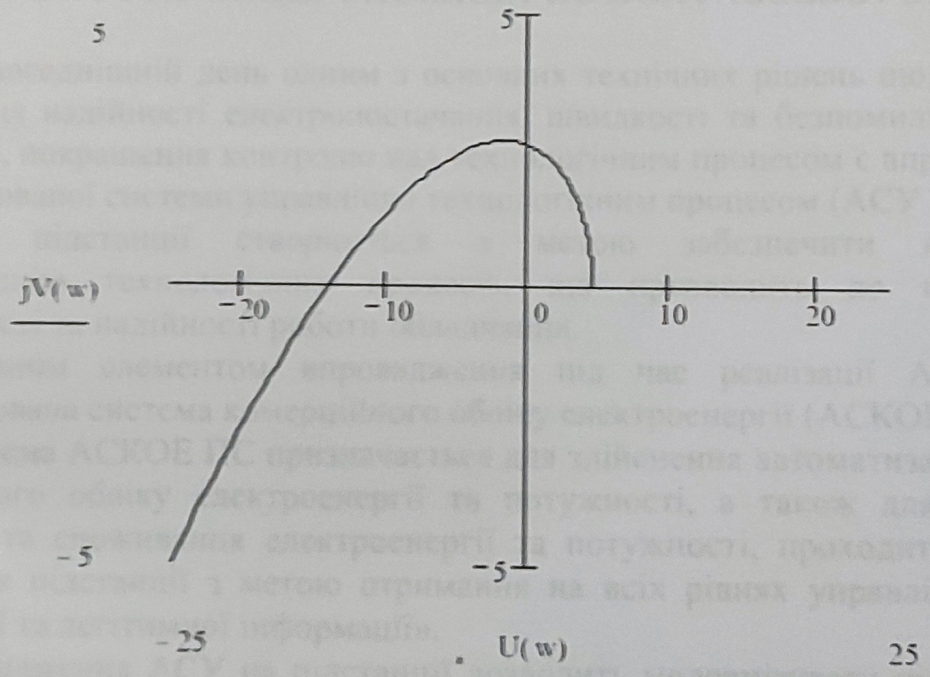


Рис. 1. Годограф Михайлова

Висновок: за критерієм Михайлова система стійка, так як починається в додатній півосі дійсних чисел і послідовно проходить три квадранти.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Сільвестров А.М. Сучасні системи автоматичного керуван технологічними комплексами: навчальний посібник / А.М. Сільвестров, М. Островерхов, О.В. Шефер, Н.А. Ладік, Д.К. Зіменков // – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. 386 с.*

2. *Blodgett, O.W. Design of Welded Structures [Текст] / Omer W. Blodge*

S.D., P.E. - Cleveland, Ohio : The James f. Lincoln Arc Welding Foundation, 1996. – P. 832.

DETERMINATION OF THE QUALITY OF THE AUTOMATIC CONTROL OF THE ROLLER WELDING STAND

O. Shefer, Doctor of Science, Professor,
A. Popenko, Master
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

УДК 621.311

М.О. Педан, студент,
А.В. Трет'як, к.т.н.
Національний університет «Полтавська політехніка Імені Юрія Кондратюка»

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

На сьогоднішній день одним з основних технічних рішень щодо питання підвищення надійності електропостачання, швидкості та безпомилковості дій персоналу, покращення контролю над технологічним процесом є впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП).

АСУ підстанції створюється з метою забезпечити комплексну автоматизацію технологічних процесів, що призводить до підвищення ефективності та надійності роботи обладнання.

Основним елементом впровадження під час реалізації АСУ ТП є автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

«Система АСКОЕ ПС призначається для здійснення автоматизації процесу комерційного обліку електроенергії та потужності, а також для контролю розподілу та споживання електроенергії та потужності, проходить через усі приєднання підстанції з метою отримання на всіх рівнях управління точної, достовірної та легітимної інформації».

Впровадження АСУ на підстанції дозволить модернізувати підстанцію та оснастити об'єкт управління мікропроцесорними пристроями захисту та автоматики, об'єднання різних засобів автоматизації в єдину інформаційну та керуючу систему.

Електрична підстанція є важливою частиною електричної системи. З появою перегулювання в електроенергетиці важливість автоматизації підстанцій ще більше зросла і стала необхідністю сучасної електромережі наступного покоління. Автоматизація підстанції також представляє великий інтерес як нова проблема для дослідників та науковців у всьому світі через правильну експлуатацію, технічне обслуговування та аналіз потоку навантаження в сучасній енергетичній промисловості.

