

## Зміст

Вступ.....	5
1 Опис технології та роботи механізму.....	7
1.1 Ножиці з паралельними ножами.....	7
1.2 Ножиці з верхнім різом.....	9
1.3 Ножиці з нижнім різом.....	10
2 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна для приводу ножниць.....	12
2.1 Розрахунок моментів статичних опорів.....	12
2.2 Розрахунок зусилля і моментів опору різання.....	13
2.3 Попередній вибір двигуна.....	17
2.4 Розрахунок навантажувальної діаграми двигунів.....	18
2.5 Перевірка потужності двох обраних електродвигунів по нагріванню.....	22
3 Вибір силової перетворювальної техніки і розрахунок основних параметрів об'єкта керування.....	24
3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору силової частини.....	24
системи електроприводу.....	24
3.2 Вимоги до системи автоматизації.....	29
3.3 Визначення ЕРС умовного холостого ходу тиристорного перетворювача.....	32
3.4 Розрахунок електричних параметрів силового трансформатора.....	33
3.5 Вибір силових тиристорів.....	36
3.6 Вибір реактора, що згладжує.....	37
3.8 Розрахунок і вибір захисту перетворювача.....	42
3.9 Розрахунок статичних і динамічних параметрів елементів і вузлів системи електроприводу.....	46
4 Розрахунок контурів системи підпорядкованих управлінню.....	49
4.1 Розрахунок параметрів контуру струму.....	49
4.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості.....	52
4.3 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості.....	
5 Моделювання електропривода ножиць в середовищі matlab/simulink.....	61
6 Охорона праці.....	74
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	74
6.2 Інструкція з охорони праці для слюсаря-електромонтера.....	75
6.3 Категорії приміщень і будівель по вибухонебезпечних та пожежною безпекою.....	82
Висновок.....	87
Перелік джерел посилання.....	88

## ВСТУП

Значні рухливі маси вимагають істотних зусиль і більше часу на розгін і гальмування в перехідних режимах, так як вони прагнуть за інерцією зберегти швидкість руху, що збільшує динамічні навантаження, а значить і погіршує динамічні характеристики машини в цілому.

Крім того, за рахунок динамічних навантажень погіршується енергобаланс машини, надійність елементів конструкції схильних до динамічним навантаженням.

З метою збільшення швидкодії і динамічних характеристик ножиць, з урахуванням реверсу добре себе проявило гідравлічне урівноваження верхнього повзуна.

Технологічний процес отримання готової прокатної продукції - завершальна стадія металургійного виробництва. У прокатні цехи металургійного заводу надходить велика частина всієї сталі (понад 80%), що виплавляється в сталеплавильних цехах і превращаючись в безперервні заготовки (на машинах безперервного лиття) або в злитках. Для виробництва прокату побудовані прокатні і трубні цехи різного призначення, в яких встановлені численні типи станів.

Прокатний стан - це комплекс машин і агрегатів, призначений для здійснення пластичної деформації металу в валках (власне прокатки) і його подальшої обробки: різання, редагування, упаковки і т.д.

Прокатну продукцію, в залежності від форми поперечного перерізу, можна розділити на чотири основні групи: листовий прокат, сортовий прокат, труби, спеціальний профіль (точні заготовки для машинобудування, гнуті профілі та ін.)

Основним органом прокатного стану є робоча кліть, в якій здійснюється власне прокатка металу. Залежно від конструкції і розташування валків робочої кліті прокатних станів можна розділити на кілька груп: двовалкові, тривалкові, чотирьохвалкові, багатовалкові, універсальні, і кліті спеціальної конструкції.

Крім самої прокатної кліті в прокатному виробництві дуже багато машин і агрегатів потокових технологічних ліній. Вони не входять в головні лінії станів, призначені для подачі металу від печі або нагрівального колодязя до приймального рольгангу стану (слітковози), повороту злитка на рольгангу (поворотні пристрої), транспортування металу відповідно до технологічного процесу (рольганги або транспортери), пересування металу уздовж бочки валка для завдання його в відповідний калібр (маніпулятори), повороту металу відносно його поздовжньої осі (кантувачі), охолодження металу (холодильники), трюїть металу (травильні пристрої), раз відривання рулонів (розмотувачі), змотування смуги в рулон або дроту в бунт (моталки), різання металу (ножиці і пилки), для обробки металу (редагування і дресирування, укладання, промислювання, упаковки та інших процесів).

Об'єктом розробки в даній дипломній роботі є автоматизований електропривод ножиць з паралельним різом прокатного цеху. Вимоги до електроприводу і початкові дані для проектування наведені у відповідних розділах.

## 1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТИ МЕХАНІЗМУ

### 1.1 Ножиці з паралельними ножами

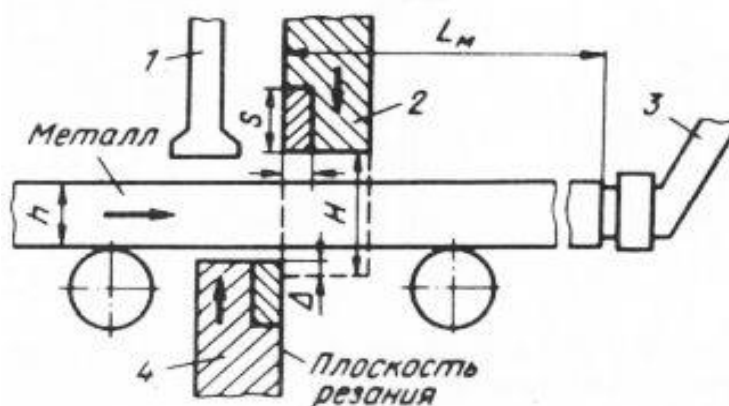


Рисунок 1 – кінематична схема ножиць з паралельними ножами:

1 – притиск; 2 – верхній супорт з ножем; 3 - пересувний упор; 4 - нижній супорт з ножем.

Призначені для поперечного різання гарячого металу квадратного, прямокутного і круглого перерізу після прокатки його на блюмінгах, слябінгах, заготівельних і сортових станах застосовують ножиці з паралельними ножами. Ці ножиці застосовують також і для поперечної різання холодного металу - в цьому випадку профіль ножа відповідає формі поперечного перерізу металу, що розрізає.

У процесі різання па цих ножицях площину, в якій рухається ніж (площину різання), є незмінною. Температура металу, що надходить на ножиці, зазвичай 800-1000 ° С. Для вуглецевих сталей з межею міцності в холодному стані 400 - 500 МПа при зазначених температурах межа міцності металу дорівнює 100-50 МПа; для легованих сталей з межею міцності в холодному стані до 1000 МПа при зазначених температурах 1304-180 МПа.

Звідси впливає, що при виборі типу і характеристики ножиць треба враховувати їх призначення, щоб правильно визначити максимальне зусилля різання.

Основними параметрами ножиць є:

- максимальне зусилля різання  $P$  ;
- хід ножів  $H$  ;
- довжина ножів  $L$  ;
- кількість різів за хвилину (продуктивність).

Розміри поперечного перерізу металу, який дозволяється для розрізання на ножицях даного типу, визначаються максимальним зусиллям різання, на яку розраховані ножиці.

Хід ножів вибирають з урахуванням можливості безперешкодного проходу металу максимального перетину під лапою механічного (гідравлічного) притиску і перекриття ножів в кінці різання (10-20 мм).

Форму ножів приймають у вигляді симетричного прямокутника, щоб можна було при різанні використовувати всі чотири кути. Кут загострення роблять рівним  $90^\circ$ . Ножі виготовляють зі сталі марки 6ХНМ або з вуглецевої сталі марки Ст6 з твердістю після термообробки до 400 НВ.

Для збільшення терміну служби ножів застосовують наплавку різальних крайок твердими сплавами (типу сормайт).

Перед початком різання ножі розкриті і метал проходить між ними по рольгангу; нижній ніж при цьому знаходиться нижче рівня поверхні (утворює) роликів рольганга і не заважає руху металу. Потім метал зупиняється в необхідному положенні (за допомогою пересувного упору) і супорт верхнього ножа опускається до зіткнення з металом; подальше просування верхнього супорта припиняється і починає рухатися супорт нижнього ножа; при цьому відбувається різання металу.

Ножиці з паралельними ножами конструктивно виконують двох типів: з електромеханічним і гідравлічним приводами.

За конструкцією ножиці поперечного різання з паралельними ножами можна розділити на дві основні групи: а) ножиці з верхнім рухомим ножем (верхнім різом); б) ножиці з нижнім рухомим ножем (нижнім різом).

## 1.2 Ножиці з верхнім різом

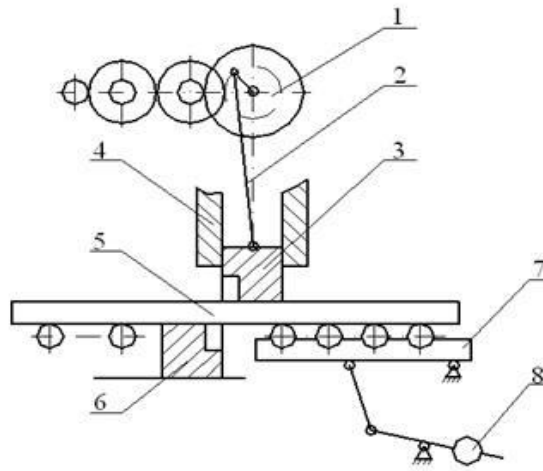


Рисунок 1.2 - Кінематична схема ножиць з верхнім різом

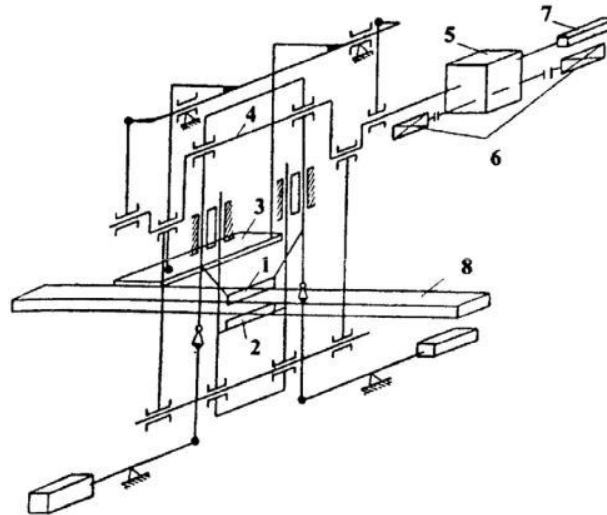
3 – верхній ніж; 5 – розрізається метал; 6 – нижній ніж; 8 – підйомний стіл.

Рух від двигуна через редуктор і кривошипний механізм передається верхньому ножа, який рухається вниз і розрізає метал. Цей тип ножиць набув широкого поширення через свою простоту кінематики. Однак ці ножиці мають два суттєвих недоліки:

1) Після порізки на нижній межі металу, що розрізає утворюється задирок, який перешкоджає подальшому просуванню металу по рольгангу;

2) Відрізаема частина металопрокату разом з верхнім ножем опускається нижче рівня рольганга, що вимагає наявності підйомно-хитного столу, ускладнює конструкцію механізму ножиць.

### 1.3 Ножиці з нижнім різом



1 - верхній ніж; 2 - нижній ніж; 4 - плаваючий ексцентриковий вал; 5 - редуктор; 6 - двигуни; 7 - шляховий командоапарат; 8 - розрізається метал

Рисунок 1.2 - кінематична схема ножиць з нижнім різом

Ножиці з нижнім різом не мають таких недоліків але вони складніше по конструкції. Найбільш універсальні ножиці з плаваючим ексцентриковим валом. Двигун ножиць, редуктор і універсальний шпиндель передають рух плаваючого ексцентрикового валу, який може обертатися як навколо осі, яка проходить через підшипники в супорті верхнього ножа за умови його нерухомості.

На початку руху супорт нижнього ножа під дією своєї ваги утримується в початковому положенні. Супорт верхнього ножа урівноважений, так як верхній ніж і притиск починають рух і опускаються.

Після зіткнення з металу, що розрізає верхній ніж зупиняється, так як метал, який знаходиться під ним, лежи на нерухомому рольгангу. Потім починає підніматися нижній ніж разом з притиском і відбувається різання металу. Повернення верхнього і нижнього ножів у вихідне положення після різання здійснюється в зворотному порядку

Залежно від товщини розрізання металу, процес розрізання може проходити по круговому циклу (якщо ексцентриковий вал робить повний оборот) або о качальний цикл (якщо за цикл роботи ножиць ексцентриковий вал робить менше одного обороту). В цьому випадку електропривод працює в реверсному режимі.

Привід ножиць з паралельними ножами здійснюється за системою ТП-Д (тиристорний перетворювач - двигун постійного струму).

Таблиця 1.1 - Вихідні дані для ножиць з паралельними ножами.

Найменування параметру	Позначення і чисельне Значення
Максимальне зусилля різання, Н	$P_{\text{макс}} = 8000000$
Мінімальна температура порізки, °С	$t^{\circ}\text{C} = 900 - 950$
Довжина тяги нижнього ножа, мм	$l = 2600$
Номінальна швидкість двигуна, об/хвл	$n_H = 780$
Сумарний момент інерції до валу двигуна, кгм <sup>2</sup>	$J_{II} = 60$
Передавальне число редуктора	$i = 49$
Перекриття ножів, мм	$h_{II} = 25$
Перетин розрізається блюма, мм	260x180
Кількість різів за хвилину	$n = 6$
Радіус ексцентрика ножиць, мм	$r = 200$
Електропривод ножиць	дводвигунний



## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДЛЯ ПРИВОДУ НОЖНИЦЬ

Враховуючи, що встановлені в даний момент на ножицях двигуни досить нової серії і мають досить великий робочий термін, залишаємо їх у даному проекті. Виконаємо їх перевірку методом еквівалентного моменту.

### 2.1 Розрахунок моментів статичних опорів

Момент статичного опору ножиць залежить від зусилля різання металу. У свою чергу, зусилля різання для ножиць з паралельними ножами, які працюють з притиском, визначається за формулою [1]:

$$P = \tau \cdot F \quad (2.1)$$

де  $\tau$  - питомий опір різанню, віднесене до всього поперечним перерізом і залежне від відносної глибини надрізу;

$F$  - площа поперечного перерізу металу, що розрізається.

Питомий опір  $\tau$  визначається за експериментальними кривими, що виражає питоме опір різання в функції відносної глибини надрізу  $\tau = f(\varepsilon)$ . Такі криві визначаються для різних марок сталі при різній температурі різання металу.

Під час різання металу товщиною  $h_0$  зв'язок між відносною глибиною надрізу  $\varepsilon$  і відстанню між ножами  $h$  встановлюється наступною залежністю:

$$h = (1 - \varepsilon) \cdot h_0 \quad (2.2)$$

Зв'язавши відстанню між ножами з кутом повороту ексцентрикового валу, за допомогою виразів (2.1) і (2.2), можна знайти залежність опору різання  $P$  у функції  $\alpha$ :  $P = f(\alpha)$ .

Ставлення радіусу ексцентрикового валу до довжини тяги нижнього ножа для розглянутих ножиць становить:

$$\frac{r}{l} = \frac{200}{2600} = 0,077 \quad (2.3)$$

При визначенні цього відносини менше 0,1 формула для розрахунку залежності відстані між ножами від кута повороту ексцентрикового валу має вигляд [1]:

$$h = r \cdot (1 + \cos \alpha) - h_{II}, \quad (2.4)$$

де

$h_{II}$  - перекриття ножів;

$\alpha$  - кут повороту ексцентрикового валу.

Тоді з урахуванням (2.2) маємо:

$$\varepsilon = 1 - \frac{h}{h_0} = 1 - \frac{r \cdot [1 + \cos(\alpha)] - h_{II}}{h_0} \quad (2.5)$$

де

$h_0$  - висота заготовки.

Момент статичного опору з урахуванням (2.3) можна визначити за формулою [1]:

$$M_C = \frac{P \cdot r \cdot \sin(\alpha)}{\eta \cdot i}, \quad (2.6)$$

де

$\eta$  - ККД передачі ножиць, який дорівнює 0,8 [1];

$i = 5$  - передавальне число редуктора.

## 2.2 Розрахунок зусилля і моментів опору різання

Розрахунок зусилля різання і  $M_C$  для блюмів з розміром 260×180 мм при  $t = 900^\circ\text{C}$  приведена в таблиці 2.1. Розрахунок виконаний за допомогою програми Matlab. Графік залежності відстані між ножами  $h$  від кута повороту вала  $\alpha$  приведено на малюнку 2.1.

В ході розрахунку були визначені:

$\alpha_{\text{Поч.РВ}} = 88^\circ\text{C}$  - кут початку різання блюмів;

$\alpha_{\text{Р.Б}} = 110^\circ$  - кут різання блюмів;

$\alpha_{\text{кін.РВ}} = 151^\circ$  - кут кінця різання бломів.

Таблиця 2.1 – Розрахунок зусилля різання і моменту статичного опору для двох бломів  $260 \times 180$  при  $t = 900^\circ\text{C}$

$\alpha$ , град	$a$ , поч.різ	95	100	110	120	130	$a$ , кін.різ
$\varepsilon$	0	0,125	0,221	0,408	0,583	0,742	0
$\tau$ , Н/мм <sup>2</sup>	0	33	53	54	35	8	0
$P$ , кН	0	1544400	2480400	2527200	1638000	374400	0
$M_c$ , кНм	0	7754	12312	11970	7150	1446	0

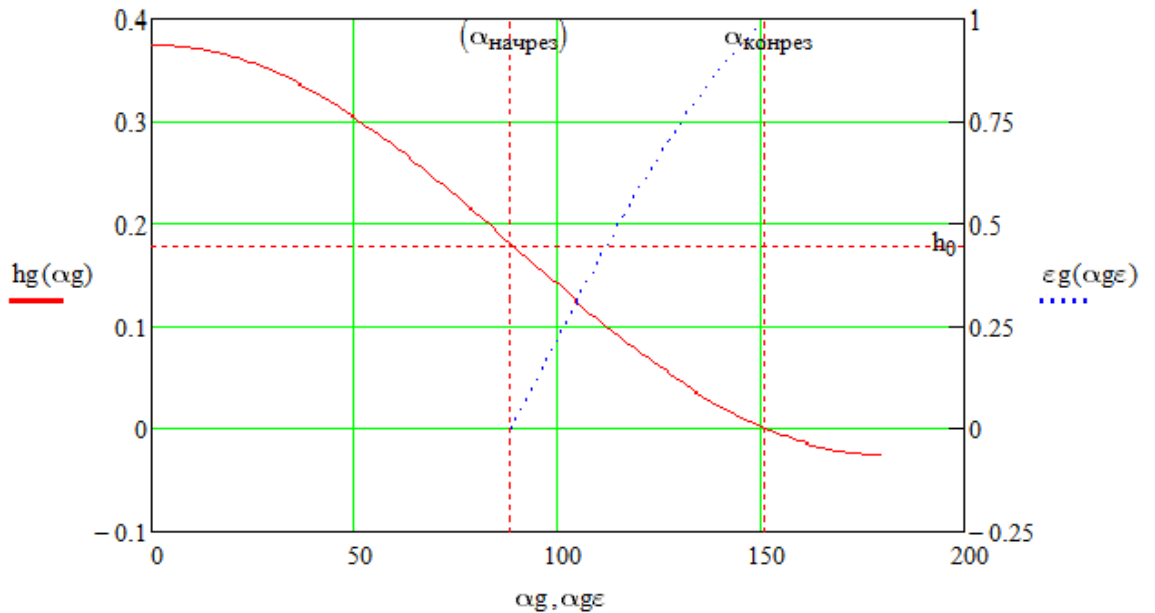


Рисунок 2.1 - Графік залежності між ножами від

## кута повороту ексцентричного валу

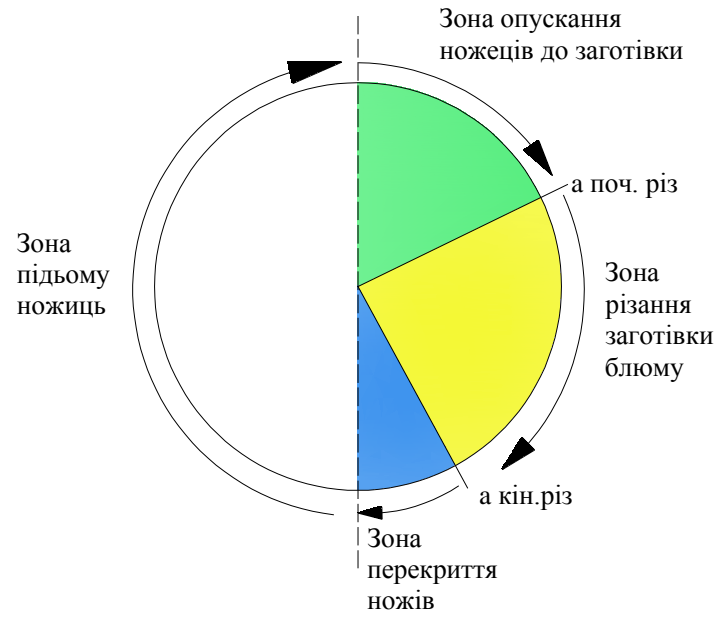


Рисунок 2.2 - Кутова діаграма положення кривошипа

На малюнках 2.1 і 2.3 приведені відновлені за даними таблиць 2.1. і 2.3. графіки залежності питомого опору від відносної глибини надрізу  $\varepsilon$  для блюмів.

