

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	7
1.1 Опис технологічного процесу блюмінгу 1250	7
1.2 Технічна характеристика, конструкція та робота маніпулятора блюмінгу 1150	10
1.3 Режим роботи	14
1.4 Технологічні та технічні дані маніпулятора обтискного стану	14
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ МАНІПУЛЯТОРА ОБТИСКНОГО СТАНУ	16
2.1 Розрахунок моментів статичного опору	18
2.2 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріву.....	20
3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	26
МАНІПУЛЯТОРА ОБТИСКНОГО СТАНУ	26
3.1 Вибір комплектного електроприводу	26
3.2 Вибір струмообмежувального реактора	37
3.3 Вибір згладжувального реактора.....	38
3.4 Розрахунок параметрів об'єкта керування.....	39
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ МАНІПУЛЯТОРОМ ОБТИСКНОГО СТАНУ	41
4.1 Математичний опис об'єкта керування.....	41
4.2 Розрахунок регулятора струму	44
4.3 Розрахунок регулятора швидкості	47
4.4 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості.....	51
5 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK.....	53
6 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	62

6.1 Двократноінтегруюча система регулювання частоти обертання в системі вентильний перетворювач - двигун постійного струму	62
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	83
7.1 Аналіз умов експлуатації проєктованого електроустаткування	83
7.2 Розробка інструкції з охорони праці для обслуговуючого персоналу	85
7.3 Протипожежна безпека.....	89
ВИСНОВОК.....	94
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	95

ВСТУП

Для підвищення продуктивності і поліпшення якості роботи прокатного обладнання питання правильного вибору потужності електроприводу має велике значення.

Механізми прокатних станів різноманітні за конструкцією і виконуваних функцій, в зв'язку з цим різні і вимоги, що пред'являються до їх автоматизованим електроприводом, які можна розділити на дві групи. До першої групи належать досить прості електроприводи без регулювання швидкості, до другої - складні регульовані електроприводи, що працюють в динамічних режимах з частими пусками і гальмуваннями. До цієї ж групи належать приводи механізмів, які потребують точної зупинки або працюють на упор. Для приводів другої групи широко використовуються системи живлення двигуна від керованого джерела (генератора постійного струму, тиристорного перетворювача напруги, перетворювача частоти).

Маніпулятор - механізм, призначений для переміщення металу, що прокочується паралельно валкам і напрямку його в той чи інший калібр валків. Лінійки маніпулятора використовуються для випрямлення металу при викривленні його в процесі прокатки.

В даний час найбільш поширеними і масово випускаються промисловістю є системи керування електроприводом, побудовані за принципом підпорядкованого керування. У порівнянні з попередніми їм системами вони мають більшу швидкодію, виконані на базі уніфікованих елементів, що полегшує проектування та складання електрообладнання.

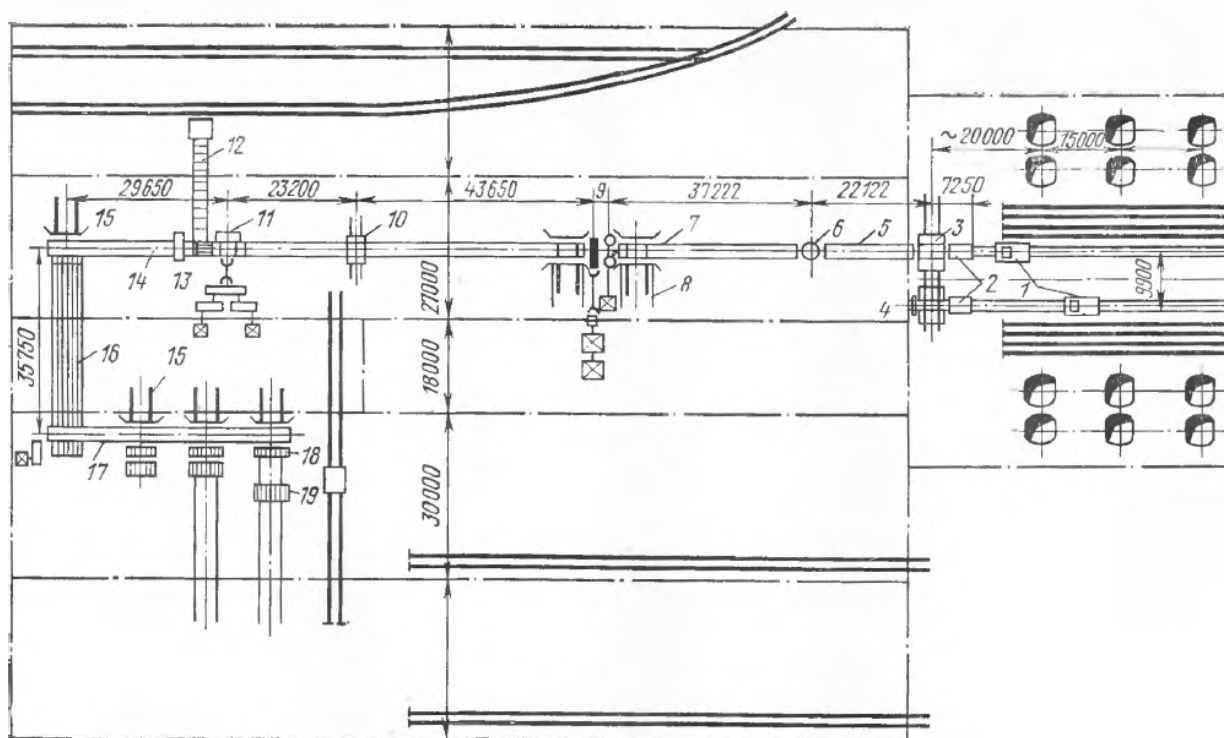
Безпечна і безаварійна експлуатація систем електропостачання та численних електроприймачів ставить перед працівниками електрохозяйств різнобічні і складні завдання з охорони праці. Здорові та безпечні умови праці електротехнічного персоналу та працівників, які експлуатують електрифіковані виробничі установки, можуть бути забезпечені виконанням науково обґрунтованих правил та норм.

1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Опис технологічного процесу блюмінгу 1250

Слябінги - обтискні стани більш вузького призначення ніж блюмінги. Їх застосовують тільки для прокатки слябів, тому валки виготовляють гладкими (циліндричними). На відміну від блюмінга слябінг є універсальним двовалковим реверсивним станом, мають горизонтальні і вертикальні валки. Встановлюються останнім часом універсальні слябінги можуть прокатувати сляби шириною до 2 м із злитків масою до 25-30 т.

Розташування обладнання та його склад приведено на рис. 1.1.



1 - злитковоз; 2 - прийомні рольганги; 3 рольганг-візок;
 4 - стаціонарний упор; 5 транспортні рольганги; 6 - ваги; 7 - робочі рольганги; 8 - маніпулятор; 9 - універсальна робоча кліть;
 10 - машина вогневої зачистки; 11 - ножиці; 12 - конвеєр прибирання обрізу;
 13 - пересувний упор; 14 - ваговий рольганг; 15 - зіштовхувач слябів;
 16 - транспортер слябів; 17 - рольганги прибираючих пристроїв; 18 - штабелюючі столи

Рисунок 1.1 - План розташування обладнання цеха блюмінгу 1250

Для забезпечення заданої продуктивності слябінга необхідно мати близько 20 груп нагрівальних колодязів. При розташуванні їх в один ряд, як зазвичай практикувалося на блюмінгах і слябінгах, довжина шляху злитковоза в один кінець досягає 320 м. При великій продуктивності цього стану і високому ритмі прокатки один злитковоз не встигає подавати злитки від нагрівальних колодязів до приймального рольгангу. Тому нагрівальні колодязі на багатьох заводах розташовані в двох паралельних прольотах і обслуговуються двома злитковозами.

Все обладнання слябінга можна розділити на п'ять ділянок:

- приймальний ділянку стану, що складається з двох прийомних рольгангів, рольганга-візка, стаціонарного упору, транспортних рольгангів і поворотного пристрою з вагами;
- головну лінію табору з пов'язаними з нею робочими рольгангами і маніпулятором з кантувачем;
- машину вогневої зачистки гарячого металу в потоці в обслуговуючими її рольгангами;
- ножиці з прилеглими до них рольгангами, зіштовхувачем обрізу, конвеєром для прибирання обрізків і пересувним упором;
- хвостовий ділянку стану, що складається з механізмів для таврування, зважування та прибирання слябів.

Головна лінія стану складається з двовалкової робочої кліті з горизонтальними валками і розташованої перед нею двовалкової кліті з вертикальними валками. Робоча кліть з горизонтальними валками має валки діаметром 1150 мм з довжиною бочки 2100 мм. Валки мають гладку бочку і встановлені в подушках на підшипниках з текстолітовими вкладишами. Робочі валки мають індивідуальний привід від двох електродвигунів потужністю по 4600 кВт. Механізм для установки верхнього валка забезпечує підйом його на 1750 мм зі швидкістю 75-150 мм/с. Робоча кліть з вертикальними валками має валки діаметром 900 мм з довжиною бочки 2100 мм. Для використання всієї бочки валків вони виконані так, що їх можна перевертати при перевалці,

завдяки чому значно збільшується термін служби валків. Привід вертикальних валків здійснюється від одного електродвигуна постійного струму потужністю 2200 кВт. Механізм установки вертикальних валків забезпечує зазор між валками в межах 600-2150 мм. Швидкість установки валків регулюється в межах 40-80 мм/с.

Після деформації розкат надходить на машину вогневої зачистки, де поверхневі дефекти зачищаються киснево-ацетиленовими пальниками.

Ножиці для різання гарячих слябів мають максимальне зусилля різання 25 МН і ширину ножів 2100 мм.

За ножицями на рольгангу з вмонтованими в нього автоматичними вагами сляби зважуються і потім можуть рухатися за трьома напрямками: безпосередньо на листові стани для подальшої прокатки без проміжного нагріву; до методичних печей для підігріву і потім на листові стани для подальшої прокатки; до збиральних пристроїв, розташованих на складі слябів.

Ланцюговий транспортер, необхідний для передачі слябів на склад, розрахований на транспортування слябів довжиною 1,5-5,5 м і масою до 17 т при швидкості транспортування 0,5 м/с. З транспортера сляби направляються на рольганг збиральних пристроїв. Для подачі слябів з транспортного рольганга на транспортер і для передачі слябів з рольганга збиральних пристроїв на штабелювання встановлені чотири зіштовхувача, один з яких розташований у транспортного рольганга, а три інших у рольганга збиральних пристроїв.

Зіштовхувачі слябів збиральних пристроїв, крім того, служать для просування стопи слябів зі штабелюючих пристроїв на стаціонарні стелажі або на візок для гарячих слябів.

Штабелюючий пристрій призначений для укладання слябів в стопи. Найбільша висота стопи дорівнює 800 мм, а маса досягає 30 т. Штабелюючий пристрій являє собою підйомний стіл, який пересувається двома вертикальними гвинтами. Для передачі слябів в другій проліт складу є спеціальний візок вантажопідйомністю 50 т.

У робочій клітці слябінга горизонтальні валки діаметром 1150 мм.

Довжина бочки 2100 мм, урівноваження гідравлічне. Максимальна швидкість установки (переміщення) валків 220 мм/с. Максимальна повний тиск металу на валки при прокатці 25 МН; максимальна швидкість валків 4,8 м/с. Кожен валок забезпечений індивідуальним приводом від двоякірного електродвигуна постійного струму.

Для забезпечення повної синхронізації роботи двигунів вони з'єднані між собою циліндричної зубчастої передачею. Механічна синхронізація може бути виключена, якщо електрична синхронізація обертання якорів двигунів цілком надійна.

Вертикальні і горизонтальні валки обертаються в чотирирядних конічних роликів підшипниках, змонтованих в подушках, що переміщуються натискними пристроями. Максимальна швидкість переміщення валків дорівнює 200 мм/с.

1.2 Технічна характеристика, конструкція та робота маніпулятора слябінгу 1150

Маніпулятор призначений для пересування металу по роликам рольганга паралельно їх бочці з метою подальшого правильного напрямку металу у валки (або їх калібри). Одночасно з цим лінійки маніпулятора випрямляють прокочуємі блюми, сляби, заготовки, якщо вони скривилася при прокатці. Маніпулятори застосовують тільки при прокатці злитків і щодо товстої заготовки, тобто на блюмінгах, слябінгах, рейкобалочних і великосортних станах і на товстолистових станах. Кантувачі в лініях прокатки служать для повороту (кантування) прокочуємої смуги (злитка, блюма, заготовки, профілю) щодо її поздовжньому осі на 90° перед завданням наступного калібр валків для забезпечення рівномірного обтиску металу по всьому перетину. Такі кантувачі застосовують на блюмінгах, слябінгах, рейкобалочних і сортових станах.

У лініях обробки прокату використовують кантувачі і маніпулятори різного типу в залежності від їх призначення (для кантування товстих листів, рулонів, рейок і т. д.).

Маніпулятори встановлені з передньої і задньої сторін робочої кліті. Кожен маніпулятор забезпечений двома масивними сталевими литими лінійками (масою по 15-40 т), встановленими з боків робочого рольганга і пересуваються за допомогою довгих штанг з зубчастими рейками. Передні і задні лінійки як з боку приводу валків, так і з боку приводу роликів робочих рольгангів попарно приводяться від загального електродвигуна за допомогою зубчастих шестерень, що знаходяться в зачепленні з рейками. Таким чином, ліві чи праві лінійки пересуваються одночасно. Крім того, ліві і праві лінійки можуть одночасно пересуватися назустріч одна одній і «затискати» метал або віддалятися одна від одної. Метал, спрямований у валки передньої парою лінійок, з іншого боку кліті приймається задній парою лінійок і потім пересувається ними до наступного калібру валків. Середня штанга з зубчастою рейкою з'єднана з валом кантувача і приводяться від електродвигуна.

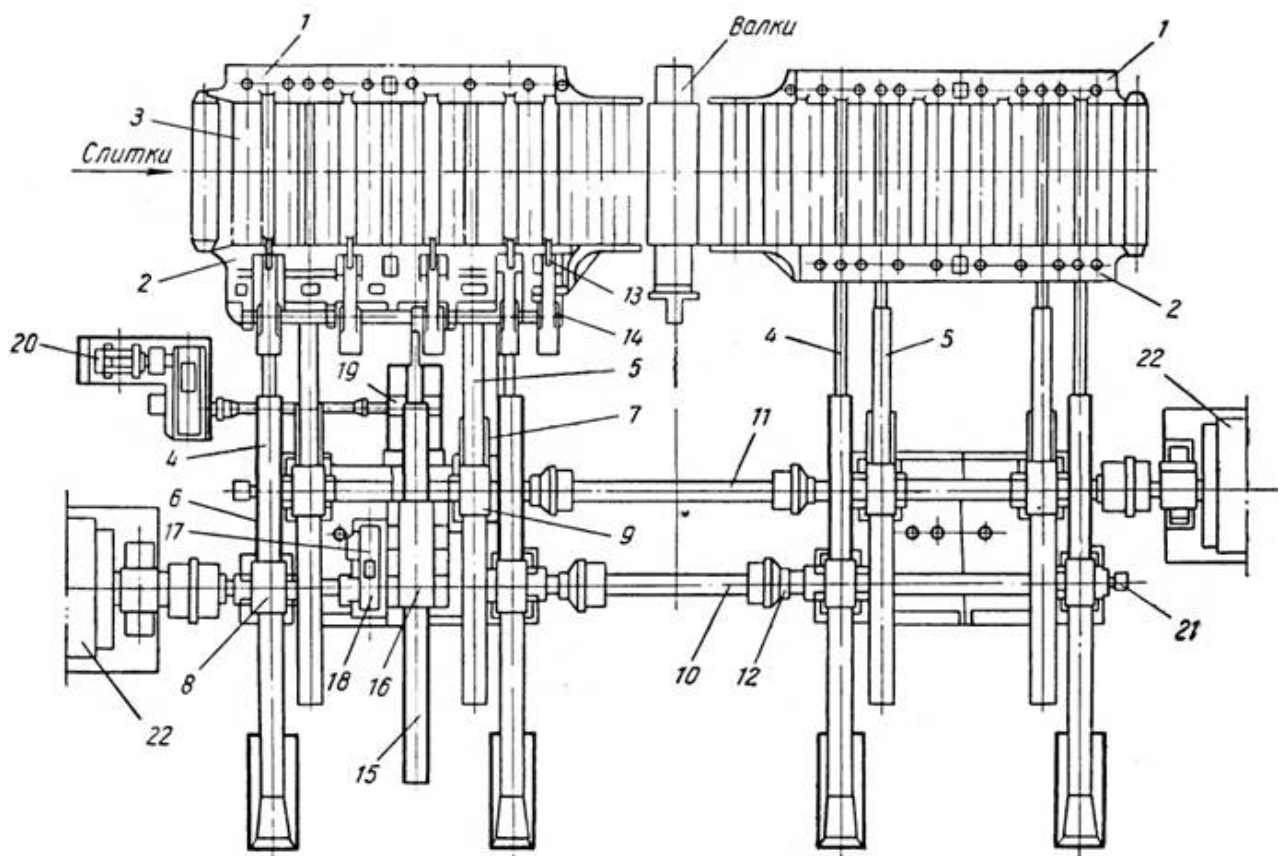


Рисунок 1.2 - Схема розташування маніпуляторів та кантувачів та їх приводів у обтискних станів (блюмінгів та слябінгів)

Маніпулятор (рис. 1.2) перед робочою кліттю або за нею складається з двох масивних сталевих лінійок 1 і 2 з приводом пересування уздовж бочки восьми роликів робочого рольганга 3 за допомогою за допомогою штанг 4 і 5, в нижній частині яких зроблені зубчасті рейки 6 і 7, наведені шестернями 8 і 9. Внутрішні штанги 5, з'єднані з лінійками 2, є штовхають і забезпечені бесредукторним приводом від правого електродвигуна 22, що живиться від окремого випрямляча. Зовнішні штанги 4, з'єднані з лінійками 1, є тягнучими і діють завдяки аналогічного приводу від лівого електродвигуна.

Синхронність переміщення лінійок забезпечується валами 10 і 11, з'єднаними зубчастими муфтами 12. Кантувач з п'ятьма гаками 13 встановлений на правій лінійці перед робочою кліттю. Вал кантувача 14 повертається в своїх підшипниках за допомогою переміщення штанги 15; при цьому відбувається підйом або опускання гаків 13, тобто здійснюється кантування металу.

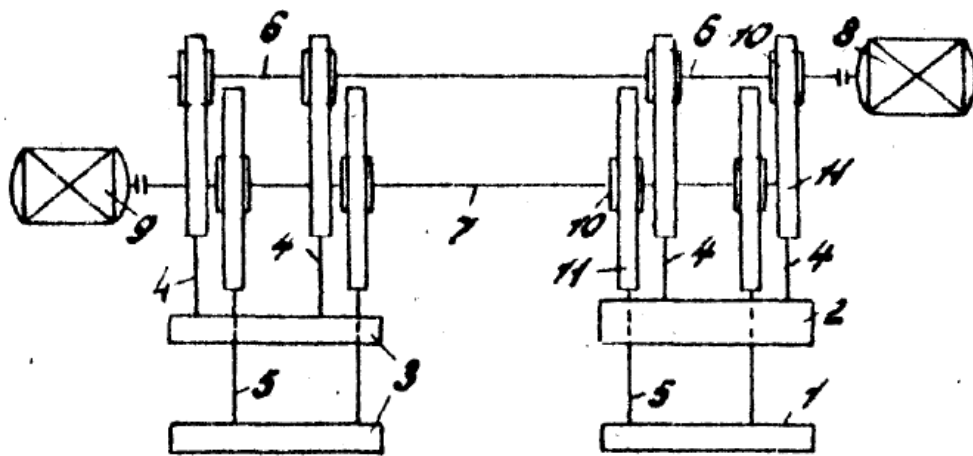
Штанга кантувача 15 з зубчастої рейкою 16 приводиться в рух від двох механізмів, які кінематично впливають на одну рейкову шестерню, яка є планетарної шестернею спеціального так званого диференційно-планетарного редуктора 17. Коли пересувається права лінійка 2 маніпулятора, одночасно переміщається пов'язана з валом 14 штанга 15 кантувача, т. е. планетарна шестерня 17 повинна при цьому обертатися з тією ж швидкістю. Що і шестерні 8 і 9.

Для кантування злитка (блюма) необхідна повернути вал 14 з гаками кантувача. Поворот вала 14 здійснюється рухом вперед штанги 15 з рейкою 16 при обертанні планетарної шестерні 17; в даному випадку це обертання повідомляється шатунно-кривошипним механізмом 19, що приводиться електродвигуном 20 через двоступеневий редуктор. При включенні цього електродвигуна і повороті кривошипа шатун повертає корпус редуктора на ліво; при цьому планетарна шестерня 17 переважить і при обкатуванні по нижній шестерні 18 вона змусить рейку 16 і штангу 15 кантувача рухатися в перед, тобто повертати вал кантувача 14. Хід лінійок в крайніх положеннях обмежується командо-апаратами. Енергія удару поглинається пружинними

буферами. На блюмінгах і слябінгах застосовують кантувачі крюкового типу.

Для нових блюмінгів та слябінгів конструкція маніпулятора з одностороннім розміщенням приводу - типова. Найбільш сучасна конструкція маніпулятора розроблена УЗТМ для блюмінгу 1250. Цей маніпулятор, кінематична схема якого показана на рис. 1.3, має безредукторний електропривод лінійок від спеціальних тихохідних електродвигунів постійного струму.

Переваги подібного маніпулятора - простота та надійність механічної конструкції, а також динамічні властивості безредукторного електроприводу.



- 1 - ліва лінійка перед станом;
- 2 - права лінійка перед станом (з кантуючим механізмом);
- 3 - ліва лінійка за станом;
- 4 - штовхаючі штанги правих лінійок;
- 5 - тягнучі штанги лівих лінійок;
- 6 - передатний вал приводу правих лінійок;
- 7 - передатний вал приводу лівих лінійок;
- 8 - електродвигун правих лінійок;
- 9 - електродвигун лівих лінійок;
- 10 - шестерня; 11 - зубчаста рейка

Рисунок 1.3 - Кінематична схема безредукторного маніпулятора блюмінгу 1250

1.3 Режим роботи

Маніпулятор відноситься до механізмів, які працюють з великим числом включень на годину, причому фактична частота включень електроприводу, як правило, більше того розрахункового значення, яке можна визначити на підставі відомої технології роботи маніпуляторів для будь-якої конкретної програми прокатки.

Теоретично важко заздалегідь визначити число правок лінійками прокочуваемо металу при його викривленні і число додаткових включень електроприводу поштовхами при відпрацюванні малих переміщень лінійок.

Для сучасних маніпуляторів обтискних реверсивних станів число включень електроприводу становить приблизно 1500, а в деяких випадках 2000 ...2200 на годину.

Програмні переміщення лінійок і їх число, необхідні для розрахунку електроприводу, визначають на підстави калібрування прокатних валків та врахування технології роботи стану (кантування злитка перед конкретними проходами, правка викривлених злитків лінійками маніпулятора та подібне).

1.4 Технологічні та технічні дані маніпулятора обтискного стану

Механічна частина маніпулятора має наступні дані:

- максимальний тиск на лінійках $P = 10^6$ Н;
- робочий хід лінійок маніпулятора $L = 2650$ мм;
- швидкість переміщення лінійок $v = 0,807$ м/с при основній частоті електродвигунів $n_{\mu} = 475$ об/хв,
- довжина лінійок $l = 6250$ мм;
- маса лінійок за кліттю (як лівої, так і правої) $m_{n1} = m_{.l1} = 1109$ кг;
- маса лівої лінійки перед кліттю $m_{.l2} = 27084$ кг;
- маса правої лінійки перед кліттю $m_{n2} = 11652$ кг;
- маса штанги, що тягне $m_{u1} = 9009$ кг;
- маса штанги, що штовхає, за кліттю $m_{u2} = 6889$ кг;

- маса штанги, що штовхає перед кліттю $m_{ш2}'' = 6943$ кг;
- маса штанги кантувача $m_{ш3} = 3637$ кг;
- маса механізму, що кантує $m_k = 7915$ кг;
- діаметр початкової окружності рейкової шестерні $d_1 = 756$ мм;
- передавальне число редуктора $i = 23,3$;
- ККД редуктора $\eta = 0,9$.

Повзуни лінійок мають бронзові вкладиші, що ковзають по сталевим напрямним.

Кінематична схема безредукторного маніпулятора наведена на рисунку 1.3.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ МАНІПУЛЯТОРА ОБТИСКНОГО СТАНУ

Для приводу маніпулятора попередньо вибрані електродвигуни постійного струму Д-818 з наступними даними: $P_B=25\%$, $U_n = 220 \text{ В}$, $P_n = 100 \text{ кВт}$, $n_n = 475 \text{ об/хв}$ ($\omega_n = 49,74 \text{ с}^{-1}$), $I_n = 500 \text{ А}$, $J_n = 25,13 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$, $M_{\max} / M_n = 2,8$, $M_n = 2011,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Блюмінг прокатує злиток масою $m_{cl} = 5 \text{ т}$. Загальна тривалість циклу прокатки $t_{ц} = 128 \text{ с}$. Час пауз між проходами при прокатці не більше 2 с, а в разі кантування злитка - не більше 6 с. Калібрування валків представлено на рис. 1.2. Програма прокатки із зазначенням переміщення лівих лінійок маніпулятора і його напрямки вказані в таблиці 2.1.