АЛФАВІТНИЙ ВКАЗІВНИК

Автор	Сторінки
Бабич С.І.	116
Бедько І.О.	33
Безверхий О.І.	81
Береславець В.С.	132
Бібік М.	78
Блиндарук А.О.	89
Богатирьов Б.	31
Боровик А.С.	37
Бороздін М.К.	100
Боршов Д.С.	29
Боряк Б.Р.	9, 64
Бунякіна Н.В.	93
Бурда А.Ю.	34
Васєв Я.Д.	112
Васильєва В.В.	18
Гавриленко В.В.	33, 83, 89, 137
Галай В.М.	34, 98, 108
Гончар Д.Ю.	93
Демус С.І.	110
Демянчук В.П.	116
Дрючко О.Г.	34, 64, 93
Євлоченко О.І.	12
Єрмілов Р.О.	39
Єрмілова Н.В.	18, 29, 39, 45, 121, 124
Жученко О.С.	112, 123
Зайцев Є.О.	62
Закусило С.А.	62
Захарченко Р.В.	27, 58, 64
Здоровченко Д.А.	133
Зливко В.В.	55
Зоураб Ю.Р.	39
Зоць Я.О.	68
Зубарецька Н.А.	49
Іванов О.А.	64
Іващенко О.В.	139
Кальченко С.Ю.	80
Карманов Р.В.	49
Кислиця Д.В.	74
Кислиця С.Г.	37, 55, 68, 74, 103, 106, 110
Кісельов Р.Р.	100
Кожушко Г.М.	74
Колесник О.В.	23
Косенко В.В.	67
Кривенко К.	60
Курбала В.Ю.	27
Кушнір В.Ю.	58
Кущ О.О.	96
Лактіонов О.І.	20, 77
Лактіонова І.С.	20
Лєві Л.І.	102, 114
Луц В.Є.	81
Мартиненко Г.Ю.	132
Марченко І.В.	77
Мигаль С.В.	25
Митрофанов П.Б.	58
Михайленко Я.О.	91
Михайліченко О.В.	72
Мірошниченко Т.Ю.	118
Мовін М.А.	20
Мурат М.О.	21
Немирич Я.І.	42
Огарков А.В.	137
Олефіренко В.С.	53
Ошкодьоров Є.О.	34
Пащенко Я.С.	93
Педан М.О.	87
Пекневич І.І.	83
Піддубний Д.С.	120
Плюйко І.П.	51
Попенко А.	85
Пророк М.Ю.	9
Пустовойтов П.Є.	132
Рибак Д.В.	103
Романенко В.І.	108
Рубан В.Д.	128
Руденко О.С.	14
Сідан Е.К.	91
Сілін І.О.	98
Сільвестров А.М.	53, 118
Слепченко Н.М.	106
Соловйов В.В.	93
Сталніченко А.С.	16
Сталинський Р.М.	123
Стьопкін В.В.	23
Тітов В.О.	64
Трет'як А.В.	34, 42, 70, 87, 133
Удалов Д.В.	132
Уманець А.В.	45
Федін С.С.	139
Царьков Р.М.	121
Швидкий В.Ю.	126
Шеїна Г.О.	16
Шептун Я.В.	96
Шефер О.В.	12, 25, 31, 47, 51, 60, 64, 78, 85, 91, 96, 106, 110, 116, 120
Шкицький О.С.	114
Шкурін М.І.	70
Штепа О.А.	16
Штомпель М.А.	80, 126
Янковський В.О.	131
Янченко М.Р.	102
Ярещенко В.В.	67
Ярошенко Ю.С.	124
Ястреба В.С.	47
Ястреба О.С.	47

Наукове видання

Збірник наукових праць за матеріалами IX Всеукраїнської науково-практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»

Дизайн і комп'ютерна верстка *Боряк Б.Р.*
Відповідальний за випуск *Шефер О.В.*

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі автоматики, електроніки та телекомунікацій
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

1. ANALYTICAL PART

1.1 Analysis of the technological process for welding on a roller rotary stand

A roller stand made of typical roller supports is technological welding equipment and is intended for welding cylindrical steel products that rotate at welding or marching speed during automatic electric arc welding of internal and external ring seams, assembly, processing, as well as for placing products in a position convenient for these works.