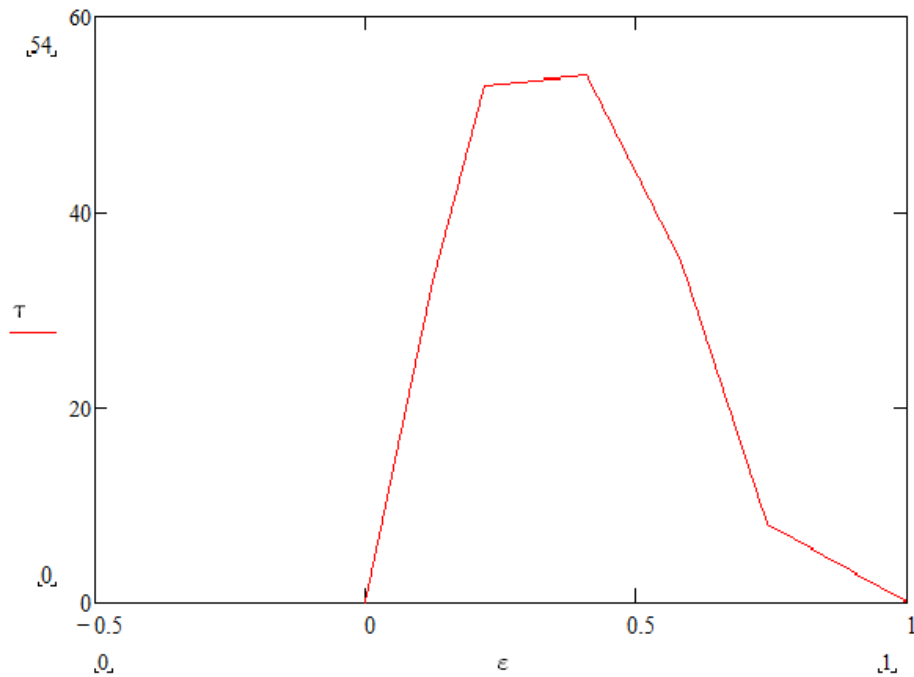


Рисунок 2.3 - Графік залежності питомої опору від

відносної глибини надрізу  $\varepsilon$  для блюмів

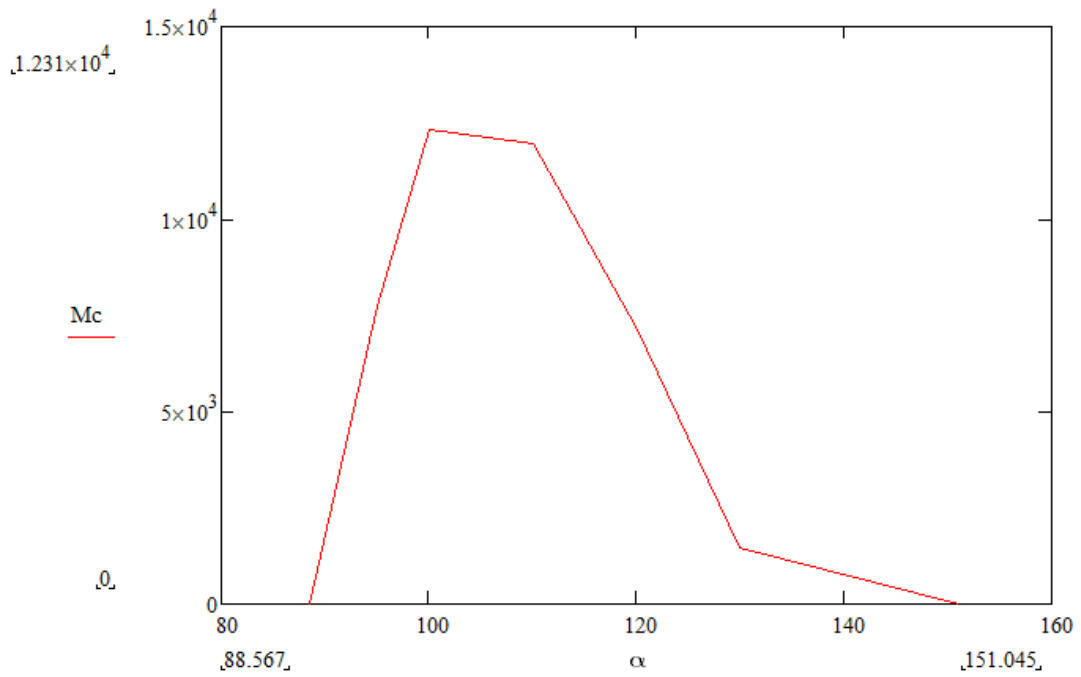


Рисунок 2.4 - Графік залежності моменту статичного опору  $M_c$  від кута повороту ексцентрикового валу  $\alpha$  для блюмів

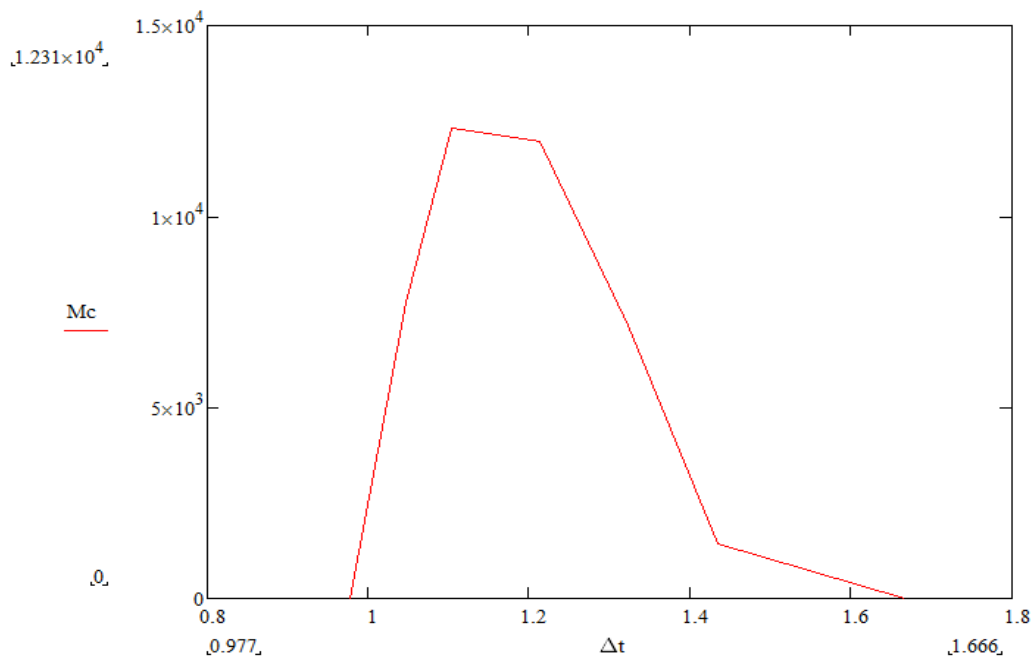


Рисунок 2.5 – Графік залежності питомого опору від часу.

На малюнку 2.3 і 2.4 містять графік залежності моменту статичного опору від кута повороту ексцентрикового валу для блюмів.

В ході розрахунку були отримані наступні значення:

$M_{CB\_max} = 1,231 \cdot 10^4 \text{ Нм}$  - максимальний момент опору при різанні блюмів;

$M_{CBE} = 7,24 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - еквівалентний момент опору при різанні блюмів.

Таким чином, для перевірки двигунів приймаємо дані для різання важкого типу сортаменту - різ двох блюмів одночасно:

$A_{PEZ}' = 178,23 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - максимальна робота різання;

$M_{CB\_max} = 1,231 \cdot 10^4 \text{ Нм}$  - момент статичного опору максимальний;

$a_{Поч.РВ} = 88^\circ$  - кут початку різання блюмів;

$a_{Р.Б} = 110^\circ$  - кут різання блюмів;

$a_{Кін.РВ} = 151^\circ$  - кут кінця різання блюмів.

### 2.3 Попередній вибір двигуна

В якості попереднього обраного двигуна, беремо двигун постійного струму, типу: Simens 1GG6250

Таблиця 2.1 - Попередній вибір двигуна

Найменування параметру	Позначення і чисельне Значення
Потужність, кВт	$P_H = 176$
Номинальна первинна напруга, кВ	$U_H = 520$
Номинальний струм, А	$I_H = 520$
Номинальна швидкість, об/хвл	$n_H = 780$
Момент інерції електродвигуна, кгм <sup>2</sup>	$J_{ДВ} = 4,7$
ККД електродвигуна,	$\eta = 0,88$
Опір якірного ланцюга при 120°C, Ом	$R_{Я} = 0,107$

## 2.4 Розрахунок навантажувальної діаграми двигунів

### 2.4.1 Пуск двигуна

Середній динамічний момент одного електродвигуна під час пуску приблизно приймаємо рівним (система з задатчиком інтенсивності швидкості):

Номінальний момент обраного електродвигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{176 \cdot 10^3}{81,681} = 2,155 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.7)$$

де

$P_H = 176 \cdot 10^3$  кВт - номінальна потужність обраного двигуна;

$\omega_H = 81,681 \text{ с}^{-1}$  - кутова швидкість.

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 780}{30} = 81,681 \text{ с}^{-1} \quad (2.8)$$

де

$n_H = 780$  об/хвл - номінальна швидкість двигуна.

Сумарний момент інерції двох двигунів з механізмом ножиць:

$$J'_\Sigma = 2 \cdot J_{ДВ} + J_p = 2 \cdot 4,7 + 60 = 69,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.9)$$

де

$J_{ДВ} = 4,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції двигуна;

$J_p = 60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції редуктора.

Сумарний момент інерції ЕП:

$$M_J = J'_\Sigma \frac{\omega_H}{t_{II}} = 69,4 \frac{81,681}{2} = 2,834 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.10)$$

де

$J'_\Sigma = 69,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - сумарний момент інерції двох двигунів;

$\omega_H$  - кутова швидкість;

$t_{II} = 2$  сек – час пуску двигуна.

Момент холостого ходу визначаємо:

$$M_{XX} = 0,05 \cdot M_{MAX} = 0,05 \cdot 12,31 \cdot 10^3 = 615,5 \text{ Нм} \quad (2.11)$$

де

$M_{MAX} = 12,31 \cdot 10^3$  - максимальний момент.

Так само визначимо момент пуску:

$$M_{II} = M_J + M_{XX} = 2,834 \cdot 10^3 + 615,5 = 3,45 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.12)$$

де

$M_J = 2,834 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - динамічний сумарний момент інерції ЕП;

$M_{XX} = 615,5 \text{ Нм}$  - момент холостого ходу.

Визначаємо момент різання:

$$M_P = M_{EPI3} + M_{XX} = 7,24 \cdot 10^3 + 615,5 \cdot 10^3 = 7,855 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.13)$$

де

$M_{EPI3} = 7,24 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - еквівалентний момент різання;

$M_{XX} = 615,5 \text{ Нм}$  - момент холостого ходу.

Вважаючи, що система управління забезпечить сталість динамічного моменту в перехідному процесі пуску (робота з задатчиком швидкості), розрахуємо час пуску до номінальної швидкості:

$$t_{II} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_H}{M_{II}} = \frac{69,4 \cdot 81,681}{2} = 2 \text{ с.} \quad (2.14)$$

де

$M_{II} = 3,45 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - визначаємо момент різання;

$\omega_H = 81,681 \text{ с}^{-1}$  - кутова швидкість;

$J_{\Sigma} = 69,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - сумарний момент інерції двох двигунів.



#### 2.4.2 Рух до моменту врізання в метал

Після розгону приводу, ножі продовжують рухатися на встановленій номінальній швидкості до моменту початку різання. Навантаження при цьому визначається моментом холостого ходу  $M_{xx}$ .

Час роботи при цьому становить:

$$t_{xx} = t_{yct} - t_{pez} = 1,815 - 1,048 = 0,768c. \quad (2.15)$$

#### 2.4.3 Різання металу

Як показано в [1], під час різання металу робота необхідна для цього процесу може перевищити максимальну роботу, яку можуть виконати приводні двигуни при максимальному допустимому моменті. При такій ситуації різ буде проходити також і за рахунок зниження кінетичної енергії, накопиченої в елементах системи, а відповідно буде відбуватися зниження швидкості приводу вчасно різі. Робота необхідна для забезпечення різання становить:

$$A_{pez} = \frac{F_{II} \cdot h_0 \cdot a}{\eta} = \frac{46800 \cdot 0,18 \cdot 28,452}{0,8} = 299,6 \cdot 10^3 \quad (2.16)$$

де

$F_{II} = 46800$  м – площа поперечного перерізу металу, що розрізає;

$h_0 = 180 \cdot 10^{-3}$  мм – висота заготовки;

$\eta = 0,8$  - ККД передачі ножиць.

Розрахуємо час різання:

$$t_{piz} = \frac{a_{piz} \cdot i_p}{\omega_H} = 1,047 c \quad (2.17)$$

де

$a_{piz} = 1,658^\circ$  - кут різання металу

Визначаємо час циклу при роботі двигуна без зупинки після кожного різі. Такий режим використовується при дробленні задніх і передніх кінців

розкату на скрап. На підставі паспортних даних на ножиці, максимальне кількість різів за хвилину  $Z$  становить 6, тоді:

$$t_{Ц} = \frac{60}{Z} = \frac{60}{6} = 10 \text{ сек} \quad (2.18)$$

де

$Z = 6$  - максимальна кількість різів за хвилину.

Необхідно визначити умови, при виконанні яких розрахункова потужність двигуна забезпечує не тільки заданий технологічний режим, а й роботу двигуна без перегріву. Відповідно до [7] номінальна потужність двигуна і номінальна розрахункова потужність мають таку залежність:

$$\varepsilon = \frac{t_{П} + t_{УСТ} + t_{Т}}{t_{Ц}} = \frac{2 + 1,815 + 2}{10} = 0,582 \quad (2.19)$$

#### 2.4.4 Гальмування ножиць

Момент гальмування визначається за формулою:

$$M_{Т} = -M_{J} + M_{ХХ} = -2,834 \cdot 10^3 + 615,5 = -2,219 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.20)$$

де

$-M_{J} = -2,834 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - негативний динамічний момент інерції при гальмуванні;

$M_{ХХ} = 615,5 \text{ Нм}$  - момент холостого ходу.

Час гальмування при цьому теж буде дорівнює відповідній величині процесу пуску:

$$t_{Т} = t_{П} = 2 \text{ сек} \quad (2.21)$$

де  $t_{П} = 2 \text{ сек}$  – час пуску двигуна.

Здатність навантаження і швидкісного діаграма побудована за розрахованим вище даними наведена на малюнку 2.5.

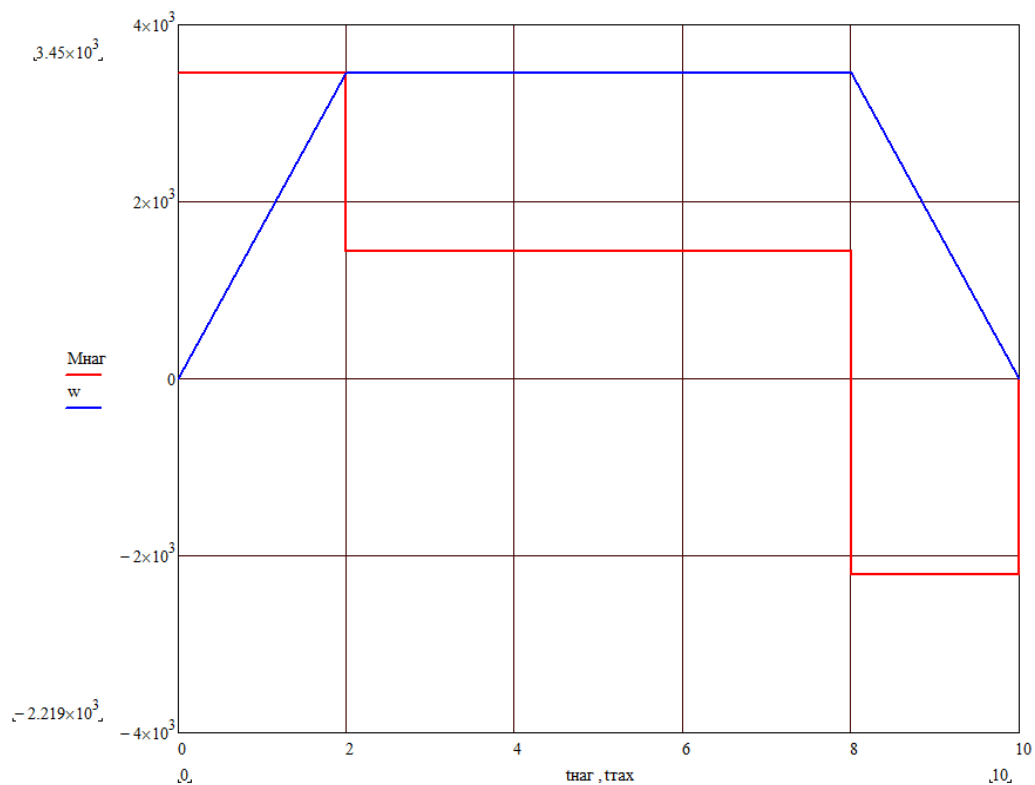


Рисунок 2.6 - Навантажувальна діаграма електроприводу ножиць прокатного стану

## 2.5 Перевірка потужності двох обраних електродвигунів по нагріванню

Знаходимо еквівалентний момент двигуна:

$$M_E = \sqrt{\frac{(M_{II} + M_{XX})^2 \cdot t_{II} + M_{XX}^2 \cdot (t_{XX1} + t_{XX2})}{t_{II} + t_{XX1} + t_P + t_{XX2} + t_{\Gamma}} + \frac{(M_{PE} + M_{XX})^2 \cdot t_P + (M_{\Gamma} - M_{XX})^2 \cdot t_{\Gamma}}{t_{II} + t_{XX1} + t_P + t_{XX2} + t_{\Gamma}}}, \quad (2.22)$$

$$M_E = 4,035 \cdot 10^3 \text{ Нм}$$

$$M_E' = M_E \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{КАТ}}} = 3,118 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.23)$$

де  $\varepsilon_{КАТ} = 1$ , визначається за каталогом [3];

Виконаємо перевірку двигуна по нагріванню:

$$M_H \geq M_E'$$

$$2 \cdot 2,155 \cdot 10^3 \text{ Нм} \geq 3,077 \cdot 10^3 \text{ Нм}$$

Обраний двигун проходить по нагріванню. Завантаження при цьому становить:

$$\frac{M_E}{2 \cdot M_H} = \frac{3,077}{2 \cdot 2,155 \cdot 10^3} = 0,714 \quad (2.24)$$

## **3 ВИБІР СИЛОВОЇ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

### **3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору силової частини системи електроприводу**

Для живлення якірних ланцюгів електродвигунів і обмоток збудження електричних машин постійного струму застосовуються, головним чином, електромашинні генератори (Г), широтно-імпульсні перетворювачі (ШПП) на тиристорах і транзисторах та тиристорні перетворювачі (ТП) змінного струму в постійний. Відповідно до цього силова частина електроприводу може бути зібрана по різних схемах- Г-Д, ШПП-Д, або ТП-Д.

В системі Г-Д в якості керованого перетворювача використовується генератор постійного струму незалежного збудження, що приводиться в обертання асинхронним або синхронним двигуном. Як приводного двигуна робочої машини використовується ДНВ (Двигун Незалежної Збудження). Система Г-Д володіє гарними регульовальними властивостями, порівняно невисокою питомою вартістю і великим терміном служби. Основною цінністю цієї системи є високий коефіцієнт потужності. Крім того, при роботі системи Г-Д не змінюється форма напруги живлячої мережі змінного струму. До недоліків цієї системи слід віднести:

- складність;
- малий ККД;
- великий рівень шуму в процесі роботи;
- необхідність регулярного технічного обслуговування.

В даний час система Г-Д має обмежене застосування у зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах, і в металургійній промисловості використовується, як правило в якості ЕП великої потужності.

На двигун за допомогою імпульсного переривника подаються імпульси напруги, модульовані (ШІМ, ВІМ) відповідно до керуючою напругою.

Таким чином, зміна швидкості обертання якоря досягається не за рахунок зміни напруги управління, а шляхом зміни часу, протягом якого до двигуна підводиться номінальну напругу. Очевидно, що робота двигуна складається з чергуються періодів розгону і гальмування. Переваги системи ШП-Д визначаються в основному перевагами ШП як джерела живлення, а саме:

- високий ККД;
- високий коефіцієнт потужності системи;
- високе використання по струму з огляду на те, що у ШП велика частота комунікації і малі пульсації струму якоря;
- низький вихідний опір перетворювача і отже жорсткіші швидкісні і механічні характеристики двигуна;
- малі габарити і маса.

Разом з тим ШП має ряд недоліків:

- імпульсний режим роботи регулюючого елемента призводить до необхідності встановлювати вихідні фільтри, що викликає інерційність процесу регулювання в замкнених системах;
- високі швидкості включення і вимкнення струму в силовому ланцюзі приводять до радіоперешкод.

В даний час практичне застосування ШП на напівпровідникових елементах обмежено ЕП малої і середньої потужності.

У ЕП середньої і великої потужності широкого поширення набула система ТП-Д. В системі ТП - Д двигун постійного струму незалежного збудження живиться від тиристорного перетворювача. Двигун постійного струму отримує електропостачання від тиристорного перетворювача ТП, який перетворює напругу мережі змінного струму в випрямлену напругу, яка прикладена до ланцюга якоря двигуна. Для згладжування пульсацій струму в ланцюг якоря введений згладжує реактор. Випрямлена напруга залежить від кута регулювання, а противоЕРС навантаження, струму навантаження, падінь напруги на елементах силового ланцюга перетворювача, і зовнішні характеристики перетворювача мають складний нелінійний вигляд.

В порівнянні з системою Г-Д вона володіє наступними перевагами:

- відсутність частин, що обертаються, отже, безшумність в роботі;
- вища швидкодія і ККД;
- висока точність регулювання, завдяки відсутності інерції;
- менша чутливість до дії газів і забрудненого середовища;
- відсутність складних вентиляційних пристроїв.

Разом з тим в порівнянні з системою Г-Д система ТП-Д має наступні недоліки:

- при глибокому регулюванні збільшується амплітуда пульсацій в кривих випрямленої напруги і струму, що може несприятливо позначитися на комутації струму приводного двигуна;

- спотворення форми кривої напруги живлячої мережі в результаті комутаційних процесів в ТП, що не дуже добре позначається на роботі інших електропристроїв, які живляться від цієї мережі.

Перераховані недоліки ТП-Д стають вагомими тільки при великій потужності приводу. Оскільки ТП мають високі техніко-економічні показники і експлуатаційні достоїнства, відповідають вимогам технічного процесу головного приводу, то для живлення якірних ланцюгів застосуємо систему ТП-Д.

Зі всіх способів регулювання і зміни напрямку обертання електродвигуна, використання реверсивного тиристорного перетворювача (РТП) є одним з самих широко використовуваних способів створення швидкодіючого регульованого електроприводу постійного струму. Реверсивним тиристорним перетворювачем називається перетворювач, струм через який може протікати в обох напрямках. Оскільки тиристори пропускають струм тільки в одному напрямі, то для зміни напрямку струму навантаження необхідно використовувати дві групи вентилів, кожна з яких проводить струм в протилежному напрямі. Ці групи вентилів найчастіше збираються по трифазній мостовій або трифазній нульовій схемі. Трифазна нульова схема відрізняється простотою, меншою кількістю вентилів, вжитих в схемах.

Трифазна мостова схема володіє перевагами, в порівнянні з трифазною нульовою:

- випрямлена ЕДС при одній і тій же вторинній напрузі трансформатора в два рази більша;
- випрямлена ЕДС в два рази більше по частоті і менше по амплітуді;
- вентильні групи можуть підключатися до мережі без трансформатора;
- типова потужність трансформатора менша.

Для отримання реверсивного ТП дві групи вентилів певним чином сполучають між собою. Розрізняють зустрічно-паралельне і перехресне з'єднання. При зустрічно-паралельному з'єднанні застосовують простий двообмоточний трансформатор меншої потужності. Перевага перехресної схеми в тому, що в ній аварійні процеси при одночасному включенні тиристорних груп протікає легше, тому цю схему доцільно застосовувати у відповідальних приводах.

Застосовуються два основні методи керування комплектами РТП: сумісне і роздільне. При сумісному керуванні імпульси подаються на тиристори обох груп одночасно. При цьому одна з груп працює у випрямному режимі (режим «В»), розвиває середнє значення випрямленої напруги і забезпечує протікання струму через навантаження, а друга група в цей час переводиться в інверторний режим (режим «І»). При такому керуванні в РТП утворюється замкнутий контур, по якому може протікати зрівняльний струм. Для зменшення цього струму кути регулювання повинні бути в певному співвідношенні. Для зменшення зрівняльного струму застосовують неузгоджене керування групами тиристорів в РТП. При цьому в контурі завжди є постійна складова напруги, направлена проти провідності тиристорів, оскільки інверторна група розвиває більшу напругу, ніж випрямна. Це призводить до різкого зменшення статичного зрівняльного струму, хоча динамічний струм зменшується незначною мірою. Таким чином, перевагою сумісного керування є:

- відсутність необхідності в перемиканнях силового ланцюга;



- висока швидкодія при переході з одного режиму в інший і постійна готовність до цього переходу;

- однозначність в статичних характеристиках;

Роздільне керування РТП полягає в тому, що імпульси, що керують, з виходу СІФК подаються тільки на ту групу тиристорів, яка повинна працювати. Недоліки цього методу керування в наступному:

- наявність в кривому навантаженні при перемиканні груп безструмової паузи, що погіршує динамічні характеристики ТП;

- не лінійність і розривність зовнішніх і регулювальних характеристик, внаслідок виникнення уривчастого струму навантаження при роботі ТП в режимі близькому до режиму холостого ходу;

- необхідність контролю наявності імпульсів, що керують, при роботі інверторної групи у зоні уривчастого струму;

- необхідність узгодження напруги вентильних груп в момент перемикання.

В той же час застосування роздільного методу керування дозволяє зменшити об'єм РТП і приблизно в 2-4 рази його масу за рахунок громіздких зрівняльних реакторів.

Для керування ТП застосовують безінерційні системи фазового керування з пилоподібною або синусоїдальною опорною напругою, причому форма опорної напруги є лінійність результуючої характеристики ТП. Перевага синусоїдальної форми опорної напруги в наданні впливу на вигляд статичної регулювальної характеристики ТП.

Враховуючи всі особливості різних систем ЕП, з їх перевагами і недоліками за основу приймемо систему ТП-Д, вентильні групи якої зібрані по трифазній мостовій схемі з роздільним керуванням. Вибрана система електропривода повинна повною мірою задовольняти поставленим вимогам до системи автоматизації.