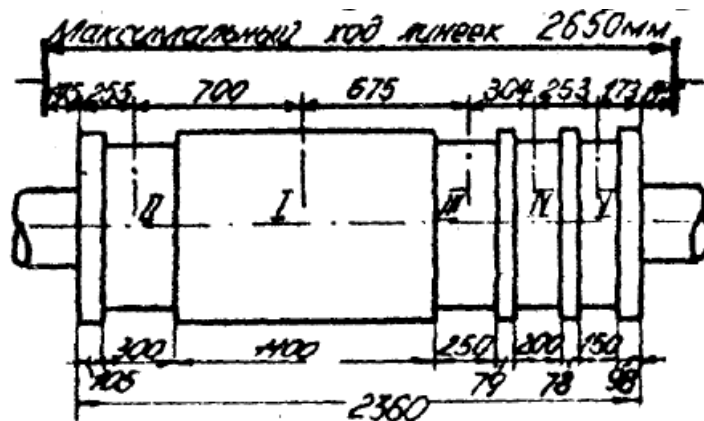


Рисунок 2.1 - Калібрування валків блюмінга 1150

При визначенні цих переміщень враховується наступні:

- перед подачею чергового злитка в валки оператор кантує його для збивання окалини;
- після кожного кантування і перед кожним наступним проходом злиток переміщається лінійками для установки його по осі відповідного калібру, після чого лінійки розходяться (приблизно на 100 мм), забезпечуючи можливість руху злитка до валків і виключаючи вірогідність удару злитка об лінійки при виході з валків;
- правка металу відбувається після кожного кантування.

Таблиця 2.1 – Розрахункова програма переміщень лівих лінійок маніпулятора при прокатці блюмів 150×150

Номер проходу	Номер калібрування	Розміри злитка після прокатки, мм		Переміщення лівих лінійок маніпулятора, мм, і їх напрямок	Число включень
		висота	ширина		
0		615	615	$\overline{700} - \overline{1000}$	2
1	I	550	615	$\overline{100} - \overline{100}$	2
2К	I	500	615	$\overline{100} - \overline{610} - \overline{450} - \overline{100}$	4
3	I	500	505	$\overline{100} - \overline{100}$	2
4К	I	500	510	$\overline{100} - \overline{500} - \overline{505} - \overline{100}$	4
5	I	455	505	$\overline{100} - \overline{100}$	2
6К	I	400	510	$\overline{100} - \overline{510} - \overline{455} - \overline{100}$	4
7	I	455	405	$\overline{100} - \overline{100}$	2
8К	I	380	410	$\overline{100} - \overline{410} - \overline{400} - \overline{100}$	4
9	I	345	385	$\overline{100} - \overline{100}$	2
10К	I	280	390	$\overline{100} - \overline{390} - \overline{1040} - \overline{100}$	4
11	II	310	290	$\overline{95} - \overline{100}$	2
12К	II	230	300	$\overline{95} - \overline{200} - \overline{500} - \overline{1100} - \overline{100}$	5
13	III	240	240	$\overline{95} - \overline{100}$	2
14К	III	180	250	$\overline{95} - \overline{250} - \overline{500} - \overline{90} - \overline{100}$	5
15	IV	190	190	$\overline{95} - \overline{100}$	5
16К	IV	140	200	$\overline{95} - \overline{300} - \overline{500} - \overline{80} - \overline{100}$	5
17	V	150	150	$\overline{2170}$	1

Всього включень за цикл - 54.

Тривалість циклу прокатки - 128 с.

Число включень в годину електроприводу лівих лінійок - 1520.

Примітка: Літера «К» в таблиці означає кантування після відповідного проходу.

Для подолання моменту статистичного опору при правці розгін електродвигуна маніпулятора повинен виконуватися вхолосту, тому перед правкою маніпулятори повинні бути відведені від злитка на 400...500 мм, в іншому випадку (прискорення одночасно з правкою металу) розвивається електродвигуном потужність, яка може бути недостатньою.

Моменти інерції механізму і приводу лівих лінійок наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Моменти інерції електроприводу і механізму маніпулятора

Елементи електроприводу	Момент інерції, віднесений до валу двигуна, Н·м·с ²
Якорі двох електродвигунів	50,25
Швидкохідні вали редукторів з сидячими на них шестернями	18
Обертові деталі, які рухаються зі швидкістю, відмінною від швидкості електродвигунів	3,7
Поступально рухомі деталі маніпулятора (без злитка)	20,4
Сумарний момент інерції лівих лінійок маніпулятора і електроприводу (без злитка)	92,35
Прокатуваний злиток	1,3
Сумарний момент інерції маніпулятора зі злитком.	93,65

2.1 Розрахунок моментів статичного опору

У відповідності з кінематичною схемою (рис. 1.3) розрахуємо

$$\begin{aligned} \sum m_1 &= m_{л1} + m_{л2} + m_k + \frac{2}{3}(\sum m_{ш2} + m_{ш3}) = \\ &= 1109 + 27084 + 7915 + \frac{2}{3}(6889 + 6943 + 3637) = 66962 \text{ кг}; \end{aligned}$$

$$\sum m_2 = \frac{2}{3} \sum m_{u2} = \frac{2}{3} (6889 + 6943) = 18443 \text{ кг},$$

де $m_{л1}$, $m_{л2}$ – маса лівої лінійки відповідно за і перед кліттю;

m_k – маса кантувача з електроприводом;

$\sum m_{u2}$ – сумарна маса штовचाючих штанг лівих лінійок маніпулятора;

m_{u3} – маса штанги шатуна кантувача.

Коефіцієнт $2/3$ враховує, що тільки частина маси штанг припадає на поверхні, які труться і котяться.

Складові сумарного моменту статичного опору визначаються за виразами:

$$M_1 = \frac{\sum m_1 \cdot g \cdot d_{u1} \cdot \mu_1}{2i\eta} + \frac{\sum m_2 \cdot g \cdot f \cdot 10^2}{i\eta} \quad (2.1)$$

$$M_1 = \frac{66962 \cdot 9,81 \cdot 0,756 \cdot 0,15}{2 \cdot 23,3 \cdot 0,9} + \frac{18443 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 10^{-2}}{23,3 \cdot 0,9} = 1775,6 \text{ Нм}$$

$$M_2 = \frac{g \cdot m_{cl} \cdot d_{u2} \cdot \mu_2}{2i\eta} = \frac{9,81 \cdot 5000 \cdot 0,756 \cdot 0,3}{2 \cdot 23,3 \cdot 0,9} = 264,9 \text{ Нм} \quad (2.2)$$

$$M_3 = \frac{P \cdot d_{u3}}{2i\eta} = \frac{10^6 \cdot 0,756}{2 \cdot 23,3 \cdot 0,9} = 17658 \text{ Нм} \quad (2.3)$$

Статичний момент, необхідний для переміщення лінійок і злитка по рольгангу:

$$M_{nep} = M_1 + M_2 = 1775,6 + 264,9 = 2040,5 \text{ Нм} \quad (2.4)$$

Сумарний статичний момент:

$$M_c = M_1 + M_2 + M_3 = 1775,6 + 264,9 + 17658 = 19698,5 \text{ Нм} \quad (2.5)$$

Відносне статичне навантаження електродвигунів при переміщенні злитка з усталеною швидкістю буде

$$\lambda = \frac{M_{пер}}{2M_n} = \frac{2040,5}{2 \cdot 2011,1} = 0,507 \quad (2.6)$$

Відносне статичне навантаження електродвигунів при правці металу з тиском 100 т складе

$$\lambda = \frac{M_c}{2M_n} = \frac{19698}{2 \cdot 2011,1} = 4,9 \quad (2.7)$$

що значно більше допустимої величини ($M_{max} / M_n = 2,8$), тому дійсне значення тиску при правці металу буде знижено для розглянутих електродвигунів до значення, відповідного допустимому моменту:

$$M'_3 = 2M_{max} - M_{пер} = 5640,8 - 2040,5 = 9241,1 \text{ Нм} \quad (2.8)$$

$$P' = \frac{2i\eta}{d_{ш}} M'_3 = \frac{23,3 \cdot 2 \cdot 0,9}{0,756} 9241,1 = 510120 \text{ Н} \quad (2.9)$$

2.2 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріву

Потужність електродвигуна по нагріву перевіряється методом еквівалентних прискорень.

У таблиці 2.3 наведено вихідні дані та розрахунки прискорень і критичного переміщення, які необхідні для подальших обчислень. Розрахунки виконані з наступним допущенням рух лінійок маніпулятора завжди відбувається зі злитком. Це припущення не вносить помітного спотворення в остаточний результат розрахунку. З таблиці 2.3 видно, що максимальне критичне переміщення лінійок маніпулятора при $v_{max} = 1,614 \text{ м/с}$ (перетворювач, який живить електродвигуни, працює з подвійною напругою 440 В) більше будь-якого можливого програмного переміщення, зазначеного в

таблиці 2.1. Отже, привід розраховується маніпулятора ніколи не розганяється до сталої швидкості, а працює в режимі пусків і вповільнень, причому для більшості переміщень електродвигуни працюють при напрузі 220 В.

Для визначення часу роботи електроприводу скористаємося допоміжною кривою $t = f(S)$. Число v , яке необхідне для побудови $t = f(S)$ відповідно до виразу складе:

$$v = \frac{2i}{d_{uu}} = \frac{2 \cdot 23,3}{756} = 0,0616 \text{ 1/мм} \quad (2.10)$$

Динамічні моменти при пуску та гальмуванні:

$$M_{jn} = M_n - M_c = 6033,3 - 2040,5 = 3992,8 \text{ Нм} \quad (2.11)$$

$$M_{jr} = M_m + M_c = 6033,3 + 2040,5 = 8073,8 \text{ Нм} \quad (2.12)$$

Еквівалентний динамічний момент приводу

$$M_{je} = \frac{2M_{jm}M_{jn}}{M_{jm} + M_{jn}} = \frac{2 \cdot 3992,8 \cdot 8073,8}{3992,8 + 8073,8} = 5343,2 \text{ Нм} \quad (2.13)$$

параметри параболи $t = f(S)$

$$P = \frac{2Jv}{M_{je}} = \frac{2 \cdot 93,65 \cdot 0,0616}{5343,2} = 0,00216 \text{ с}^2/\text{мм} \quad (2.14)$$

Рівняння параболічної кривої

$$t_i^2 = 2pS_i \quad (2.15)$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок прискорень і критичного переміщення лінійок

Вихідні дані для розрахунку	Розрахункова величина і формула	Числове значення розрахункової величини
$d_{ш} = 756 \text{ мм}$ $i = 23,3$ $M_n = M_m = M_{\partial} = 6033,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$	Лінійне прискорення лінійок $a_n = \frac{d_{ш}}{2i} \frac{M_n - M_c}{J}$	621,7 мм/с ²
$M_c = M_{пер} = 2040,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ $J = 93,65 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$	Лінійне уповільнення лінійок $a_m = \frac{d_{ш}}{2i} \frac{M_{\Gamma} + M_c}{J}$	1398,6 мм/с ²
$v = \frac{d_{ш}}{2i} \omega_n = \frac{0,756}{2 \cdot 23,3} \cdot 49,74 = 0,807 \text{ м/с}$ $v_{\max} = 2v = 1,614 \text{ м/с}$	Еквівалентне лінійне прискорення лінійок $a_e = \frac{2a_n a_m}{a_n + a_m}$	925,6 мм/с ²
	Критичне переміщення лінійок при основній частоті обертання електродвигуна $S_{кр} = \frac{v^2}{a_e}$	703,6 мм
	Критичне переміщення лінійок при максимальній швидкості обертання електродвигуна $S_{к \max} = \frac{v_{\max}^2}{a_e}$	2814 мм

При максимальному переміщенні лінійок 2170 мм з таблиці 2.1 час переміщення, знайдений за виразом (2.15), складе 3,06 с. За координатами $S_i = 2170$ мм і $t_i = 3,06$ с обраний масштаб кривої $t = f(S)$ і побудована парабола, яка показана на рисунку 2.2.

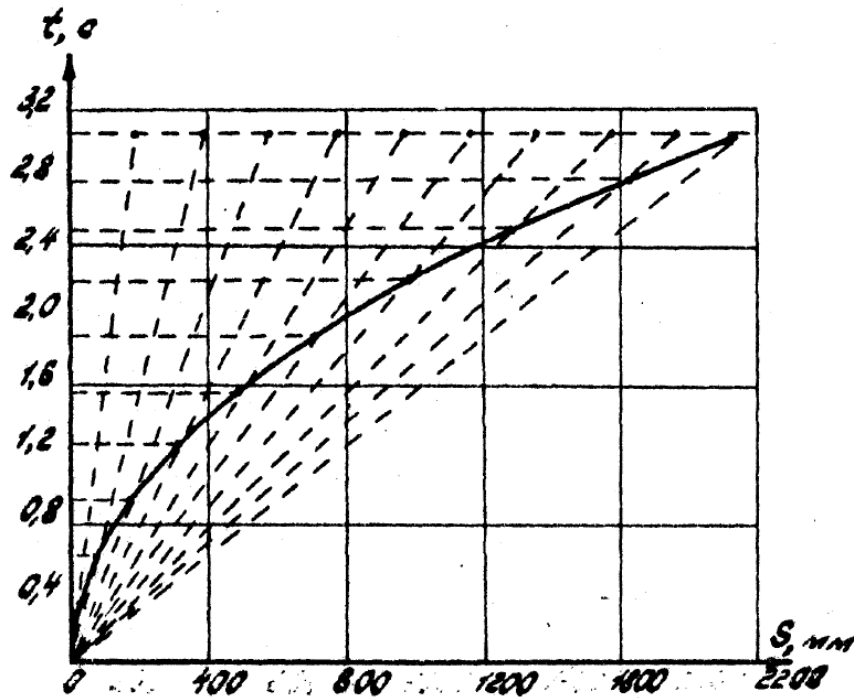


Рисунок 2.2 – Залежність $t = f(S)$ для блюмінга 1150

За кривою $t = f(S)$ і заданим в таблиці 2.1 програмним переміщенням знайдені значення часу роботи електроприводу для кожного з цих переміщень, а також сумарний час роботи електроприводу $\sum t_i = 52,4$ с.

Відносна тривалість включення:

$$\varepsilon = \frac{\sum t_i}{t_u} = \frac{52,4}{128} = 0,41 \quad (2.16)$$

Еквівалентна сила струму електродвигуна визначається для випадку $a_n \neq a_T$:

$$I_{\varepsilon 41} = I_n = I_T \quad (2.17)$$

тобто

$$I_{\varepsilon 41} = 1,5 I_H = 1,5 \cdot 500 = 750 \text{ А}$$

Еквівалентна сила струму, приведена до ПВ = 25%,

$$I_{\varepsilon 25} = I_{\varepsilon 41} \sqrt{\frac{\varepsilon_{41}}{\varepsilon_{25}}} = 750 \sqrt{\frac{0,41}{0,25}} = 960 \text{ А} \quad (2.18)$$

що більше допустимого значення $I_H = 500 \text{ А}$.

Розрахунок показує, що застосування обраних електродвигунів з природною вентиляцією неприпустимо через перегрів машин. Необхідна примусова вентиляція електродвигунів, при застосуванні якої допустима сила струму при ПВ = 100% становить $0,9 I_H = 450 \text{ А}$. Еквівалентний струм електродвигуна, перерахований для $\varepsilon = 1$:

$$I_{\varepsilon 100} = I_{\varepsilon 41} \sqrt{\varepsilon_{41}} = 674 \sqrt{0,41} = 431 \text{ А} \quad (2.19)$$

Таким чином, при примусовій вентиляції обраний електродвигун буде завантажений на 96%.

Повні дані двигунів приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Технічні дані електродвигуна постійного струму типу Д-818

Найменування параметра	Позначення та значення
Номінальна потужність(ПВ=25%)	$P_H = 100 \text{ кВт}$
Номінальна напруга	$U_H = 220 \text{ В}$
Номінальний струм	$I_H = 500 \text{ А}$
Номінальні частота обертання та швидкість	$n_H = 475 \text{ об/хв}$
Опір якоря з додатковими полюсами	$R_{\text{я}} = 0,0066 \text{ Ом}$
Кількість пар полюсів	$2p = 4$
Момент інерції двигуна	$J_{\text{я}} = 25,13 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$

У двигуни вбудовані імпульсні датчики швидкості - 1024 імпульси/оборот.

З прийнятим прискоренням електропривод до номінальної швидкості буде розганятися

$$t_n = \frac{v}{a_n} = \frac{0,807 \cdot 1000}{621,7} = 1,29 \text{ с}$$

3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ МАНІПУЛЯТОРА ОБТИСКНОГО СТАНУ

3.1 Вибір комплектного електроприводу

Виходячи з вимог, що пред'являються до механізму маніпулятора, обраний регульований електропривод постійного струму з тиристорним перетворювачем.

У сучасному електроприводі загального призначення електромашинні перетворювачі по системі Г - Д не знаходять широкого застосування.

При виборі типу електроприводу враховувалися жорсткість механічних характеристик, можливості і обмеження системи регулювання, економічність системи по відношенню до витрат електроенергії, первинних і експлуатаційних витрат.

Недоліки системи ТП - Д:

- 1) більш м'яка механічна характеристика;
- 2) чутливість до перенапруг;
- 3) низька перевантажувальна здатність;
- 4) впливає на мережу.

Переваги системи ТП - Д:

- 1) високу швидкодію;
- 2) миттєва готовність до роботи;
- 3) відсутність системи власних потреб і обертових частин;
- 4) високий ККД;
- 5) менші габарити;
- 6) менше витрат на конструкційні матеріали;
- 7) простота обслуговування, виготовлення і монтажу;
- 8) простіша система охолодження;
- 9) можливість участі в централізованій системі управління технологічним процесом.

Таким чином, з усіх способів регулювання і зміни напрямку швидкості, використання реверсивного тиристорного перетворювача (РТП) є одним з найсучасніших способів створення швидкодіючого регульованого електроприводу постійного струму. Реверсивним тиристорним перетворювачем називається перетворювач, через який струм може протікати в обох напрямках. Оскільки тиристори пропускають струм тільки в одному напрямку, то для зміни напрямку струму навантаження необхідно використовувати дві групи вентилів, кожна з яких проводить струм в своєму напрямку. Ці групи вентилів найчастіше збираються за трифазною мостовою або трифазної нульової схемою. Трифазна нульова схема відрізняється простотою, меншим числом вентилів застосовуваних у схемі. Трифазна мостова схема має низку переваг у порівнянні з трифазної нульової:

- 1) Випрямлена ЕРС при одній і тій ж вторинній напрузі трансформатора в два рази більше;
- 2) Пульсації випрямленої ЕРС в два рази більше за частотою і менше по амплітуді;
- 3) Вентильні групи можуть підключатися до мережі без трансформатора;
- 4) Типова потужність трансформатора менше.

Перераховані переваги обумовлюють переважне застосування трифазного мостової схеми в системах електроприводу (ЕП) потужністю десятки - сотні кіловат. Оскільки потужність ТП, яке живить якірний ланцюг досить велика, то вибираємо трифазну мостову схему.

Як було зазначено вище, для отримання реверсивного ТП дві групи вентилів певним чином з'єднують між собою. Розрізняють зустрічно - паралельне і перехресне з'єднання. При зустрічно - паралельному з'єднанні застосовується простий двох обмотувальний трансформатор меншої потужності. Перевага перехресної схеми в тому, що в даній схемі аварійні процеси при одночасному включенні тиристорних груп протікають легше, тому цю схему доцільно застосовувати в відповідальних ЕП. На підставі цього вибираємо зустрічно - паралельне з'єднання випрямних груп.

Застосовуються два основні методи управління комплектами РТП: спільне і роздільне. При спільному управлінні імпульси подаються на тиристри обох груп одночасно. При цьому одна група працює в випрямному режимі з кутом регулювання α_B , розвиває середнє значення випрямленої напруги $U\alpha_B$ і забезпечує протікання струму через навантаження. В цей же час друга група переводиться в інверторний режим з кутом регулювання α_U і середнє значення випрямленої напруги $U\alpha_U$. При такому управлінні в РТП утворюється замкнутий контур, по якому може протікати зрівняльний струм. Для зменшення цього струму кути регулювання повинні бути в певному співвідношенні. При узгодженому управлінні співвідношення кутів встановлюється таким чином, щоб виконувалося співвідношення: $U\alpha_B = U\alpha_U$. Це рівняння виконується за умови $\alpha_B + \alpha_U = 180^\circ$. При цьому способі управління в зрівняльному контурі протікає переривчастий струм, середнє значення якого називають статичним зрівняльним струмом і обмежують до допустимого зрівняльними реакторами. Для зменшення зрівняльного струму застосовують неузгоджене управління групами тиристорів в РТП. При цьому співвідношення кутів управління: $\alpha_B + \alpha_U > 180^\circ$. При цьому в зрівняльній контурі завжди є постійна складова напруги, спрямована проти провідності тиристорів, оскільки інверторна група розвиває більшу напругу, ніж випрямна. Це призводить до різкого зменшення статичного зрівняльного струму, хоча динамічний зрівняльний струм зменшується незначно. Необхідно відзначити також те, що протікання невеликого зрівняльного струму сприятливо позначається на статичних характеристиках ТП.

Таким чином переваги спільного управління:

- 1) відсутність необхідності в перемиканні силового кола;
- 2) висока швидкодія при переході з одного режиму в інший і постійна готовність до цього переходу;
- 3) однозначність в статичних характеристиках ТП.

В електроприводі застосуємо перетворювач з роздільним управлінням вентилями групами.

Для управління ТП в даний час застосовують головним чином безінерційні системи фазового управління з пилкоподібною або синусоїдальною опорною напругою. Перевагою синусоїдальної форми опорної напруги є лінійність результуючої характеристики ТП. Тому в розробляється ТП застосуємо синусоїдальна опорна напруга.

Для вирівнювання навантажень в межах однієї осі (передній або задній) і відповідно зменшення перекосів при русі включаємо приводні двигуни по ланцюгу якоря послідовно і заживлюємо від одного перетворювача. Ланцюги збудження обох двигунів однієї осі підключаємо до збудника паралельно. Це дозволить в необхідних межах налаштувати механічні характеристики двигунів. Схема включення електродвигунів приведена на рисунку 3.1.

З огляду на, що обрані двигуни мають номінальну напругу по 220 В (повна напруга на двох якорях 440 В), живлення тиристорних перетворювача здійснюємо до мережі 380 В через струмообмежуючі реактори.

З огляду на параметри обраного двигуна, вибираємо КТЕ 800/440-333-7В-УХЛ4, тобто перетворювач на струм 800 А і випрямлену напругу 440 В багатодвигунний (3), реверсивний (3) з шестипульсною мостовою схемою (3) з АСР швидкості (7) і вбудованим збудником (В) живленням від мережі 380 В через струмообмежувальним реактор.

На рисунку 3.1 представлена функціональна схема КТЕ. На рисунку 3.1 прийняті наступні позначення:

- ЛПУ - логічне перемикаючий пристрій;
- К - ятка ключів перемикаючих імпульсів;
- ПВД - живлення збудження двигуна;
- СПТ - система живлення електромагнітного гальма;
- ПЦУ - живлення ланцюгів управління;
- УІ1-УІ6 - імпульси управління;
- БВУ - блок вихідних пристроїв;

КФУ - канал фазового управління;

ТГ - тахогенератор;

С1 - ятка зв'язку;

КМ - силовий контактор;

РТ - регулятор струму;

U_y, U_R, U_0 - зовнішні сигнали;

QF - автоматичний вимикач.

На рисунку 3.2 приведена функціональна схема системи автоматичного регулювання швидкості реверсивного однозонного електроприводу серії КТЕ.

На рисунку 3.2 позначено:

ZI_c - задавач інтенсивності швидкості;

$U_{зи}$ - напруга задавача інтенсивності;

Σ - суматор;

d_n - прискорення;

$\Sigma_{n_{\max}}$ - сумарний сигнал, який відповідає максимальне значення швидкості;

Σ_n - сумарне значення швидкості;

РС - регулятор швидкості;

i_{\max} - сигнал, який відповідає максимальному значенню струму двигуна;

П-режим - пропорційний режим;

ПІ-режим - пропорційно-інтегральний режим;

На рис. 3.3 наведена схема підключення перетворювача до двигуна.