On the stand, it is possible to perform manual and semi-automatic welding of straight seams and other work that requires turning pipes. Welding can be performed under a layer of flux and in an environment of inert shielding gases.

The roller stand (Fig. 1) consists of six idle and six driven roller supports and a drive. Everything is mounted on the main frame. Drive roller supports are connected to each other by means of rigid couplings and intermediate shafts.

The roller support consists of a cast base, cast iron wheels and an axis rotating on roller bearings. Since the torque is transmitted from the roller to the product being welded due to the frictional forces between the surface of the drive rollers and the surface of the product, the contact surface of the rollers is covered with a rubber tire for better adhesion to the product. The rollers have a total diameter of 410 mm.

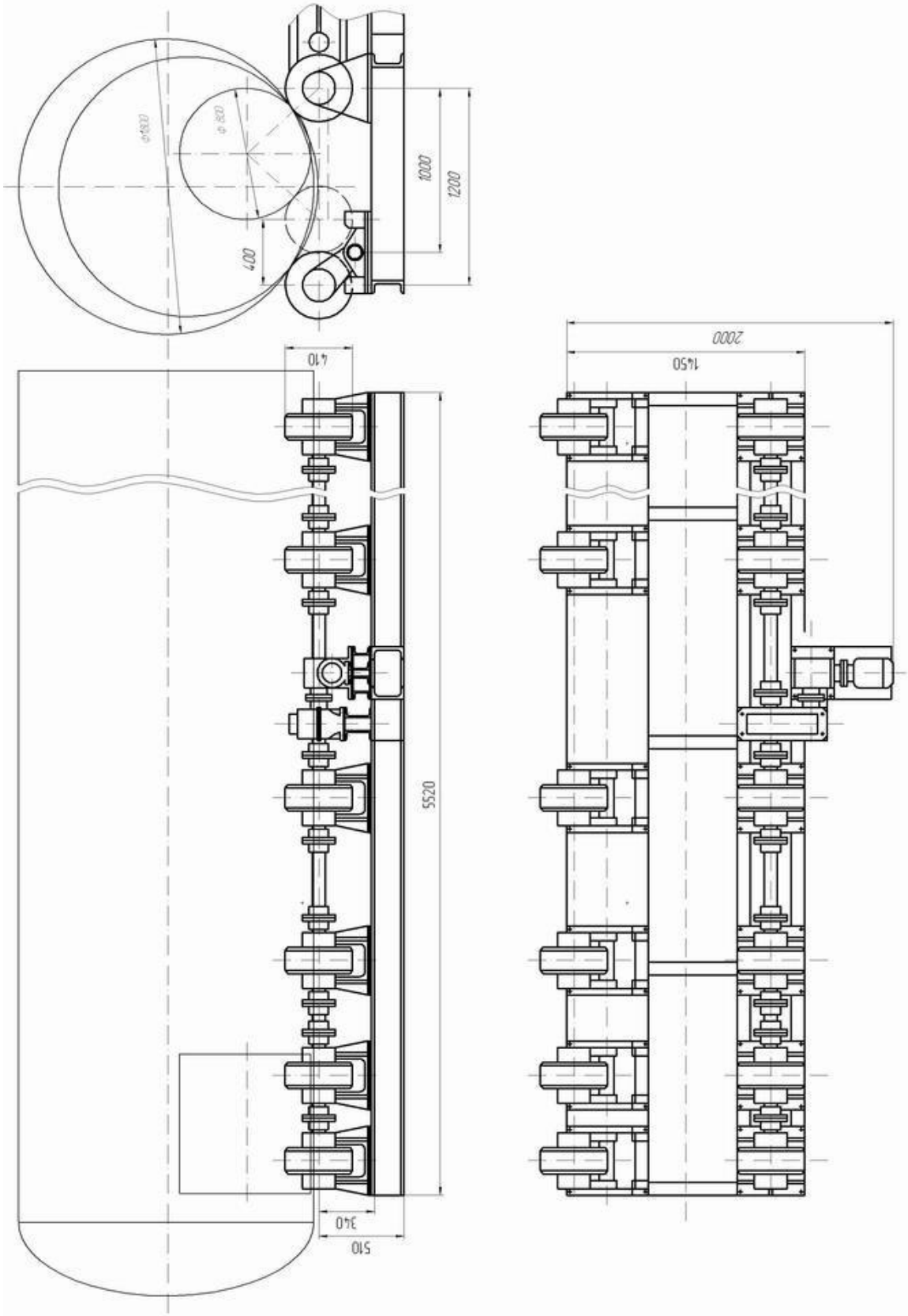


Figure 1.1 - General view of the roller-rotary stand

Idle roller supports are reversible and have two fixed positions, which are set in a certain position depending on the diameter of the welded product.