### 3.2 Вимоги до системи автоматизації

Ручне дистанційне керування електроприводами здійснюється оператором поста керування. За допомогою органів керування оператор видає необхідні команди й при цьому здійснює візуальний контроль розчину валків по цифрових індикаторах.

Оператор має можливість управляти електроприводами натискних гвинтів спільно, а в позаштатних ситуаціях і при ремонтах устаткування - спільно (режим поштовху) або роздільно (режим «випробування»).

Ручне спільне керування може використатися в штатному технологічному режимі при тимчасово непрацездатнім автоматичному керуванні.

Напівавтоматичне керування передбачає одержання дозволу оператора на автоматичну перебудову й урахує можливість ручного втручання оператора для коректування програм з метою оптимізації настроювання. При цьому система розрахунку уставок може працювати в режимі порадики.

Автоматичне керування є основним способом керування в штатному технологічному режимі й передбачає програмну перебудову розчину валків відповідно до технологічної схеми прокатки, а також видачу відповідних команд на перебудову від АСУ ТП. Ручне втручання оператора при цьому можливо, але, в основному, оператор здійснює тільки нагляд за процесом прокатки й роботою встаткування.

Живлення кодівих датчиків здійснити від джерел постійного струму напругою 24 В - із системи автоматизації.

Обмежити хід натискних гвинтів у крайніх положеннях за допомогою кодівих датчиків (57-BS1, 57-BS2, Рисунок 1.1).

Точність установки натискних гвинтів:  $\pm 0,05$  мм.

Система автоматизації повинна забезпечувати електричну синхронізацію положень натискних гвинтів з погрішністю (не більше)  $\pm 0,05$  мм.

На пультах керування оператора передбачити установку органів для ручного керування й сигналізації електроприводів.

Кількість органів керування й сигналізації повинне бути погоджене між проектувальниками електроприводів й АСУ ТП у ході проектування.

#### Технологічні режими

Режим «настроювання» (штатний технологічний режим) - спільне синхронне переміщення натискних гвинтів відповідно до уставки завдання розчину робочих валків.

Режим «перевалка» (допоміжний режим) - спільне синхронне переміщення натискних гвинтів нагору під контролем позиційної системи з максимальною швидкістю до необхідного робочого рівня. Таке положення натискних гвинтів забезпечує зміну робочих й опорних валків.

Режим «калібрування» - вибір нульової крапки відліку позиційних (кодових) датчиків після завалки в кліть переточених валків, після тривалої зупинки стана на ремонт, а також після заміни позиційного датчика. У випадку короткочасного випадкового зникнення живлячої напруги «нулі» відліку позиційних датчиків можуть бути збережені в енергонезалежних запам'ятовувальних пристроях.

#### Можливий варіант калібрування.

При знаходженні циліндрів гідравлічного натискного пристрою в середнім положенні оператор дає завдання на рух гвинтів униз. Рух гвинтів припиняється, коли зусилля в гідроциліндрах ГНУ досягнуть певного невеликого значення. При необхідності, роздільним переміщенням гвинтів, зусилля під правим і лівим гвинтами вирівнюються.

Після цього, при однакових значеннях зусиль під правим і лівим гвинтами й зупиненими натискними гвинтами, виробляється калібрування, тобто вибір початкових крапок відліку позиційних датчиків.

Описаний варіант калібрування є рекомендаційним, остаточний варіант вибирає розроблювач системи автоматизації.

#### Допоміжні режими

Режим «заміна гвинта» - роздільний підйом й опускання натискних гвинтів без обмеження висоти підйому від шляхового вимикача. Цей режим застосовується при заміні гвинта для виводу його із зачеплення з гайкою.

Режим «обслуговування» - дистанційне відключення привода в обсязі вимог техніки безпеки для виконання робіт на електро-механообладнанні, установленому на кліті.

Інші допоміжні режими, при необхідності, забезпечуються розроблювачем АСУ ТП.

#### Функції системи автоматизації

Система автоматизації повинна бути інформаційно вв'язана із системами верхнього рівня автоматизації й забезпечувати рішення наступних завдань:

- збір й обробка інформації від технологічних датчиків (зусилля прокатки, температури, наявності металу, товщини, ширини й т.п.);
- зв'язок з іншими локальними системами по супроводу металу й обміну інформацією;
- зв'язок з електроприводами по шині Profibus й іншим радіальним каналам;
- ситуаційно-логічне керування комплексом;
- уведення параметрів і вивід на кольорові монітори, печатку протоколів (при необхідності);
- локальна діагностика несправності комплексу.

Інші функції при необхідності забезпечуються розроблювачем АСУ ТП.

Налаштовані параметри, що визначають режими роботи приводів, не повинні виходити за припустимі межі.

Технічні засоби, на яких створюється система автоматизації, повинні бути максимально уніфіковані й взаємозамінні.

Пульты керування повинні бути інтегрованими (тобто містити як органи керування приводами, так й органи керування, що ставляться до системи автоматизації).

Апарати на пультах керування повинні бути розподілені по трьох зонах:

- оперативна зона;
- зона апаратного ручного (толчкового) керування;
- зона підготовки встаткування до роботи.

На кожному з пультів, оснащених сигнальними арматурами, передбачити кнопку для контролю справності сигнальних ламп.

### 3.3 Визначення ЕРС умовного холостого ходу тиристорного перетворювача

Величина ЕРС умовного холостого ходу ТП системи ТП-Д розраховується за методикою, викладеною в [1].

1. Падіння напруги на активному опорі відповідно згладжує, зрівняльного реактора і трансформатора:

$$U_{\text{ср}} \approx U_{\text{ур}} \approx (0,005 \dots 0,01) U_{\text{дн}} = 0,01 \cdot 520 = 5,2 \text{ В} \quad (3.1)$$

$$U_{\text{тр}} \approx (0,02 \dots 0,03) U_{\text{дн}} \cdot 2 = 0,02 \cdot 520 \cdot 2 = 20,8 \text{ В} \quad (3.2)$$

де  $U_{\text{дн}} = U_{\text{н}} = 520 \text{ В}$  - середнє значення випрямленої напруги на якорі електродвигуна.

Комутаційне падіння напруга визначається за формулою:

$$\Delta U_{\text{к}} = 0,5 \frac{U_{\text{к}\%}}{100} U_{\text{дн}} = 0,5 \frac{6}{100} 520 = 15,6 \text{ В} \quad (3.3)$$

де  $U_{\text{к}\%} \approx (5 \dots 7)\%$  - напруга короткого замикання силового трансформатора.

Напруга випрямлення ВАХ тиристора:

$$U_0 \approx (1,35 \dots 1,55) U_{\text{кл}} = 1,36 \cdot 1,3 = 1,768 \text{ В} \quad (3.4)$$

де  $U_{\text{кл}} \approx (1 \dots 1,8) \text{ В}$  - класифікаційне падіння напруги на тиристорі при номінальному струмі.

Допустимий струм вентилів:

$$I_{\text{в.доп}} = \frac{I_{\text{н}}}{3} = \frac{372}{3} = 124 \text{ А} \quad (3.5)$$

де  $I_{\text{н}} = 372 \text{ А}$  - номінальний струм електродвигуна.

Динамічний опір тиристора:

$$r_{\text{д}} = (0,2 \dots 0,3) \frac{U_{\text{кл}}}{I_{\text{в.доп}}} = 0,25 \frac{1,3}{124} = 2,621 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (3.6)$$

Середнє значення падіння напруги на тиристорі:

$$U_{\text{в.ср}} = 2 \frac{U_0 + r_{\text{д}} I_{\text{н}}}{3} = 2 \frac{1,7 + 2,621 \cdot 10^{-3} \cdot 372}{3} = 1,829 \text{ В} \quad (3.7)$$

Запас по напрузі ТП, необхідний для виконання умови реалізації оптимальної настройки контуру струму за модульним чи симетричному оптимуму:

$$\Delta U_{\text{мо.со}} \approx (0,15 \dots 0,2) U_{\text{дн}} = 0,15 \cdot 520 = 78 \text{ В} \quad (3.8)$$

ЕРС умовного холостого ходу ТП без можливих коливань напруги від нестабільності мережі живлення:

$$\begin{aligned} E'_{\text{д0}} &= U_{\text{нд}} + U_{\text{ср}} + U_{\text{ур}} + U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{к}} + \Delta U_{\text{в.ср}} + \Delta U_{\text{мо.со}} = \\ &= 520 + 5,2 + 5,2 + 20,8 + 15,6 + 1,829 + 78 = 646,629 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Можливі коливання напруги від нестабільності мережі живлення:

$$\Delta U_{\text{с}} = 0,1 \cdot U_{\text{нд}} = 0,1 \cdot 520 = 52 \text{ В} \quad (3.10)$$

ЕРС умовного холостого ходу перетворювача:

$$E_{\text{д0}} = E'_{\text{д0}} + \Delta U_{\text{с}} = 646,629 + 52 = 698,629 \text{ В} \quad (3.11)$$

### 3.4 Розрахунок електричних параметрів силового трансформатора

Силовий трансформатор в схемі керованого випрямляча застосовується для узгодження стандартного напруги мережі і напруги навантаження. Зменшення напруги на виході ТП постійного струму за рахунок зміни кута управління в більшості практичних випадків неприпустимо, так як це веде до

недовикористання по потужності перетворювальної установки і зниження її енергетичних показників (коефіцієнта потужності). Крім того, трансформатор обмежує струм в режимі короткого замикання, а також швидкість наростання струму як в робочих, так і в аварійних режимах роботи перетворювача

Схема з'єднання силового трансформатора  $Y/Y$  [1, приклади 1-26, 1-27].

Лінійна напруга на вторинній обмотці силового трансформатора:

$$U_{2л} = \frac{E_{d0}}{1,35} = \frac{698,629}{1,35} = 517,503 \text{ В} \quad (3.12)$$

Фазна напруга на вторинній обмотці трансформатора:

$$U_{2ф} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} = \frac{517,503}{\sqrt{3}} = 298,78 \text{ В} \quad (3.13)$$

Чинне значення струму вторинної обмотки силового трансформатора:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_H = \sqrt{\frac{2}{3}} 372 = 303,737 \text{ А} \quad (3.14)$$

Чинне значення струму первинної обмотки трансформатора:

$$I_1 = \frac{I_2 U_{2л}}{U_c} = \frac{303,737 \cdot 517,503}{6 \cdot 10^3} = 26,197 \text{ А} \quad (3.15)$$

де  $U_c = 6 \text{ кВ}$  - лінійна напруга мережі живлення.

Виходячи з каталожних даних по каталогу вибираємо два окремих силових трансформатора, кожен з яких має одну вторинну обмотку з потужністю не менше  $P_{\text{тр.треб}}$ :

$$P_{\text{тр.треб}} = 1,045 I_H U_H = 1,045 \cdot 372 \cdot 520 = 202,145 \text{ кВА} \quad (3.16)$$

При виборі трансформатора необхідно виконати перевірку його по струму і напрузі, тобто слід дотримуватись таких умов:

$$\begin{cases} U_{2л.тр} \geq U_{2л} \\ I_{2.тр} \geq I_2 \end{cases} \quad \begin{cases} 569 \geq 517,503 \text{ В} \\ 407,899 \geq 303,737 \text{ А} \end{cases} \quad (3.17)$$

Для узгодження тиристорного перетворювача з мережею живлення з довідника [4] вибираємо силовий трансформатор ТСЗП-400/10УЗ технічні дані, якого наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні данні силового трансформатора ТСЗП-400/10УЗ виконання 3 для харчування тиристорного перетворювача

Найменування параметру	Позначення і чисельне Значення
Потужність, кВА	$P_{\text{тр}} = 402$
Номінальна первинна напруга, кВ	$U_{1\text{тр}} = 6$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2\text{л.тр}} = 569$
Чинне значення струму вторинної обмотки, А	$I_{2.\text{тр}} = 407,889$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{\text{хх}} = 1600$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{\text{кз}} = 5200$
Напруга короткого замикання, %	$U_{\text{кз}\%} = 5,8$
Струм холостого ходу, %	$I_{\text{хх}\%} = 1.5$

Після вибору силового трансформатора необхідно перерахувати значення максимально випрямленою ЕРС:

$$E_{\text{д0}} = 1,35U_{2\text{л.тр}} = 1,35 \cdot 569 = 768,15 \text{ В} \quad (3.18)$$



### 3.5 Вибір силових тиристорів

Тиристор вибираємо по протікає через нього середньому току з урахуванням струму двигуна в перехідних режимах  $(2...2,5)I_H$ , умовами охолодження вентиля і максимальному зворотному напрузі.

Середнє значення струму через тиристор при номінальному навантаженні:

$$I_{в.ср} = \frac{I_H}{3} = \frac{372}{3} = 124 \text{ А} \quad (3.19)$$

Максимальна зворотна напруга на тиристорі: В

$$U_{обр.макс} = k_{зап} \cdot 1,045 \cdot E_{d0} = 1,6 \cdot 1,045 \cdot 768,15 = 1284,347 \text{ В} \quad (3.20)$$

де  $k_{зап} = (1,25...2)$  - коефіцієнт запасу по напрузі в залежності від необхідного ступеня надійності електроприводу.

За величиною  $U_{обр.макс}$  визначається клас тиристора (10-й клас).

Тиристор вибираємо виходячи з умов:

$$\begin{cases} I_{в.доп} \geq I_{в.ср} \\ U_{повт} \geq U_{обр.макс} \end{cases} \quad \begin{cases} 125 \geq 124 \text{ А} \\ 100...1800 \geq 1284,347 \text{ В} \end{cases} \quad (3.21)$$

де  $I_{в.доп}$  - максимально допустимий середній струм тиристора, А;

$U_{повт}$  - каталожна величина повторює імпульсного напруги в закритому стані, В.

З довідника [5] вибираємо тиристор T15-125 технічні дані, якого наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічні дані тиристора T15-125

Найменування параметру	Позначення і чисельне Значення
Максимально допустимий середній струм, А	$I_{в.доп} = 125$
Імпульсна напруга у відкритому стані, В	$U_{ос} = 2,05$
Періодичну імпульсна напруга в закритому стані, В	$U_{повт} = 100...1800$
Захисний показник, $кА^2с$	$(I^2t)_{тирист} = 42,05$
Динамічний опір у відкритому стані, мОм	$r_{дин} = 1,5$
Ударний є повторюваною струм у відкритому стані, А	$I_{ос.удар} = 2900$

### 3.6 Вибір реактора, що згладжує

Оскільки пульсації струму, що протікає в якірного ланцюга, погіршують тепловий режим електродвигуна і умови його комутації, для їх зменшення застосовується згладжує реактор. Зменшення пульсацій напруги на затискачах якоря при включенні реактора пояснюється тим, що на якір подається сума випрямленої напруги мережі і ЕРС самоіндукції реактора. Крім цього, введення реактора, що згладжує призводить до звуження зони переривчастих струмів, що, в свою чергу, призводить до збільшення жорсткості швидкісних характеристик приводу.

Разом з тим треба враховувати, що введення в якірний ланцюг реактора, що згладжує з великою індуктивністю призводить до збільшення електромагнітної постійної часу якірного ланцюга і затягування перехідних процесів. Крім того, збільшення індуктивності пов'язано зі збільшенням габаритів, ваги і вартості установки і має проводитися без істотного збільшення активного опору ланцюга, так як це веде до зростання втрат і зниження жорсткості швидкісних характеристик. Тому вибір згладжує реактора слід проводити з урахуванням вимог, що пред'являються до електроприводу.

Оскільки для харчування ТП використовуються два двох обмотувальних трансформатора, то індуктивність реактора розрахована за методикою наведеною в [1, приклад 1-27].

Активне, індуктивне і повний опір силового трансформатора визначимо з наступних співвідношень:

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} U_{2\text{л.тр}}^2}{P_{\text{тр}}^2} = \frac{5200 \cdot 569^2}{(402 \cdot 10^3)^2} = 10,41 \text{ мОм} \quad (3.22)$$

$$z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}\%} U_{2\text{л.тр}}}{100 I_{2\text{.тр}} \sqrt{3}} = \frac{5,8 \cdot 569}{100 \cdot 407,899 \cdot \sqrt{3}} = 46,712 \text{ мОм} \quad (3.23)$$

$$x_a = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{0,047^2 - 0,01^2} = 45,535 \text{ мОм} \quad (3.24)$$

де  $\Delta P_{\text{кз}} = 5200$  Вт - потужність втрат короткого замикання;

$U_{2\text{л.тр}} = 569$  В - номінальне вторинне напруга трансформатора;

$P_{\text{тр}} = 402 \cdot 10^3$  кВА - потужність силового трансформатора;

$U_{\text{кз}\%} = 5,8$  % - напруга короткого замкнення трансформатора;

$I_{2\text{.тр}} = 407,899$  А - діюче значення струму вторинної обмотки СТ.

Індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр}} = \frac{x_a}{2\pi f_c} = \frac{45,535 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 144,943 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (3.25)$$

де  $f_c = 50$  Гц - частота мережі живлення.

Для більшості систем сучасних вентильних електроприводів зрівняльні реактори (УР) вибираються таким чином, що при  $I_d \geq 1,5 I_{\text{ур}}$  (де  $I_{\text{ур}}$  складає близько  $0,1 I_H$ ) вони насичуються. Тому індуктивність зрівняльного реактора можна не враховувати  $L_{\text{ур}} = 0$ .

Індуктивність якоря двигуна можна визначити по емпіричній формулою:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{U_{\text{н}}}{2p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}} = 5 \frac{520}{2 \cdot 780 \cdot 372} = 2,24 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.26)$$

где  $k$  - постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна ( $k = 5 \dots 6$  - для компенсованих машин) [1];

$2p = 2$  - число пар полюсів електродвигуна;

$n_{\text{н}} = 780$  об / хв - номінальна частота обертання електродвигуна.

Частота обертання двигуна, відповідна нижній межі його діапазону регулювання:

$$n_{\text{min}} = \frac{n_{\text{max}}}{D} = \frac{780}{30} = 26 \text{ об/мин} \quad (3.27)$$

де  $n_{\text{max}} = n_{\text{н}} = 780$  об / хв - максимальна частота обертання електродвигуна;

$D = 30$  - необхідний діапазон регулювання швидкості.

Опір якорного ланцюга двигуна для машин серії П:

$$r_{\text{я.дв}} = (r_{\text{я120}}) = 107 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (3.28)$$

$r_{\text{я120}} = 0,107$  Ом - опір обмотки якоря (гаряче) при  $120^{\circ}\text{C}$ ;

Коефіцієнт пропорційності між швидкістю обертання і ЕРС двигуна:

$$c_e = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} r_{\text{я.дв}}}{n_{\text{н}}} = \frac{520 - 372 \cdot 107 \cdot 10^{-3}}{780} = 0,616 \quad (3.29)$$

Активний опір зрівняльного і реактора, що згладжує:

$$r_{\text{ср}} \approx r_{\text{ур}} \approx (0,005 \dots 0,01) \frac{I_{\text{н}} U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}^2} = 0,0075 \frac{372 \cdot 520}{372^2} = 0,010 \text{ мОм} \quad (3.30)$$

Активний опір трансформатора (комутаційне опір) викликане реактивністю розсіювання:

$$r_k = \frac{m_\phi \cdot x_a}{2\pi} = \frac{6 \cdot 9,219 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,042 \text{ мОм} \quad (3.31)$$

де  $m_\phi = 6$  - число фаз випрямлення;

$x_a = 0,046$  мОм - повний опір силового трансформатора.

Сумарний опір якріного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} r_\Sigma &= r_{\text{ср}} + 2r_{\text{дин}} + 2r_{\text{тр}} + r_k + r_{\text{ур}} = \\ &= 0,009 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,24 \cdot 10^{-3} + 0,01 + 1,398 = 42,241 \text{ мОм} \end{aligned} \quad (3.32)$$

Величина максимального (граничного) кута регулювання, що відповідає мінімальній робочій швидкості електродвигуна:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{max}} &= \arccos\left(\frac{c_e n_{\text{min}} + I_n r_\Sigma}{E_{\text{d0}}}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = \\ &= \arccos\left(\frac{0,616 \cdot 26 + 372 \cdot 42,241 \cdot 10^{-3}}{778,95}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 87,666 \text{ эл.град} \end{aligned} \quad (3.33)$$

де  $c_e = 0,616$  - коефіцієнт пропорційності між швидкістю обертання і ЕРС двигуна;

$n_{\text{min}} = 26$  об / хв - частота обертання двигуна, відповідна нижній межі його діапазону регулювання;

$r_\Sigma = 42,241$  мОм - сумарний опір якріного ланцюга системи ТП-Д;

$E_{\text{d0}} = 778,95$  В - максимально випрямлена ЕРС.

Знаючи граничний кут регулювання  $\alpha_{\text{max}}$ , відносну величину ефективного значення першої гармоніки випрямленої напруги визначимо за графіком  $e_n = f(\alpha_{\text{max}})$  [1, пример 1-25],  $e_n = 0,24$ .

Необхідна індуктивність реактора, що згладжує:

$$L_{\text{ср}} = \frac{e_n E_{\text{d0}}}{i_e \omega_1 I_{\text{н}}} - (L_{\text{тр}} + L_{\text{дв}}) =$$

$$= \frac{0,24 \cdot 778,95}{0,03 \cdot 1884,956 \cdot 372} - (29,346 \cdot 10^{-6} + 2,24 \cdot 10^{-3}) = 6,618 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.34)$$

де  $e_n = 0,24$  - відносна величина ефективного значення першої гармоніки випрямленої напруги;

$i_e = (0,02 \dots 0,05)$  - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої струму (нижня межа  $i_e$  береться для електроприводу середньої і великої потужності, а верхній - для електроприводу малої потужності);

$\omega_1 = 2\pi f_c m_{\text{ф}} = 2 \cdot 3,15 \cdot 50 \cdot 6 = 1884,956$  - кругова частота першої гармоніки випрямленої напруги;

$L_{\text{тр}} = 29,346 \cdot 10^{-6}$  Гн - індуктивність силового трансформатора;

$L_{\text{дв}} = 2,24 \cdot 10^{-3}$  Гн - індуктивність якоря двигуна.

За каталогом [4] вибираємо згладжувальний реактор з індуктивністю не менше  $L_{\text{ср}}$  на струм не менше  $I_{\text{н}}$ , технічні дані якого наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні дані реактора, що згладжує типу: ФРОС 500/0,5У3

Найменування параметру	Позначення і чисельне Значення
Номінальний Постійний струм, А	$I_{\text{н.ср}} = 500$
Номінальна індуктивність, мГн	$L_{\text{н.ср}} = 3,25$
Активний опір, мОм	$r_{\text{а.ср}} = 7,5$
Маса, кг	$m_{\text{ср}} = 460$

### 3.8 Розрахунок і вибір захисту перетворювача

При експлуатації ТП можуть виникати різні аварійні режими, при яких через тиристири протікають струми, неприпустимі за величиною і тривалості протікання [7]. Вихід з ладу силових тиристорів ТП обумовлюється наступними причинами:

- короткі замикання;
- тривалі струмові перевантаження;
- прориви інверторів і електричні пробої вентилів.

Силові тиристири внаслідок малої теплоємності і високої щільності р-п переходу здатні витримувати струми, що перевищують номінальні протягом дуже короткого проміжку часу за умови, що  $I_{кз} \leq (8 \dots 10) I_{в.ном}$ . Тому для тиристорів потрібна швидкодіюча захист.

Захист тиристорів від надмірних струмів короткого замикання здійснюється спеціальними швидкодіючими плавками запобіжниками (FU), які встановлюємо послідовно з кожним вентилям.

Чинний струм протікає через запобіжник, який визначається так (для схеми Ларіонова):

$$I_{в.дейст} = \sqrt{3} I_{в.ср} = \sqrt{3} \cdot 270,667 = 468,808 \text{ А} \quad (3.36)$$

де  $I_{в.ср} = 270,667 \text{ А}$  - середнє значення струму через тиристор при номінальному навантаженні.