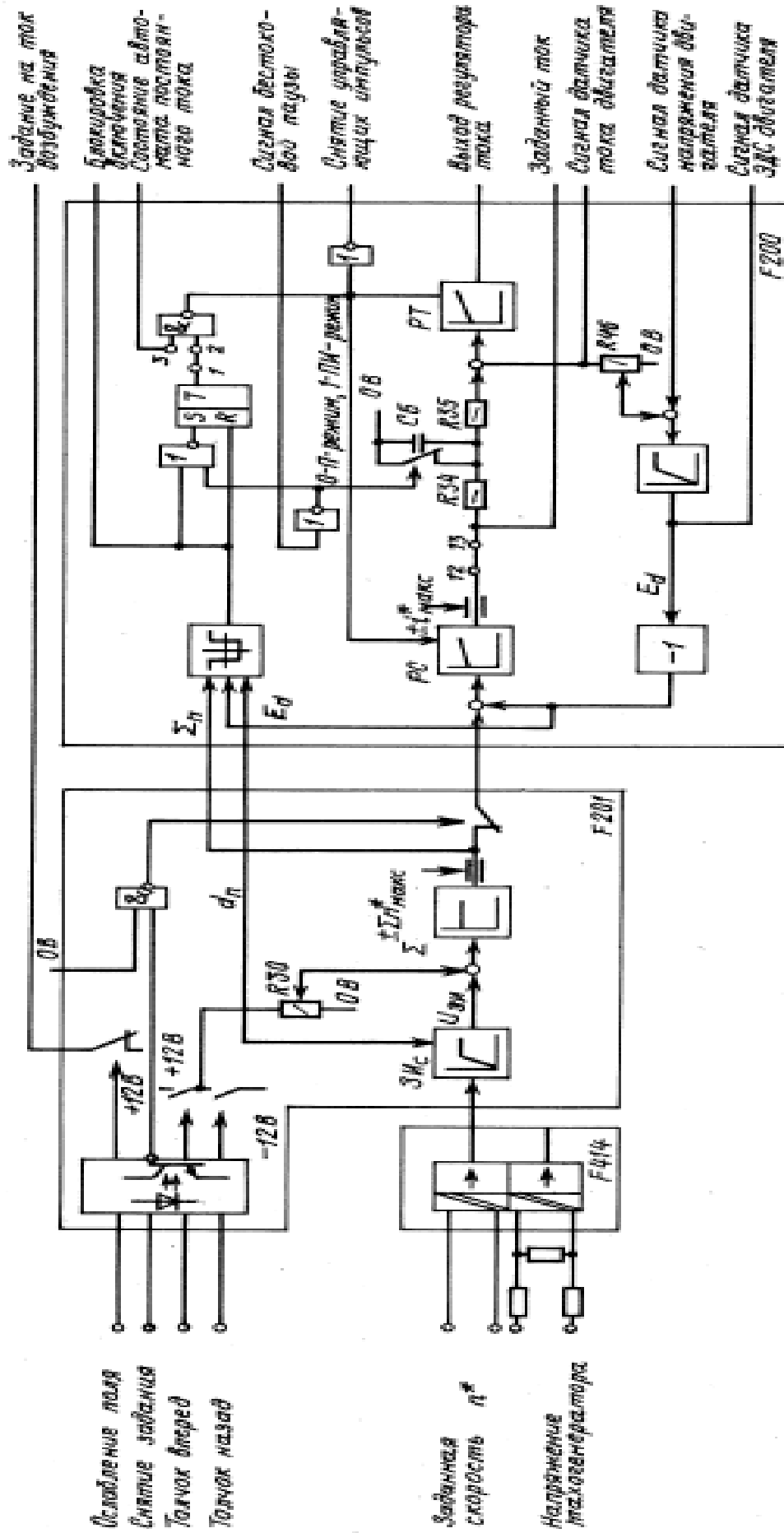


Рисунок 3.2 – Функціональна схема САР електроприводу серії КТЕ

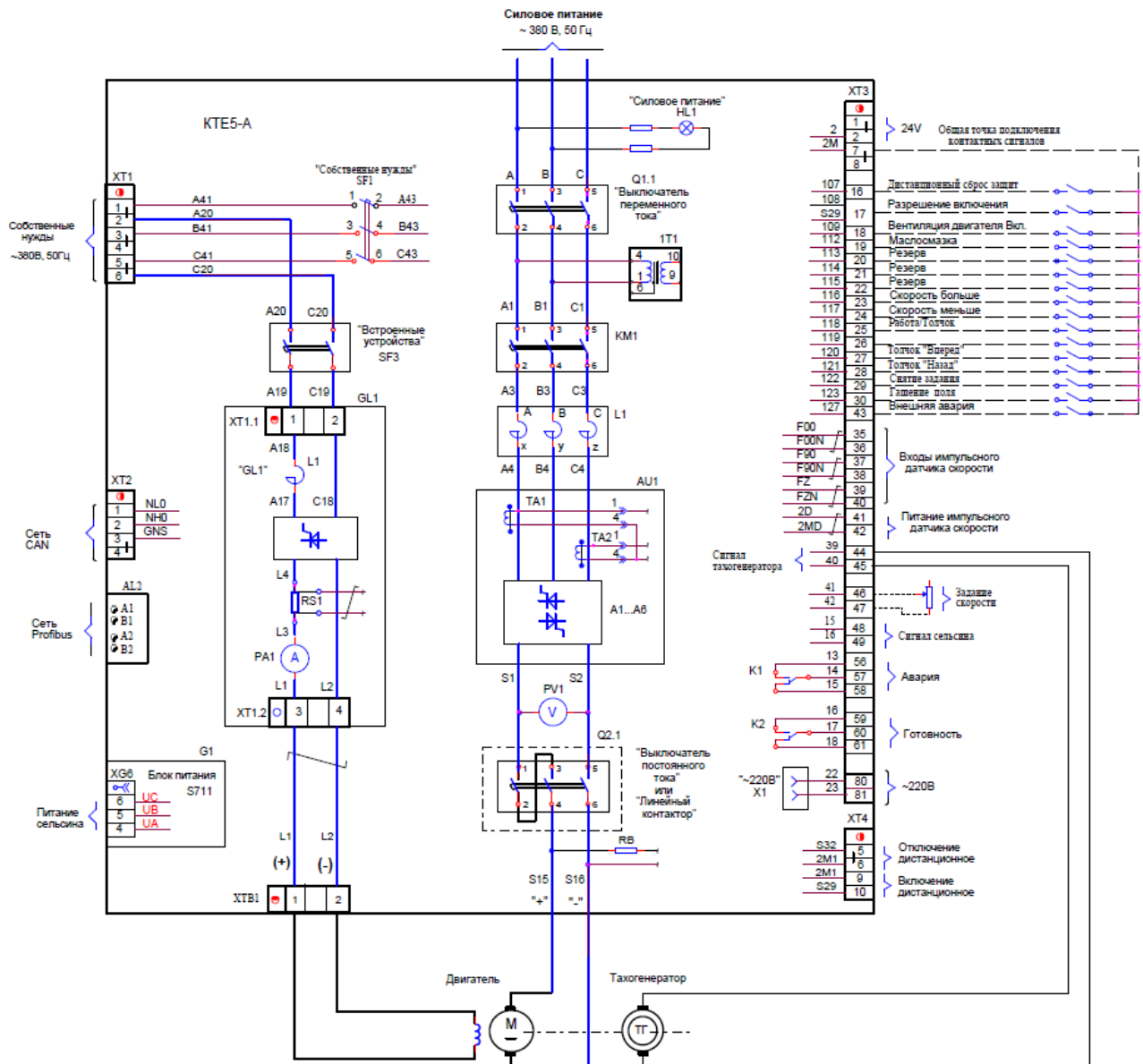


Рисунок 3.3 – Схема підключення комплектного перетворювача до двигуна

В основі виробу - шестипульсний тиристорний керований перетворювач з системою керування, що дозволяє регулювати напругу постійного струму в широкому діапазоні.

Крім того, виріб має систему допоміжних пристроїв (пристрій живлення обмотки збудження, пристрій керування електромагнітним гальмом, пристрій живлення обмотки збудження тахогенератора), систему автоматичного регулювання струму, напруги, ЕРС, частоти обертання, натягу, положення, системи захисту і сигналізації перетворювача і електроприводу.

Комплектний пристрій, повністю готовий до підключення, що складається з одного або декількох шаф, в яких скомпоновано необхідне обладнання. Шафи, що входять до складу електроприводу, являють собою металеву конструкцію каркасного типу. Зовнішній вигляд шафи представлений на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд перетворювача шафового виконання

Системи керування (СК) - мікропроцесорні, уніфіковані між собою, і з іншими виробами (інтелектуальними пультами керування, компенсаторами реактивної потужності, системами діагностики, пристроями віддаленого вводу-виводу, збудниками синхронних двигунів, незалежними системами збудження і самозбудження турбо- і гідрогенераторів, пускателями).

Загальна площа друкованих плат СК значно зменшена (більш ніж в 3,5 рази) за рахунок використання сучасної елементної бази з високим ступенем інтеграції.

Системи керування і регулювання дозволяють приймати і обробляти сигнали будь-яких датчиків - імпульсних, кодових, сельсинов, датчиків температури й ін., В тому числі датчиків з послідовними каналами зв'язку.

Комплектація СК, в тому числі низьковольтні (реле, клемні присоединітелі й ін.), виконана з елементів провідних світових виробників - Intel, Burr Brown, Motorola, Texas Instruments й ін.

СК має швидкодіючі двопровідні інтерфейси для зв'язку з обладнанням верхнього рівня, в тому числі інших постачальників.

Зв'язок з електрообладнанням інших постачальників - датчиками, ПКУ, пультами, системами автоматизації - виконується радіально, прийомом і передачею стандартних, нормалізованих дискретних і аналогових сигналів і по швидкодіючій інформаційній мережі послідовної зв'язку.

У комплексних поставках, де постачальник є виробником КТЕ, пультів і засобів автоматизації використовується мережа CAN, контролер якої вбудований в плату процесора всіх систем керування. Передача сигналів по мережі відповідає стандарту ISO 11898.

За вимогами замовника КТЕ можуть бути адаптовані для зв'язку з обладнанням інших постачальників по мережах Profibus, Modbus й ін.

Для включення в інформаційну мережу сигналів реле, технологічних датчиків встановлюваних на механізмах і т.п., в окремих конструктивах поставляються пристрої віддаленого вводу/виводу (ПВВ). ПВВ виконані на уніфікованій з КТЕ елементній базі і дозволяють з найменшими витратами кабельної продукції підключати віддалені від КТЕ джерела сигналів.

Базові системи керування мають вбудовані апаратні засоби для прийому сигналів датчиків з'єднаних з валом двигуна - тахогенераторів, імпульсних датчиків з різною кількістю імпульсів на оберт, сельсинов. Сигнали імпульсних датчиків використовуються для регуляторів швидкості та положення. Для

прийому сигналів тахогенераторів КТЕ мають подільники напруги, а для імпульсних датчиків - вбудоване джерело живлення.

Склад КТЕ наведено на рисунку 3.5. Детальна система курування КТЕ наведена у додатку А.

Q1 - трьохполюсний автоматичний вимикач;

Q2 - двополюсний автоматичний вимикач

КМ - лінійний контактор

В - пристрій живлення обмотки збудження

М - пристрій живлення електромагнітного гальма;

Д - динамічний гальмо;

Т1 - трансформатор (за вказівкою в замовленні - поставка високовольтного трансформатора і шафи високовольтного введення);

Т - блок живлення тахогенератора;

ZZ - сельсин датчик кута повороту

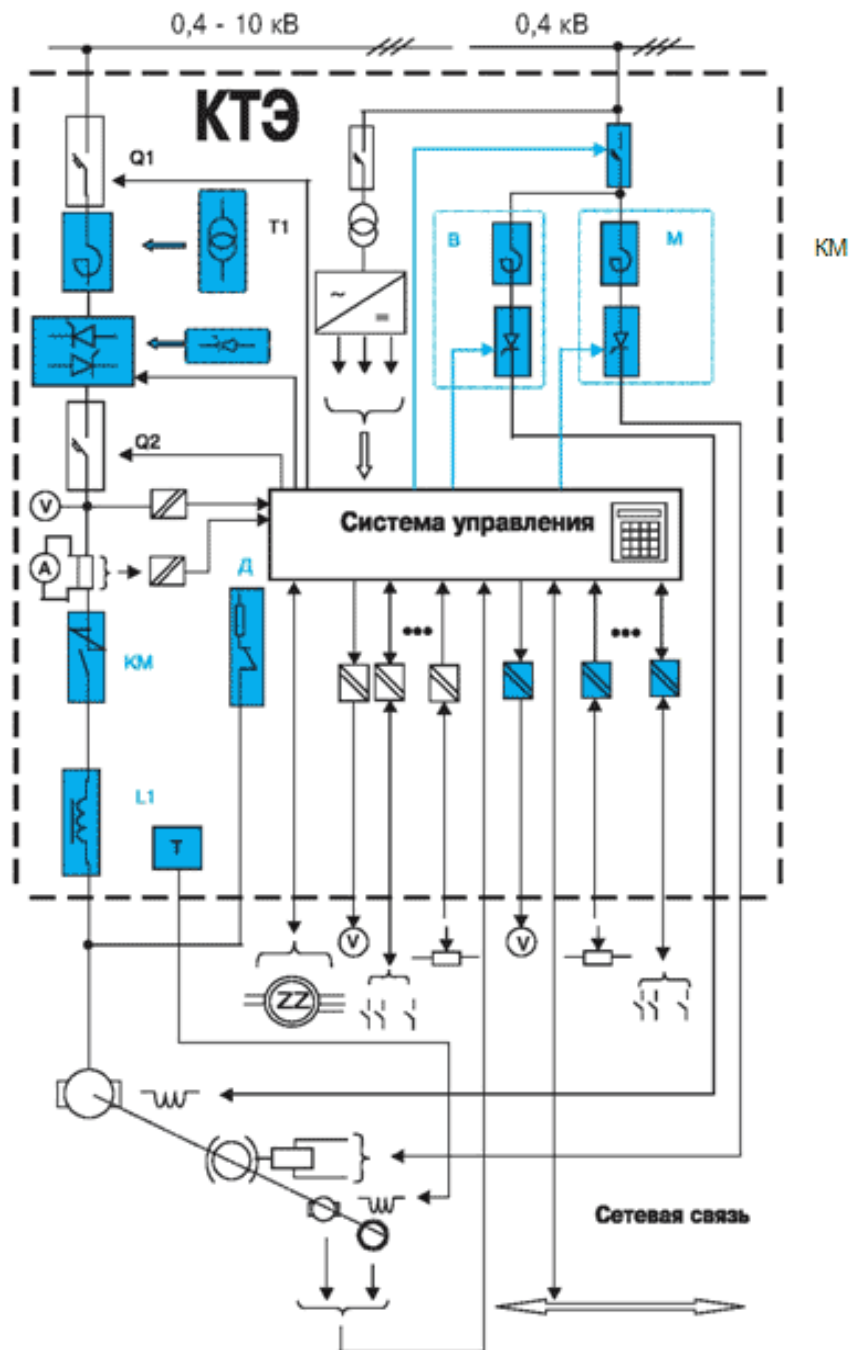


Рисунок 3.5 - Склад перетворювача шафового виконання

3.2 Вибір струмообмежувального реактора

При використанні мостової схеми випрямляча, коли розрахункове значення ЕРС вторинної обмотки трансформатора $E_{2\phi}$ є близьким до значення відповідної (фазної) напруги живильної мережі, може бути застосований безтрансформаторний варіант схеми випрямляча. У цьому випадку силовий трансформатор відсутній, в випрямний міст підмикається до мережі через токообмежуючі реактори, які є необхідними для обмеження струмів короткого замикання та зменшення впливу перетворювача на живильну мережу.

Індуктивний опір такого реактора повинен бути такт самий як і трансформатора, який треба було б встановлювати для заданої потужності перетворювача.

Оскільки струмообмежуючі реактори встановлюються, як правило у перетворювальних установках середньої та великої потужності (понад 100 кВт), коли активним опором реактора можна знехтувати, його індуктивний опір може бути визначений за формулою, Ом:

$$x_p = \frac{x_{p\%} U_{2\phi}}{100 I_2}$$

де $x_{p\%} = 5 \dots 8$ - відносне значення індуктивного опору реактора,

Індуктивність струмообмежуючого реактора, Гн:

$$L_p = \frac{x_p}{\omega_c}$$

В подальших розрахунках величина x_p повинна фігурувати замість x_{mp} .

Струмообмежувальним реактор - пристрій, для захисту тиристорів від надструмів в аварійних режимах роботи перетворювачів, включаються в кожен фазу мережі живлення. Індуктивність реактора вибирається з умови обмеження діючого значення усталеного струму короткого замикання.

Вибираємо струмообмежувальний реактор РТСТ-660-0,064 УЗ з параметрами наведеними в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні данні струмообмежувального реактора типу РТСТ-660-0,064 УЗ

Найменування параметра	Позначення та чисельне значення
Лінійна напруга мережі живлення, В	$U_L = 410$
Струм мережі (відповідає випрямленому струму $I_{ТП} = 800$ А), А	$I_L = 660$
Номінальна індуктивність, мГн	$L_{\text{тор}} = 64$
Активний опір, мОм	$r_{\text{тор}} = 2,1$

3.3 Вибір згладжувального реактора

Згладжувальний реактор включається в ланцюг випрямленого струму з метою зменшення його змінної складової. Пульсації випрямленого струму повинні бути обмежені на рівні допустимого значення для обраного двигуна. При тиристорному живленні надійна робота двигунів серії забезпечується без необхідності застосування реактора, що згладжує, якщо коефіцієнт пульсацій струму $k_{I(\text{доп})}$ не перевищує 15%. При $k_{I(\text{доп})} = 15\%$ номінальна потужність знижується не більше ніж на 3%.

ЕРС перетворювача при куті управління $\alpha = 0$:

$$E_{d0} = 1,35 \cdot U_{2л} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В} \quad (3.1)$$

Мінімальна сумарна (еквівалентна) індуктивність якірного ланцюга за умовою обмеження пульсацій випрямленого струму:

$$L_{\text{э}(\text{min})} = \frac{k_U}{k_{I(\text{доп})}} \cdot \frac{E_{d0}}{m \cdot \omega_c \cdot I_n}, \quad (3.2)$$

де k_U - коефіцієнт пульсацій напруги (для трифазної мостової схеми приймаємо $k_U = 0,13$),

m - пульсність перетворювача (для мостовий трифазної схеми $m = 6$)

$$L_{\vartheta(\min)} = \frac{0.13}{0.15} \cdot \frac{513}{6 \cdot 314 \cdot 500} = 0.472 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (3.3)$$

Індуктивність якоря двигуна визначимо використовуючи формулу Уманського-Лінвілля:

$$L_{\text{яд}} = \frac{0.25 \cdot U_{\text{н}}}{I_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}} \cdot p} = \frac{0.25 \cdot 220}{500 \cdot 49.74 \cdot 8} = 0.276 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.4)$$

Розрахункова індуктивність згладжувального реактора:

$$\begin{aligned} L_{\text{ср}} &= L_{\vartheta(\min)} - 2 \cdot L_{\text{мор}} - 2 \cdot L_{\text{яд}} = \\ &= 0.472 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0.064 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0.276 \cdot 10^{-3} = -0.208 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Так як розрахункова індуктивність виявилася від'ємною, згладжуювальний реактор не потрібен. Власної індуктивності якорного ланцюга достатньо для обмеження пульсацій струму.

3.4 Розрахунок параметрів об'єкта керування

Проведемо розрахунок параметрів об'єкта управління, необхідних для синтезу системи керування електроприводом.

Опір якоря одного двигуна з урахуванням температури навколишнього середовища:

$$R_{\text{я}} = k_t \cdot r_{\text{я}} = 1.38 \cdot 0.0066 = 0.0091 \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

де $k_t = 1.38$ - температурний коефіцієнт.

Еквівалентний опір якорного ланцюга:

$$\begin{aligned}
 R_{\mathcal{E}} &= 2 \cdot R_{Я} + 2 \cdot r_{мор} + 2 \cdot \frac{\Delta U_{Щ}}{I_H} = \\
 &= 2 \cdot 0.0091 + 2 \cdot 0.0021 + 2 \cdot \frac{2}{500} = 0.0304 \text{ Ом}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

де - $\Delta U_{Щ} = 2 \text{ В}$ - падіння напруги на щітковому контакті.

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга:

$$\begin{aligned}
 L_{\mathcal{E}} &= 2 \cdot L_{ЯД} + 2 \cdot L_{мор} = \\
 &= 2 \cdot (0.276 + 2 \cdot 0.064) \cdot 10^{-3} = 0.68 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

Електромагнітна постійна часу:

$$T_{\mathcal{E}} = \frac{L_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}}} = \frac{0.68 \cdot 10^{-3}}{0.0304} = 0.022 \text{ с} .
 \tag{3.9}$$

Потокозчеплення одної машини

$$C\Phi_{H1} = \frac{U_H - I_H \cdot r_{Я}}{\omega_H} = \frac{220 - 500 \cdot 0.0066}{49.74} = 4.356 \text{ Вс} .
 \tag{3.10}$$

Електромеханічна постійна часу

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_{\mathcal{E}}}{(C\Phi_H)^2} = \frac{93.65 \cdot 0.0304}{(2 \cdot 4.356)^2} = 0.0375 \text{ с} .
 \tag{3.11}$$

Статичний коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача:

$$k_{mn} = \frac{E_{d0}}{U_y} = \frac{513}{10} = 51.3
 \tag{3.12}$$

де $U_y = 10 \text{ В}$ - максимальна напруга управління.

Приймаємо малу некомпенсовану постійну часу $T_{\mu} = 0,005 \text{ с}$.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ МАНІПУЛЯТОРОМ ОБТИСКНОГО СТАНУ

4.1 Математичний опис об'єкта керування

При синтезі системи керування приймаються звичайні для систем електропривода допущення, які лініаризують силову частину об'єкта керування – позиційного електроприводу з приводним електродвигуном постійного струму і керованим тиристорним перетворювачем для живлення ланцюга якоря. При математичному описі не враховується вплив пружних елементів, вплив гістерезису, вихрових струмів і реакції якоря. Коефіцієнти передач і постійні часу структурних елементів електропривода приймаються незмінними.

Об'єктом керування в даній системі виступає тиристорний перетворювач, електродвигун та позиційна частина.

Тиристорний перетворювач, як елемент системи регулювання, є нелінійним дискретним пристроєм. Його специфічні особливості полягають у наступному. Управління ТП здійснюється дискретно, тому що після відмикання чергового тиристора зміна сигналу управління протягом деякого інтервалу часу не приводить до зміни напруги ТП.

Якщо швидкість зміни кута $d\alpha/dt > \omega_0$, то ЕРС визначається не кутом α , а зміною по кривій живлячої напруги останнього тиристора, що проводив струм у зв'язку з неможливістю закрити по ланцюгу управління відкритий тиристор. Останнє явище одержало назву неповної керованості тиристорного перетворювача.

У зв'язку із цим повне дослідження динамічних характеристик ТП є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення. Найбільше поширення одержали два види моделей тиристорних перетворювачів: безперервна, у якій ТП представляється аперіодичною ланкою з коефіцієнтом $k_{\text{ТП}}$ і постійної часу $\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$ й імпульсна. Надалі, при синтезі

САР буде використана безперервна модель тиристорного перетворювача.

Таким чином, електродвигун представимо у вигляді трьох типових ланок (рис. 4.1): аперіодичної ланки першого порядку (електрична частина двигуна) аперіодичної ланки першого порядку (електрична частина машин) і інтегруючої ланки (механічна частина), охоплених негативним зворотним зв'язком по ЕРС двох двигунів.

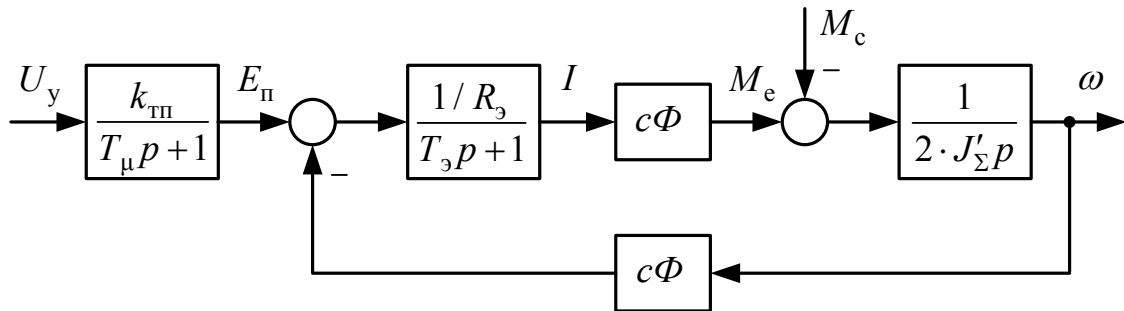


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електроприводу

Одним із сучасних методів побудови уніфікованих систем автоматичного керування електроприводом є принцип підпорядкованого регулювання параметрів. При цьому об'єкт управління представляється в вигляді ланцюга послідовно з'єднаних ланок, на виході кожного з яких формується той чи інший параметр. Важливою перевагою системи підпорядкованого управління є можливість обмеження величини підпорядкованого параметра шляхом обмеження вихідного сигналу регулятора зовнішнього контуру [3-4].

Найбільш поширеним в уніфікованих системах управління принципом побудови регулятора є компенсація основних інерційностей об'єкта управління. Принцип компенсації можна сформулювати наступним чином: кожній ланці об'єкта керування з великою постійною часу має відповідати ланка зі зворотною функцією передачі в складі регулятора. Тоді, якщо не враховувати впливу малих постійних часу, передавальна функція розімкнутої системи є безінерційна ланка. Виходячи з вищесказаного, складемо структурну схему системи регулювання швидкості, яка приведена на рис. 4.2.

4.2 Розрахунок регулятора струму

На рисунку 4.3 представлена структурна схема контуру струму.

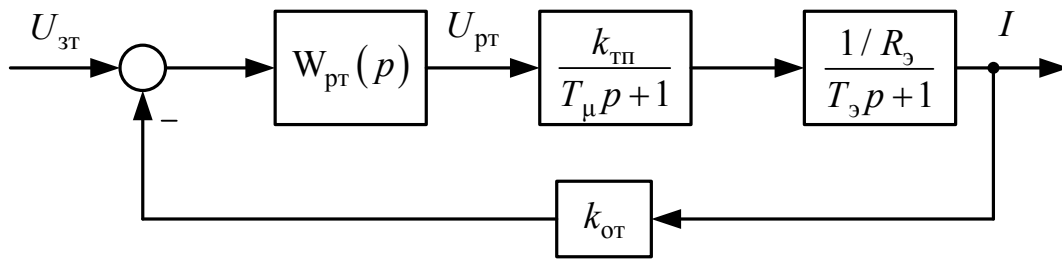


Рисунок 4.2 – Структурна схема контуру струму

Передавальна функція регулятора струму при оптимізації контуру на модульний оптимум матиме вигляд:

$$W_{PT}(p) = K_{PT} \cdot \frac{T_{\text{э}}p + 1}{T_{\text{э}}p}. \quad (4.1)$$

Як видно з формули (4.1) регулятор струму - ПІ регулятор. Статичний коефіцієнт посилення регулятора струму:

$$K_{PT} = \frac{R_{\text{э}} \cdot T_{\text{э}}}{K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{ОТ}} \cdot T_{\text{ОТ}}} = \frac{0.0304 \cdot 0.022}{51.3 \cdot 0.008 \cdot 0.01} = 0.163, \quad (4.2)$$

де $T_{\text{ОТ}} = 2T_{\mu} \cong 0.01 \text{ с.};$

$$K_{\text{ОТ}} = \frac{U_{\text{зтМАХ}}}{I_{\text{МАХ}}} = \frac{10}{2.5 \cdot 500} = 0.008 \text{ В/А} \quad - \text{ коефіцієнт передачі ланки}$$

зворотного зв'язку по струму з урахуванням що:

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

- максимально допустимий струм якоря двигуна

$$I_{\text{МАХ}} = \lambda_I \cdot I_H = 2.5 \cdot 500 = 1250 \text{ А.}$$

На рисунку 4.4 представлена функціональна схема регулятора струму.