The drive of the roller stand consists of an electric motor, worm and cylindrical gearboxes, a control cabinet and a control panel.

The control cabinet is made of a separate structure and is installed near the drive. All drive controls are located on the front of the control cabinet and on the remote control.

The principle of performing welding work on a rotary stand.

The electric motor transmits rotation to the worm gear with the help of a sleeve-finger clutch, the torque from the worm gear is transmitted to the cylindrical one also with the help of a sleeve-finger clutch, which transmits motion to the drive rollers through rigid clutches and intermediate shafts.

A cylindrical product is installed on the roller supports, which will also rotate when the roller supports rotate. When the welding head is brought to the product, the welding process will take place.

1.2. Analysis of the technological process of execution welding works using a rotary stand

The production of metal pipes of small diameter is carried out in several stages. First, cylindrical beads of the required diameter are made. For this, steel sheets with prepared edges are rolled, and then cylinders are made by applying a weld. After that, welding of several seams is carried out to form the required length of the pipe, while circular welding seams are applied. Depending on the location of the welding working body during welding (outside or in the middle of the product), circular seams are divided into external and internal. When

manufacturing small-diameter metal pipes with large wall thickness, a two-sided seam is usually used - external and internal. Before applying the weld to connect the rods, they are connected at several points. For this, the drive must ensure the return of products at a high speed.

Automatic welding is performed on a flux pad or in an inert gas environment at a low speed of 232 m/h. Welding of internal seams is performed at the lowest point of the cylindrical surface in the middle of the product, and welding of external circular seams is performed at the highest point on the outside of the product.

For welding, a welding machine is used, which is located on a mobile column or cart (welding tractor). The welding tractor is a cart on which the equipment for igniting an electric arc, a welding wire feeding mechanism, a hopper with flux, an electric drive of the cart and control equipment are located.

Welding from the middle is performed by a TC-17MU welding tractor. When rotating the product on the roller stand, the welding tractor is always at the lowest point of the circle under the influence of its own gravity.

External welding is performed by an ABSk welding machine - a suspended head installed on the balcony of the VTZ bicycle cart or the PC-1 welding portal. A welding tractor can also be used for external welding.

Therefore, to perform all stages of welding work, the EP of the roller-turning stand must ensure the rotation of products of different weights, both at a high and at a low speed, the specific range of which will be set below.

The electric drive of the roller stand is a system of an electric motor with gearboxes and a control circuit, which should ensure the rotation of the drive rollers at welding or marching speed.

The production of metal pipes with a diameter of 80-180 mm is

provided on the roller stand.

It is necessary to obtain a high-quality weld in the process of welding the product. The shape of the weld affects the properties of welded joints, especially the resistance of the metal against the formation of cracks.

The shape of the seam and the dimensions of the seam are affected by the following factors: welding mode and type of current, form of edge treatment and the size of the gap in the joint, thermophysical properties of the metal, welding speed, position of the electrode, brand of flux and type of shielding gas. To justify the speed of rotation of the drive rollers, we will use the sources [1,2].

In the process of designing welding motion drives, it is necessary to take into account the phenomenon of unevenness of the working stroke, which is quite often observed in welding installations and has a bad effect on the quality of welding. The essence of this phenomenon is that the movement of heavy masses at low speed acquires a pulsating, jump-like character with a defined rhythm. This pulsation increases as the mass of moving parts increases and their speed decreases.

The disadvantage of the existing stand is the lack of adjustment of the speed of rotation of welding objects, which negatively affects the welding process.

It is known that a change in the welding speed at a constant current and voltage affects the depth and width of the penetration and the cross-sectional area of the seam due to a change in the position of the arc column, the thickness of the layer of liquid metal under the arc and the driving energy of welding. As the welding speed increases, the arc column deviates to the side, as a result of which more liquid metal is displaced from under the arc and the thickness of its layer decreases. At the same time, the welding energy decreases, which leads to a decrease in the cross-sectional area of the seam. Therefore, the issue of choosing

the correct speed adjustment range of the drive rollers is one of the most important.

The existing electric drive is physically and morally outdated and does not provide the required range of speed change and torque constancy in the required range. Which, in turn, reduces the productivity of the rotary stand.