Номінальна напруга запобіжника має бути не менше напруги того ланцюжка, де він встановлюється, інакше не буде забезпечене нормальне гасіння дуги, запобіжник зруйнується і полум'я дуги може перекинутися на токоведущую частину. Для даної схеми номінальну напругу запобіжника має бути не менше діючого значення лінійної напруги вторинної обмотки трансформатора  $U_{2л.тр} = 577 \text{ В}$ .

Номинальний струм плавкої вставки повинен вибиратися так, щоб виконувалася нерівність:

$$\left(I^2t\right)_{\text{пр}} \leq \left(I^2t\right)_{\text{тирист}} \quad 25 \leq 42,05 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.37)$$

де  $\left(I^2t\right)$  - повний інтеграл відключення (теплової еквівалент) береться з паспорта на прилади.

За каталогом [6] вибираємо швидкодіючі запобіжники типу QSMK, параметри яких наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Технічні дані швидкодіючих запобіжників типу ПП-41

Найменування параметру	Позначення і чисельне значення
Номинальна постійна напруга, В	$U_{\text{н.пр}} = 660$
Номинальний струм плавкої вставки, А	$I_{\text{н.пл.вст}} = 320$
Повний інтеграл відключення, кА <sup>2</sup> с	$\left(I^2t\right)_{\text{пр}} = 25$

Запобіжники захищають від струмів короткого замикання, но НЕ захищають тиристри від тривалого струмового перевантаження.

Захист від струмів короткого замикання і від струмових перевантажень здійснюється автоматичними вимикачами. Основні переваги автоматичних вимикачів полягають в тому, що вони є апаратами багаторазової дії та поєднують в собі функції пристроїв захисту і комутації. У порівнянні з запобіжниками автоматичні вимикачі захищають електричні ланцюги не тільки від струмів короткого замикання, а й від перевантажень по струму.

При харчуванні ТП від мережі 6 або 10 кВ захист трансформатора здійснюється масляним вимикачем високої напруги. Автоматичний вимикач (QF1, QF2), встановлений на стороні змінного струму вторинної обмотки трансформатора. Він захищає ТП від зовнішніх коротких замикань.



Оскільки можлива робота ТП в інверторному режимі, то необхідно застосувати автоматичні вимикачі (QF3, QF4) в ланцюзі постійного струму. Вони захищають також від надмірних зрівняльних струмів.

Номінальна напруга автоматичного вимикача повинно бути не менше чинного напруги того ланцюжка, де він встановлюється:

– для QF1, QF2 - чинне лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора  $U_{2л.тр} = 577$  В (см. табл. 3.1);

– для QF3, QF4 - значення максимальної випрямленою ЕРС  $E_{d0} = 778,95$  В.

Номінальний струм електромагнітного розчеплювача повинен бути не менше діючого значення струму ланцюга, де він встановлюється з урахуванням можливих експлуатаційних перевантажень:

– для QF1, QF2:  $I_{н.расц} \geq k_{эп} I_{2.тр}$        $1600 \geq 489,478$  А;

– для QF3, QF4:  $I_{н.расц} \geq k_{эп} I_{н}$        $1500 \geq 446$  А;

де  $k_{эп} = 1,2 \dots 2$  - коефіцієнт експлуатаційної перевантаження;

$I_{2.тр} = 407,899$  А - діюче значення струму вторинної обмотки СТ;

$I_{н} = 372$  А - номінальний струм електродвигуна.

Таблиця 3.6 - Технічні дані автоматичних вимикачів [6]

Схематичне позначення	Тип вимикача	Рід струму	Кількість полюсів	Номінальну напругу, В	Уставка струму розчеплення, А
QF1, QF2	A3720Б	змінний	3	660	1600
QF3, QF4	A3740Б	постійний	2	600	1500

Для захисту від внутрішніх перенапруг, які виникають в момент замикання тиристорів, застосуємо демпфірующие захисні ланцюжка R-C (R1-R12) - (C1-C12), які включаються паралельно кожному з тиристорів. Ємність і напруга C1 визначаються вираженням:

$$C = \frac{10I_{\text{в.доп}}}{U_{\text{обр.макс}}} = \frac{10 \cdot 125}{1302,404} = 0,96 \text{ мкФ} \quad (3.38)$$

$$U_C = 1,045E_{\text{d0}} = 1,045 \cdot 778,95 = 814,003 \text{ В} \quad (3.39)$$

Вибираємо конденсатор С типу МБГП – 1000 В – 1,0 мкФ ± 10%.

Опір і потужність втрат резистора R:

$$R = \frac{10U_{\text{обр.макс}}}{I_{\text{в.доп}}} = \frac{10 \cdot 1302,404}{125} = 104,192 \text{ Ом} \quad (3.40)$$

$$P_R = 0,021I_{\text{в.доп}}^2 R_1 = 0,021 \cdot 125^2 \cdot 104,192 = 34,188 \text{ кВт} \quad (3.41)$$

Вибираємо резистор R типу ПЭВ – 40,0 Вт – 110,0 Ом ± 5%.

Для захисту ТП від зовнішніх перенапруг застосовуємо захисну R<sub>P</sub>-C<sub>P</sub> – ланцюжок з використанням полярного конденсатора, включену на стороні змінного струму через додатковий малопотужний випрямляч. Розрахуємо величини параметрів елементів ланцюжка:

$$C_P = \frac{500 \cdot I_{01\%} \cdot I_{2.\text{тр}}}{f_c \cdot U_{2\phi.\text{тр}}} = \frac{500 \cdot 4 \cdot 303,737}{50 \cdot 298,78} = 40,664 \text{ Ф} \quad (3.42)$$

$$U_P = 2,4U_{2\phi.\text{тр}} = 2,4 \cdot 298,78 = 717,073 \text{ В} \quad (3.43)$$

Вибираємо конденсатор C<sub>P</sub> типу К65-29 – 630 В – 100,0 мкФ ± 10%.

Опір і потужність втрат розрядної резистора R<sub>P</sub>:

$$R_P = \frac{1 \dots 3}{C_P} = \frac{2}{100 \cdot 10^{-6}} = 0,049 \text{ кОм} \quad (3.44)$$

$$P_{R_P} = \frac{5,76U_{2\phi.\text{тр}}^2}{10R_P} = \frac{5,76 \cdot 298,78^2}{10 \cdot 49,184 \cdot 10^{-3}} = 1,045 \cdot 10^6 \text{ Вт} \quad (3.45)$$

Вибираємо розрядний резистор R<sub>P</sub> типу ОМЛТ – 2,0 Вт – 20,0 кОм ± 5%.

Опір і потужність втрат резистором  $R_d$  :

$$R_d = \frac{170U_{2\phi.тр}}{I_{01\%} \cdot I_{2.тр}} = \frac{170 \cdot 298,78}{3 \cdot 303,737} = 41,806 \text{ Ом} \quad (3.46)$$

$$\begin{aligned} P_{R_d} &= 3 \left( U_{2л.тр} 2\pi f_c C_p \right)^2 R_d \cdot 10^{-2} = \\ &= 3 \left( 517,503 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40,664 \cdot 10^0 \right)^2 \cdot 41,806 \cdot 10^{-2} = 54,815 \cdot 10^{12} \text{ Вт} \end{aligned} \quad (3.47)$$

Вибираємо резистор  $R_d$  типу ПЭВ – 75,0 Вт – 50,0 Ом  $\pm$  5%.

Функціональна схема розрахованого реверсивного тиристорного перетворювача, зібраного за трифазною мостовою перехресній схемі і працює на якір двигуна постійного струму представлена на рис. 3.1.

### 3.9 Розрахунок статичних і динамічних параметрів елементів і вузлів системи електроприводу

При синусоїдальному опорному напрузі СІФУ перетворювача характеристика вхід-вихід ТП лінійна і коефіцієнт передачі ТП по напрузі розраховується за формулою:

$$k_{ТП} = \frac{E_{d0}}{U_{y \max}} = \frac{778,95}{10} = 77,895 \quad (3.48)$$

де  $U_{y \max} = 10$  В – максимальне керуюча напруга ТП.

Еквівалентний активний опір якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= r_{я.д120} + r_{ур} + r_{а.сп} + 2r_{тр} + 2r_{дин} + r_k = \\ &= 0,107 + 0,014 + 0,014 + 2 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,002 + 0,009 = 149,241 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \end{aligned} \quad (3.49)$$

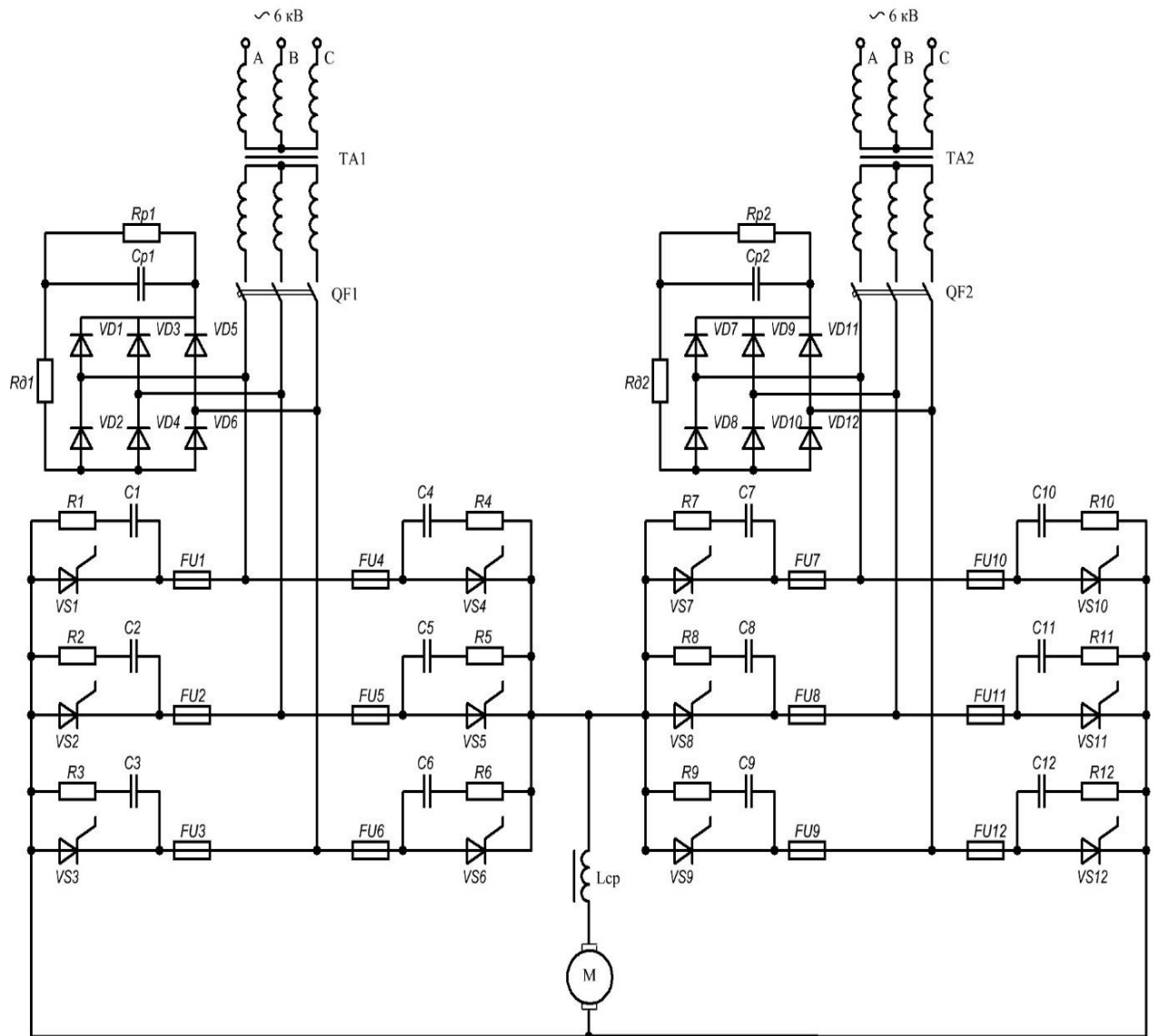


Рисунок 3.1 - Принципова схема силовий частини реверсивного тиристорного перетворювача

$r_{\text{тр}} = 1,24$  мОм - активний опір силового трансформатора;

$r_{\text{дин}} = 1,5$  мОм - динамічний опір тиристора, Ом;

$r_{\text{к}} = 8,804$  мОм - комутаційне опір;

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} L_{\Sigma} &= L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} + L_{\text{н.сп}} = \\ &= 2,24 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 2,935 \cdot 10^{-5} + 6,618 \cdot 10^{-3} = 8,916 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \end{aligned} \quad (3.50)$$

Електромагнітна постійна часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,009}{0,149} = 0,06 \text{ с} \quad (3.51)$$

Сумарний приведений момент інерції електроприводу:

$$J'_{\Sigma} = 2 \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}} = 4,7 + 60 = 69,4 \text{ кгм}^2 \quad (3.52)$$

де  $J_{\text{дв}} = \frac{GD^2}{4} = \frac{73}{4} = 18,25 \text{ кгм}^2$  - момент інерції електродвигуна;

$GD^2 = 73 \text{ кгм}^2$  - махового моменту електродвигуна;

$J_{\text{мех}} = 0,3J_{\text{дв}} = 0,3 \cdot 18,25 = 5,475 \text{ кгм}^2$  - момент інерції механізму.

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я.д120}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{520 - 372 \cdot 107 \cdot 10^{-3}}{81,681} = 5,879 \text{ Вс} \quad (3.53)$$

де  $\omega_{\text{н}} = \frac{\pi n_{\text{н}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 780}{30} = 81,681 \text{ 1/с}$  - номінальна швидкість двигуна.

Електромеханічна постійна часу електроприводу:

$$T_{\text{м}} = \frac{J'_{\Sigma} R_{\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}^2} = \frac{34,7 \cdot 0,149}{5,879^2} = 0,15 \text{ с} \quad (3.54)$$

Постійну часу ТП через наявність в ньому і взагалі в системі малих неврахованих інерційні, приймаємо  $T_{\mu} \approx 5 \text{ мс}$ .

## 4 РОЗРАХУНОК КОНТУРІВ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНИХ УПРАВЛІННЮ

### 4.1 Розрахунок параметрів контуру струму

Структурна схема контуру струму представлена на рисунку 4.1.

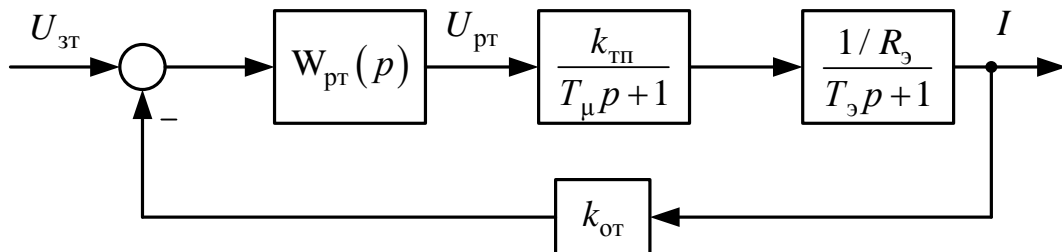


Рисунок 4.1 - Структурна схема контуру струму

В якості малої постійної часу контуру струму приймаємо малу постійну ТП  $T_\mu = 5$  мс. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

Впливом ЕРС двигуна на струм будемо нехтувати, тоді передавальна функція регулятора струму буде мати вигляд:

$$W_{рТ}^M(p) = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{тП} k_{от} 2T_\mu p} = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{тП} k_{от} T_{от} p} = k_{рТП} + \frac{k_{рТИ}}{p} \quad (4.1)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора струму:

$$k_{рТП} = \frac{R_3 T_3}{k_{тП} k_{от} T_{от}} = \frac{0,202 \cdot 0,029}{76,815 \cdot 0,011 \cdot 0,01} = 0,707 \quad (4.2)$$

$$k_{рТИ} = \frac{R_3}{k_{тП} k_{от} T_{от}} = \frac{0,202}{76,815 \cdot 0,011 \cdot 0,01} = 24,49 \quad (4.3)$$

де  $R_3 = 0,202$  Ом - еквівалентний активний опір якірного ланцюга системи ТП-Д;

$T_3 = 0,029$  с - електромагнітна постійна часу системи ТП-Д;

$k_{тП} = 76,815$  - коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$k_{от} = \frac{U_{зт, \max}}{I_{\max}} = \frac{10}{930} = 0,011$  В/А - коефіцієнт передачі ланки зворотного

зв'язку по струму;

$U_{зт.мах} = 10 \text{ В}$  - максимальний сигнал завдання на струм;

$I_{мах} = 2,5I_{н} = 2,5 \cdot 372 = 930 \text{ А}$  - максимально допустимий струм якоря

двигуна (струм упору);

$T_{от} = 2T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ с}$  - постійна часу інтегрування контуру струму

при налаштуванні на модульний оптимум.

Реалізація передавальної функції регулятора струму на операційному підсилювачі наведена на малюнку 4.2.

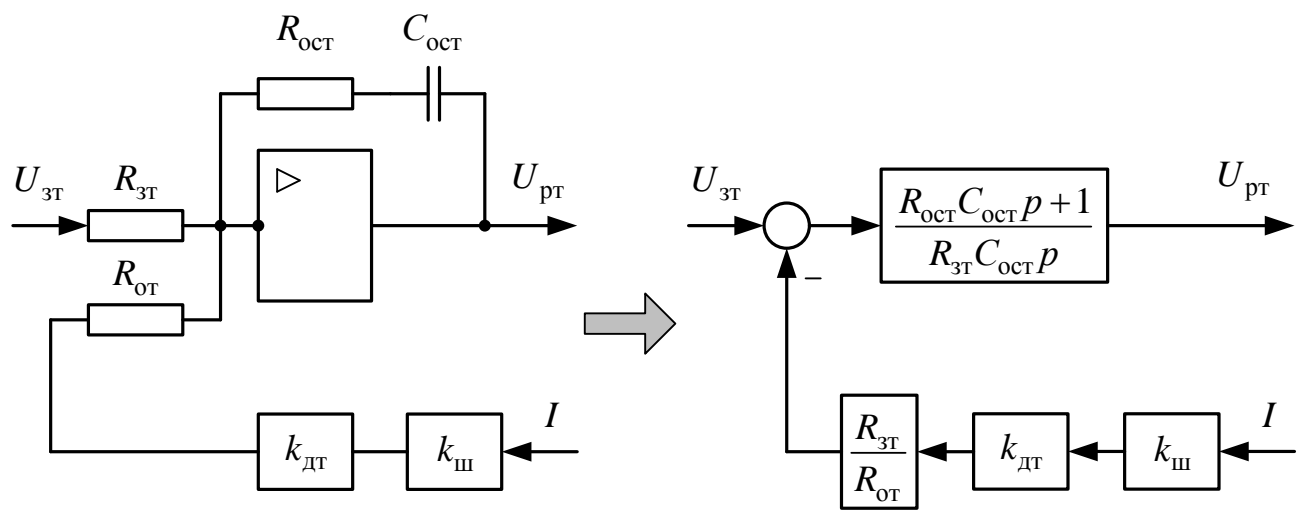


Рисунок 4.2 - Функціональна електрична і структурна схема  
ПІ-регулятора струму

На рис. 4.2 прийняті наступні позначення:  $k_{дт}$  - коефіцієнт передачі датчика струму;  $k_{шт}$  - коефіцієнт передачі вимірювального шунта. В якості шунта використовуємо шунт 75ШСМ-1, який має такі параметри: номінальна вихідна напруга на шунт  $U_{нш} = 75 \text{ мВ}$ ; номінальний струм шунта  $I_{нш} = 500 \text{ А}$ . Отже коефіцієнт передачі шунта:

$$k_{шт} = \frac{U_{нш}}{I_{нш}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{500} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ В/А} \quad (4.4)$$

В якості датчика струму вибираємо датчик типу ДТ-2АИ уніфікованої блокової системи регуляторів на інтегральних елементах (УБСР-АИ). Цей

датчик призначений для формування і введення в систему регулювання аналогового сигналу, пропорційного струму в ланцюзі якоря. Датчик підключається до шунт в ланцюзі якоря двигуна і забезпечує гальванічну розв'язку між вхідними та вихідними ланцюгами з різницею потенціалів між ними до 1000 В. Технічні дані датчика ДТ-2АИ, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Технічні дані датчика струму типу ДТ-2АИ

Найменування параметру	Позначення і чисельне значення
Напруга живлення, В	$U_{\text{пит.дт}} = \pm 15$
Вхідна напруга, В	$U_{\text{вх.дт}} = 0 \pm 0,075$
Вихідна напруга, В	$U_{\text{вих.дт}} = 0 \pm 24$
Регульований коефіцієнт передачі	$k_{\text{дт}} = 130 \dots 320$
Похибка, %	$\leq 1$

Порівнюючи структурну розрахункову схему (рис. 4.1) і схему реалізації (рис. 4.2) можна записати співвідношення для розрахунку резисторів і конденсаторів регулятора струму:

$$\begin{cases} T_{\text{э}} = R_{\text{ост}} C_{\text{ост}} \\ \frac{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}}{R_{\text{э}}} = R_{\text{зт}} C_{\text{ост}} \\ k_{\text{от}} = \frac{R_{\text{зт}}}{R_{\text{от}}} k_{\text{дт}} k_{\text{ш}} \end{cases} \quad (4.5)$$

Приймаємо величину ємності  $C_{\text{ост}}$  рівній 1 мкФ, а коефіцієнт датчика струму  $k_{\text{дт}} = 130$ , тоді зі співвідношення (4.5):

$$R_{\text{ост}} = \frac{T_{\text{э}}}{C_{\text{ост}}} = \frac{0,029}{1 \cdot 10^{-6}} = 28,8 \text{ кОм} \quad (4.6)$$

$$R_{\text{зт}} = \frac{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}}{R_{\text{э}} C_{\text{ост}}} = \frac{76,815 \cdot 0,011 \cdot 0,01}{0,202 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 40,8 \text{ кОм} \quad (4.7)$$



$$R_{от} = \frac{R_{зт} k_{дт} k_{ш}}{k_{от}} = \frac{40,8 \cdot 10^3 \cdot 130 \cdot 75 \cdot 10^{-6}}{0,011} = 74,05 \text{ кОм} \quad (4.8)$$

Вибираємо резистор  $R_{от}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 30,0 кОм  $\pm 5\%$ .

Вибираємо резистор  $R_{зт}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 50,0 кОм  $\pm 5\%$ .

Вибираємо резистор  $R_{от}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 80,0 кОм  $\pm 5\%$ .

Вибираємо конденсатор  $C_{от}$  типу МБГ0 – 1,0 мкФ  $\pm 10\%$ .

#### 4.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Структурна схема контуру швидкості зі згорнутим контуром струму (оскільки  $T_{\mu}$  - мала постійного часу, то твором  $T_{от}T_{\mu}$  можна знехтувати) приведена на малюнку 4.3.