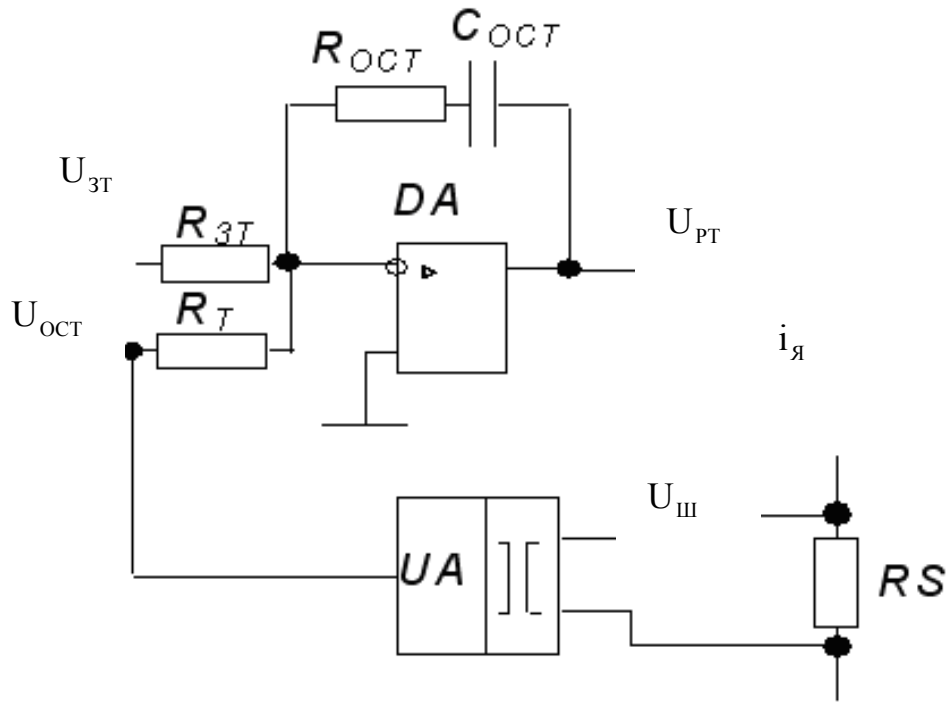


Рисунок 4.4 – Функціональна схема регулятора струму

На рисунку 4.5 представлена структурна схема регулятора струму.

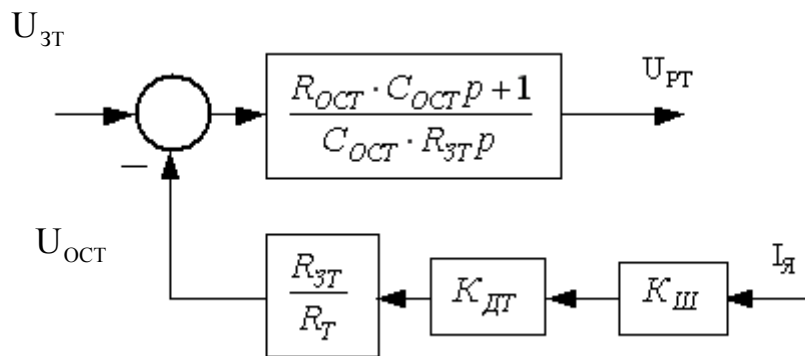


Рисунок 4.5 – Структурна схема регулятора струму

Розраховуємо елементи функціональної схеми регулятора струму по наступних співвідношеннях:

$$\begin{cases} T_{\text{Э}} = R_{\text{ОСТ}} \cdot C_{\text{ОСТ}}; \\ \frac{K_{\text{Ш}} \cdot K_{\text{T}}}{R_{\text{Э}}} T_{\text{ОТ}} = R_{\text{ЗТ}} \cdot C_{\text{ОСТ}}; \\ K_{\text{ОТ}} = \frac{R_{\text{ЗТ}}}{R_{\text{T}}} \cdot K_{\text{ДТ}} \cdot K_{\text{Ш}}, \end{cases} \quad (4.3)$$

В якості шунта RS вибираємо шунт типу 75ШС, який має такі параметри: номінальна вихідна напруга на шунті $U_{\text{НШ}} = 75$ мВ при струмі $I_{\text{НШ}} = 1500$ А. Отже коефіцієнт передачі шунта:

$$K_{\text{Ш}} = \frac{U_{\text{НШ}}}{I_{\text{НШ}}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{1500} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ В/А}. \quad (4.4)$$

Коефіцієнт передачі датчика струму:

$$K_{\text{ДТ}} = \frac{K_{\text{ОТ}}}{K_{\text{Ш}}} = \frac{0.008}{5 \cdot 10^{-5}} = 160. \quad (4.5)$$

В якості стандартного датчика струму UA вибираємо датчик струму з системи УБСР-АІ типу ДТ-3АІ. Цей датчик призначений для формування і введення в систему регулювання аналогового сигналу, пропорційного струму в ланцюзі якоря. Датчик підключається до шунта в коло якоря двигуна і забезпечує гальванічну розв'язку між вхідними та вихідними ланцюгами з різницею потенціалів між ними до 1000 В.

Установки сенсора ДТ-3АІ, позначеного на схемі як UA:

- вихідна напруга 10 В;
- коефіцієнт посилення $53 \div 200$;
- похибка 1%;
- смуга пропускання 1.5 кГц;
- напруга живлення постійним струмом 12.6 В.

Приймаємо конденсатор $C_{\text{ост}}$ ємністю 2 мкФ.

$$R_{\text{ост}} = \frac{T_{\text{э}}}{C_{\text{ост}}} = \frac{0.022}{2 \cdot 10^{-6}} = 11000 \text{ Ом} = 11 \text{ кОм}. \quad (4.6)$$

$$R_{\text{зт}} = \frac{K_{\text{тп}} \cdot K_{\text{от}} \cdot T_{\text{от}}}{R_{\text{э}} \cdot C_{\text{ост}}} = \frac{51.3 \cdot 0.008 \cdot 0.01}{0.0304 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 67.5 \text{ кОм}. \quad (4.7)$$

$$R_{\text{т}} = \frac{R_{\text{зт}} \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{дт}}}{K_{\text{от}}} = \frac{67.5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 160}{0.008} = 67.5 \text{ кОм} \quad (4.8)$$

Вибираємо резистор $R_{\text{ост}}$ марки МЛТ - 0.125, опором 11 кОм.

Вибираємо резистор $R_{\text{зт}}$ марки МЛТ-0.125, опором 68 кОм.

Вибираємо резистор $R_{\text{т}}$ марки МЛТ-0.125, опором 68 кОм.

Вибираємо конденсатор $C_{\text{ост}}$ марки К50-6, ємністю 2 мкФ.

Вибираємо стабілітрон VD типу КС 210Б:

- напруга стабілізації - 10 В;
- розкид напруги стабілізації - 0,7 В;
- мінімальний струм стабілізації - 3мА;
- максимальний струм стабілізації – 14 мА;
- диференційний опір - 22 Ом.

4.3 Розрахунок регулятора швидкості

До контуру регулювання швидкості входить: об'єкт управління, що складається з оптимізованого контуру струму і механічної частини електроприводу; датчик швидкості; регулятор швидкості. Визначимо передавальну функцію замкнутого контуру струму:

$$W_{\text{КТ}}(p) = \frac{\frac{1}{T_{\mu}p+1} \cdot \frac{1}{T_{\text{от}}p} \cdot \frac{1}{K_{\text{от}}}}{1 + \frac{1}{T_{\mu}p+1} \cdot \frac{1}{T_{\text{от}}p}} = \frac{1}{T_{\text{от}}T_{\mu}p^2 + T_{\text{от}} + 1} \quad (4.9)$$

Оскільки T_μ - мала постійна часу, то $T_{OT}T_\mu p^2 = 2T_\mu^2 p$ можна прирівняти нулю, тоді передавальна функція контуру струму набуде вигляду:

$$W_{KT}(p) = \frac{1/K_{OT}}{T_{OT}p + 1}. \quad (4.10)$$

Таким чином, на рисунку 4.6 представлена структурна схема регулятора швидкості.

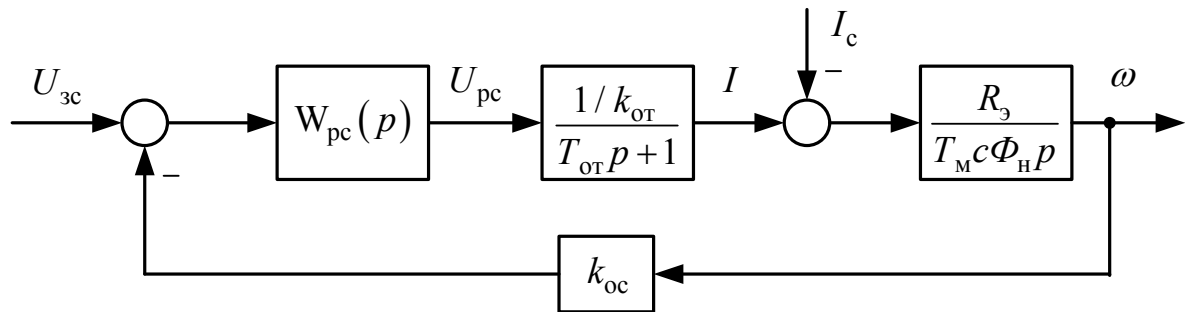


Рисунок 4.6 - Структурна схема контуру швидкості

Залежно від вимог, що пред'являються технологією до електроприводу механізму, контур швидкості виконують однократно інтегруючим (з П - регулятором) або двократно інтегруючим (ПІ - регулятором).

Для систем підпорядкованого регулювання швидкості механізмів з ударним навантаженням застосовується ПІ - регулятор.

Передавальна функція регулятора швидкості при оптимізації контуру на модульний оптимум матиме вигляд:

$$W_{PT}(P) = K_{PC} \quad (4.11)$$

Статичний коефіцієнт посилення регулятора швидкості:

$$K_{PC} = \frac{K_{OT} \cdot J_\Sigma}{2T_{OT} \cdot (2C\Phi_H) \cdot K_{OC}} = \frac{0.008 \cdot 93.65}{2 \cdot 0.01 \cdot (2 \cdot 4.356) \cdot 0.201} = 21.39$$

де K_{OC} - коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості;

$$K_{OC} = \frac{U_{3C\text{MAX}}}{\omega_{\text{MAX}}} = \frac{10}{49.74} = 0.201 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{рад} \quad - \text{ коефіцієнт передачі ланки}$$

зворотнього зв'язку за швидкістю з урахуванням того, що:

- максимальний сигнал завдання на швидкість $U_{3T\text{MAX}} = 10 \text{ В}$.

На рисунку 4.7 представлена функціональна схема регулятора швидкості.

На рисунку 4.8 представлена структурна схема регулятора швидкості.

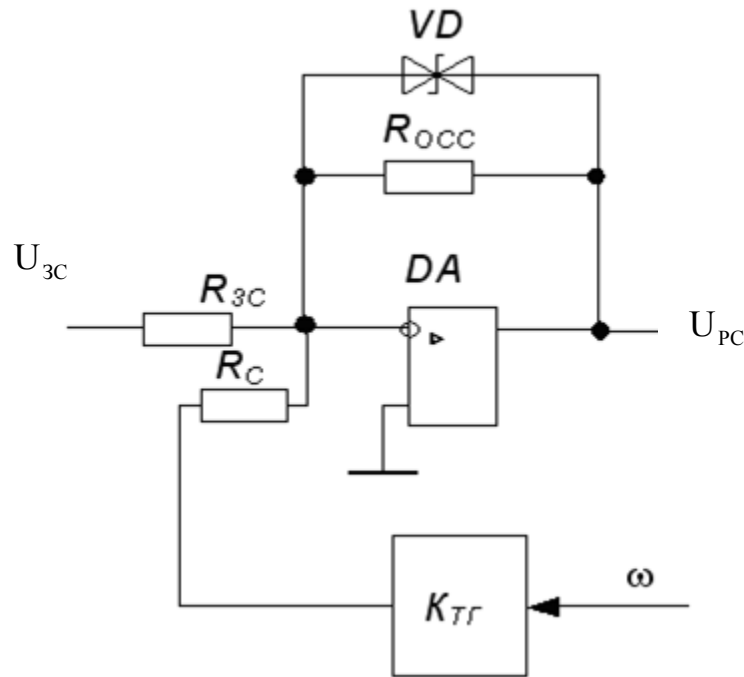


Рисунок 4.7 – Функціональна схема регулятора швидкості

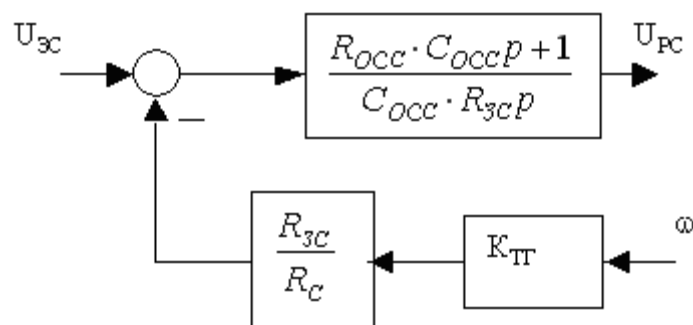


Рисунок 4.8 – Структурна схема регулятора швидкості

В якості датчика швидкості вибираємо тахогенератор типу ТП 214:

$n_H = 1000 \text{ об/хв}$; $U_H = 100 \text{ В}$;

$$K_{\text{ТГ}} = \frac{U_{\text{н.ТГ}}}{\omega_{\text{н.ТГ}}} = \frac{100}{3.14 \cdot 1000 / 30} = 0.96 \text{ В} \cdot \text{с.} \quad (4.12)$$

Розраховуємо елементи функціональної схеми регулятора швидкості по наступним співвідношенням

$$\begin{cases} K_{\text{PC}} = \frac{R_{\text{OCC}}}{R_{\text{ЗС}}}; \\ K_{\text{C}} = K_{\text{ТГ}} \cdot \frac{R_{\text{ЗС}}}{R_{\text{C}}}; \\ U_{\text{ЗС MAX}} = K_{\text{C}} \cdot \omega_{\text{H}}. \end{cases} \quad (4.13)$$

Завдання на швидкість подаємо з задавача інтенсивності швидкості.

Тому задаємося $R_{\text{ЗС}} = 10 \text{ кОм}$. В кості $R_{\text{ЗС}}$ вибираємо резистор типу МЛТ-0.125 опором 10 кОм.

Розрахуємо R_{OCC} :

$$R_{\text{OCC}} = K_{\text{PC}} \cdot R_{\text{ЗС}} = 21.39 \cdot 10 \cdot 10^3 = 232 \text{ кОм.} \quad (4.14)$$

Вибираємо резистор R_{OCC} типу МЛТ-0.125 220 кОм.

Розрахуємо R_{C} :

$$R_{\text{C}} = \frac{K_{\text{ТГ}} \cdot R_{\text{ЗС}}}{K_{\text{OC}}} = \frac{0.96 \cdot 10 \cdot 10^3}{0.201} = 47.76 \text{ кОм.} \quad (4.15)$$

Вибираємо резистор R_{C} типу МЛТ-0.125 47 кОм.

Вибираємо стабілітрон VD типу КС 210Б:

- напруга стабілізації - 10 В;
- розкид напруги стабілізації - 0,7 В.
- мінімальний струм стабілізації - 3мА;
- максимальний струм стабілізації – 14мА;
- диференційний опір - 220м.

4.4 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону й гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки токообмеження ($I_{\max} = 2,5I_{\text{н}}$) необхідно на вході регулятора швидкості встановити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІШ). Він перетворить східчастий сигнал завдання швидкості в лінійно мінливий сигнал у часі. Значення напруги виходу ЗІШ, що встановилося, яке подається на вхід регулятора швидкості, дорівнює вхідному сигналу. Структурна схема задатчика інтенсивності наведено на рисунку 4.9.

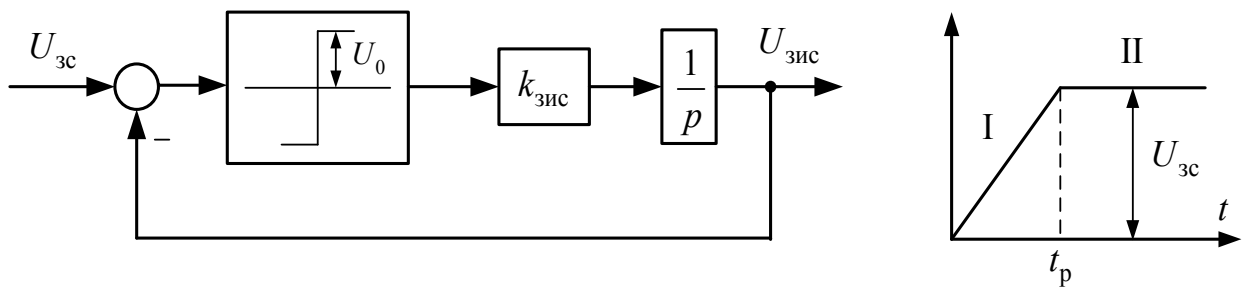


Рисунок 4.9 – Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідна напруги задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_p = \frac{R_{\text{э}}}{T_{\text{м}} c \Phi_{\text{н}}} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_p \quad (4.16)$$

II ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{II}} = U_{\text{зс}} \quad (4.17)$$

де $I_{\text{дин}} = 1,5I_{\text{н}} = 1,5 \cdot 990 = 1485$ А - заданий динамічний струм;

$\omega_{\text{з.уст}} = 74,31$ 1/с – усталена швидкість, яка відповідає $U_{\text{зс}}$;

$U_{\text{зс}} = 10$ В - напруга на вході ЗІШ (напруга, що задає);

$U_0 = 10$ В - полка релейного елемента.

Час пуску з прийнятим прискоренням, розрахований в розділі 2 складає 1,29 с. Коефіцієнт передачі ЗИС:

$$K_{\text{и}} = \frac{U_{3\text{MAX}}}{t_p} = \frac{10}{1.29} = 7.75 \frac{\text{В}}{\text{с}}. \quad (4.18)$$

На рисунку 4.10 представлена функціональна схема задатчика інтенсивності швидкості.

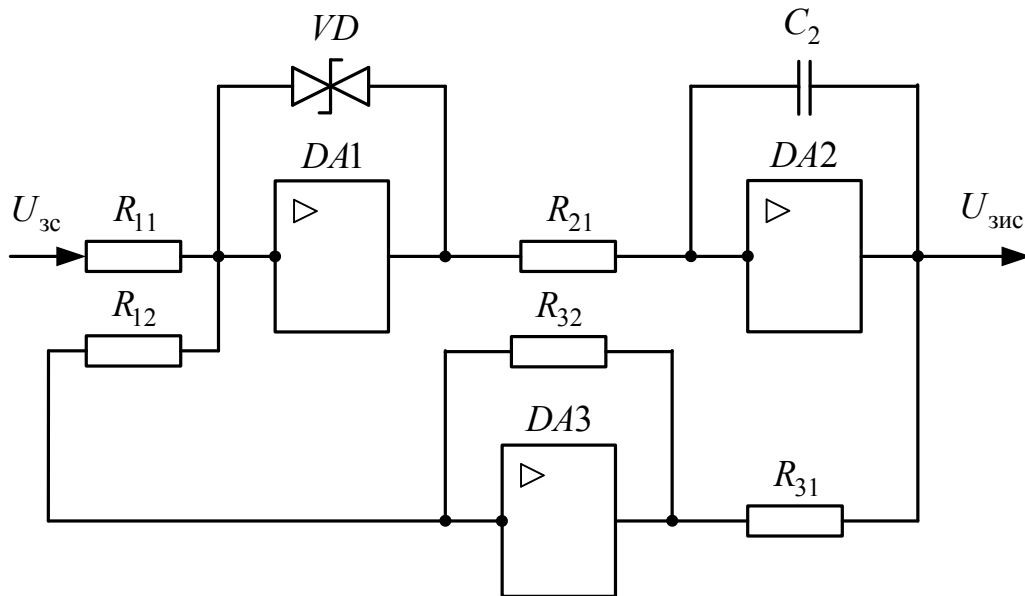


Рисунок 4.10 – Функціональна схема задатчика інтенсивності швидкості

Приймем конденсатор C_2 ємністю 2 мкФ.

Приймемо:

$$R_{11} = R_{12} = 10 \text{ кОм};$$

$$R_{31} = R_{32} = 10 \text{ кОм}.$$

$$R_{21} = \frac{1}{K_{\text{и}} \cdot C_2} = \frac{1}{7.75 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 64,5 \text{ кОм}.$$

Вибираємо резистори R_{11} і R_{12} марки МЛТ-0.125, опором 10 кОм.

Вибираємо резистори R_{31} і R_{32} марки МЛТ-0.125, опором 10 кОм.

Вибираємо резистор R_{21} марки МЛТ-0.125, опором 68 кОм.

Вибираємо конденсатор $C_{\text{оос}}$ марки К50-6, ємністю 2 мкФ.

Вибираємо стабілітрон VD типу КС210Б: напруга стабілізації - 10 В.

5 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

На рис. 5.1 представлена модель електроприводу, розроблена в середовищі моделювання динамічних систем Matlab/Simulink. На рис. 5.2 приведені результати моделювання роботи ЕП при розгоні, реверсі та гальмуванні на холостому ході. На рисунку 5.3 представлені графіки пуску, реверса і гальмування електроприводу під навантаженням.

На рис. 5.4 - 5.7 наведені результати моделювання роботи ЕП при зміні параметрів об'єкта керування в межах $\pm 50\%$, що може бути викликано, наприклад, недообліком опору силових кабелів, сезонними коливаннями температури зовнішнього середовища, загущенням мастила і т.п.

Отримані перехідні процеси свідчать про правильність розробки системи. Досліджуваний електропривод з синтезованою системою керування повністю задовольняє технологічним вимогам, що пред'являються до електроприводу при вихідних параметрах ОУ. При варіації (зменшення і збільшення) постійної часу, моменту інерції в широких межах система залишається працездатною. Ряд проведених варіацій призводять до незначних коливань якірного струму електродвигуна, яка викликає його додатковий нагрів і вібрацію механічної частини технологічного обладнання.

Найбільш небезпечним режимом є обриви зворотних зв'язків за струмом та швидкості (рис. 5.8). Для виключення подібних аварійних режимів проєктований електропривод повинен бути оснащений системою захистів і сигналізацією, яка відключає силовий перетворювач від мережі в цих випадках. У крайніх положеннях переміщення маніпулятора має контролюватися кінцевими вимикачами.