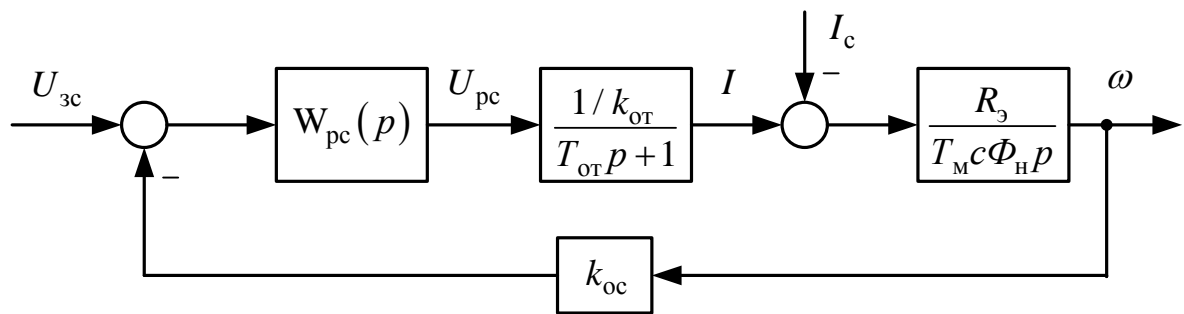


Рисунок 4.3 - Структурна схема контуру швидкості

Оскільки вимоги до статички - забезпечення статичної помилки регулювання в межах 5%, контур швидкості виконуємо дворазово-інтегруючим (з ПІ-регулятором), тобто здійснюємо настройку на симетричний оптимум. В цьому випадку передавальна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{рс}^c(p) = \frac{T_м*c*Ф_н*k_{от}}{R_э*k_{ос}*2T_{от}} \frac{4T_{от}p + 1}{4T_{от}p} = \frac{T_м*c*Ф_н*k_{от}}{R_э*k_{ос}*T_{ос}} \frac{2T_{ос}p + 1}{2T_{ос}p} = k_{рсП} + \frac{k_{рсИ}}{p} \quad (4.9)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора швидкості:

$$k_{pc\Pi} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_3 k_{oc} T_{oc}} = \frac{0,203 \cdot 5,879 \cdot 0,011}{0,202 \cdot 0,122 \cdot 0,02} = 25,921 \quad (4.10)$$

$$k_{pcИ} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_3 k_{oc} 2T_{oc}^2} = \frac{0,203 \cdot 5,879 \cdot 0,011}{0,202 \cdot 0,122 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 648,014 \quad (4.11)$$

де  $T_M = 0,203$  с - електромеханічна стала часу системи ТП-Д;

$c\Phi_H = 5,879$  Вс - постійна двигуна;

$$k_{oc} = \frac{U_{zc,max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{81,681} = 0,122 \text{ Вс} - \text{коefficient передачі ланки зворотного}$$

зв'язку по швидкості;

$U_{zc,max} = 10$  В - максимальний сигнал завдання на швидкість;

$\omega_{max} = \omega_H = 81,681$  1/с - максимальна швидкість електродвигуна;

$T_{oc} = 2T_{от} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$  с - постійна часу інтегрування контуру

швидкості при налаштуванні на симетричний оптимум.

Для зниження перерегулювання по швидкості під час налаштування контуру на симетричний оптимум на його вході, встановлюємо фільтр з функцією передачі:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p + 1} \quad (4.12)$$

де  $T_{\phi} = 8T_{\mu} = 2T_{oc} = 2 \cdot 0,02 = 0,04$  с – постійна часу фільтра.

Реалізація передавальної функції регулятора швидкості наведена на малюнку 4.4.

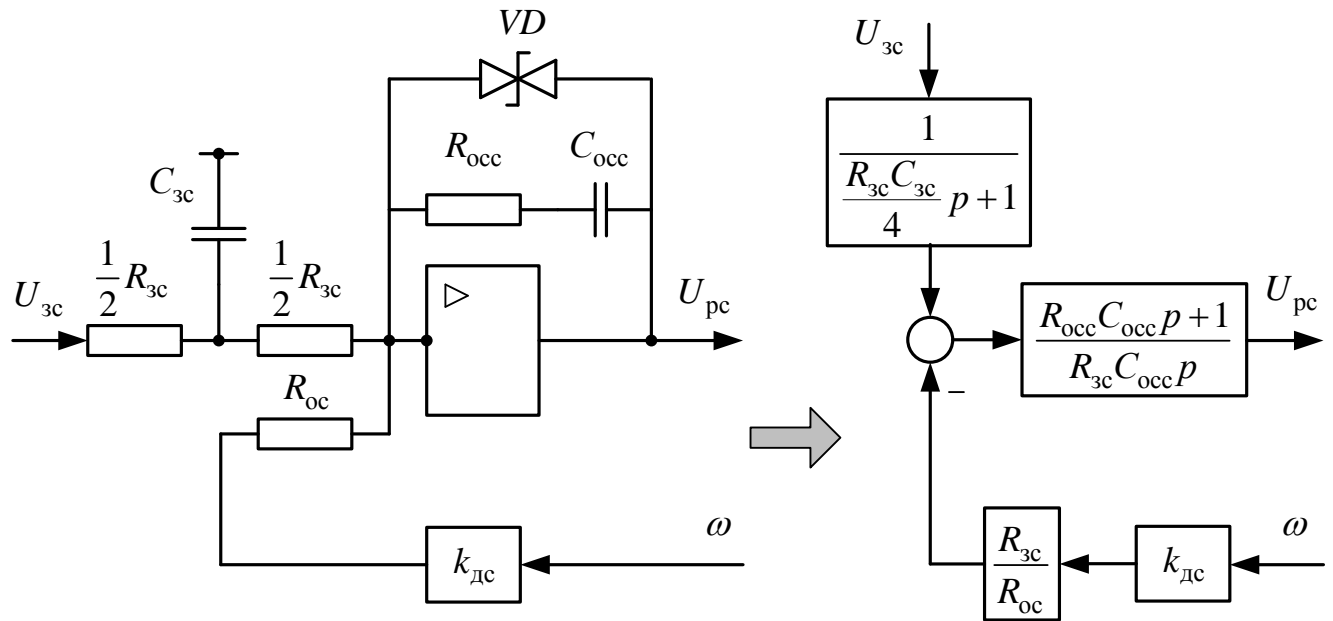


Рисунок 4.4 - Функціональна електрична і структурна схема  
ПІ-регулятора швидкості

В якості датчик швидкості використовуємо тахогенератор постійного струму з постійними магнітами ТД-103ПМ, технічні дані якого наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Технічні дані тахогенератора ТД-103ПМ

Найменування параметру	Позначення і чисельне значення
Максимальна швидкість, об / хв	$n_{\text{max.тг}} = 1500$
Номинальна напруга, В	$U_{\text{н.тг}} = 220$
Крутизна характеристики тахогенератора, В / (об / хв)	$c_u = 0,1$

Коефіцієнт передачі датчика швидкості:

$$k_{\text{дс}} = \frac{c_u}{\pi / 30} = \frac{0,1}{3,14 / 30} = 0,955 \text{ Вс} \quad (4.13)$$

Порівнюючи структурну розрахункову схему (рис. 4.3) і схему реалізації (рис.4.4), отримуємо систему рівнянь для розрахунку резисторів і конденсаторів регулятора швидкості:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2T_{oc} = R_{occ} C_{occ} \\ \frac{2T_{oc}}{k_{pc\Pi}} = R_{zc} C_{occ} \\ T_{\phi} = \frac{R_{zc} C_{zc}}{4} \\ k_{oc} = \frac{R_{zc}}{R_{oc}} k_{dc} \end{array} \right. \quad (4.14)$$

Визначимо параметри елементів регулятора швидкості, приймаємо величину ємності  $C_{occ}$  рівній 0,1 мкФ, тоді:

$$R_{occ} = \frac{2T_{oc}}{C_{occ}} = \frac{2 \cdot 0,02}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 400 \text{ кОм} \quad (4.15)$$

$$R_{zc} = \frac{2T_{oc}}{k_{pc\Pi} C_{occ}} = \frac{2 \cdot 0,02}{25,921 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 15,4 \text{ кОм} \quad (4.16)$$

$$C_{zc} = \frac{4T_{\phi}}{R_{zc}} = \frac{4 \cdot 0,04}{15,432 \cdot 10^3} = 10,36 \text{ мкФ} \quad (4.17)$$

$$R_{oc} = \frac{R_{zc} k_{dc}}{k_{oc}} = \frac{15,432 \cdot 10^3 \cdot 0,955}{0,122} = 120,3 \text{ кОм} \quad (4.18)$$

Вибираємо резистор  $R_{occ}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 410,0 кОм  $\pm 5\%$ .

Вибираємо резистор  $R_{zc}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 20,0 кОм  $\pm 5\%$ .

Вибираємо резистор  $R_{oc}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 130,0 кОм  $\pm 5\%$ .

Вибираємо конденсатор  $C_{occ}$  типу МБМ – 0,1 мкФ  $\pm 5\%$ .

Вибираємо конденсатор  $C_{zc}$  типу МБГ0 – 10 мкФ  $\pm 10\%$ .

Вибираємо стабілітрон VD типу КС 210Б, напруга стабілізації 10 В.

### 4.3 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону і гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки струмообмеження ( $I_{\max} = 2,5I_{\text{н}}$ ) необхідно на вході регулятора швидкості встановити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІС). Він перетворює ступінчастий сигнал завдання швидкості в лінійно змінюється сигнал в часі. Стале значення напруги виходу ЗІС, яке подається на вхід регулятора швидкості, так само вхідного сигналу. Структурна схема задатчика інтенсивності приведена на малюнку 4.5.

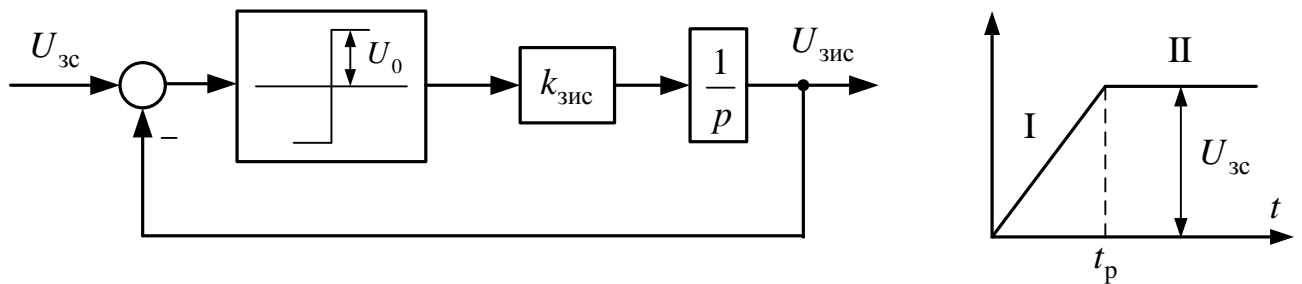


Рисунок 4.5 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідна напруги задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_p = \frac{R_{\text{э}}}{T_{\text{м}} c \Phi_{\text{н}}} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_p \quad (3.19)$$

II ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{II}} = U_{\text{зс}} \quad (3.20)$$

де  $I_{\text{дин}} = 1,5I_{\text{н}} = 1,5 \cdot 372 = 558$  А - заданий динамічний струм;

$\omega_{\text{з.уст}} = \omega_{\text{н}} = 81,681$  1/с - стала швидкість, відповідна  $U_{\text{зс}}$ ;

$U_{\text{зс}} = 10$  В - напруга на вході ЗІС (задає напругу);

$U_0 = 10$  В - полку релейного елемента.

Зі співвідношення (4.19) визначимо час розгону двигуна до сталої швидкості:

$$t_p = \frac{T_M c \Phi_H}{R_3} \cdot \frac{\omega_{3,уст}}{I_{дин}} = \frac{0,203 \cdot 5,873}{0,202} \cdot \frac{81,681}{558} = 0,86 \text{ с} \quad (4.21)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зис} = \frac{U_{зс}}{t_p} = \frac{10}{0,86} = 11,627 \text{ В/с} \quad (4.22)$$

Функціональна схема задатчика інтенсивності приведена на малюнку 3.6.

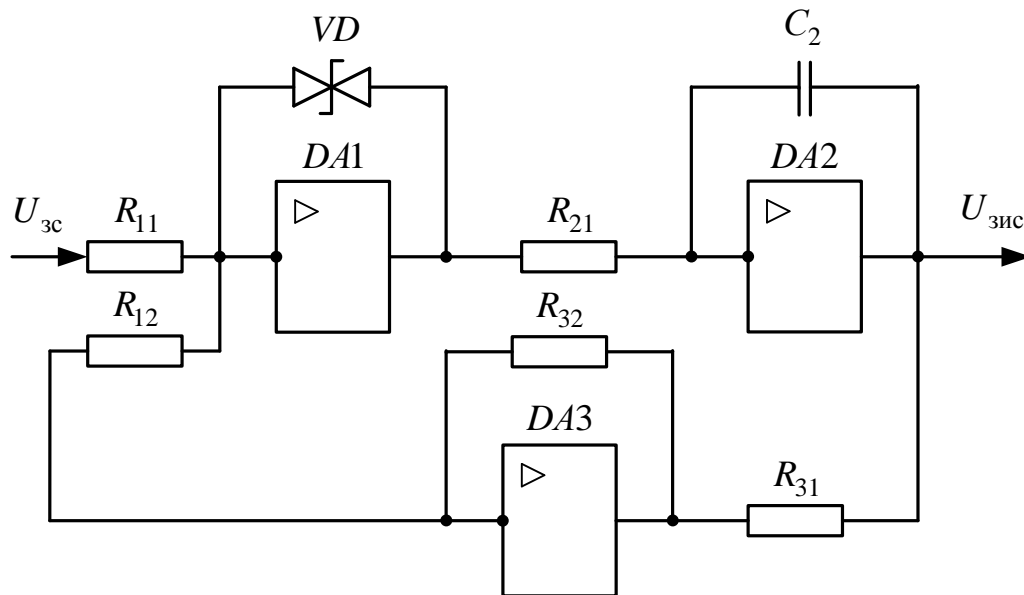


Рисунок 4.6 - Функціональна схема задатчика інтенсивності швидкості

Зіставляючи структурну і функціональну схеми, отримуємо наступне співвідношення:

$$k_{зис} = \frac{1}{R_{21} C_2} \quad (3.23)$$

Приймаємо величину ємності  $C_2$  рівній 2 мкФ;  $R_{11} = R_{12} = 30$  кОм;  $R_{31} = R_{32} = 20$  кОм, тоді:

$$R_{21} = \frac{1}{k_{зис} C_2} = \frac{1}{11,627 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 43 \text{ кОм} \quad (3.24)$$

Вибираємо резистор  $R_{11} = R_{12}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 40,0 кОм  $\pm$  5%.

Вибираємо резистор  $R_{31} = R_{32}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 30,0 кОм  $\pm$  5%.

Вибираємо резистор  $R_{21}$  типу С2-14 – 0,25 Вт – 50,0 кОм  $\pm$  5%.

Вибираємо конденсатор  $C_2$  типу К65-10 – 2,0 мкФ  $\pm$  10%.

Вибираємо стабілітрон VD типу КС 210Б, напруга стабілізації 10 В.

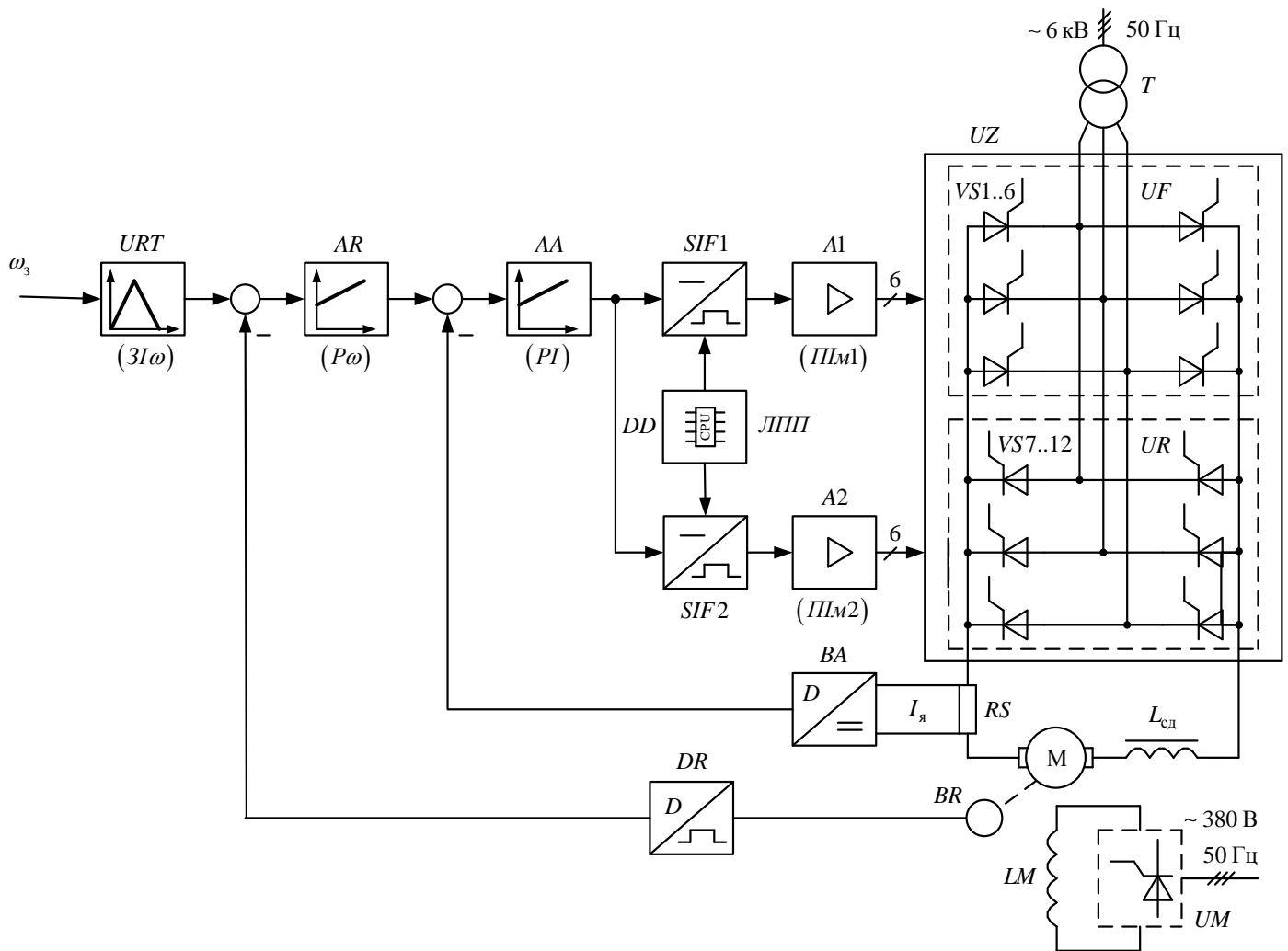


Рисунок 3.9 – Функціональна схема позиційної системи підлеглого управління



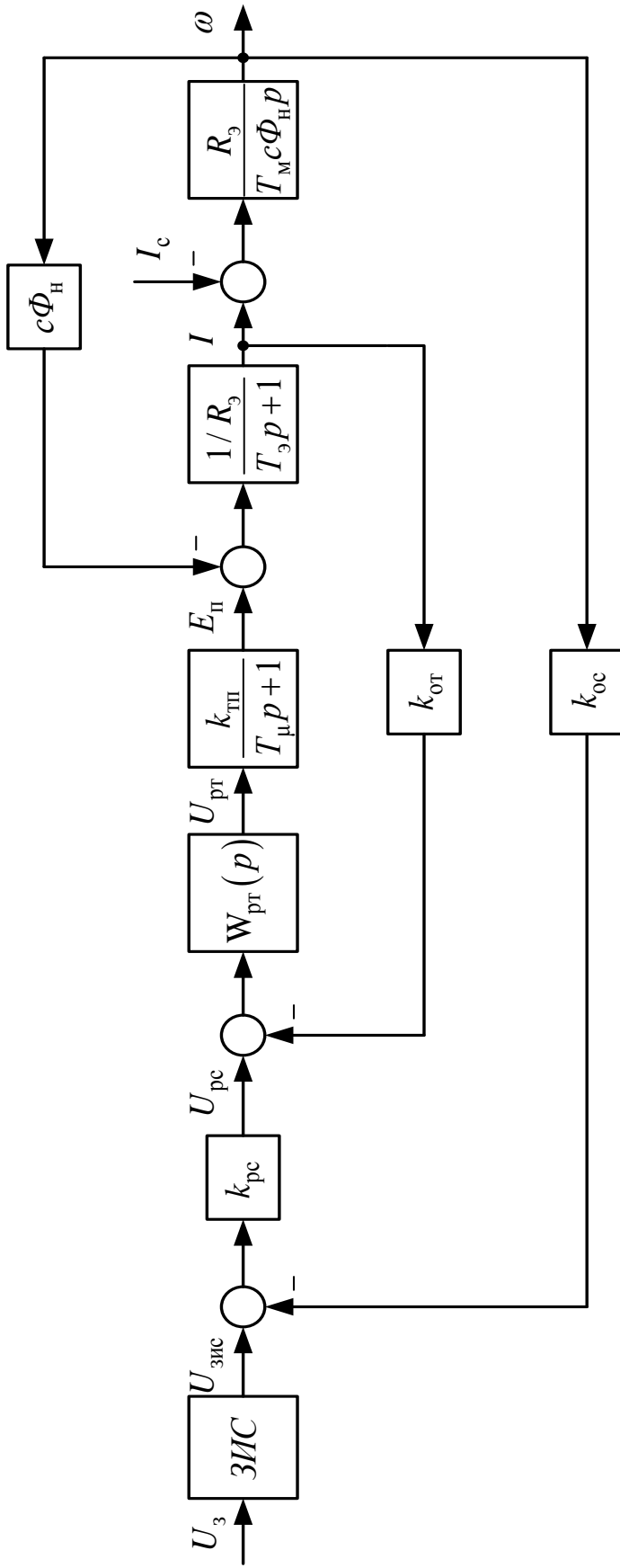


Рисунок 3.10 – Структурна схема позиційної системи підлеглого управління з ПІ - регулятором швидкості

## 5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НОЖИЦЬ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

Цифрове моделювання розрахованої системи здійснюється в середовищі моделювання динамічних систем Matlab / Simulink. Створена Simulink-модель швидкісної системи підлеглого керування електроприводом паралельних ножиць, що має в своєму складі ПІ-регулятор струму, П-регулятор швидкості і задатчик інтенсивності швидкості наведена на рис. 5.1. Внутрішні структури під-систем (Subsystem) типових вузлів схеми наведені на рис. 5.2 - 5.4.

При реалізації регуляторів струму і швидкості в цифровій моделі враховувалося їх насичення. Наприклад, при побудові моделі ПІ-регулятора недостатньо обмежити тільки його вихідна напруга за допомогою блоку Saturation, оскільки внутрішня інтегральна складова блоку при цьому може накопичувати в перехідному процесі значення, що перевершують передбачуваний поріг насичення. З цієї причини використання стандартного блоку PID-Controller, представленого в бібліотеці Simulink Extras / Additional Liner неприпустимо. Моделі регуляторів коректно враховують поріг насичення регулятора  $U_{y,max} = 10$  В (див. Рисю. 5.3).

Графіки перехідних процесів (швидкість обертання двигуна; струм якірного ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задатчика інтенсивності швидкості) отримані за номінальних параметрах об'єкта управління, так і при їх варіації наведено на Рис. 5.5 - 5.7.

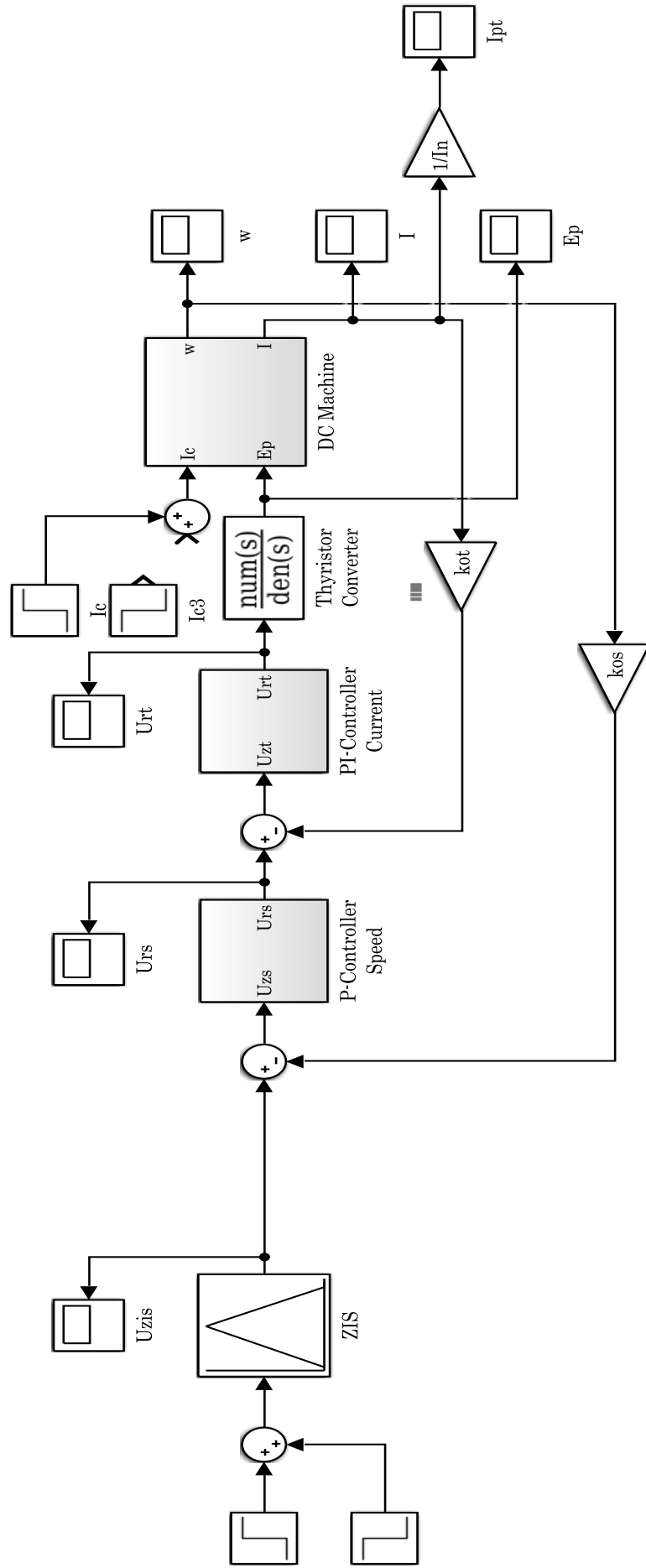


Рисунок 5.1 - Simulink-модель швидкісної системи підлеглого управління

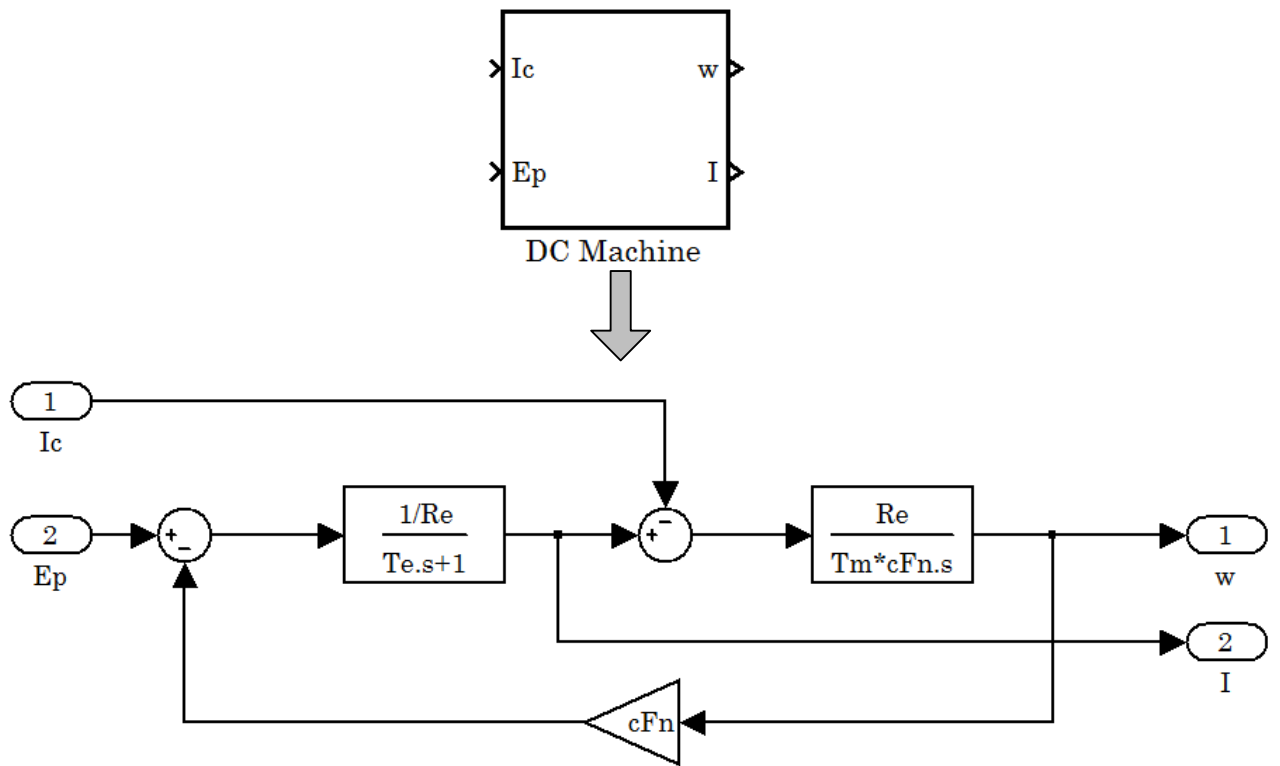
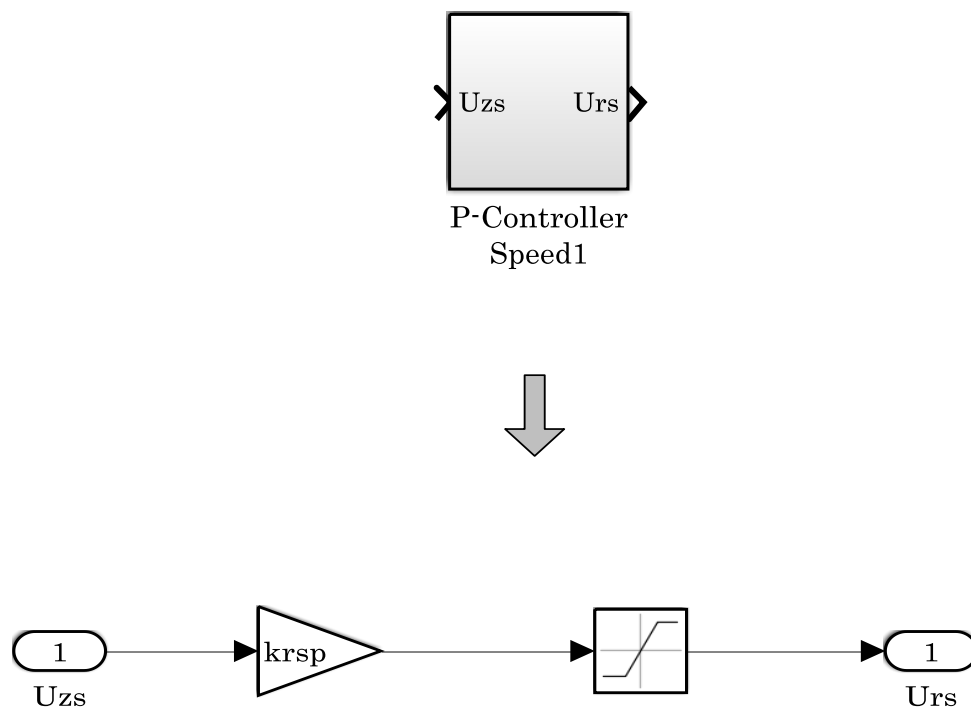


Рисунок 5.2 - Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)



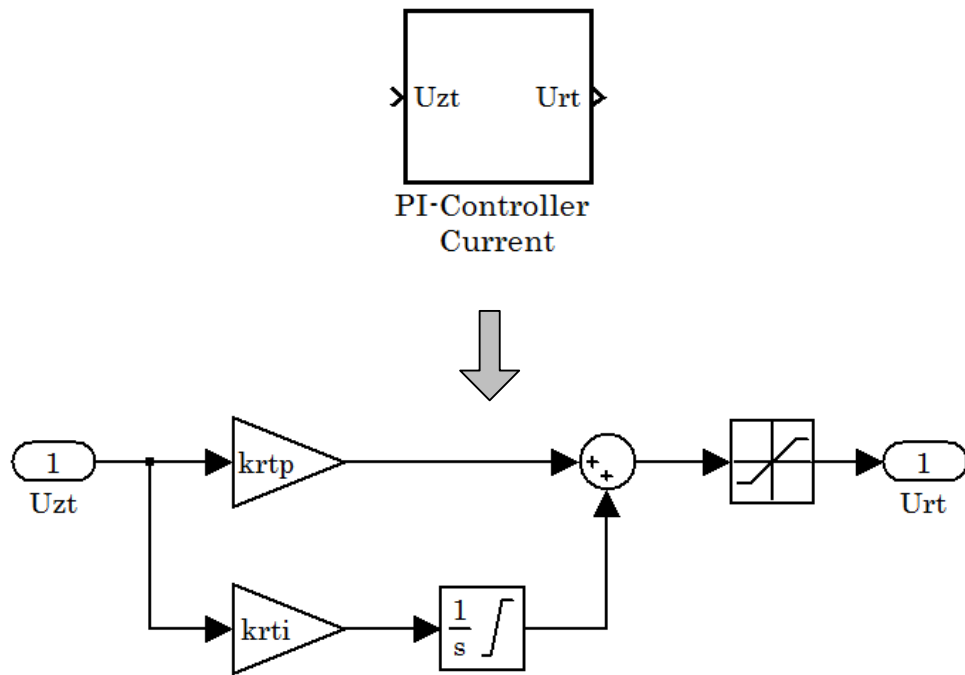


Рисунок 5.3 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) і швидкості (P-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

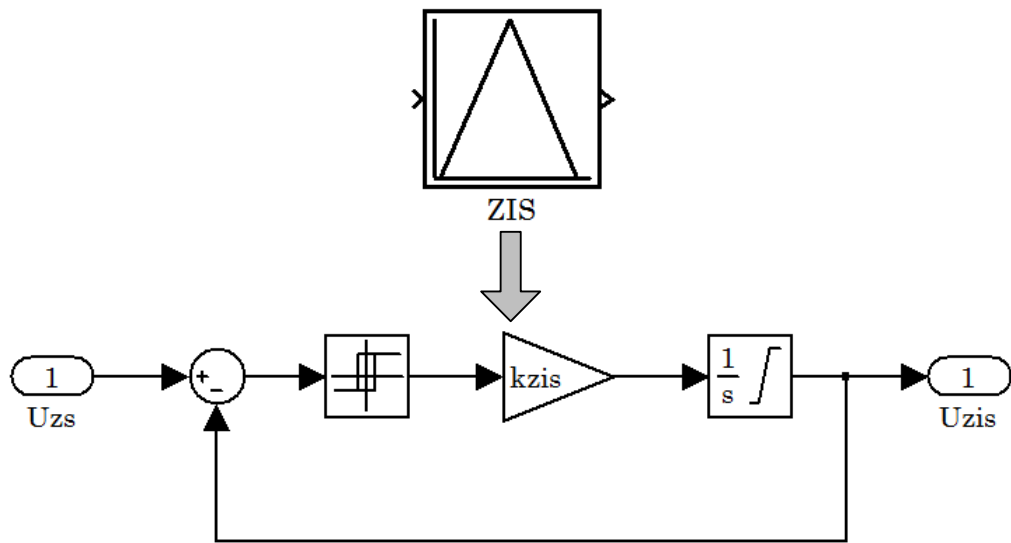


Рисунок 5.4 - Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS), що реалізує раціональну динаміку

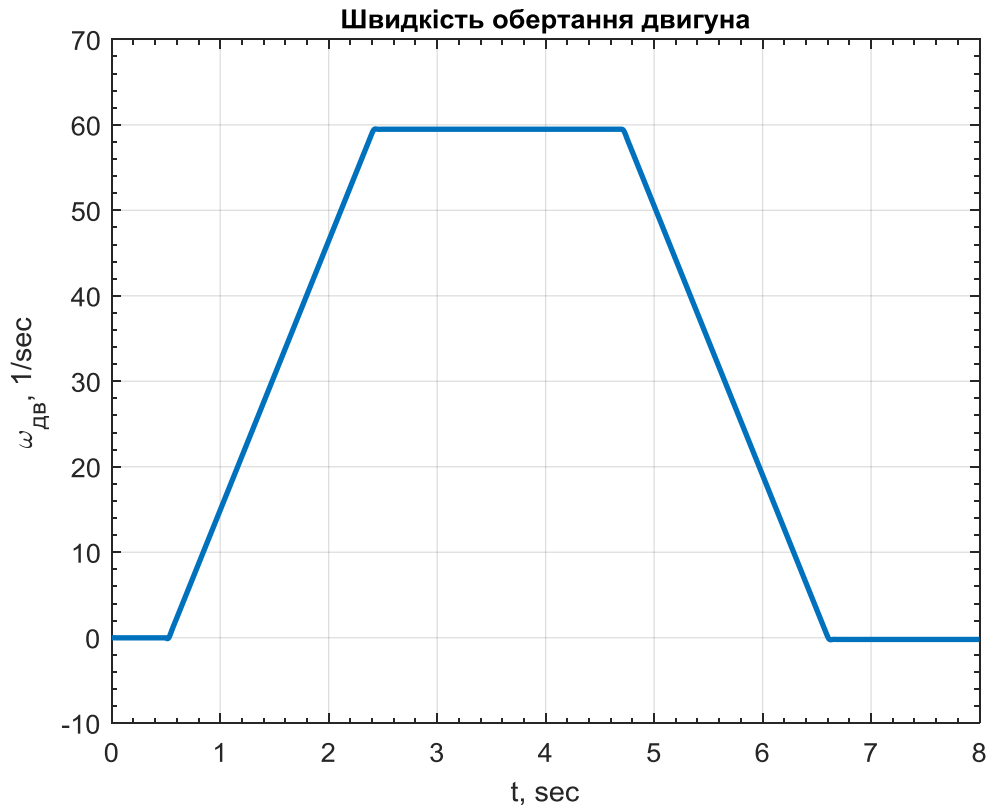


Рисунок 5.5 - Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при номінальних параметрах



Рисунок 5.6 - Графік перехідного процесу напруги задатчика інтенсивності швидкості при номінальних параметрах

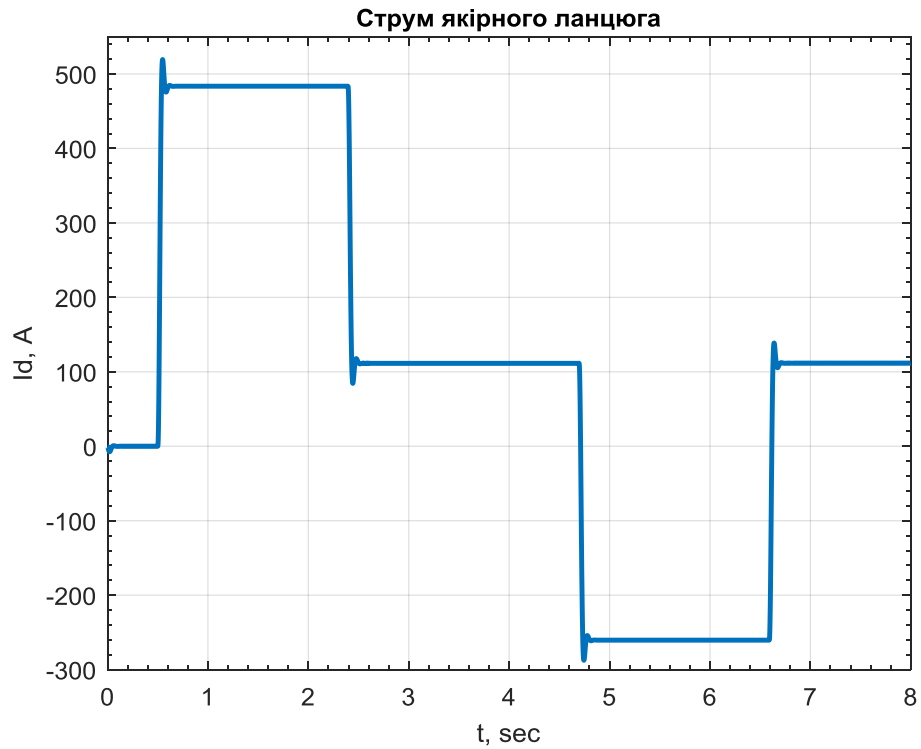


Рисунок 5.7 - Графік перехідного процесу струму якоря при номінальних параметрах

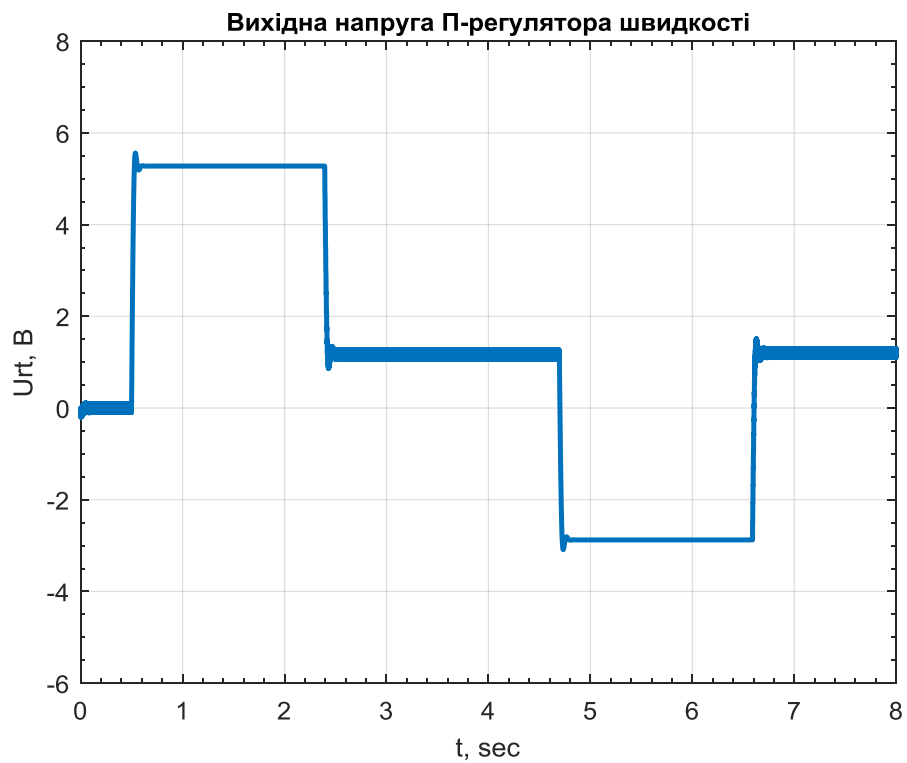


Рисунок 5.8 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора швидкості при номінальних параметрах

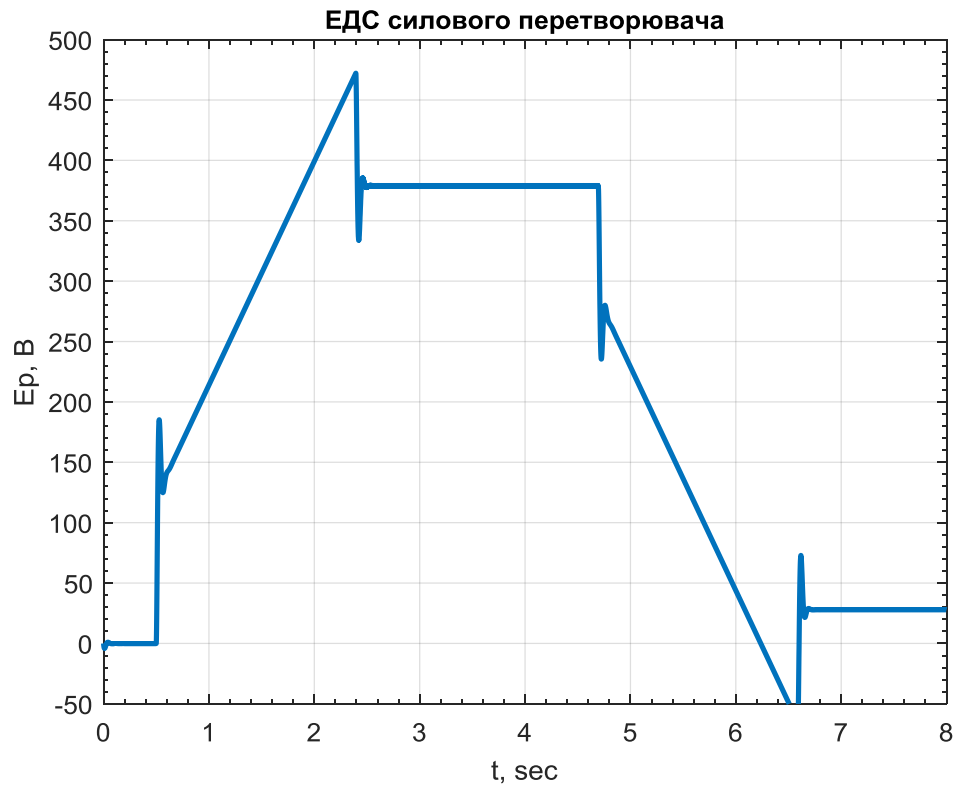


Рисунок 5.9 - Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача при номінальних параметрах

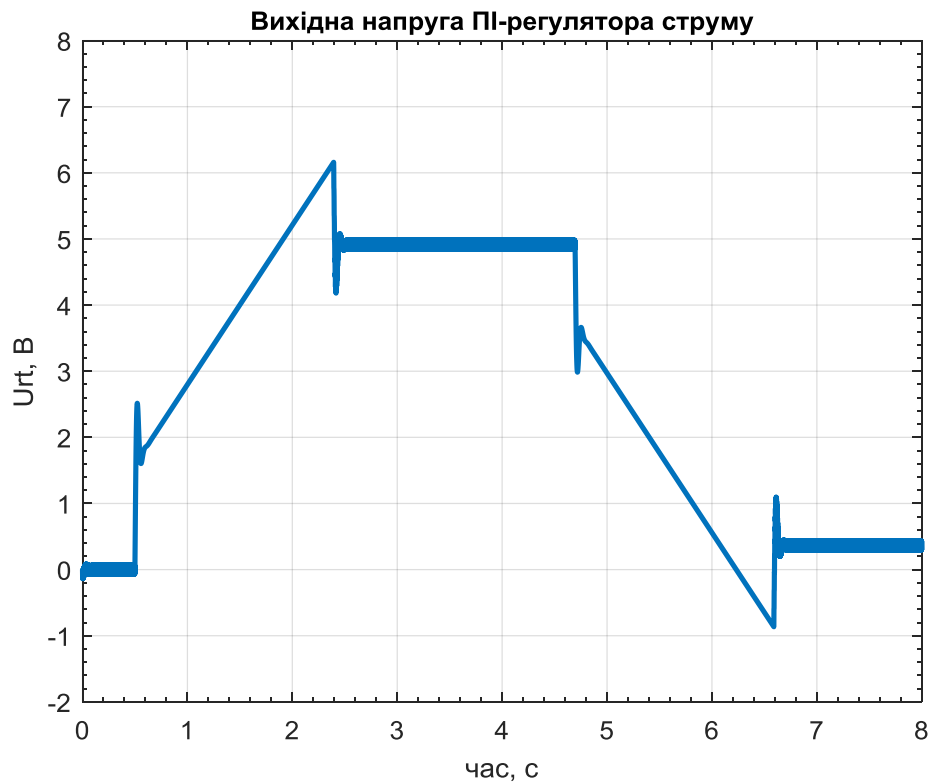


Рисунок 5.9 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму при номінальних параметрах