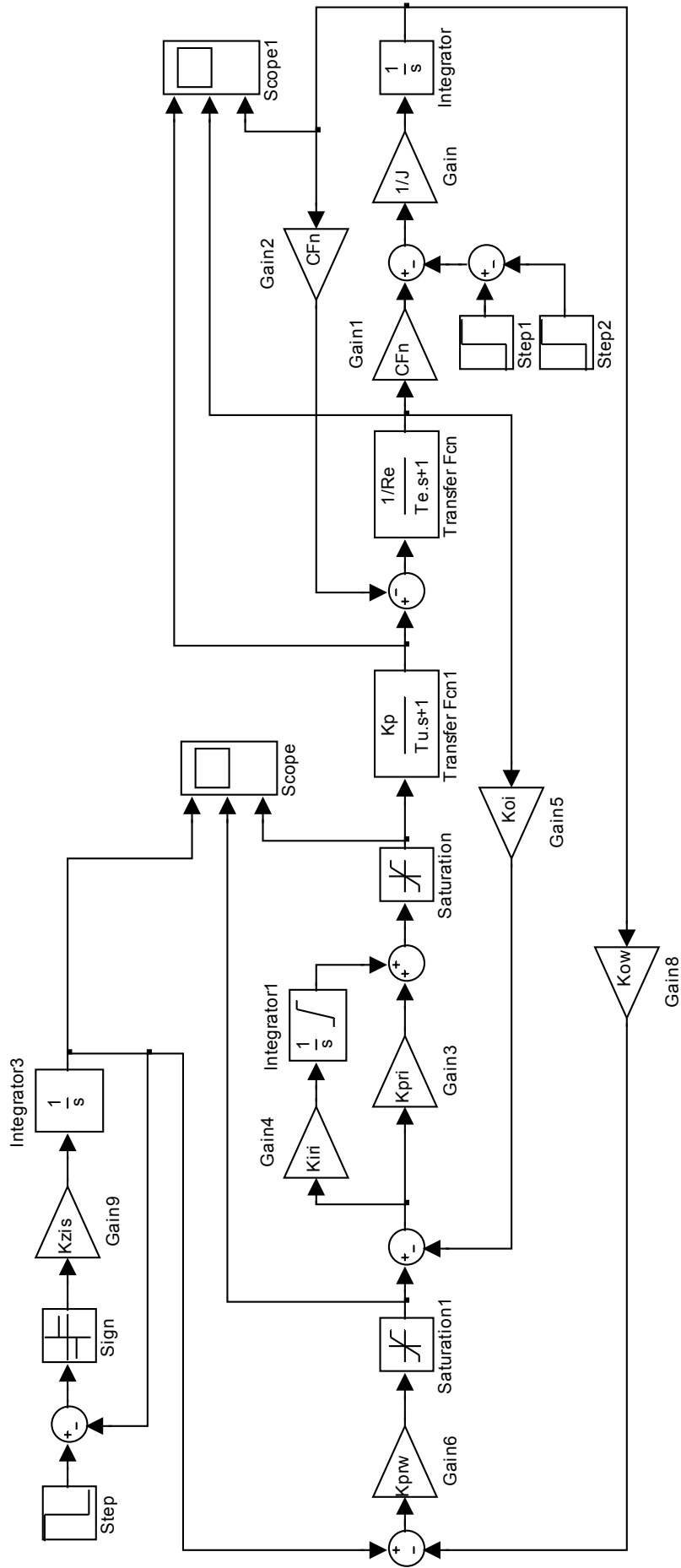


Рисунок 5.1 – Цифрова математична модель системи підпорядкованого керування електроприводом

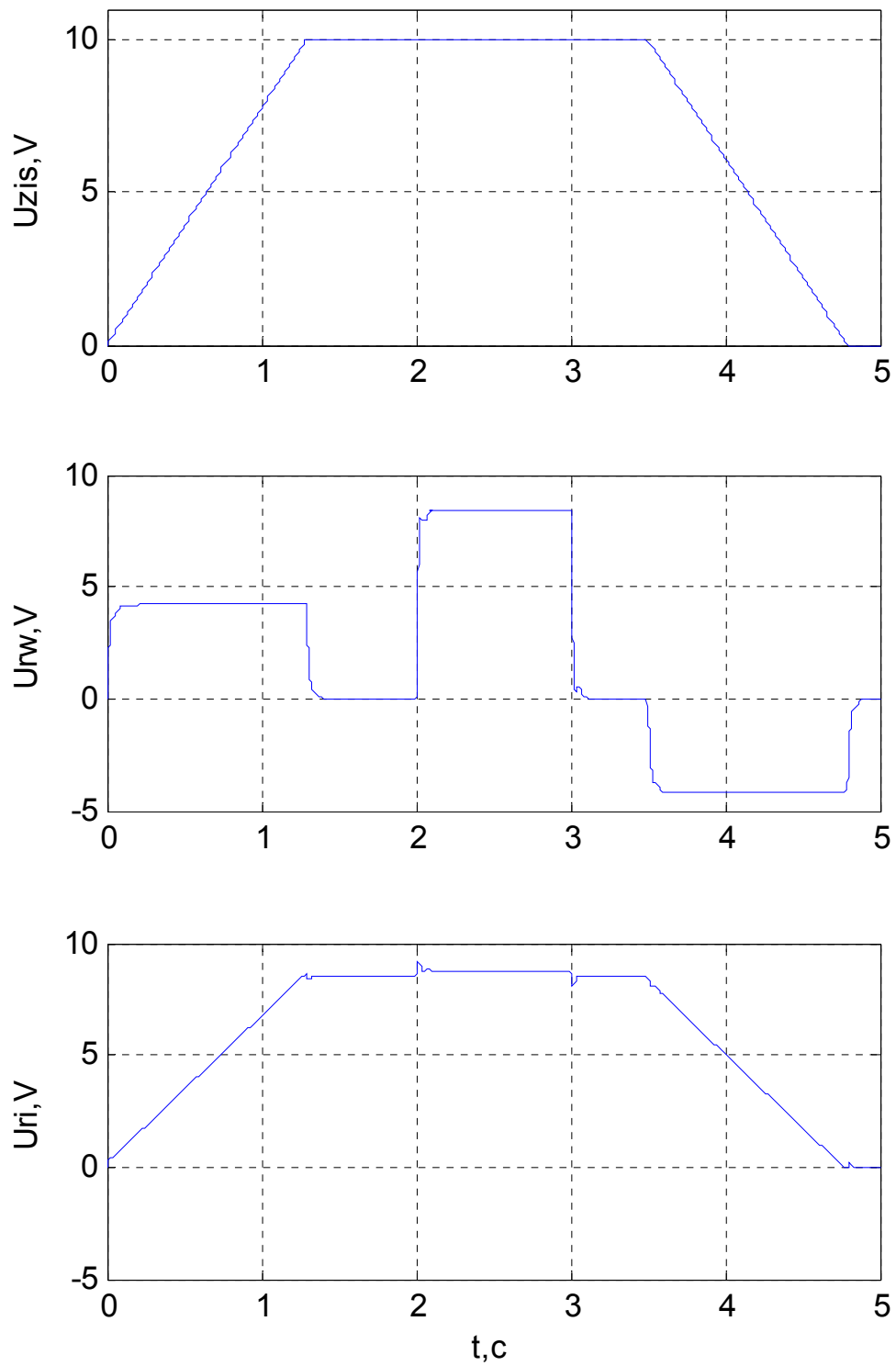


Рисунок 5.2 – Перехідні процеси на виході регуляторів і ЗПШ при розгоні та гальмуванні

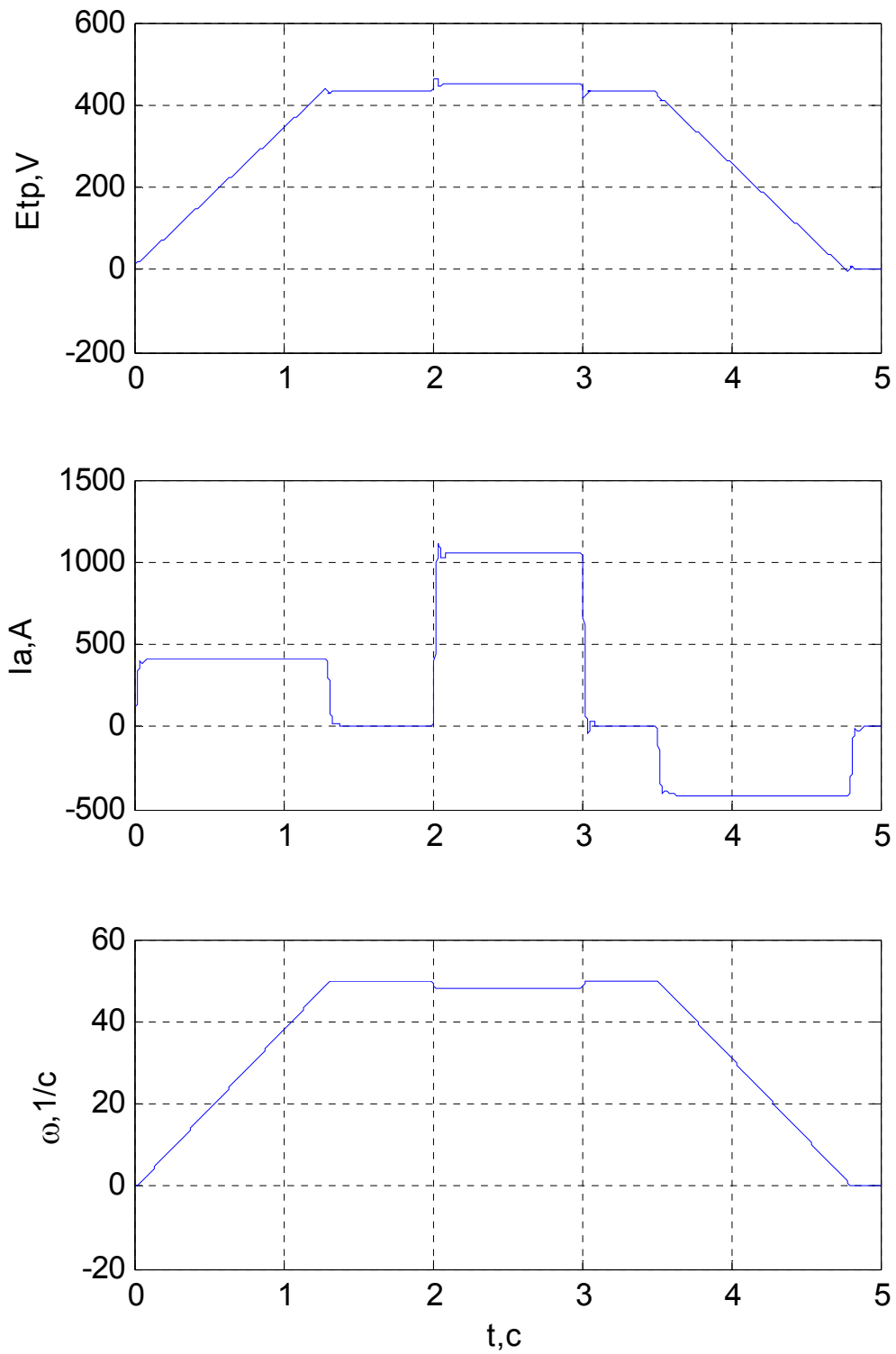


Рисунок 5.3 – Перехідні процеси ЕРС перетворювача, струму і швидкості двигуна при розгоні та гальмуванні

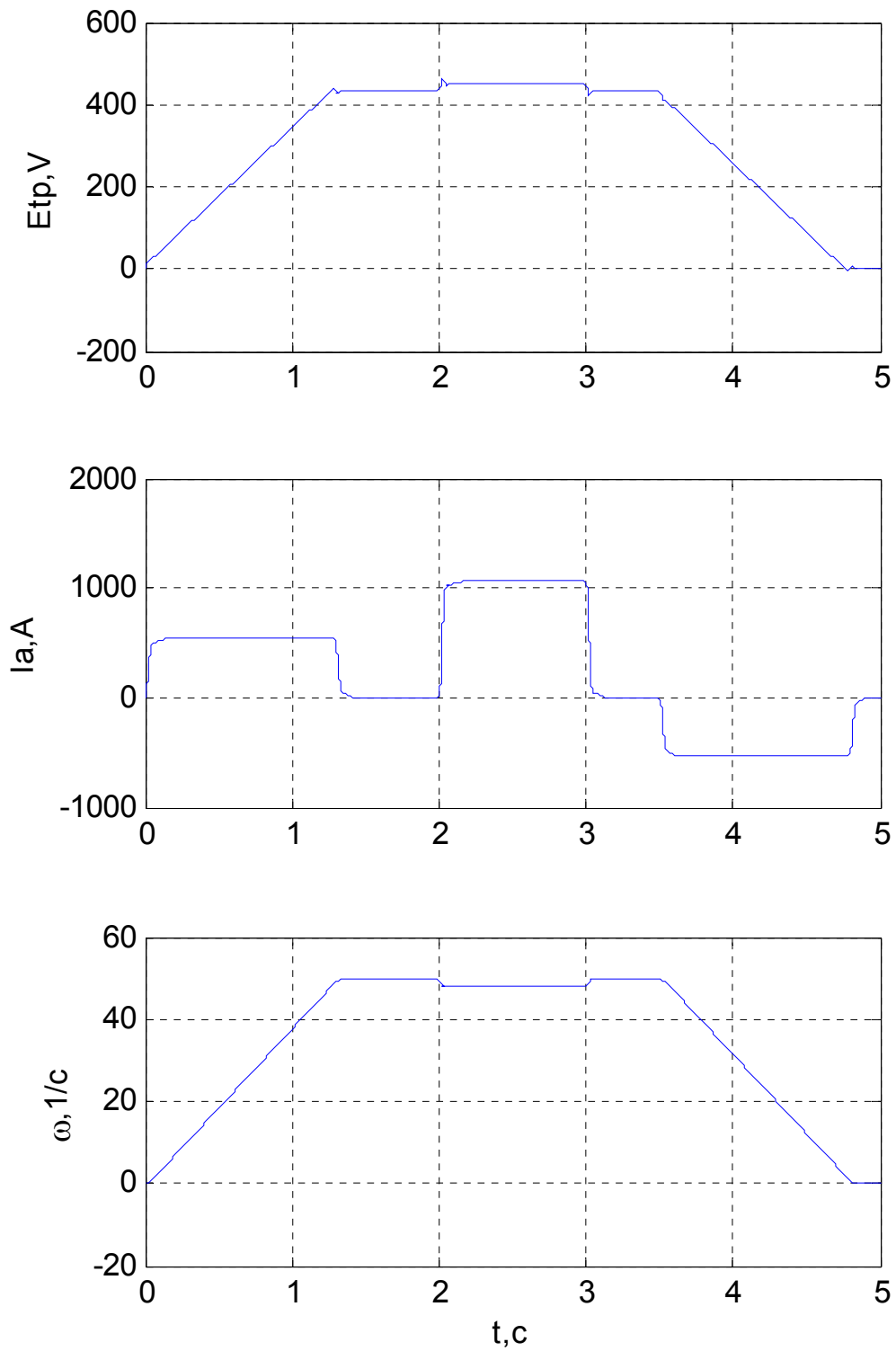


Рисунок 5.4 – Перехідні процеси швидкості і струму двигуна і ЕРС перетворювача при $1,3 \cdot J_{\Sigma}$

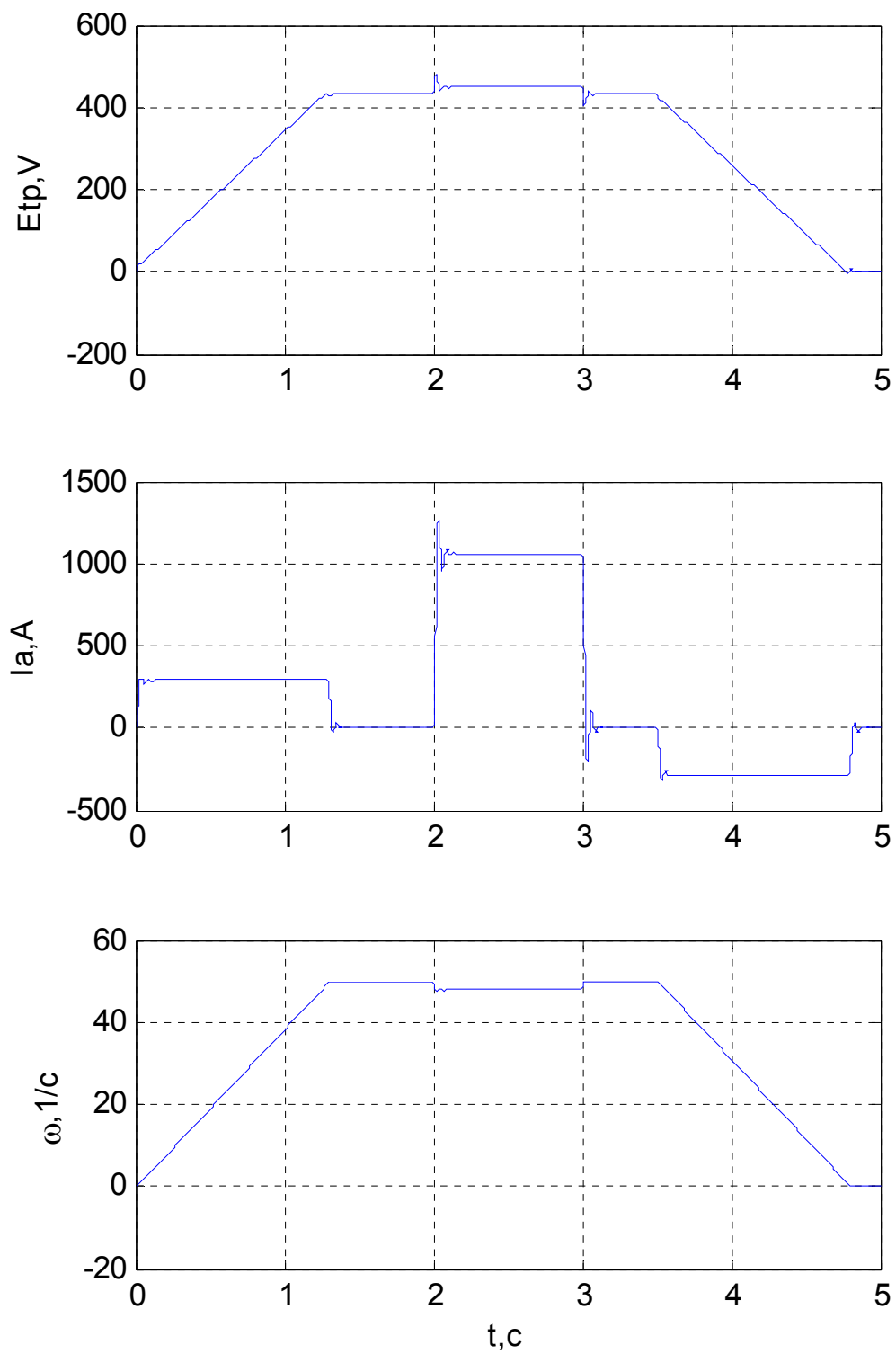


Рисунок 5.5 – Перехідні процеси швидкості і струму двигуна і ЕРС перетворювача при $0,7 \cdot J_{\Sigma}$

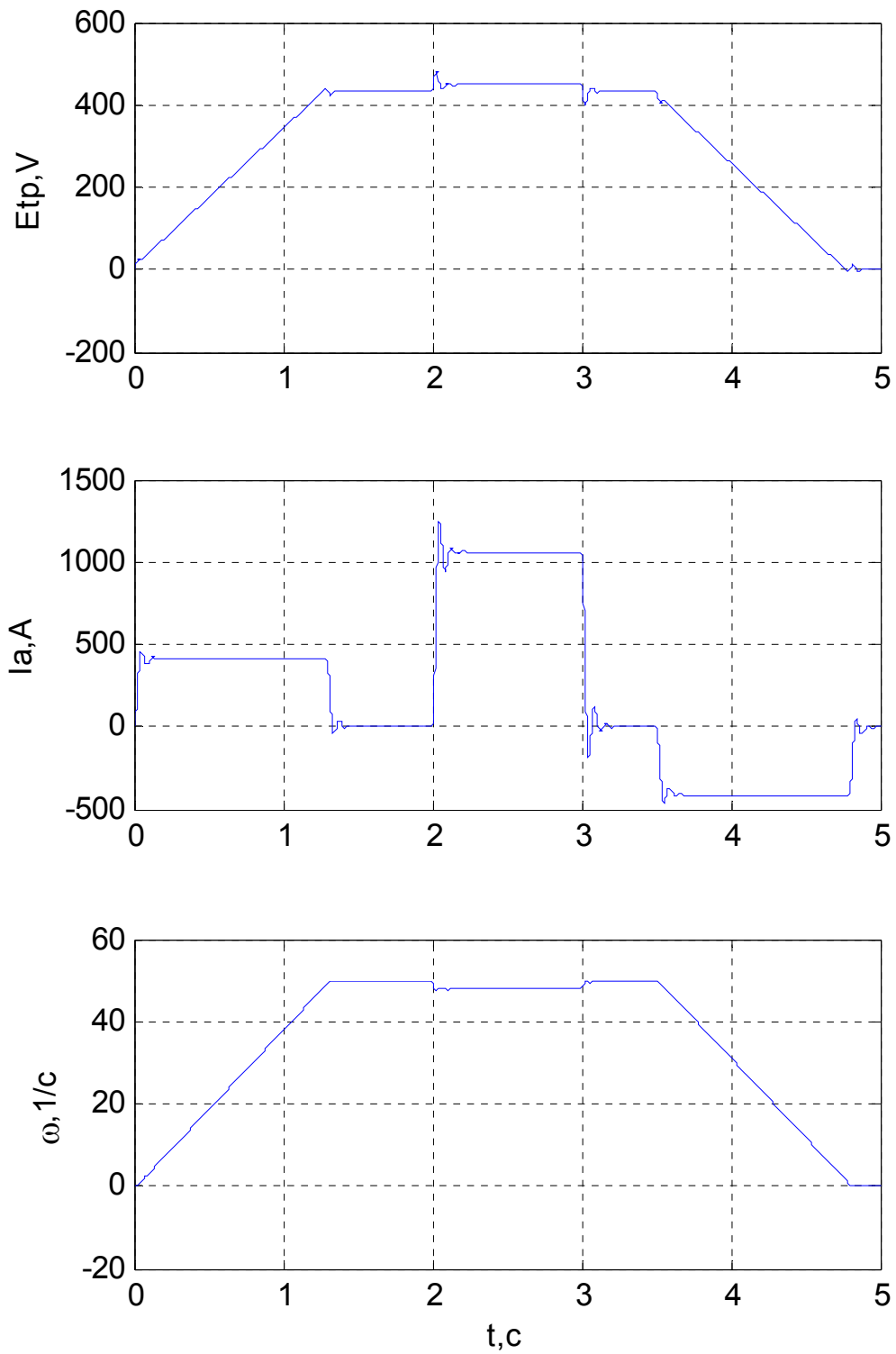


Рисунок 5.6 – Перехідні процеси швидкості і струму двигуна і ЕРС перетворювача при $1,5 \cdot T_3$

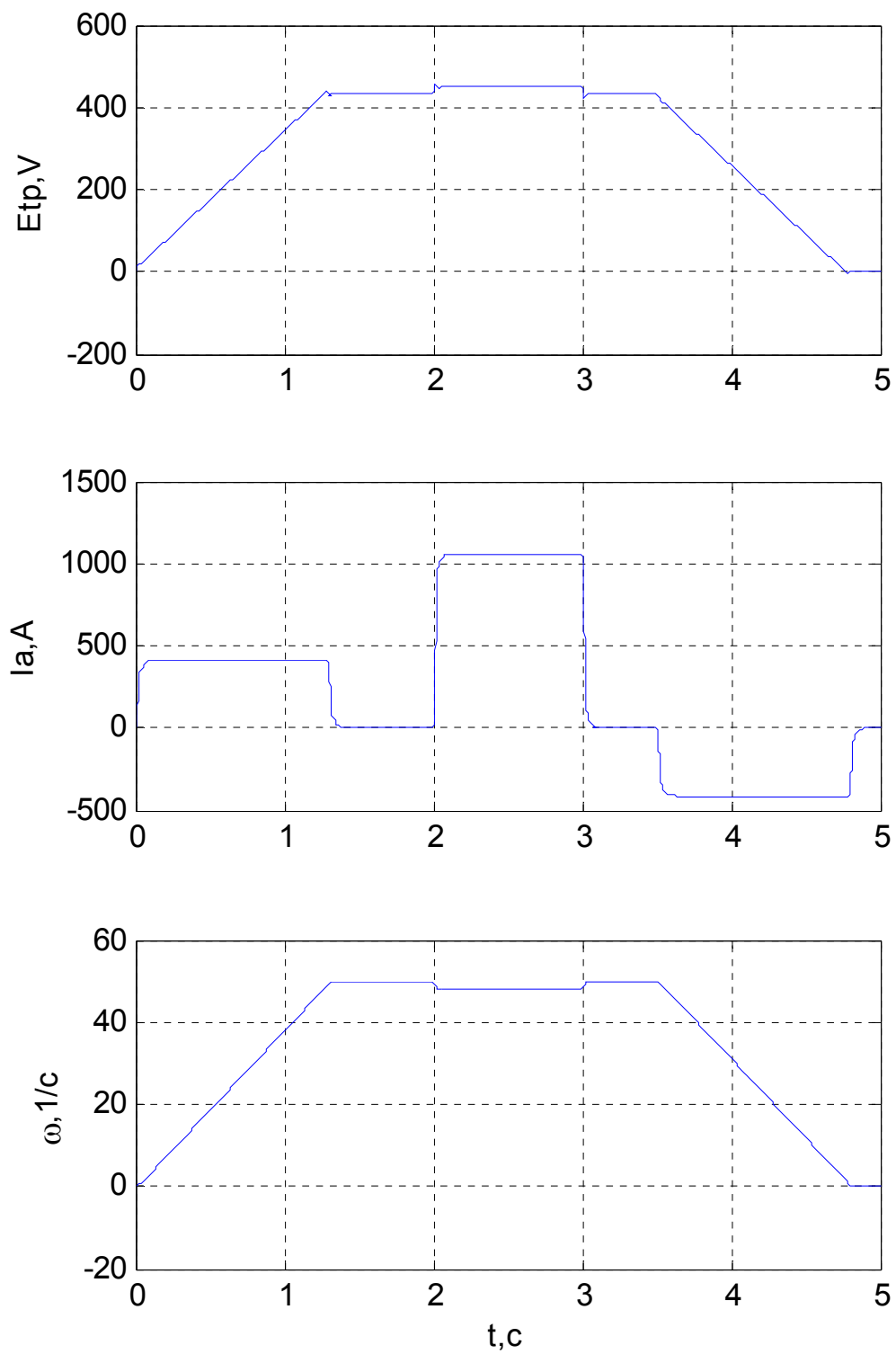


Рисунок 5.7 – Перехідні процеси швидкості і струму двигуна і ЕРС перетворювача при $0,7 \cdot T_9$

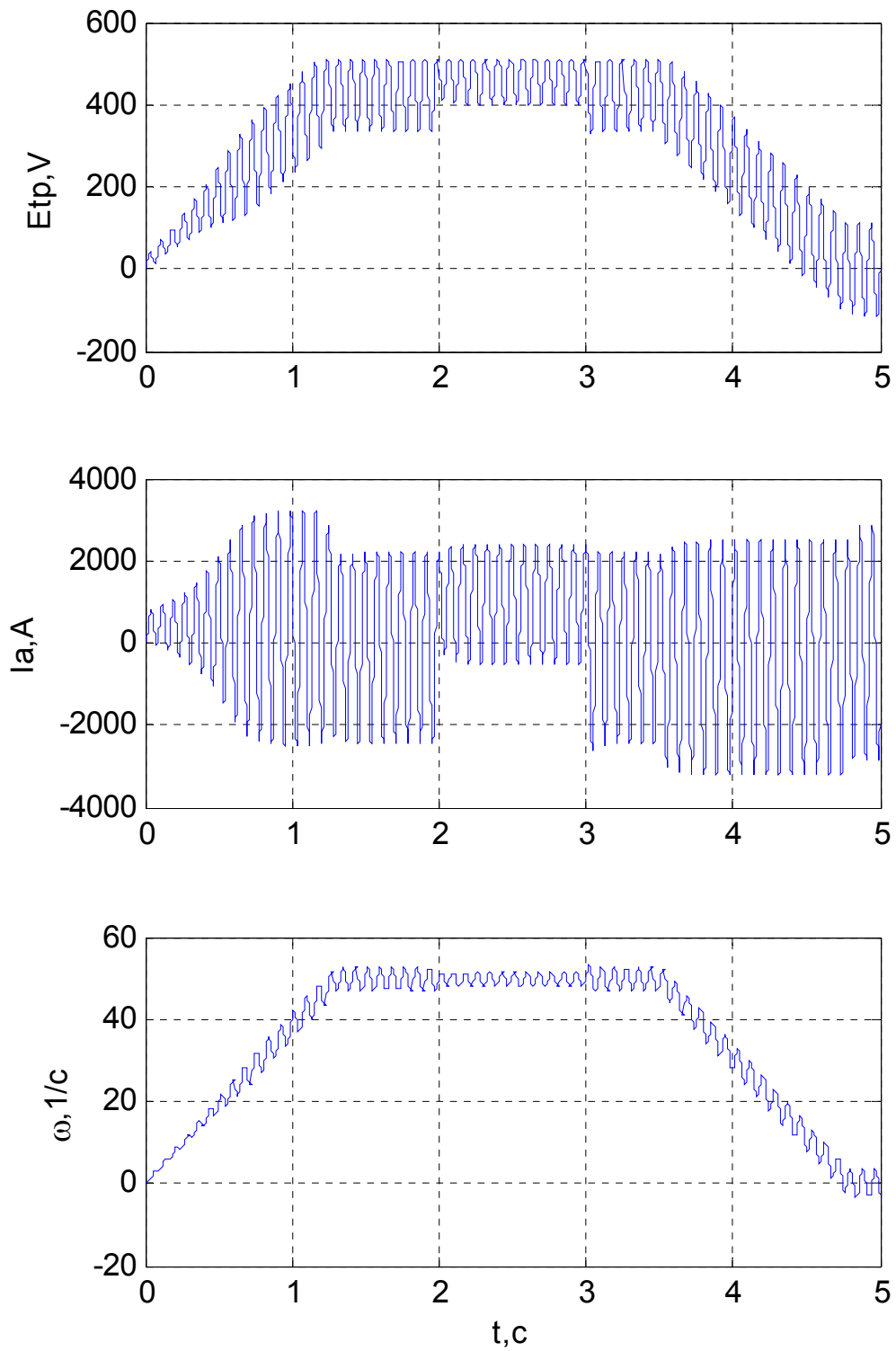


Рисунок 5.8 – Перехідні процеси при обриві зворотного зв'язку по струму

6 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

6.1 Двократноінтегруюча система регулювання частоти обертання в системі вентильний перетворювач - двигун постійного струму

Двократноінтегруюча система регулювання частоти обертання застосовується в електроприводах, коли з технологічних причин потрібно астатична характеристика по вхідному і збурюючому впливів.

Структурна схема системи регулювання приведена на рис. 6.1.

Регулятор частоти обертання вибирається пропорційно-інтегральним з передавальної функцією

$$H_{p,c}(p) = \frac{1 + T_1 p}{T_2 p},$$

де $T_1 = R_{o,c} C_2$; $T_2 = R_4 C_2$.

Еквівалентна постійна інтегрування контуру частоти обертання

$$B_c = \frac{R_1 k_T T_{эм} C_e \Phi T_2}{R_2 k_c R_3}.$$

При налаштуванні контуру струму на $\xi_T > \sqrt{2/2}$, а також при $\xi_T = \sqrt{2/2}$ і наявності в контурі частоти обертання фільтра або інших інерційних з постійною часу, рівною або більшою еквівалентної малої постійної контуру струму $T_{\mu,T}$, система регулювання добре описується рівнянням третього порядку.

Еквівалентна мала постійна часу контуру частоти обертання дорівнює:

$$T_{\mu,c} = 2T_{\mu,c} + T_{\phi,c}.$$

Передавальна функція замкнутої системи регулювання має вигляд:

$$H_{зам,c}(p) = \frac{1}{T_{\phi,c} p + 1} \times \frac{1 + T_1 p}{B_c T_{\mu,c} p^3 + B_c p^2 + T_1 p + 1}$$

Частота різку системи вибирається умови максимального запасу по фазі

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{T_{\mu,c} T_1}}$$

Якщо ввести в розгляд параметр

$$a = \sqrt{\frac{T_1}{T_{\mu,c}}},$$

то з умови $|H_{p,c}| = 1$ при $\omega = \omega_c$ знаходимо $B_c = a^3 T_{\mu,c}^2$.

На рис. 6.2 представлено сімейство логарифмічних амплітудно і фазочастотних характеристик. Слід зазначити їх симетричне розташування щодо частоти зрізу. Випадок $a = 2$ відповідає настройці по «симетричного» оптимуму.

Зауважимо, що шунтування ємності C_2 в системі, налаштованої по симетричному оптимуму, призводить до системи з пропорційним регулятором частоти обертання, налаштованої за модульним оптимуму. Частота зрізу розімкнутої системи при налаштуванні по симетричному оптимуму дорівнює частоті зрізу системи з пропорційним регулятором частоти обертання, налаштованої за модульним оптимуму:

$$\omega_c = \frac{T_1}{B_c} = \frac{1}{2T_{\mu,c}}$$

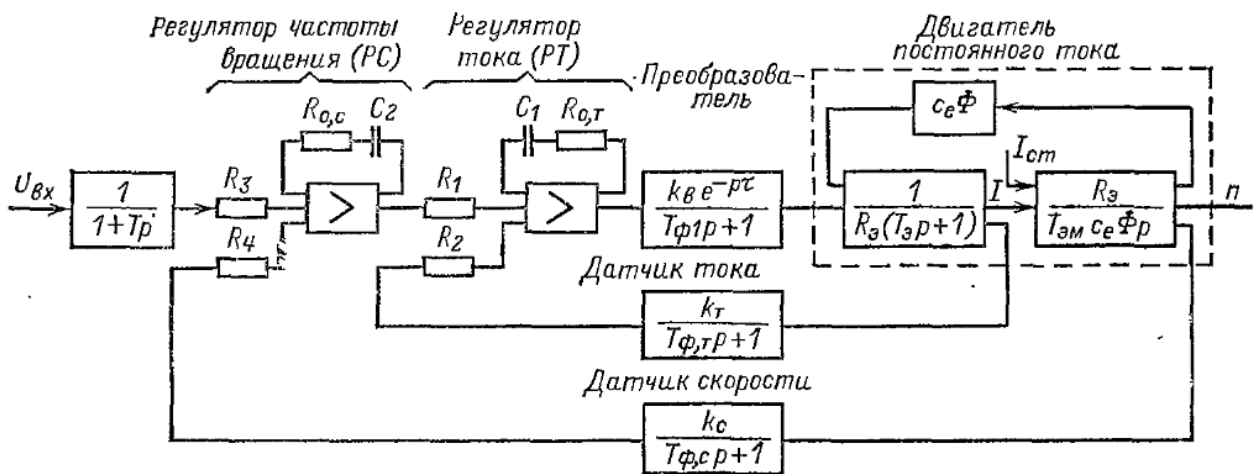


Рисунок 6.1 - Структурна схема двоконтурної системи регулювання з пропорційно-інтегральним регулятором частоти обертання

Передавальні функції замкнутої системи регулювання без фільтра на вході системи мають вигляд:

$$H_1(p) = \frac{n(p)}{U_{BX}(p)} = \frac{R_4}{R_3 k_c} \times \frac{1 + a^2 T_{\mu,c} p}{(1 + a T_{\mu,c} p) [a^2 T_{\mu,c}^2 p^2 + (a-1) a T_{\mu,c} p + 1]};$$

$$H_2(p) = \frac{I(p)}{U_{BX}(p)} = \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3} \times \frac{p(1 + a^2 T_{\mu,c} p)}{(1 + a T_{\mu,c} p) [a^2 T_{\mu,c}^2 p^2 + (a-1) a T_{\mu,c} p + 1]}$$

$$H_3(p) = \frac{\Delta n(p)}{I_{сГ}(p)} = \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi} \times \frac{a^3 T_{\mu,c}^2 p(1 + T_{\mu,c} p)}{(1 + a T_{\mu,c} p) [a^2 T_{\mu,c}^2 p^2 + (a-1) a T_{\mu,c} p + 1]}$$

$$H_4(p) = \frac{I(p)}{I_{сГ}(p)} = \frac{1 + a^2 T_{\mu,c} p}{(1 + a T_{\mu,c} p) [a^2 T_{\mu,c}^2 p^2 + (a-1) a T_{\mu,c} p + 1]}$$

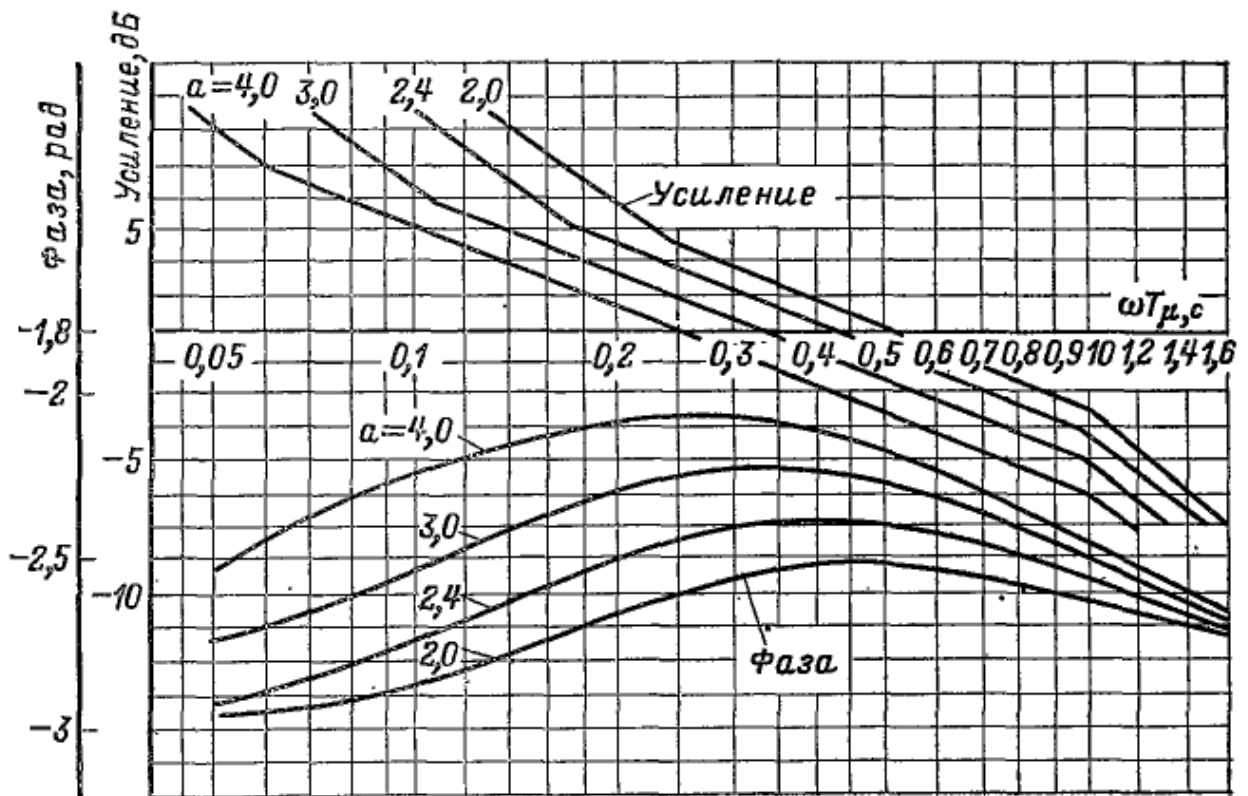


Рисунок 6.2 - Сімейство логарифмічних амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик розімкнутого контуру частоти обертання

Під час налаштування системи по симетричному оптимуму передавальна функція дорівнює:

$$H_1(p) = \frac{n(p)}{U_{BX}(p)} = \frac{R_4}{R_3 k_c} \times \frac{1 + 4T_{\mu,c} p}{8T_{\mu,c}^3 p^3 + 8T_{\mu,c}^2 p^2 + 4T_{\mu,c} p + 1}.$$

Для зменшення перерегулювання при управлінні з боку завдання на вході контуру частоти обертання встановлюється фільтр з постійною часу $T_{\phi,c} = 4T_{\mu,c}$.

Передавальні функції системи регулювання з фільтром на вході системи мають вигляд:

$$H_1(p) = \frac{n(p)}{U_{BX}(p)} = \frac{R_1}{R_3 k_c} \times \frac{1}{(1 + aT_{\mu,c} p) [a^2 T_{\mu,c}^2 p^2 + a(a-1)T_{\mu,c} p + 1]}.$$

$$H_2(p) = \frac{I(p)}{U_{BX}(p)} = \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi} \times \frac{p}{(1 + aT_{\mu,c} p) [a^2 T_{\mu,c}^2 p^2 + a(a-1)T_{\mu,c} p + 1]}$$

Зображення та оригінали вираження для струму і частоти обертання для системи з фільтром і без фільтра при подачі на вхід ступеневої і лінійного вхідного сигналів, а також при застосуванні моменту опору.

Відповідні їм перехідні характеристики показані на рис. 6.3-6.6.

На рис. 6.4 показані перехідні характеристики [1-20] розгону під відсічення системи регулювання з параметрами

$$\frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3 T_{\mu,c}} = 100.$$

Оцінка рівня пульсацій струму і частоти обертання, викликаних наявністю синусоїдальних перешкод у вхідному сигналі і напрузі тахогенератора, може бути виконана по частотним характеристикам для якійного струму і частоти обертання приводу, представленим на рис. 6.5 -6.6.

Вирази частотних характеристик мають вигляд:

без фільтра

$$\left| \frac{n(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| = \frac{R_4}{R_3 k_c} \times \frac{\sqrt{1 + a^4 (\omega T_{\mu,c})^2}}{\sqrt{1 + a^2 (\omega T_{\mu,c})^2} \times \sqrt{[1 - a^2 (\omega T_{\mu,c})^2]^2 + a^2 (a-1)^3 (\omega T_{\mu,c})^2}};$$

$$\left| \frac{I(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| = \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_э} \times \frac{\omega \sqrt{1 + a^4 (\omega T_{\mu,c})^2}}{\sqrt{1 + a^2 (\omega T_{\mu,c})^2} \times \sqrt{[1 - a^3 (\omega T_{\omega,c})^2]^2 + a^2 (a-1)^2 (\omega T_{\mu,c})^2}};$$

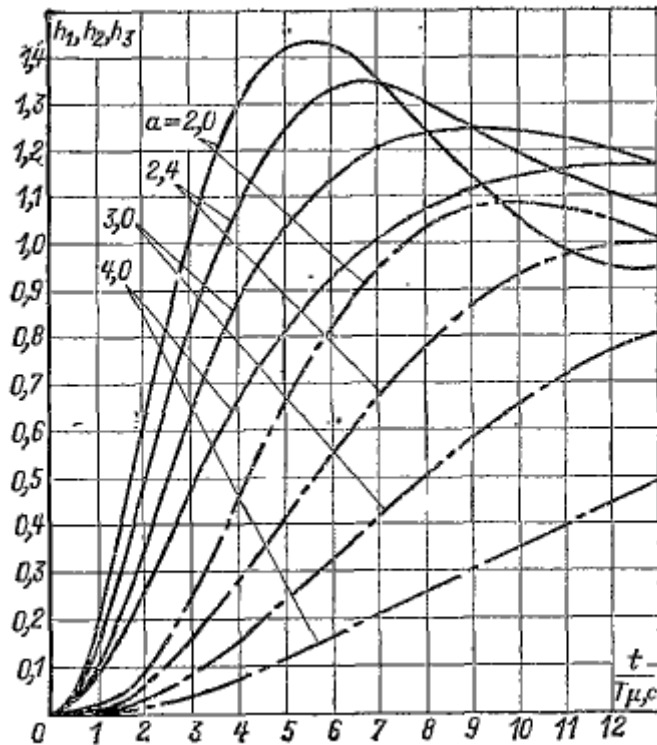


Рисунок 6.3 - Перехідні характеристики

$$h_1 = \frac{n \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c}} \text{ при } U_{BX} = const;$$

$$h_2 = \frac{I \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{I_{CT}} \text{ при } I_{CT} = const;$$

$$h_3 = \frac{I \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{\frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_э}} \text{ при } U_{BX} = \alpha t;$$

_____ - система без фільтра на вході;

----- - система з фільтром на вході.

з фільтром

$$\left| \frac{n(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| = \frac{R_4}{R_3 k_c} \times \frac{1}{\sqrt{1 + a^2 (\omega T_{\mu,c})^2} \times \sqrt{\left[1 - a^2 (\omega T_{\mu,c})^2\right]^2 + a^2 (a-1)^2 (\omega T_{\mu,c})^2}};$$

$$\left| \frac{I(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| = \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3} \times \frac{\omega}{\sqrt{1 + a^2 (\omega T_{\mu,c})^2} \times \sqrt{\left[1 - a^2 (\omega T_{\mu,c})^2\right]^2 + a^2 (a-1)^2 (\omega T_{\mu,c})^2}};$$

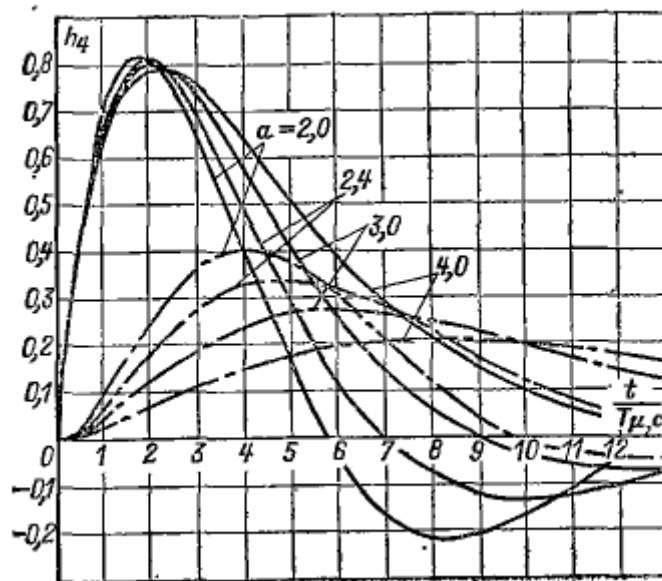


Рисунок 6.4 - Перехідні характеристики

$$h_4 = \frac{I\left(\frac{t}{T_{\mu,c}}\right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3} \frac{1}{a T_{\mu,c}}}$$

при $U_{BX} = const$;

_____ - система без фільтра на вході;

--- --- --- - система з фільтром на вході.

При практичній реалізації ПІ-регулятора частоти обертання іноді доводиться відходити від настройки по симетричному оптимуму. Нижче розглядається настройка, для якої витримується співвідношення

$$\omega_c = \frac{T_1}{B_c} = \frac{1}{2T_{\mu,c}}.$$

Це співвідношення можна отримати збільшенням ємності С.

Для даної настройки на рис. 6.10 приведена логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) розімкнутої системи регулювання. Введено позначення

$$K = \frac{T_1}{T_{\mu,c}}.$$

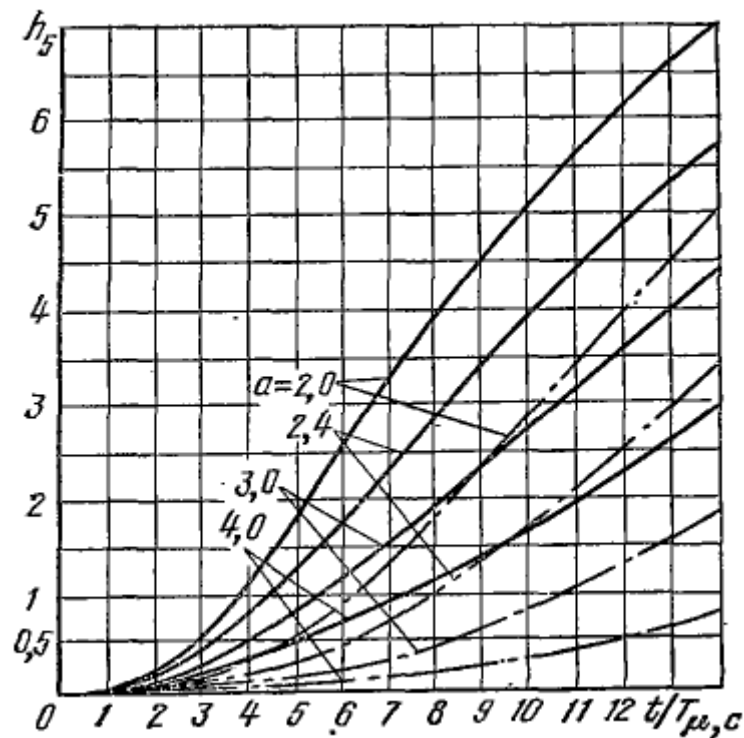


Рисунок 6.5 - Перехідні характеристики

$$h_3 = \frac{n \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{\alpha \frac{R_4}{R_3 k_c}} \text{ при } U_{BX} = at;$$

_____ - система без фільтра на вході;

----- - система з фільтром на вході.

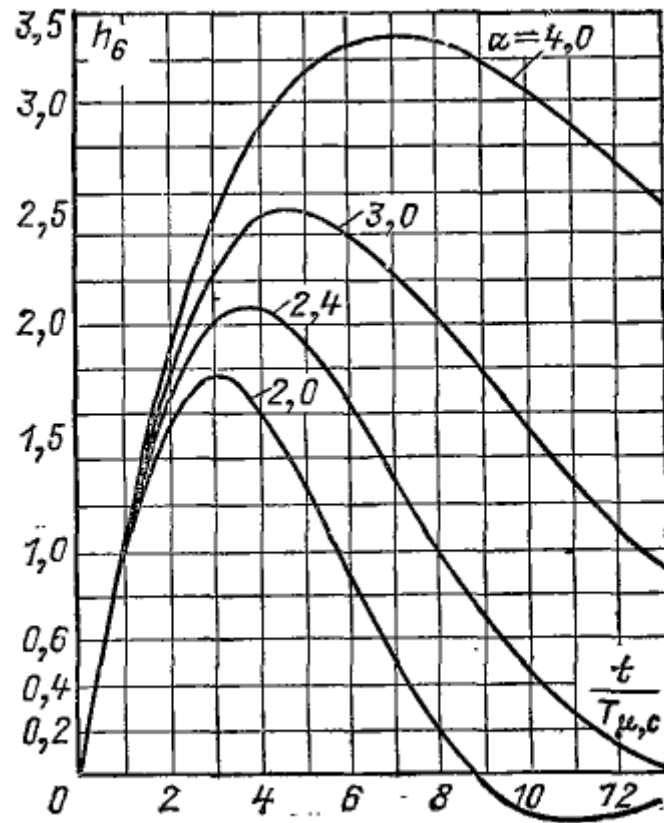


Рисунок 6.6 - Перехідні характеристики

$$h_6 = \frac{\Delta n \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{I_{CT} T_{\mu,c} \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi}} \text{ при } I_{CT} = const.$$

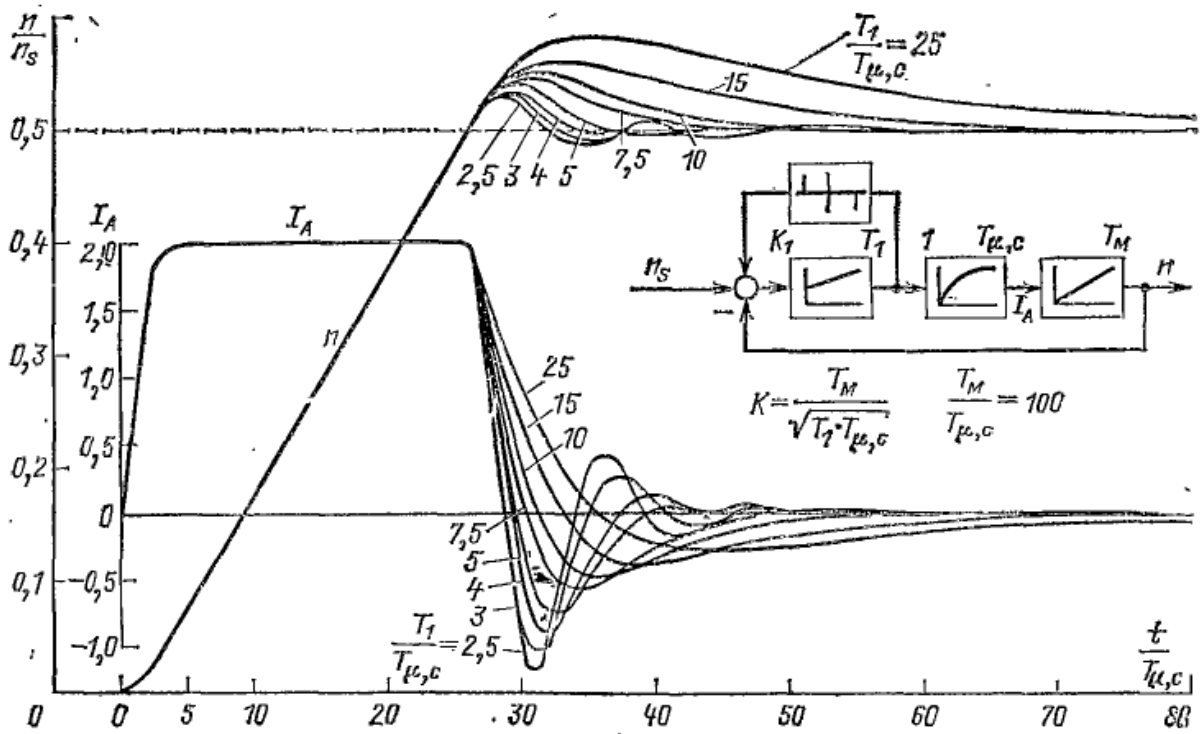


Рисунок 6.7 - Перехідна характеристика розгону під відсічення системи регулювання з параметрами

$$\frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3 T_{\mu,c}} = 100. \quad K_1 = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{T_2 k_T}; \quad T_M = \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3}; \quad \frac{T_1}{T_{\mu,c}} = a^2; \quad n_s = U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c}.$$

Збільшення K призводить до зміни низькочастотної частини характеристики. При $K \rightarrow \infty$ система регулювання з ПІ-регулятором частоти обертання прагне до системи регулювання з П-регулятором, налаштованої за модульним оптимумом. Налаштування при $K = 4$ відповідає налаштування по симетричному оптимуму.

Для зменшення перерегулювання частоти обертання при управлінні з боку завдання на вході системи можна встановлювати фільтр.

Перехідні характеристики частоти обертання для різних K при ступінчастому вхідному сигналі, а також для $K = 4$, $T_\phi = 4T_{\mu,c}$ показані на рис.

6.11.