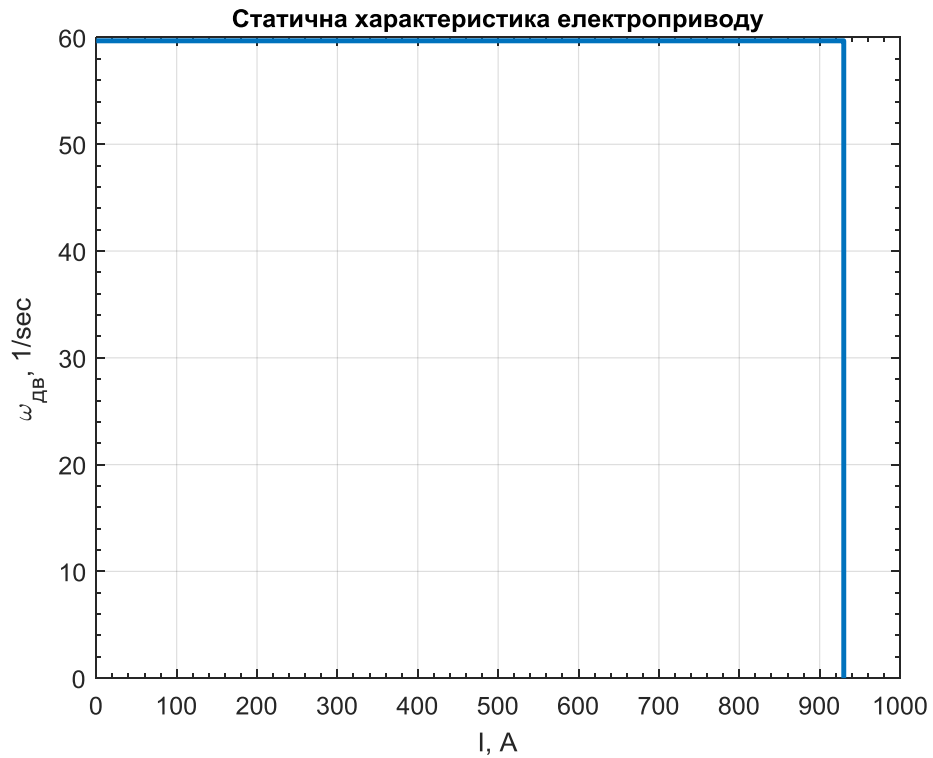


Рисунок 5.10 – Статичної характеристики електроприводу при номінальних параметрах

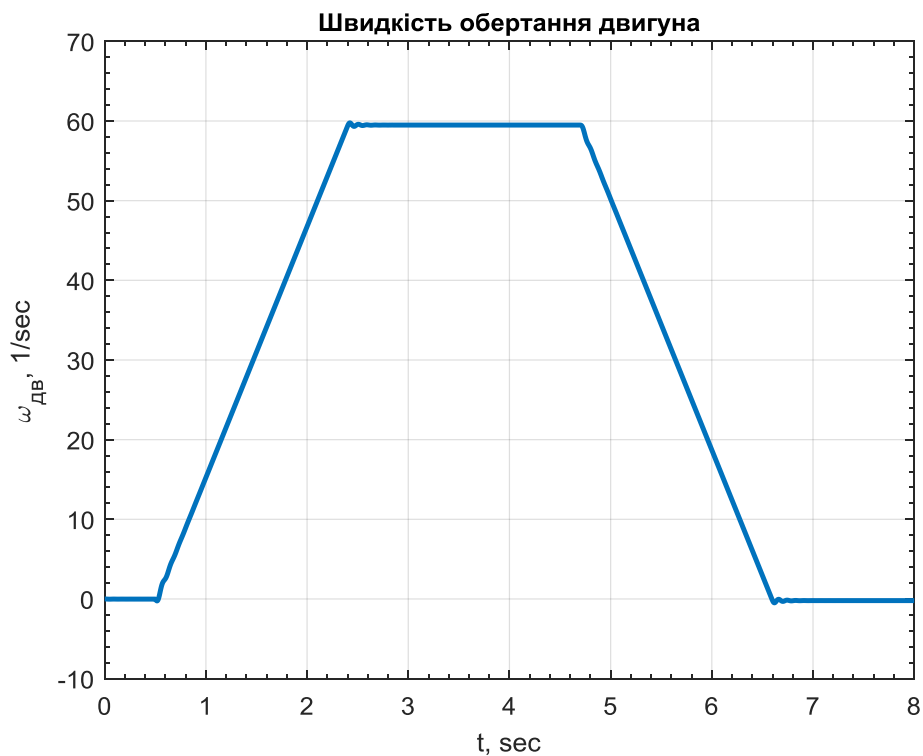


Рисунок 5.11 - Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при збільшенні еквівалентного опору  $R_e$  у 2 рази

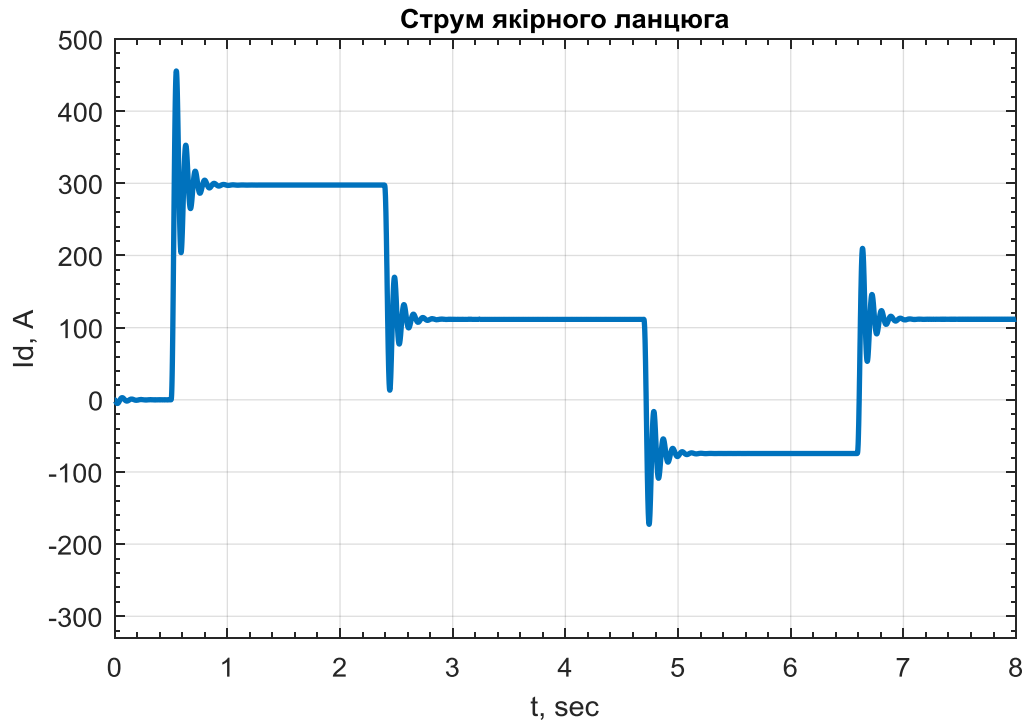


Рисунок 5.12 - Графіки перехідного процесу якірного струму при збільшенні еквівалентного опору  $R_e$  у 2 рази

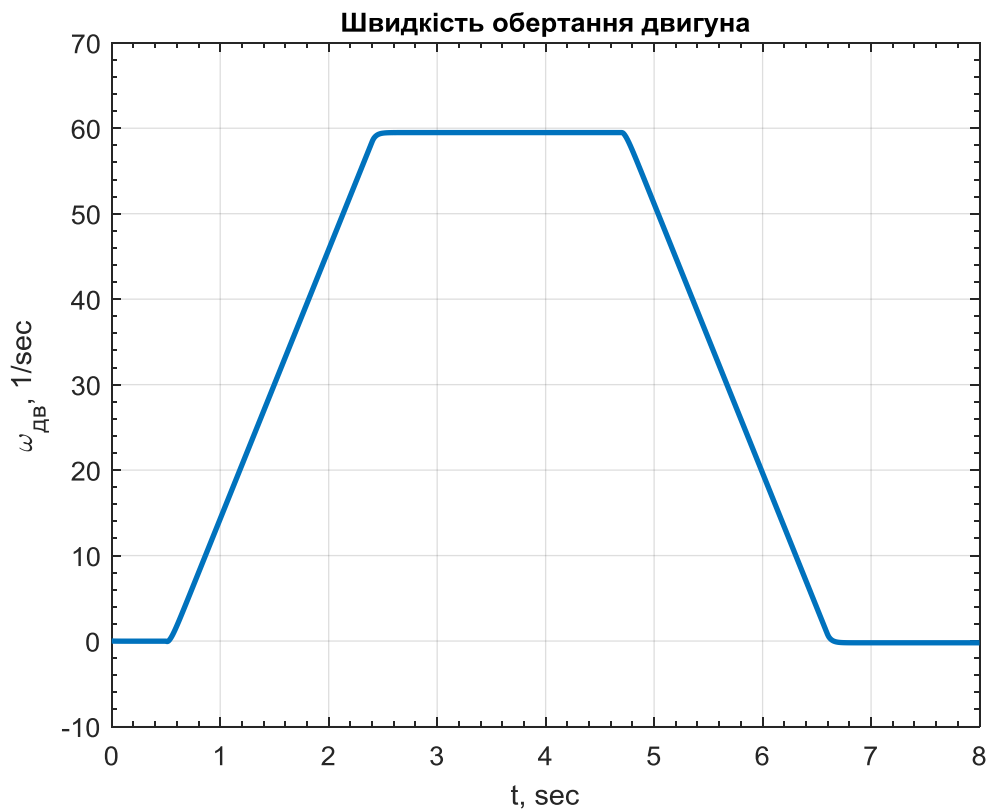


Рисунок 5.13 - Рисунок 5.11 - Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зменшенні еквівалентного опору  $R_e$  у 2 рази

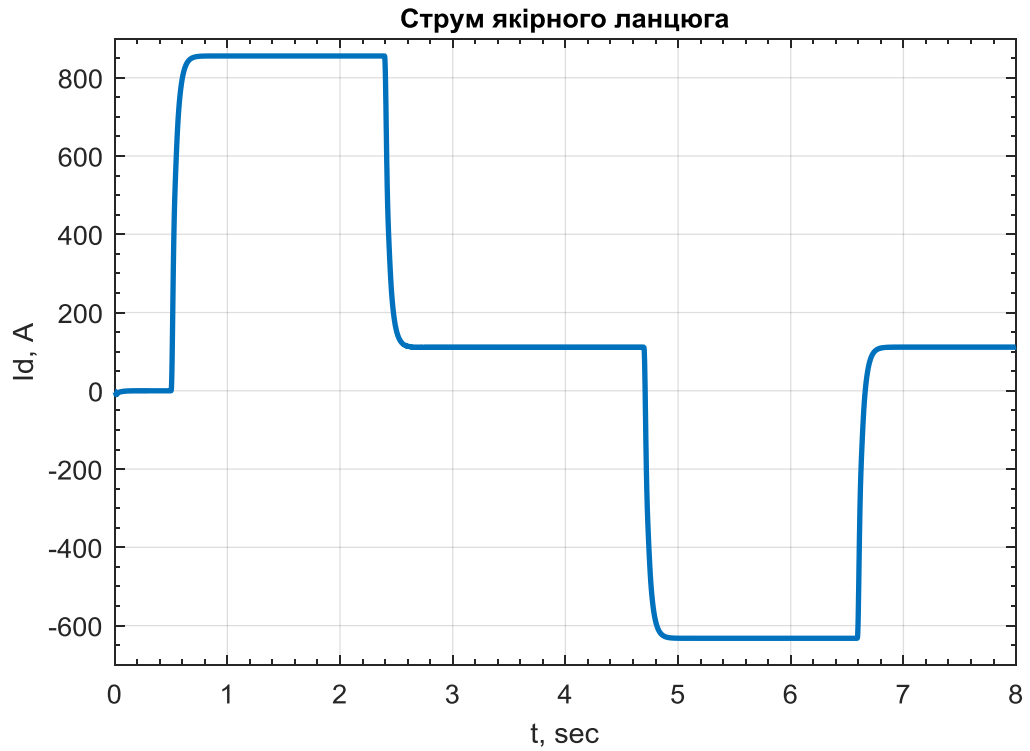


Рисунок 5.14 - Графіки переходного процесу якорного струму при збільшенні еквівалентного опору  $R_e$  у 2 рази

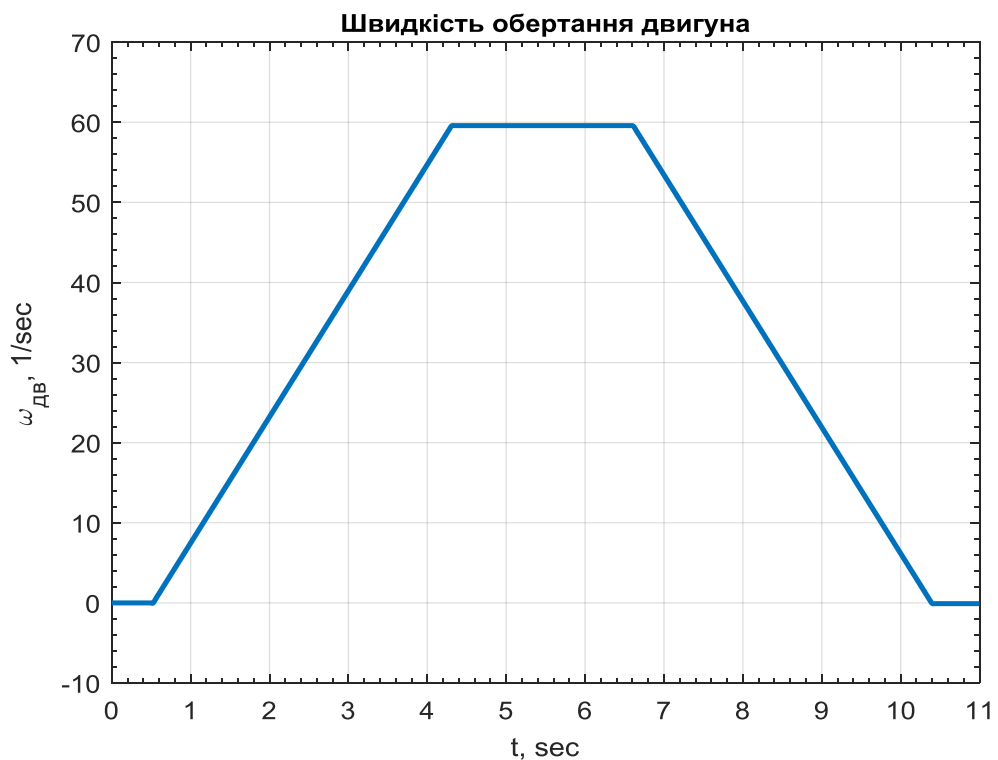


Рисунок 5.15 - Графіки переходного процесу швидкості обертання двигуна при збільшенні сумарного моменту інерції  $J_{сум}$  у 2 рази

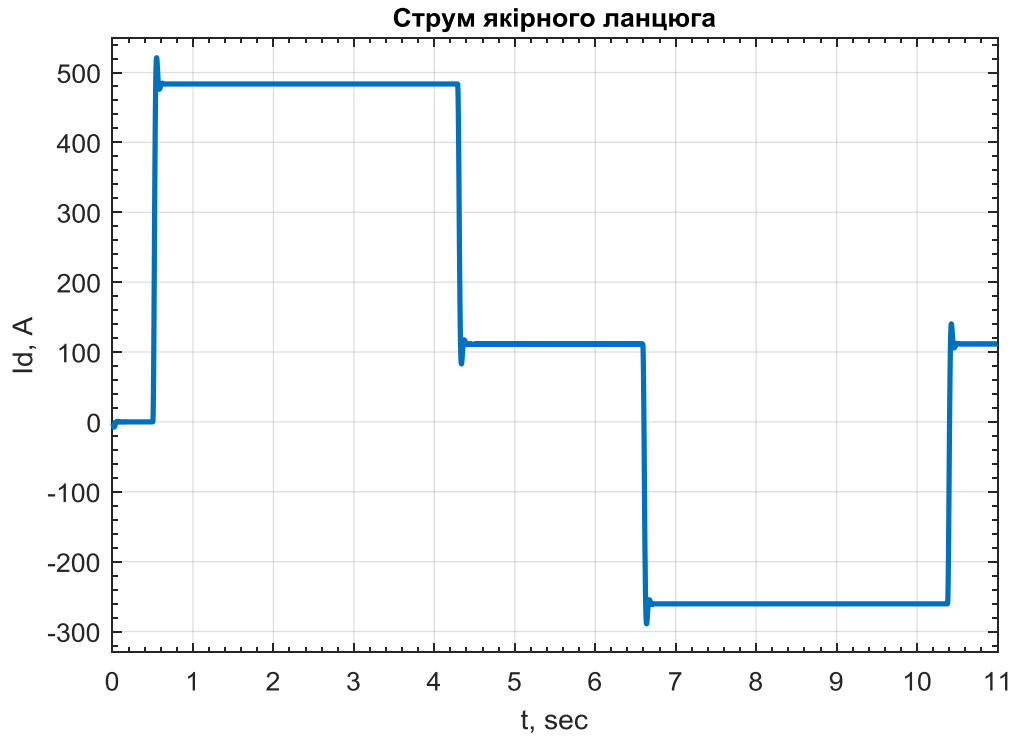


Рисунок 5.16 - Графіки переходного процесу якорного струму при збільшенні сумарного моменту інерції  $J_{\text{сум}}$  у 2 рази

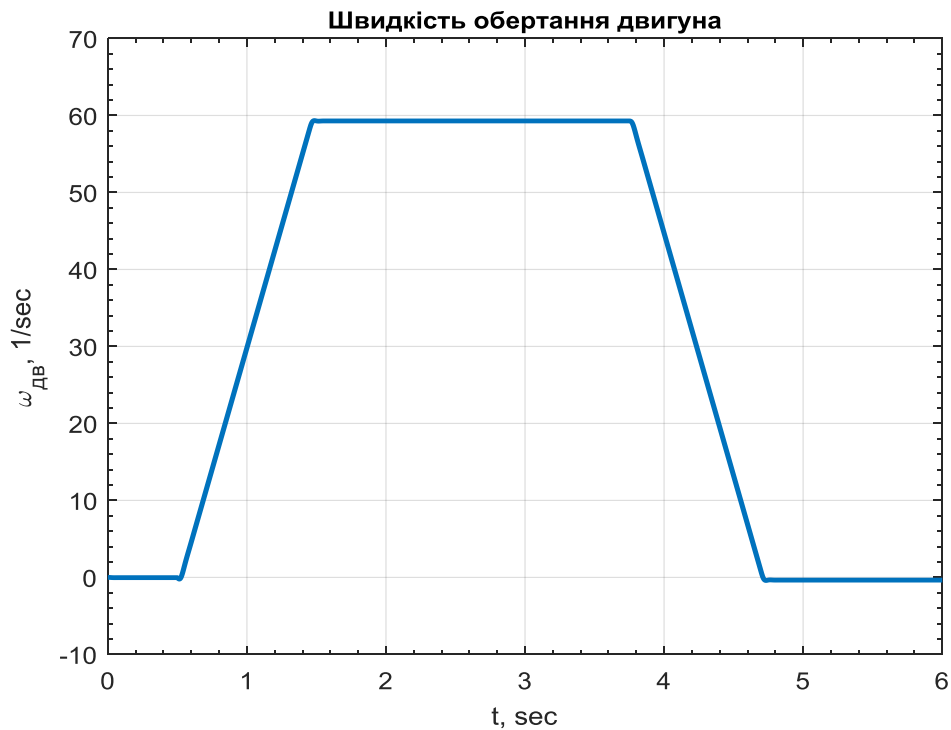


Рисунок 5.17 - Графіки переходного процесу швидкості обертання двигуна при зменшенні сумарного моменту інерції  $J_{\text{сум}}$  у 2 рази

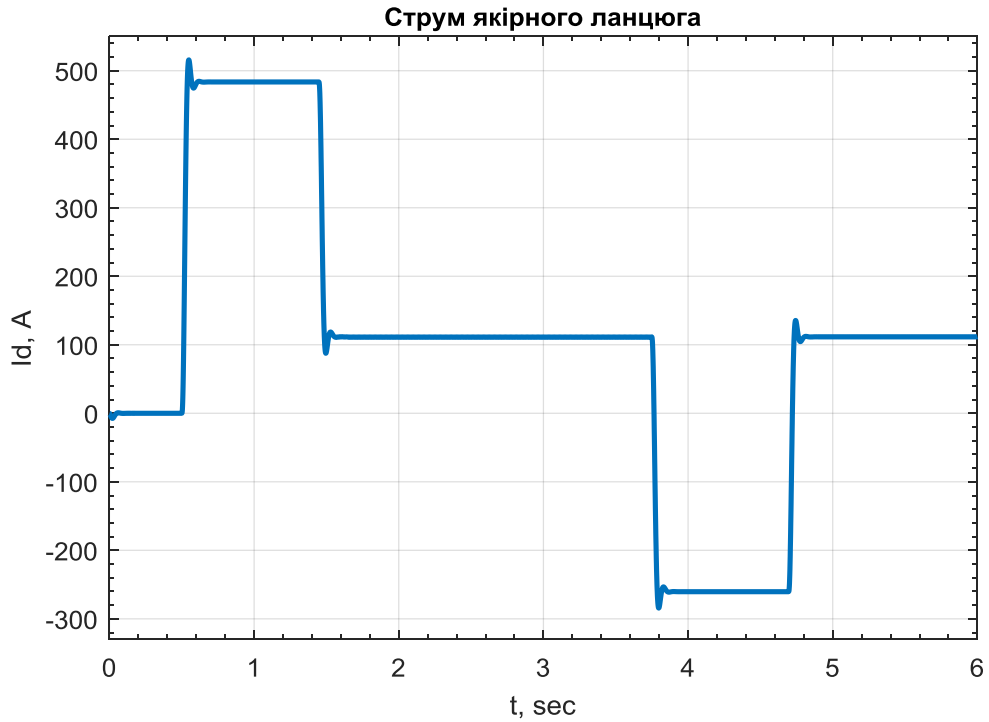


Рисунок 5.18 - Графіки перехідного процесу якорного струму при зменшенні сумарного моменту інерції  $J_{\text{сум}}$  у 2 рази

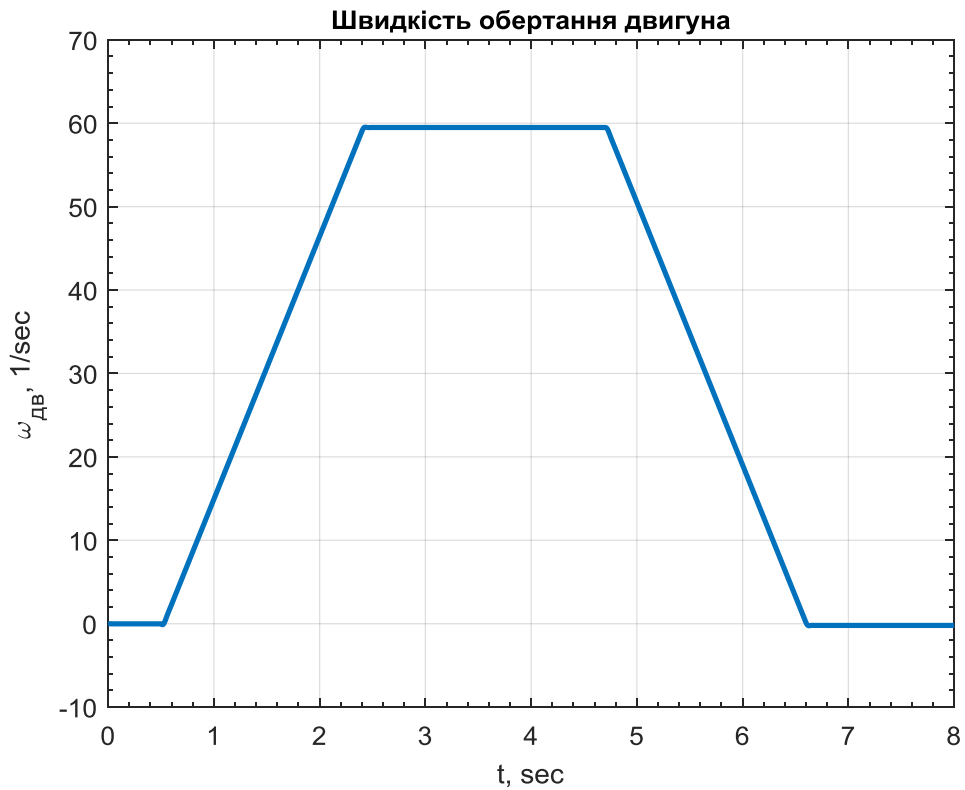


Рисунок 5.19 - Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при збільшенні еквівалентної індуктивності  $L_e$  у 2 рази