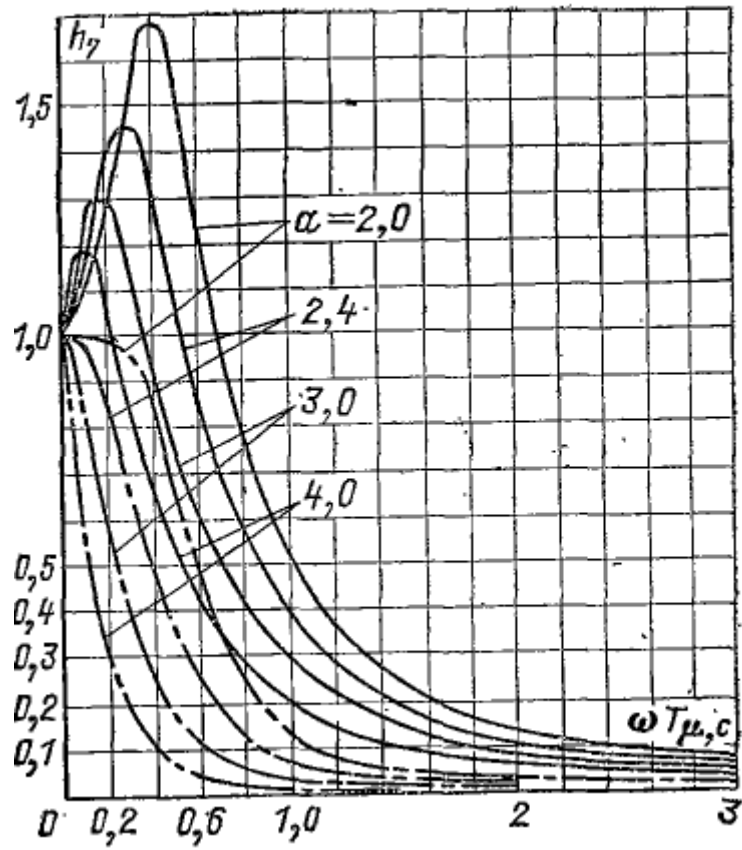


Рисунок 6.8 - Амплітудно-частотні характеристики

$$h_\gamma = \left| \frac{n(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| \frac{R_3 k_c}{R_4};$$

_____ - система без фільтра на вході;

----- - система з фільтром на вході.

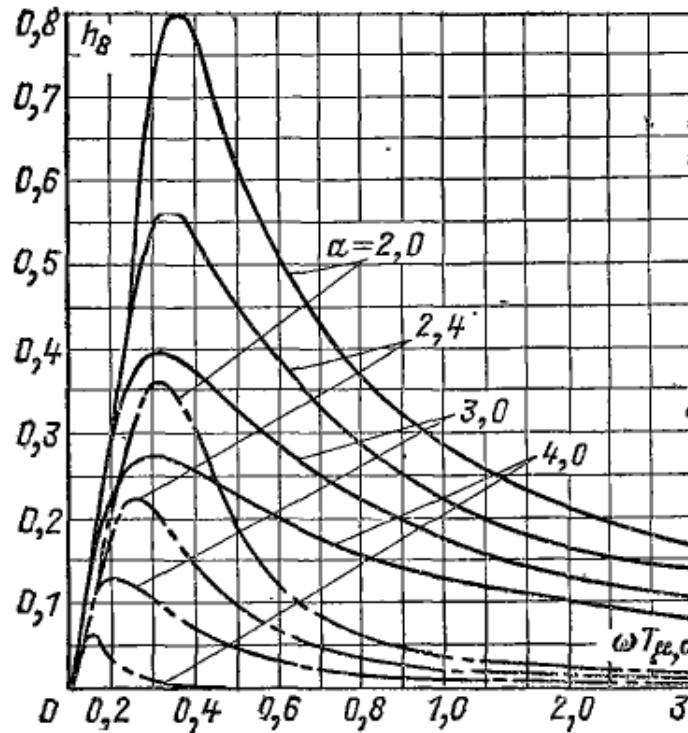


Рисунок 6.9 - Амплітудно-частотні характеристики

$$h_g = \left| \frac{I(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| \frac{R_3 k_c R_3 T_{\mu,c}}{R_4 T_{эм} c \Phi};$$

_____ - система без фільтра на вході;

----- - система з фільтром на вході.

На рис. 6.12 наведені перехідні характеристики помилки по частоті обертання при ударному додатку навантаження. З розгляду характеристик видно, що з ростом α збільшується статична помилка по частоті обертання, максимальна динамічна помилка практично не змінюється.

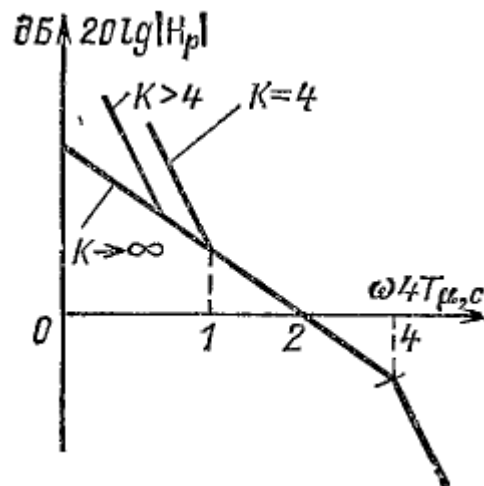


Рисунок 6.10 - ЛАЧХ розімкнутої системи.

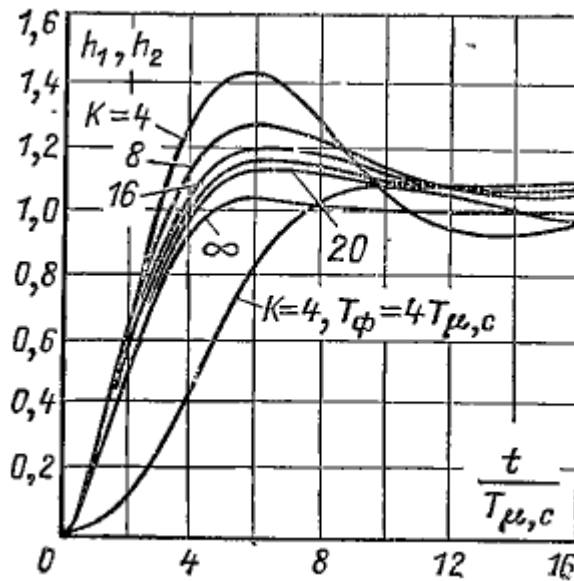


Рисунок 6.11 - Перехідні характеристики

$$h_1 = \frac{n \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c}} \text{ при } U_{BX} = const;$$

$$h_2 = \frac{I \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{\alpha \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c \Phi}{R_3}} \text{ при } U_{BX} = \alpha t.$$

Розглянемо ще один тип налаштування системи регулювання з ПІ-регулятором частоти обертання при незмінній величині $T_1 = 4T_{\mu,c}$ і різних значеннях B_c .

Передавальні функції розімкнутої та замкнутої систем регулювання рівні:

$$H_{раз,c}(p) = \frac{4T_{\mu,c}p + 1}{B_c p^2 (T_{\mu,c}p + 1)};$$

$$H_{зам,c}(p) = \frac{4T_{\mu,c}p + 1}{B_c T_{\mu,c} p^2 + B_c p^2 + 4T_{\mu,c}p + 1};$$

Фазові і частотні характеристики системи наведені на рис. 6.13.

Реакції системи на ступінчастий вхідний сигнал і обурення по навантаженню, отримані на математичній моделі, показані на рис. 6.14-6.16.

Випадок $T_1 = 4T_{\mu,c}$ і $B_c = 6,4T_{\mu,c}^2$ визначає параметри на мінімальну коливальність, тобто величина резонансного піку замкнутої системи регулювання досягає мінімального значення. При цьому перерегулювання дещо менше, а швидкодія дещо більше, ніж при налаштуванні по симетричному оптимуму.

Якщо струмовий контур налаштований по коливальному закону $\xi_T = \sqrt{2/2}$ і в контурі частоти обертання відсутні додаткові інерційності, система регулювання частоти обертання добре описується рівнянням четвертого порядку. У цьому випадку еквівалентна мала постійна часу контуру частоти обертання $T_{\mu,c} = 2T_{\mu,T}$.

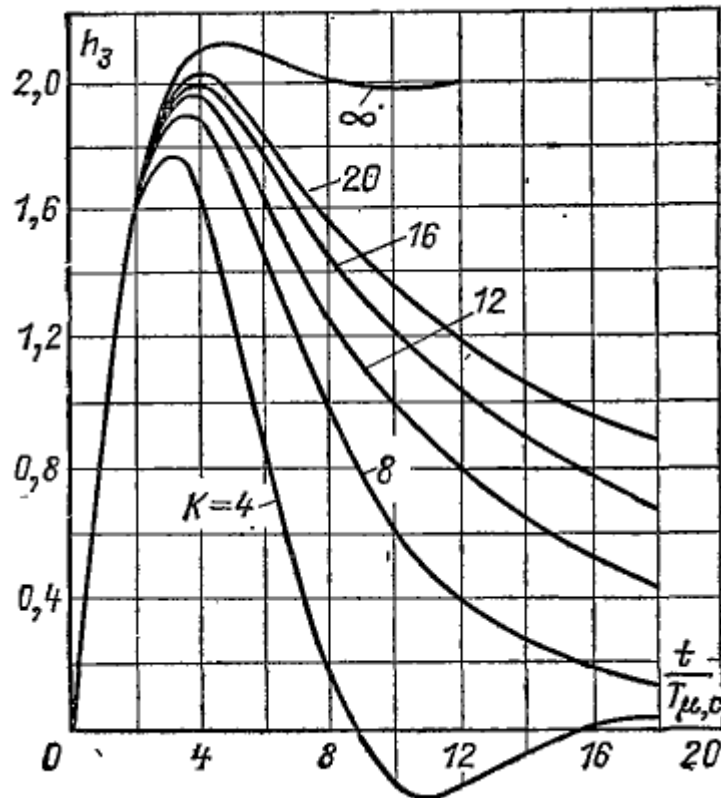


Рисунок 6.12 - Перехідна характеристика

$$h_3 = \frac{\Delta n \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{I_{CT} T_{\mu,c} \frac{R_3}{T_{\text{зм}} c_e \Phi}} \text{ при } I_{CT} = \text{const.}$$

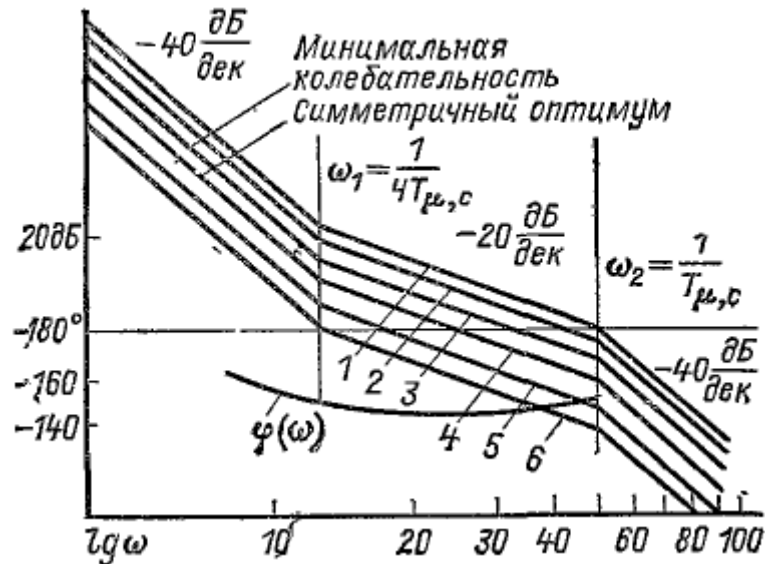


Рисунок 6.13 - ЛАХ і ЛФХ розімкнutoї системи регулювання.

$$1 - B_c = 4T_{\mu,c}^2; 2 - B_c = 5T_{\mu,c}^2; 3 - B_c = 6.4T_{\mu,c}^2$$

(мінімальна коливальність); 4 - $B_c = 8T_{\mu,c}^2$

(симетричний оптимум); 5 - $B_c = 12T_{\mu,c}^2$; 6 - $B_c = 16T_{\mu,c}^2$.

Частотні та перехідні характеристики для даної системи дещо відрізняються від системи третього порядку. Однак для практичних цілей можна користуватися родинями кривих, наведеними на рис. 6.2-6.6.

Відзначимо, що для даного випадку настройка контуру частоти обертання по симетричному оптимуму відповідає настройці на мінімальну коливальність.

Іноді для задоволення технологічних вимог система регулювання повинна забезпечувати відмінний від нуля, але менший, ніж при налаштуванні за модульним оптимуму, рівень статичної просадки по частоті обертання. В цьому випадку регулятор частоти обертання виконується по схемою рис. 6.17.

При аперіодичному налаштуванні токового контуру передавальна функція розімкнutoго контуру частоти обертання

$$H_{раз,c}(p) = \frac{R_6 + R_5}{R_4} \frac{k_c}{k_T} \frac{R_2}{R_1} \times \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi p} \frac{1 + pC \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}}{(1 + pCR_6)(1 + T_T p)}$$

Амплітудно-частотні характеристики розімкнутого контуру частоти обернання представлені на рис. 6.18.

Тут прийняті наступні позначення:

$$\gamma = \frac{R_6 + R_5}{R_5}; \omega_2 = \frac{R_6 + R_5}{C(R_5 R_6)}; \omega_3 = \frac{1}{CR_6} = \gamma \omega_2$$

Параметри регулятора частоти, обернання слід вибирати з умови сталості частоти зрізу $\omega_{cp} = \frac{1}{2} T_T$ і незмінною довжини ділянки ЛАЧХ 20 дБ/дек в околиці частоти зрізу для можливого діапазону зміни $1 < \gamma < \infty$, тобто

$$\frac{CR_5 R_6}{R_5 + R_6} = \frac{1}{\omega_2} = 4T_T;$$

$$\omega_{cp} = \frac{1}{k_T} \frac{R_2}{R_1} \frac{k_c R_3}{T_{эм} c_e \Phi} \frac{R_5}{R_4} = \frac{1}{2T_T}.$$

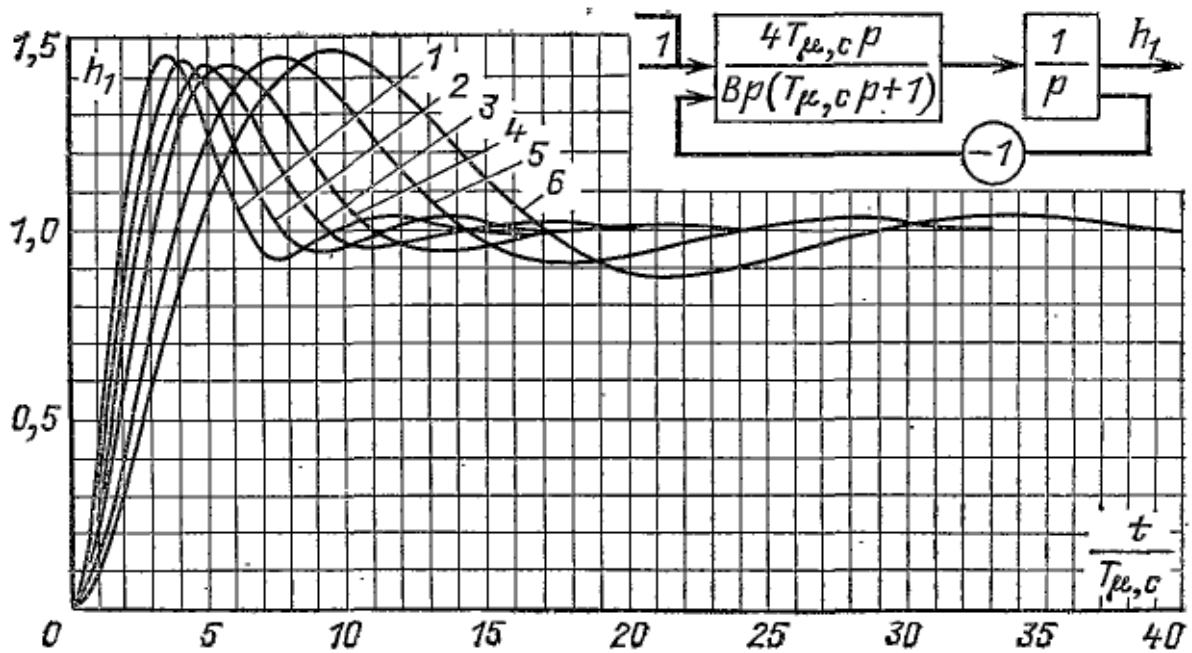


Рисунок 6.14 - Перехідна характеристика $h_1 = \frac{n \left(\frac{t}{T_{\mu,c}} \right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c}}$ при $U_{BX} = const$,

$$T_1 = 4T_{\mu,c}.$$

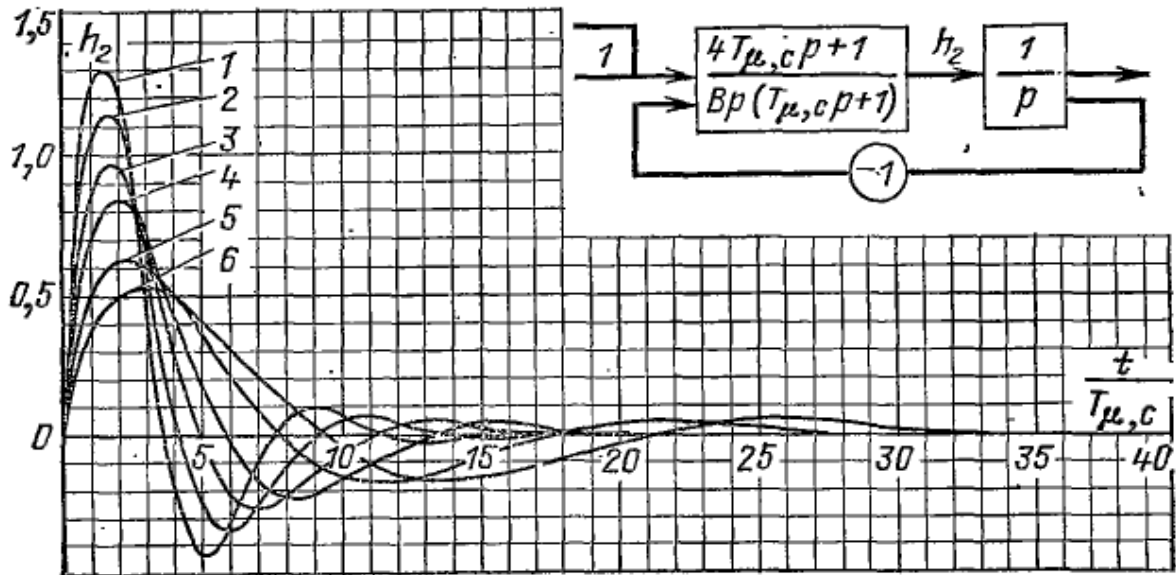


Рисунок 6.15 - Перехідна характеристика $h_2 = \frac{I\left(\frac{t}{T_{\mu,c}}\right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3}}$ при

$$U_{BX} = const, T_1 = 4T_{\mu,c}.$$

Позначення – див. рис. 6.13

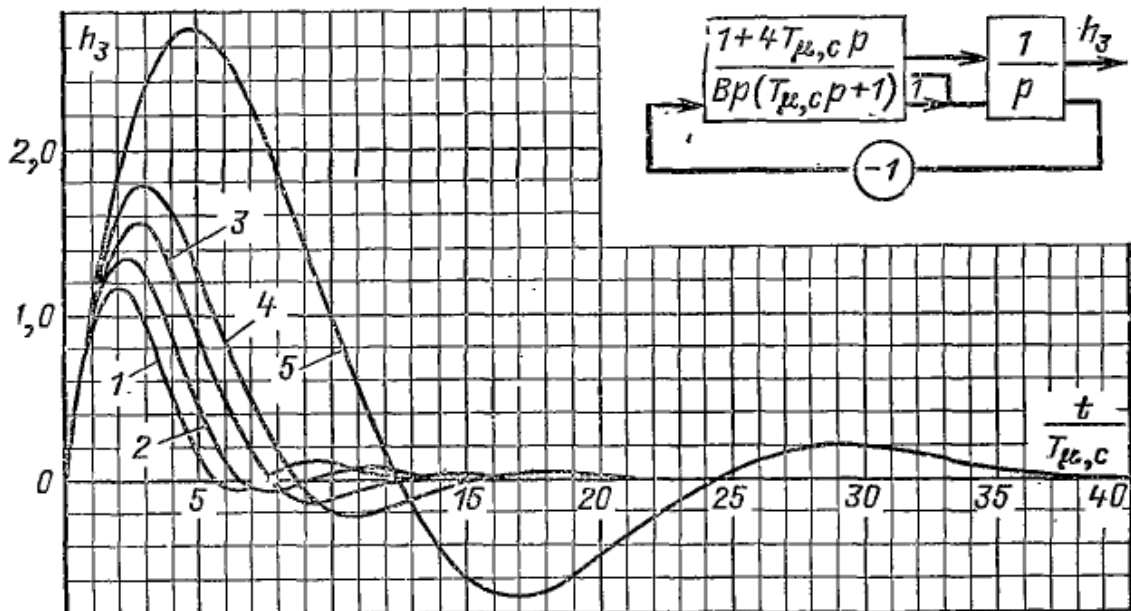


Рис. 6.16. Перехідна характеристика $h_3 = \frac{\Delta n\left(\frac{t}{T_{\mu,c}}\right)}{I_{CT} T_{\mu,c} \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi}}$ при $I_{CT} = const.$

Вирази передавальних функцій замкнутої системи регулювання при ступінчастому вхідному сигналі, а також при ступінчастому додатку моменту опору мають вигляд:

$$H_{з\text{ам},c}(p) = \frac{n}{U_{BX}} \times \frac{\gamma(1+4T_T p)}{k_c [2T_T p(1+\gamma 4T_T p)(1+T_T p) + (1+4T_T p)\gamma]};$$

$$H_{\Delta n}(p) = \frac{\Delta n}{I_{CT}} = \frac{R_3 2T_T}{T_{эм} c_e \Phi} \times \frac{(1+\gamma 4T_T p)(1+T_T p)}{[2T_T p(1+\gamma 4T_T p)(1+T_T p) + (1+4T_T p)\gamma]}.$$

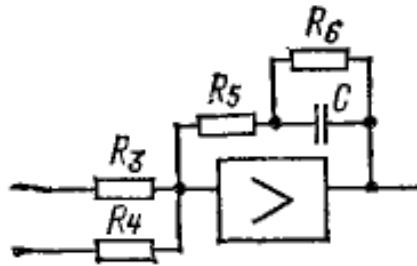


Рисунок 6.17 - Схема ПІ-регулятора частоти обертання шунтуванням ємності

Стале значення падіння частоти обертання при ступінчастому додатку навантаження одно:

$$\Delta n_y = I_{CT} \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi} \frac{2T_T}{\gamma} = I_{CT} \frac{k_T}{k_c} \frac{R_4}{R_5} \frac{1}{\gamma}.$$

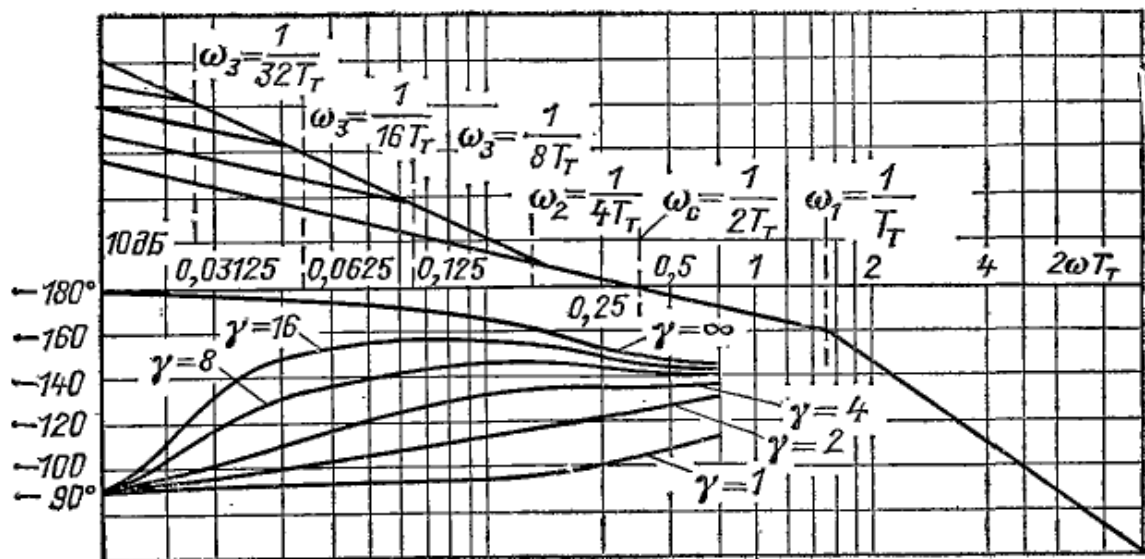


Рисунок 6.18 - Амплітудно-частотні характеристики розімкнутого контуру частоти обертання.