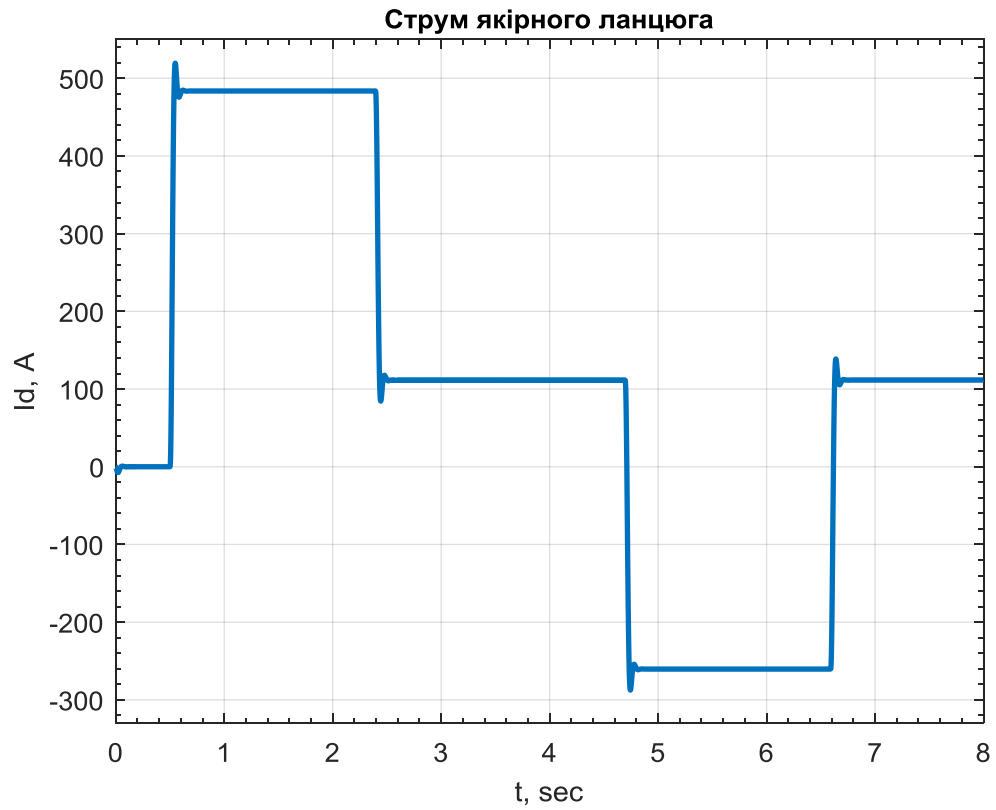


Рисунок 5.20 - Графіки перехідного процесу якірного струму при збільшенні еквівалентної індуктивності  $L_e$  у 2 рази

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Металургійні цехи і прокатні в тому числі характеризуються інтенсивним тепловим випромінюванням, що завдає вади працюючим на різних робочих місцях. Як відомо з СН 245-71 цехи поділяються на холодні, де питоме тепловиділення менше  $23,26 \text{ Вт/м}^3$  і гарячі, де ця величина має більше значення. В гарячих цехах інтенсивність теплоопромінювання досягає до  $5,6 \dots 7,0 \text{ кВт/м}^2$ , в окремих випадках до  $10,5 \text{ кВт/м}^2$ , навіть більше. Для поліпшення умов праці і захисту працівників від теплової дії в гарячих цехах використовують такі способи: теплоізоляцію поверхонь (гарячого повітропроводу, паропроводів, кожуха печі), теплоізоляцію робочих місць (пульти управління), теплозахисні екрани, природну і механічну вентиляцію, водороспилювання, спецодяг і інші засоби індивідуального захисту. З цією метою використовують раціональні режими роботи і відпочинку, кабінки і кімнати для відпочинку тощо. Для захисту робочих місць від інтенсивного теплового опромінювання гарячими поверхнями технологічного обладнання застосовують водотепловідвідні екрани. При цьому температура поверхні екрана поверненої до робочих місць не повинна, бути вищою за  $26-28 \text{ C}$ .

Тіла, які нагріті до досить високих температур, світяться. Світіння тіл, яке обумовлене нагріванням, називається тепловим випромінюванням. Теплове випромінювання є найбільш поширеним в природі і відбувається за рахунок енергії теплового руху атомів і молекул речовини. Теплове випромінювання властиве всім тілам, які мають температуру, вищу за  $0\text{K}$ . Теплове випромінювання має суцільний спектр частот, положення максимуму якого залежить від температури. При високих температурах випромінюються ультрафіолетові й видимі електромагнітні хвилі, при більш низьких температурах - переважно інфрачервоні хвилі.

Потужними джерелами тепловиділення є нагріті матеріали, вироби, обладнання. Тому в «Санітарних правилах про організацію технологічних

процесів» передбачено, що охолодження матеріалів і гарячих виробів, а також обладнання має здійснюватися за межами цеху, а при необхідності охолодження їх в робочих приміщеннях споруджують ефективні пристрої для місцевого видалення виділеного тепла і захисту робочих місць від теплового опромінювання.

Примітка:

1. При тепловому опромінюванні не тільки підвищується температура шкіри на опромінюваній ділянці, а й відбуваються біохімічні зрушення – підвищується кількість залишкового азоту, зменшується насиченість крові киснем і інш.

2. Виробничі джерела випромінюють здебільше інфра-червоні промені з довжиною хвилі 0,7...3,0 мкм. Із них промені з довжиною хвилі 0,7...1,5 мкм проникають глибоко в тканини, а більшою довжиною поглинаються шкірою.

## **6.2 Інструкція з охорони праці для слюсаря-електромонтера**

Слюсар-електромонтажник - це професія підвищеної небезпеки, до якої висуваються додаткові вимоги охорони праці, які включають в себе спеціальні вимоги щодо навчання, атестації, допуску до самостійної роботи, інструктажу з охорони праці та періодичної перевірки знань за професією і безпеки праці.

До роботи електромонтером допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд при вступі на роботу, визнані придатними для виконання зазначеної роботи та одержали посвідчення про наявність кваліфікаційної групи з електробезпеки не нижче третьої.

Електромонтер, якого приймають на роботу, повинен пройти вступний інструктаж з охорони праці, виробничої санітарії, пожежної безпеки, прийомів і способів надання долікарської допомоги потерпілим, бути ознайомлений під розпис з умовами праці, правами та пільгами щодо роботи в шкідливих та небезпечних умовах праці, про правила поведінки при виникненні аварій.



До початку роботи безпосередньо на робочому місці електрик повинен пройти первинний інструктаж з безпечних прийомів виконання робіт.

Про проведення вступного інструктажу та інструктажу на робочому місці робляться відповідні записи в Журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці і Журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

Електрик повинен працювати в спецодязі та інших засобах індивідуального захисту, передбачених Типовими галузевими нормами: напівкомбінезони бавовняному, рукавицях комбінованих.

Електрики, які обслуговують електроустаткування, повинні користуватися такими засобами захисту: діелектричними рукавичками, килимами і діелектричними калошами або ботами, а також інструментами з ізольованими ручками.

Усі захисні засоби повинні мати клеймо з позначкою дати наступного іспиту та напруги, при якій потрібно користуватися цим засобом.

Гумові захисні засоби перед їх застосуванням повинні бути оглянуті та очищені від бруду, а при зволоженні поверхні їх треба ретельно витерти і висушити.

Забороняється застосовувати засоби, які мають проколи і тріщини.

Електрику забороняється користуватись захисними засобами, які не пройшли встановлених випробувань, а також такими, у яких минув строк чергового випробування.

Забороняється вмикати електродвигуни, електроінструмент та прилади електричного освітлення до електромережі шляхом скручування проводів.

### **6.2.1 Вимоги безпеки перед початком роботи**

Електромонтер перед початком роботи повинен надіти спецодяг і, при потребі, спеціальне взуття та засоби індивідуального захисту, перевіrivши строк їх використання.

Перевірити справність електрообладнання, стан ізолюючих підставок, решіток, пускових приладів, заземлення та ін.

Перевірити справність ручного інструменту:

- держаки кусачок і плоскогубців повинні бути ізольовані;
- робоча частина викрутки має бути правильно заточена, а держак міцно насаджений та ізольований;
- гайкові ключі мають бути справні і відповідати розміру гайок.

Ручний інструмент слід зберігати в переносному ящику або спеціальній сумці для інструменту.

Усне розпорядження на наступну роботу необхідно записати в оперативний журнал. При цьому зазначається, хто дав розпорядження, місце і найменування роботи, строк її виконання.

Проглянути записи в журналі про несправності, порушення охорони праці за попередню зміну.

Переконатись у справності вмикаючих і вимикаючих приладів, сигналізації та блокувань.

Перевірити справність освітлювальних приладів, електропроводки та світильників, ламп.

Для підготовки робочого місця при роботах з частковим або повним зняттям напруги необхідно виконувати такі технічні заходи:

- провести необхідні відключення та вжити заходів, що перешкоджають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або довільного включення комутаційної апаратури (встановити механічний запір приводів вимикачів, рубильників та роз'єднувачів, ізоляційні прокладки в рубильниках та ін.);

- вивісити плакати “Не включати – працюють люди”, “Не включати – робота на лінії”, “Не відкривати – працюють люди”, а при потребі встановити загородження;

- приєднати переносні заземлення до заземлюючого пристрою;

- перевірити відсутність напруги на струмоведучих частинах, на яких повинно бути накладене заземлення;

- накласти заземлення на струмоведучі частини (безпосередньо після перевірки відсутності напруги), ввімкнути заземлюючі ножі або, якщо їх немає, накласти переносне заземлення;

- обгородити робоче місце і вивісити плакати: “Стій – висока напруга!”, “Не влізай – уб’є!”, “Працювати тут”;

- при потребі, обгороджувати струмоведучі частини, що залишилися під напругою.

Перевірити показчиком напруги або переносним вольтметром відсутність напруги в електроустановках до 1 000 В.

Перевірити справність показчика напруги на відсутність напруги. При цьому користуються діелектричними рукавицями.

Перевірити наявність заземлення електроустановок при напрузі 500 В і вище (змінного і постійного струму – у всіх випадках) корпусів електрообладнання, встановлених у приміщеннях з підвищеною небезпекою, в особливо небезпечних і в зовнішніх установках з номінальною напругою вище 42 В змінного струму і 110 В постійного струму, а також встановленого у вибухонебезпечних приміщеннях.

Накладати заземлення треба безпосередньо після перевірки відсутності напруги.

Зняття переносного заземлення із застосуванням штанг та діелектричних рукавиць необхідно проводити зворотним порядком, тобто спочатку зняти його з струмоведучих частин, а потім від’єднати від заземлюючого пристрою.

Накладення і зняття переносних заземлень в установках напругою вище 1000 В повинні проводити двоє електромонтерів з кваліфікаційною групою не нижче четвертої, які ознайомлені із схемою електроустановки.

### **6.2.2 Вимоги безпеки під час виконання роботи**

Дозволяється ведення робіт без зняття напруги в електроустановках напругою 500 В і нижче. Ці роботи повинні виконувати не менше, ніж два електромонтери. При цьому необхідно:

- працювати в діелектричних калошах або стоячи на ізолюючій основі (ізолюючій підставці);

- користуватись інструментом з ізольованими держаками (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стержень). При відсутності такого інструменту необхідно застосовувати діелектричні рукавиці;

- обгородити сусідні струмоведучі частини під напругою, до яких можливий випадковий дотик ізолюючими накладками (гумовими матами, електрокартоном, міканітовими листами та ін.);

- працювати з опущеними і застебнутими біля кистей рук рукавами одягу та в головному уборі.

Забороняється при роботі під напругою застосування ножівок, напилків і металевих метрів.

Замінювати плавкі вставки запобіжників під напругою електромонтер повинен у захисних окулярах та діелектричних рукавицях, користуючись ізолюючими кліщами.

Замінювати плавкі вставки запобіжників може електромонтер із кваліфікацією не нижче третьої групи, а при заміні на висоті з приставних драбин – два електромонтери, один з яких повинен мати кваліфікаційну групу не нижче третьої.

Включення і відключення, які проводяться на розподільних щитах, у внутрішньо цехових і зовнішніх мережах з приставних драбин і риштувань, а також там, де ці операції через місцеві умови утруднені, повинні виконувати два електромонтери, з яких один повинен мати кваліфікаційну групу не нижче третьої.

При виявленні несправностей в електричних пристроях (іскріння, спалахів, пошкодження ізоляції електропроводів, кабелів та ін.), а також про залишені

необгородженими струмоведучі частини електромонтер повинен повідомити майстра.

Забороняється під час роботи у вибухонебезпечних установках:

- ремонтувати електрообладнання та мережі, що перебувають під напругою;
- експлуатувати електрообладнання при несправному блокуванні кришок апаратів;
- включати електроустановку, що автоматично відключилася, не з'ясувавши і не усунувши причин її відключення;
- перевантажувати понад номінальні параметри вибухозахищене електрообладнання, проводи і кабелі;
- підключати до джерел живлення іскробезпечних приладів інші апарати і кола, які не входять у комплект цього приладу;
- залишати навстіж відчинені двері приміщень і тамбурів, які відокремлюють вибухонебезпечні приміщення від інших приміщень;
- замінити перегорілі електричні лампи у вибухонебезпечних світильниках іншими видами ламп або лампами більшої потужності, ніж ті, на які розрахований світильник;
- замінити захист (теплові елементи, запобіжники, розчіплювачі) електрообладнання іншими видами захисту або захистом з іншими номінальними параметрами, на які це електрообладнання не розраховане;

При роботі на висоті, на стовпах повітряної лінії електропередачі або з драбин чи риштувань, що проводяться при відключенні напруги, необхідно переконатись у відсутності напруги на лінії, а також у міцності стовпа. Приступаючи до роботи на стовпі, необхідно прив'язатись до нього запобіжним поясом і працювати, стоячи на обох ногах. Забороняється влізати на опору та злазити з неї без кігтів. Зазначені роботи виконують не менше двох електромонтерів.

При роботі з ручним інструментом не можна класти його на електропроводи та електрообладнання.

Забороняється знімати плакати, заземлення та обгородження без дозволу керівника робіт.

### **6.2.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

При виникненні аварійних ситуацій електромонтер повинен негайно вимкнути струм у разі:

- пожежі в зоні роботи;
- травми, що трапилась з кимсь із обслуговуючого персоналу;
- ураження електричним струмом.

Помітивши загоряння, електромонтер повинен негайно приступити до гасіння пожежі наявними засобами і повідомити старшого по зміні.

Старший по зміні визначає вогнище пожежі, можливі шляхи її поширення і потребу у відключенні електрообладнання в зоні пожежі.

Для цього відключається комутаційна апаратура, зливається масло з маслонаповненого обладнання, витісняється водень із системи водневого охолодження.

Обладнання відключається без розпорядження, але з наступним повідомленням чергового по дорожній організації.

Для гасіння пожежі в електроустановках електромонтер повинен застосовувати вуглекислотні вогнегасники, сухий пісок, азбестову або грубошерстну тканину.

При нещасних випадках електромонтер повинен уміти надати потерпілому першу медичну допомогу, при необхідності, викликати швидку медичну допомогу і повідомити адміністрацію.

При ураженні електричним струмом електромонтер повинен негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а при неможливості відключення – відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

При відсутності у потерпілого дихання і пульсу електромонтер повинен зробити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши

увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані оживлення починати негайно, після чого викликати швидку медичну допомогу і повідомити адміністрацію про нещасний випадок.

Електромонтер повинен вміти подати першу допомогу при опіках. Не слід стягувати з обпеченого місця одяг і видаляти білизну, що прилипла до рани.

### **6.3 Категорії приміщень і будівель по вибухонебезпечних та пожежною безпекою**

Вимоги щодо конструктивних і планувальних рішень промислових об'єктів, а також інших питань забезпечення їх пожежо- та вибухобезпеки істотно залежать від категорії приміщень за вибухопожежній та пожежній небезпеці. Визначення категорії приміщення проводиться з урахуванням показників пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів, які там знаходяться (використовуються) та їх кількості. Відповідно до ОНТП 24-86 приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки поділяються на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д

Визначення категорій приміщень з вибухопожежної та пожежної небезпеки проводиться за методикою, наведеною в загальносоюзних нормах технологічного проектування (ОНТП 24-86).

Категорія вибуховопожежної та пожежної небезпеки, а також клас зони відповідно до Правил улаштування електроустановок, в тому числі для зовнішніх виробничих і складських ділянок, повинні бути позначення на вхідних дверях до приміщення, а також на межах зон всередині приміщення і зовні.

Основним профілактичним заходом щодо попередження пожеж та вибухів від електрообладнання є правильний вибір і експлуатація такого обладнання у вибухових і пожежонебезпечних приміщеннях. Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення поділяються на вибухонебезпечні (В-I, В-Ia, По-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa) і пожежонебезпечні (П-I, П-II, П-IIa, П-III) зони.

Вибухонебезпечна зона – це простір, в якому є або можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші.

Пожежонебезпечна зона - це простір, де можуть знаходитися горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при можливих його порушеннях.

Клас В-Іб - такі ж зони, як і зони класу В-Іа, але мають одну з таких особливостей:

- горючі гази мають високий нижній концентраційний межа поширення полум'я (15% і більше) і різкий запах;
- за умовами технологічного процесу виключається об'єм вибухонебезпечної суміші в обсязі не перевищує 5% загального об'єму приміщення (зони);
- горючі гази і рідини є в невеликих кількостях, а робота з ними проводиться без застосування відкритого полум'я.

Клас В-Іг - зони з зовнішніми пристроями, що містять горючі гази або ЛЗР.

Клас В-ІІ - зони приміщень, в яких можливе утворення вибухонебезпечних концентрацій пилу або волокон з повітрям або іншим окислювачем при нормальних режимах роботи.

Клас В-ІІа - зони, аналогічні зонам класу В-ІІ, в яких вибухонебезпечні концентрації пилу і волокон можуть утворюватися тільки в результаті аварій або несправностей.

Клас ІІ-І - зони приміщень, в яких застосовуються або зберігаються горючі рідини з температурою спалаху вище 61 ° С.

Клас ІІ-ІІ - зони приміщень, в яких виділяються горючі пил або волокна з нижнім концентраційним межею рас-рення полум'я більше 65 г / м<sup>3</sup> до об'єму повітря.

Клас ІІ-ІІа • - зони приміщень, в яких містяться тверді або волокнисті горючі речовини нездатні переходити у завислий стан.



Клас П-Ш - зони розташовані поза приміщеннями, в яких застосовуються або зберігаються горючі рідини, а також тверді горючі речовини.

Клас зони визначають технологи спільно з енергетиками проектною або експлуатаційною організацією, виходячи з характеристики навколишнього середовища.

Залежно від класу вибухонебезпечних і пожежонебезпечних зон призводиться вибір електрообладнання, що встановлюється в цих зонах.

Відповідно до ПУЕ, в пожежонебезпечних зонах встановлюється електрообладнання закритого типу, внутрішній простір якого відокремлено від зовнішнього середовища оболонкою. Апаратуру управління і захисту, світильники рекомендується застосовувати в пілонепроникному виконанні. Вся електропроводка повинна мати надійну ізоляцію.

### **6.3.1 Вогнестійкість будівель і споруд**

Умови розвитку пожежі в будівлях і спорудах багато в чому визначаються здатністю окремих будівельних елементів чинити опір впливу вогню, т. Е. Їх вогнестійкістю.

*Вогнестійкість* - здатність будівельних елементів і конструкцій зберігати несучу здатність, а також чинити опір нагріванню до критичних температур, утворення наскрізних отворів і рас-пространенію вогню. За вогнестійкістю всі будівлі і споруди поділяються на вісім ступенів (п'ять основних і три додаткових), які характеризуються межами вогнестійкості основних будівельних конструкцій і межами поширення вогню по цих конструкціях.

*Межа вогнестійкості* - це інтервал часу (в годинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до виникнення одного з граничних станів елементів і конструкцій (втрата несучої і теплоізолюючої здатності, щільності).

*Межа поширення вогню* - максимальний розмір пошкоджень (в см), яким вважається обвуглювання або вигорання матеріалу, обумовлене візуально, а також оплавлення термопластичних матеріалів.

Для захисту горючих матеріалів від займання застосовують кілька способів захисту - термоізоляція, просочення, вогнезахисне покриття.

Термоізоляція досягається при оштукатурюванні дерев'яних конструкцій, обшивці листової сталлю по азбесту або повсті з глиною.

Вогнезахисна просочування створюється водними розчинами солей антипиренов (наприклад, рідкого скла, фтористого натрію, хлористого кальцію).

Вогнезахисне покриття - це забарвлення деревини спеціальними фарбами.

### **6.3.2 Засоби припинення горіння та основні вогнегасні речовини**

Припинення процесу горіння може бути досягнуто наступними способами:

- припиненням доступу в зону горіння окислювача (повітря) або горючої речовини;
- охолодженням зони горіння або палаючих речовин;
- розведенням повітря або горючих речовин негорючими;
- інтенсивним гальмуванням (інгібуванням) швидкості реакції горіння;
- механічним зривом (відривом) полум'я сильним струменем газу або води;
- придушенням горіння за допомогою вибух.

Основними вогнегасними речовинами є: вода (в різних видах), піна, інертні і негорючі гази, Галоїдоуглеводородні склади, порошки, пісок.

Вода - найпоширеніше, дешеве і доступне вогнегасна речовина. Потрапляючи в зону горіння, вона інтенсивно охолоджує горючу речовину, збиває своєю масою полум'я, змочує поверхню горючої речовини і,

утворюючи водяну плівку, перешкоджає доступу до нього кисню з повітря. Пара, що утворилася розбавляє повітря, знижуючи тим самим кількість міститься в ньому кисню (1 л води при випаровуванні утворює 1725 л пара). Для підвищення ефекту змочування іноді в воду додають спеціальні добавки.

#### Вогнегасна дія Галоїдоуглеводородніе складів

заснована на хімічному гальмуванні реакції горіння, тому їх називають інгібіторами або антикаталізатором. Вони більш ефективні при гасінні пожежі ніж вуглекислий газ.

Вогнегасні порошки являють собою подрібнені мінеральні солі з різними добавками, що перешкоджають їх злежування і злежуванню. Вони характеризуються найвищою вогнегасною здатністю і універсальністю застосування. Порошок можна використовувати для різноманітних способів пожежогасіння, в тому числі для пригнічення і придушення вибухом. Розрізняють порошки загального та спеціального призначення. Основним компонентом складу ПСБ є бікарбонат натрію; ПФ - діамонійфосфат; ПС вуглекислий натрій; СН - силікагель, насичений хладоном.

Вибір вогнегасної речовини залежить від класу пожежі.

## ВИСНОВОК

В результаті виконання даного дипломного проекту був розроблений автоматизований електропривод ножиць з паралельними ножами прокатного цеху.

У пояснювальній записці до дипломного проекту розглядаються основні характеристики механізму та вимоги до спроектованого електроприводу, наведено розрахунок потужності і перевірка по нагріванню для приводних двигунів, аргументовано обрані силова частина і система управління приводом. Представлені детальний розрахунок системи підлеглого управління, економічна доцільність впроваджуваного приводу. У розділі «Охорона праці» розглянуто загальні правила техніки безпеки для робітників прокатного цеху, які обслуговують прокатну кліть, а так само для всіх працівників комбінату.

В ході розробки була складена математична модель спроектованого електроприводу, по якій було проведено моделювання роботи системи в різних режимах роботи. Результати моделювання представлені у відповідному розділі. Спроектований привід показав прийнятні характеристики у всіх режимах роботи і може бути впроваджений на виробництво.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.
2. Зимин Е.Н., Кацевич В.Л., Козырев С.К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
3. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С.Горобец, Б.И.Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
5. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник / В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, В.М. Петухов. – М.: Радио и связь, 1987. – 576 с.
6. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму / В.Т. Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
7. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.
8. Методические указания к выполнению курсового проекте по курсу "Системы управления электропривода" (для студ. спец. «Электромеханические системы автоматизации и электропривод», всех форм обуч.) / Сост.: А.И. Мотченко, В.Н.Столяров. – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – 64 с.