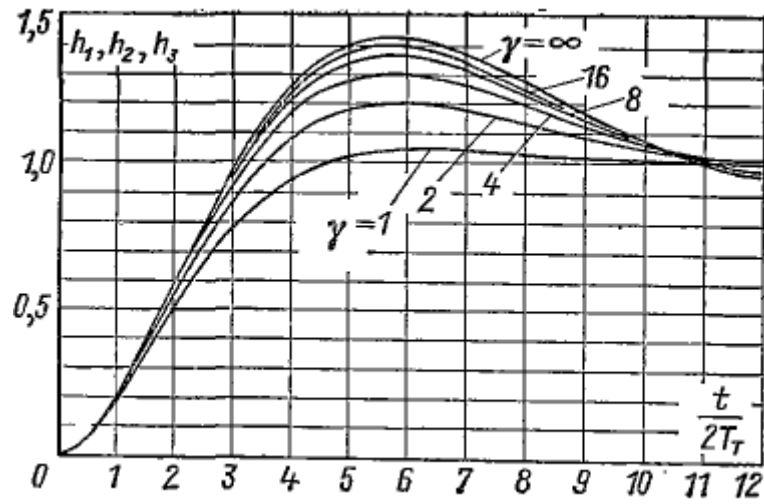


Рисунок 6.19 - Перехідні характеристики

$$h_1 = \frac{n\left(\frac{t}{T_T}\right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c}} \text{ при } U_{BX} = const;$$

$$h_2 = \frac{I\left(\frac{t}{T_T}\right)}{I_{CT}} \text{ при } I_{CT} = const;$$

$$h_3 = \frac{I\left(\frac{t}{T_T}\right)}{\alpha \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_9}} \text{ при } U_{BX} = \alpha t.$$

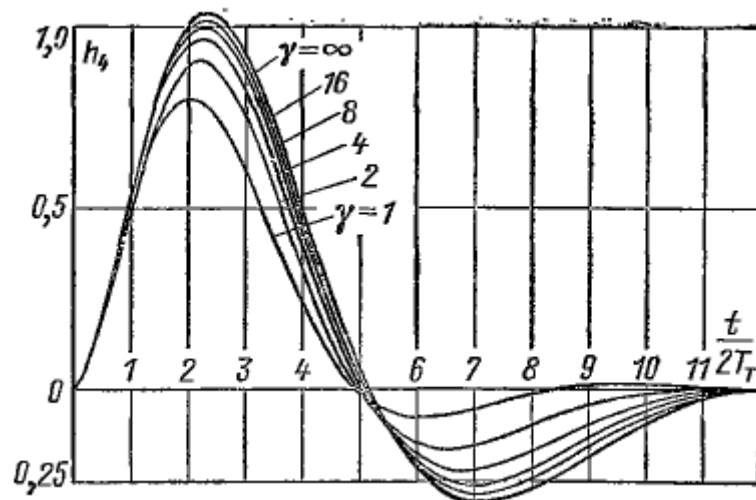


Рисунок 6.20 - Перехідні характеристики

$$h_4 = \frac{I\left(\frac{t}{T_T}\right)}{U_{BX} \frac{R_4}{R_3 k_c} \frac{T_{эм} c_e \Phi}{R_3} \frac{1}{T_T}} \text{ при } U_{BX} = const.$$

Перехідні характеристики замкнутої системи регулювання при управлінні з боку завдання частоти обертання і при додатку моменту опору наведені на рис. 6.19-6.21.

Частотні характеристики для струму якоря і частоти обертання для замкнутої системи регулювання приведені на рис. 6.22 та 6.23.

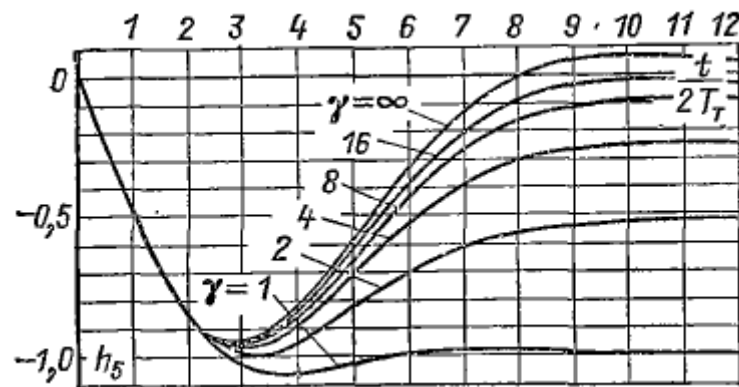


Рисунок 6.21 - Перехідні характеристики

$$h_5 = \frac{\Delta n\left(\frac{t}{T_T}\right)}{I_{CT} T_T \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi}} \text{ при } I_{CT} = const.$$

У зарубіжних системах регульованого електроприводу знайшли застосування регулятори частоти обертання (рис. 6.24).

При аперіодичному налаштуванні контуру струму передавальну функцію замкнутого контуру частоти обертання з достатнім ступенем точності можна записати у вигляді

$$H_{зам,с}(p) = \frac{n}{U_{BX}} = \frac{\frac{1}{k_c} \frac{R_4}{R_3}}{B_c T_{μ,с} p^3 + B_c p^2 + T_2 p + 1},$$

де $T_{μ,с} = T_T + R_5 C_3$; $T_2 = R_4 C_3$ - постійна попередження ціпи зворотного зв'язку по частоті обертання приводу.

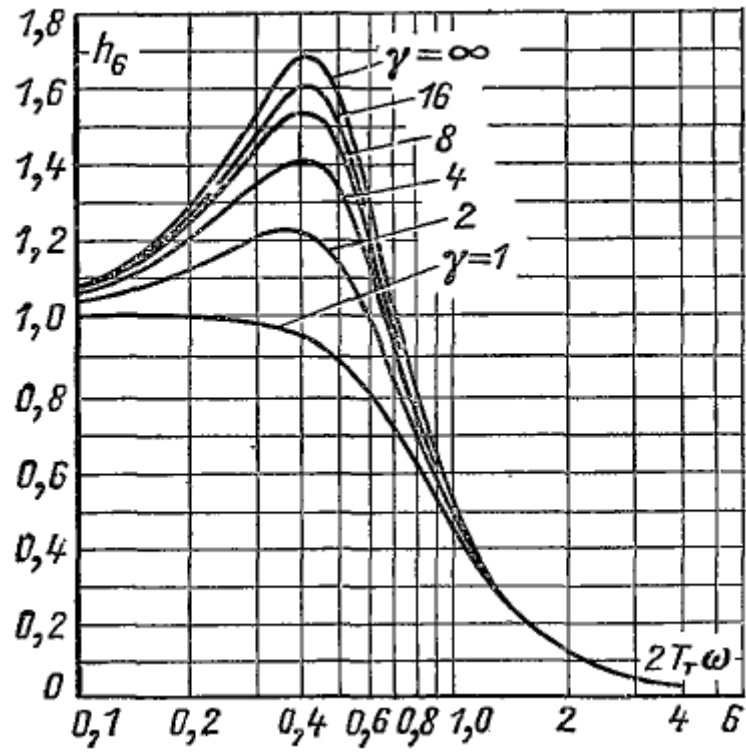


Рисунок 6.22 - Амплітудно-частотні характеристики

$$h_6 = \left| \frac{n(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| \frac{R_3 k_c}{R_4}$$

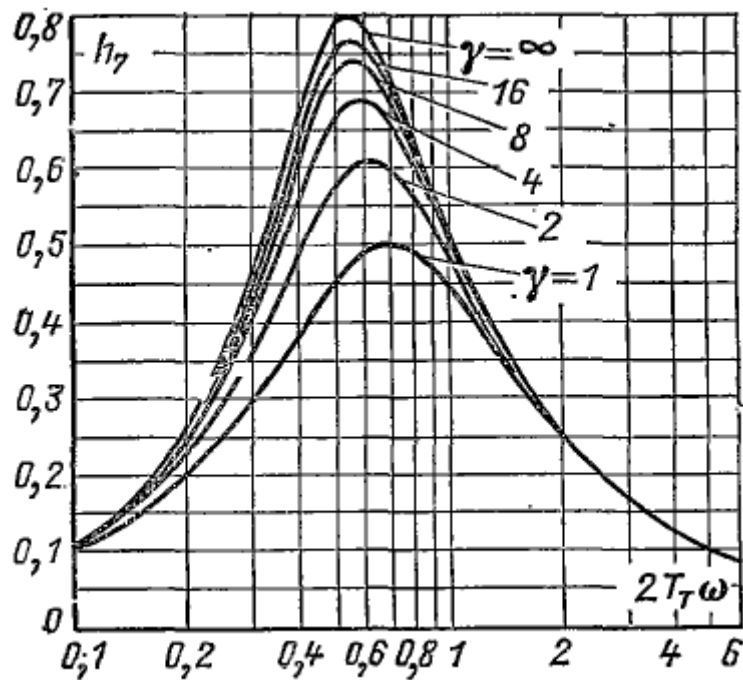


Рисунок 6.23 - Амплітудно-частотні характеристики

$$h_7 = \left| \frac{I(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} \right| \frac{R_3 k_c R_9 T_T}{R_4 T_{эм} c_e \Phi}$$

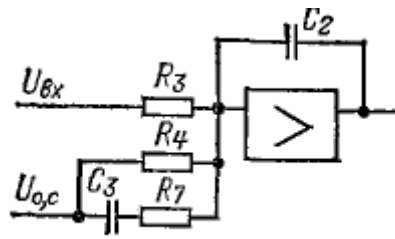


Рисунок 6.23 - Схема ПІ-регулятора частоти обертання з попередженням в колі зворотного зв'язку

З умови настройки системи регулювання по модульному оптимуму вибирають $T_2 = 4T_{\mu,c}$; $B_c = 8T_{\mu,c}^2$.

При цьому передатна функція замкнутої системи дорівнює:

$$H_{\text{зам},c}(p) = \frac{\frac{1}{k_c} \frac{R_4}{R_3}}{8T_{\mu,c}^3 p^3 + 8T_{\mu,c}^2 p^2 + 4T_{\mu,c} p + 1}.$$

Реакція системи на обурення по навантаженню дорівнює:

$$H_{\Delta n}(p) = \frac{\Delta n}{I_{CT}} = \frac{B_c \frac{R_3}{T_{эм} c_e \Phi} p (T_{\mu,c} p + 1)}{B_c T_{\mu,c} p^3 + B_c p^2 + T_2 + 1}.$$

Аналіз передавальних функцій показує, що розглянута система регулювання може прирівнюватися до системи з ПІ-регулятором частоти обертання, налаштованим по симетричному оптимуму і має фільтр в каналі завдання частоти обертання.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Аналіз умов експлуатації проектного електроустаткування

Вихідним матеріалом для аналізу умов експлуатації проектного електроустаткування служить технічне завдання до дипломного проекту, та матеріали переддипломної практики.

Проектований електричний прилад відповідає класу по величині напруги - вище 1000 В, живленням від мережі змінного струму, частотою 50 Гц.

Експлуатована установка розташовується в електротехнічному приміщенні, у якому встановлено електроустаткування, доступне для обслуговування тільки електротехнічному персоналу, що має кваліфікаційну групу не нижче III і потребує постійної їхньої присутності.

Електропривод, крім механізму розміщений в електромашинному приміщенні, тому що комплектні тиристорні електроприводи серії КТЕ призначені для роботи в закритих стаціонарних приміщеннях при відсутності впливу сонячної радіації; де навколишнє середовище не вибухонебезпечне, що не містить агресивних газів і пару у концентраціях, що руйнують метали й ізоляцію, ненасичена струмопровідним пилом і водяними парами. Приміщення машзалу у більшій мірі забезпечує чисту, суху й ізольовану площу для установки такого роду електроустаткування.

У безпосередній близькості від шаф електропривода розміщується застелене комфортне приміщення з кондиціонуванням повітря для обслуговуючого персоналу. Це приміщення побудоване з дотриманням будівельних норм і правил.

У машзалі підтримується надлишковий тиск 20-30 Па для запобігання замету пилу ззовні. Підвищення температури повітря на висоті електромашинного приміщення становить 0,5-1°C на кожний метр висоти приміщення.

У машзалі застосовується штучне загальне рівномірне висвітлення для спостереження за роботою ТП і несправністю окремих вузлів і елементів. Освітленість – $E=150$ лк.

Маслонаповнені трансформатори встановлені в окремих приміщеннях класифікуємих як зона ВІа - у яких вибухонебезпечні суміші пилу або волокон з повітрям можливі тільки в результаті аварій або несправностей. І по класу пожежобезпечності П-І розташовані в приміщеннях, у яких знаходяться горючі рідини з температурою спалаху їхніх парів вище $61\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На робочому місці для обслуговуючого персоналу виконуються оптимальні норми температури й вологості повітря, швидкості руху повітря, що забезпечують збереження нормального функціонального й теплового стану організму без напруги реакції терморегуляції. Дані оптимальні норми наведено в таблицях 7.1 і 7.2.

Таблиця 7.1 – Оптимальні норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Сезон року	Категорія робіт	Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний період року	2б середньої ваги	17-19	60-40	0,3
Теплий період року	2б середньої ваги	20-22	60-40	0,4

Таблиця 7.2 – Припустимі норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень у холодний і перехідний період року

Категорія робіт	Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура повітря поза постійними робочими місцями, $^{\circ}\text{C}$
2б	15-21	75	0,4	13-24

7.2 Розробка інструкції з охорони праці для обслуговуючого персоналу

7.2.1 Загальні положення

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, бути ознайомлений під розпис з умовами праці, правами та пільгами щодо роботи в шкідливих та небезпечних умовах праці.

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.

Повторний інструктаж з правил і прийомів безпечного ведення роботи і охорони праці електромонтер повинен проходити:

- періодично не рідше одного разу на квартал;
- при незадовільних знаннях з охорони праці не пізніше місячного строку;
- у зв'язку з допущеним випадком травматизму або порушенням вимог охорони праці, що не призвело до травми.

Електромонтер повинен працювати в спецодязі та інших засобах індивідуального захисту: діелектричними рукавичками, килимами і діелектричними калошами або ботами, а також інструментами з ізольованими ручками.

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

Усі монтажні і ремонтні роботи на електричних мережах і пристроях (або поблизу від них), а також роботи по приєднанню і роз'єднанню проводів

електромонтери повинні виконувати за умов знятої напруги.

Електромонтер при ремонті і обслуговуванні електроустаткування повинен застосовувати ручні переносні світильники.

Електромонтер повинен включати у мережу електродвигуни, електроінструменти, прилади електричного освітлення за допомогою призначених для цього апаратів і приладів (кнопок, рубильників, вимикачів автоматичних, пускачів магнітних).

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

7.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

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

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

Перевірити справність ручного інструменту

Забороняється застосовувати прокладки та подовжувати ключі трубами.

Одержати завдання – наряд або усне розпорядження на наступну роботу.

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.

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;

- 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”;

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

При веденні робіт на відключеній частині електроустановки заземлення накладається на струмоведучі частини фаз з усіх боків, звідки може бути подана напруга, включаючи і зворотну трансформацію.

7.2.3 Вимоги безпеки під час роботи

Дозволяється ведення робіт без зняття напруги в електроустановках напругою 500 В і нижче. Ці роботи повинні виконувати не менше, ніж два електрики.

Замінювати плавкі вставки запобіжників при наявності рубильника слід при знятій нарузі.

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

При виявленні замикання на землю забороняється наближатись до місця замикання на відстань менше, ніж 4 – 5 м у закритих, і менше, ніж 8 – 10 м, у відкритих розподільних пристроях.

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;

Корпус електроінструменту, що працює при напрузі понад 42 В (незалежно від частоти струму), має бути заземлений.

Електромонтер не повинен вмикати сторонніми предметами рубильники та кнопки пускачів і визначати дотиком руки температуру нагріву електричних машин.

Електричні проводи слід захищати від механічних пошкоджень та від дотику до сталевих канатів, гарячих поверхонь, шлангів газополуменевої апаратури, масел та кислот, які руйнівню впливають на ізоляцію. У вогких приміщеннях їх слід підвішувати на підставках.

7.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

По закінченні роботи електромонтер повинен:

- прибрати інструмент, прилади, пристрої;
- відключити технологічне електрифіковане обладнання, верстати, вентиляцію;

- зняти спецодяг, захисні та запобіжні засоби і пристрої, очистити від пилу та іншого бруду і віднести у відведене для зберігання місце та переодягтися. Потім вимити обличчя і руки теплою водою з милом або прийняти душ.

При передачі зміни повідомити змінника, майстра або адміністрацію дорожньої організації про всі помічені несправності та зробити про це відповідний запис у журналі.

7.2.5 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.

Якщо погасити пожежу своїми силами неможливо, електромонтер або старший по зміні повинен негайно викликати найближчу пожежну команду по телефону, радіо чи будь-якими засобами зв'язку.

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, і – відтягнути його від струмоведучих частин.

При відсутності у потерпілого дихання і пульсу електромонтер повинен зробити йому штучне дихання і непрямий масаж серця, після чого викликати швидку. Електромонтер повинен вміти подати першу допомогу при опіках.

7.3 Протипожежна безпека

У виробничих приміщеннях, на підстанціях і в електромашинних приміщеннях повинні бути первинні засоби вогнегасіння, які застосовує обслуговуючий персонал для ліквідації пожежі до прибуття викличної пожежної частини.

Для гасіння пожеж можна використовувати воду, водяну пару, повітряно-механічну піну і спеціальні хімічні засоби (вуглекислота). Для гасіння пожеж застосовуються: вогнегасник типу УП-1М, вуглекислотно-бромтілови

вогнегасники, а також найпростіші засоби, такі як пісок, азбестова тканина і т.д. Протипожежні вогнегасники вивішуються на видних місцях.

Пожежною охороною підприємства спільно з інженерно-технічним складом передбачено:

- а) спеціальні заходи для окремих виробництв з пожежної безпеки;
- б) порядок і норми зберігання пожежно- і вибухонебезпечних речовин і матеріалів;
- в) інструкції по правилам застосування засобів пожежогасіння, аварійної зупинки технічного обладнання, порядку евакуації людей та матеріальних цінностей, викликом пожежної допомоги;
- г) визначення місць, де забороняється куріння і застосування відкритого вогню, а також місць, де куріння дозволено.

Основними причинами виникнення пожежі є:

1. Необережне поводження з вогнем
2. Недотримання правил пожежної безпеки при веденні газо-електрозварювальних робіт
3. Несправність ел.проводки, електрообладнання, електроапаратури,
4. Несправність опалювальних приладів
5. При виникненні пожежі на електричних установках і кабелях черговому персоналу слід вимкнути живлення і приступити до гасіння пожежі.
6. У разі виникнення великої кількості диму або газу при загорянні електроустановки слід негайно викликати газорятівника
7. Якщо пожежу не представляється можливим гасити своїми силами, негайно викликати пожежну команду
8. При виникненні пожежі в трансформаторі необхідно відключити його з низькою і високого боку, а також оперативну напругу. Якщо неможливо відключити низьку сторону всередині кіоску, то слід відключити роз'єднувачі на магістралі
9. Основними засобами пожежогасіння в електроустановках є:

- а) вогнегасники вуглекислотні ручні, типу 07-2, 07-3, ОУ-8, призначені для гасіння ел.установок напругою не більше 0,4 кВ
- б) вогнегасники пересувні вуглекислотні, одnobалонні і двобалонні типу ЛИМ, Л1-2І, призначені для гасіння установок з напругою не більше 0,4 кВ
- в) порошок сухий застосовується для гасіння пожежі в установках напругою не більше 0,4 кВ
- г) вогнегасники пінні - при гасінні відключених електроустановок
- д) вода - при гасінні завідома відключених електроустановок
- е) гасіння електроустановок та кабелів які перебувають під напругою понад 0,4 кВ будь-якими засобами пожежогасіння забороняється

10. Електрик зобов'язаний знати інструкцію пожежогасіння:

- а) знати загальну цехову інструкцію пожежогасіння
- б) знати елементарну будову засобів пожежогасіння
- в) вміти відрізнити один тип вогнегасника від іншого
- г) вміти досконало користуватися засобами пожежогасіння
- д) пам'ятати, що один балон вогнегасника діє але більше двох хвилин
- е) пам'ятати, що пожежу легше попередити, ніж погасити

При виявленні будь-яких ненормальностей в роботі електрообладнання бригадир чергових ел. монтерів зобов'язаний негайно повідомити майстру машзалу або головному електрику цеха і вжити заходів до їх усунення. В аварійних випадках необхідно припинити прокатку, відключивши автомати і якщо необхідно, зупинити маховиковий агрегат.

При аварійному виході з ладу допоміжного електрообладнання яке має резерв, чергові ел.монтери повинні негайно провести перемикання на резерв і простежити за роботою введеного в експлуатацію резервного електрообладнання.

При аварійному відключенні автоматів головного приводу максимально-струмового захисту, чергові ел. монтери зобов'язані ретельно оглянути двигуни, автомати, зробити вимір опору ізоляції системи головного приводу і перевірити цілісність запобіжників

Автомати головного приводу, які відключились від максимально-струмового захисту, через порушення технології прокатки дозволяється включати після виконання пункту цього розділу та отримання дозволу на включення від начальника цеху або його заступника після першого відключення і від головного енергетика після подальших відключень протягом зміни

На кожне відключення автоматів головного приводу через порушення технології прокатки складається акт за участю начальника зміни, старшого майстра ЕТК і бригадира чергових ел.монтерів. В акті зазначається температура розкату, номер пропуску та номер плавки

При роботі струмових реле 1РТ, необхідно за амперметрами визначити величину струму навантаження, при якому спрацьовують струмові реле і, якщо останній вище певної величини, вимагати у начальника зміни і старшого оператора ПУ прокатку відповідно до технологічної інструкції. Здійснювати зміну установок на реле управління черговим ел. монтерам машзалу категорично забороняється.

При відключенні автоматів головного приводу від реле земляного захисту бригадир чергових ел.монтерів зобов'язаний виявити і встановити причини, що викликали роботу реле, без чого забороняється включати автомати і подавати збудження на машину до приходу майстра або головного електрика цеху

При відключенні автомата головного приводу вимикачів бригадир зобов'язаний встановити причину наслідки захисту і усунути виявлені неполадки. Якщо причина відключення не була встановлена, забороняється вмикати автомати до приходу майстра або гл. електрика цеху.

При відключенні фідерів від захисту, включення останніх дозволяється тільки після ліквідації причини, що викликала роботу захисту. При повторному відключенні з'ясовується причина відключення і включення виконується після узгодження з бригадиром чергових електриків ділянки стану.

При зникненні напруги на одному з введів підстанції № 17, з боку підстанції необхідно виявити причину зникнення напруги і при необхідності

відключити всі вимикачі знеструмленої секції, подати на неї напругу, включенням секційного роз'єднувача трансформаторів і взяти дозвіл у диспетчера ЦСП на роботу від одного вводу.

З огляду на живлення вводів ц/ст №17 від окремих трансформаторів підстанції "Прокат", включення в паралельну роботу вводів допускається тільки з дозволу диспетчера ЦСП

Бригадир чергових ел. монтерів зобов'язаний вести запис в оперативному журналі про всі змінення і перемикання в схемі ц/ст № 17, установці і знятть заземлень, подачі заявок на включення і відключення.

При відключенні від захисту кабельних ліній бригадир чергових ел.монтерів зобов'язаний негайно оглянути їх, включення робити тільки після з'ясування причин відключення, переконатися у відсутності пожежі в кабельній галереї.

Для пожежної сигналізації передбачений тепловий сповіщувач АТИМ-1, в якому замикання контактів відбувається внаслідок теплової деформації біметалічної пластини. Він працює при температурі 60°C і має розрахункове обслуговування до 25 м². Крім того, в кабіні крана встановлений кнопковий сповіщувач ручної дії, кнопка якого захищена склом, щоб уникнути випадкового натискання.

Вогнегасники знаходяться в спеціально відведених для них місцях.

В якості організаційних заходів передбачені також проведення протипожежного інструктажу та призначення відповідальних осіб, що стежать за справним станом і постійною готовністю засобів пожежогасіння і сигналізації.

ВИСНОВОК

В результаті виконання дипломного проекту був спроектований автоматизований електропривод маніпулятора обтискного стану.

В ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення і особливості роботи електроприводу маніпуляторів обтискного стану. Була розрахована потужність двигуна і проведена його перевірка по перевантажувальній здатності. В результаті розрахунку було обрано 2 двигуна краново-металургійної серії Д818.

Для живлення двигуна обраний комплектний тиристорний електропривод КТЕ, призначений для живлення електродвигунів постійного струму.

У проекті розраховані параметри двоконтурної системи підпорядкованого управління, з зовнішнім контуром швидкості і внутрішнім контуром струму.

На основі структурної схеми електропривода була розроблена математична модель в середовищі моделювання динамічних систем Matlab / Simulink. Проведено моделювання роботи ЕП при вихідних параметрах об'єкта управління і при їх зміні в межах $\pm 50\%$, що може бути викликано, наприклад, недообліком опору силових кабелів, сезонними коливаннями температури зовнішнього середовища, загушення мастила і т.п.

Отримані перехідні процеси свідчать про правильність налаштування системи. Досліджуваний електропривод з синтезованою системою керування повністю задовольняє технологічним вимогам, що пред'являються до електроприводу при вихідних параметрах об'єкта керування та доступні їх відхиленнях.

Впроваджувана система побудована на найсучаснішому обладнанні з урахуванням нових досягнень техніки й промисловості.

У розділі «Охорона праці» розглянуто аналіз небезпечних чинників, інструкції з охорони праці для обслуговуючого персоналу та заходи пожежної безпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. Москва, «Энергия», 1977. – 432 с. с ил.
2. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учебное пособие / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
3. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.С. Коцюбинский. – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – 205 с.
4. Гарнов В.К. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии / В.К. Гарнов, В.Б. Рабинович, Л.М. Вишневецкий ; Под ред. Д.С. Ямпольского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М: Металлургия, 1977. – 191 с.
5. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода: Учебник для вузов. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
6. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко. – Минск: Высшая шк., 1986. – 143 с.
7. Решмин Б.И. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования / Б.И. Решмин, Д.С. Ямпольский. М.: Энергия, 1975. – 184 с.
8. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC MASTER серия 6RA70. Микропроцессорные преобразователи на мощность 6 кВт - 1900 кВт для проводов постоянного тока с регулируемой скоростью.
9. 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.: ил.
10. Башарин А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода / А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.

11. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
12. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов / Р.Т. Шрейнер. Екатеринбург: Изд-во: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. – 279 с.
13. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
14. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.
15. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
16. Чорний О.П. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 410 с.
17. Шевченко І.С. Динаміка складних електромеханічних систем: Навч. посібн. – І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.
18. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1982. – 800 с.
19. Правила устройства электроустановок. ПУЭ - 76. - М.: Атомиздат, 1980.-56 с.
20. ГОСТ 12.2.064-81 ССБТ. Посты и пульты управления прокатных станов.
21. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы по природе действия.
22. ГОСТ 12.2.094-83. Инструкции по охране труда для операторов прокатных станов.
23. ГОСТ 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.