

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту: 102с., 49рис., 8 табл, 20 джерел.

КОЗЛОВОЙ КРАН, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ, КОНТУР СТРУМУ, КОНТУР ШВИДКОСТІ, ОХОРОНА ПРАЦІ

Об'єкт розробки та дослідження – автоматизований електропривод механізму підйому козлового крана ККД-15.

Мета проекту – проектування автоматизованого електроприводу механізму підйому козлового крана ККД-15 з використання системи тиристорний перетворювач - двигун постійного струму, а також дослідження на математичній моделі реакції приводу при варіаціях параметрів і в аварійних режимах.

В процесі проектування обраний двигун типу Д812, тиристорний перетворювач шафового виконання, КТЕ 100. 440. М-1 2 Р-4 УХЛ4, розрахована силова частина системи приводу, розроблена двоконтурна система електроприводу з підпорядкованим керуванням координат і раціональної динамікою.

Синтезована система підпорядкованого керування, з подальшим моделюванням за допомогою ЕОМ. Створено структурна і Simulink-моделі швидкісної системи підпорядкованого керування електроприводом у середовищі MATLAB. Здійснено моделювання системи електроприводу, яка забезпечує необхідну точність і заданий діапазон регулювання швидкості. Розглянуто питання охорони праці.

Ефективність розробленої системи керування визначається використанням сучасної елементної бази, в тому числі силового перетворювача.

Розроблена система керування може бути використана в електроприводах рольгангів та транспортерів.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Технологічні й технічні данні	9
1.1 Опис конструкції.....	9
1.2 Технічні характеристики	10
1.3 Механізм підйому крана.....	13
2 Розрахунок потужності і вибір приводного електродвигуна	15
2.1 Вимоги, які пред'являються до електроприводів і системи електропостачання	15
2.2 Розрахунок необхідної потужності електродвигуна	18
3 Вибір, розрахунок та обґрунтування силовий частини системи і спосіб управління електроприводом.....	23
3.1 Вибір комплектного електроприводу	31
3.2. Визначення ЕДС умовного холостого ходу ТП.....	39
3.3. Розрахунок електричних параметрів силового трансформатора (схема з'єднання обмоток Y/Y)	40
3.4. Вибір силових тиристорів	42
3.5. Розрахунок індуктивності реактора, що згладжує.	44
3.6. Розрахунок індуктивності зрівняльного реактора.....	46
3.7. Расчет параметрів системи ТП-Д	47
3.8 Розрахунок і вибір захисту перетворювача.....	49
3.9 Розрахунок статичних і динамічних параметрів елементів і вузлів системи електроприводу.....	54
4 Розрахунок контурів системи підпорядкованих управлінню.....	58
4.1 Математичний опис об'єкта управління	58
4.2 Розрахунок регулятора струму	59
4.3 Розрахунок регулятора швидкості	63
4.4 Розрахунок задавача інтенсивності швидкості	67
5 Моделирование електропривода в среде matlab/simulink.....	71
6 Охорона праці	89
6.1 Вимоги до персоналу	89
6.2 Вимоги техніки безпеки до електрообладнання крану	89

	5
6.3. Заходи з охорони праці.....	90
Висновки	100
Перелік джерел посилання	101

ВСТУП

На сьогоднішній день козлові крани є найпоширенішими видами кранів. Вони використовуються в різних видах будівництва і виробництва. Велика популярність цих кранів обумовлюється практичністю, відносно невисокою ціною, хорошою вантажопідйомністю і простотою в експлуатації. Затрати роботи козлового крана значно нижче ніж у баштових та гусеничних кранів з аналогічною вантажопідйомністю. Козлові крани отримали широке застосування в обслуговуванні складів і цехів, завантаження, розвантаження і переміщення в основному штучних вантажів, для монтажу і демонтажу різних будівельних і промислових споруд і секційного монтажу в суднобудуванні, а також в обслуговуванні ГЕС. Для монтажу великих виробів (наприклад, в суднобудуванні) застосовують крани з 2 вантажними візками, що дозволяють кантувати вантаж у висячому положенні. Крани будівельного призначення, що мають змінне місце роботи, виконуються баштові. Термін роботи крана оцінюється в 20-25 років.

Стандартне виконання і пристрій козлового крана характеризується вантажопідйомністю в межах від 5 до 60 тонн, а також наявністю широкого прольоту 10-50 метрів. Нестандартні моделі можуть мати ряд технічних особливостей, а також здатні здійснювати підйом і переміщення вантажу вагою від 60 до 500 тонн. Пристрій козлового крана дозволяє використовувати його практично в будь-яких умовах. В основі конструкції даного механізму лежить балочний міст, закріплений на рейковому шляху і таль. Працює такий кран за допомогою електродвигуна, який встановлений на галереї моста. Конструктивна особливість козлового крана полягає в наявності опор, пролітної балки, талі з механізмом пересування, електрообладнання, ходових візків і пульта, або кабіни управління. Пересування кранового візка, на якій розміщено підйомний пристрій, здійснюється за допомогою рейок. Кранові ж візки закріплені через кінцеві кран-балки. При необхідності збільшення прольоту крана, можуть застосовуватися додаткові балки. За допомогою козлових кранів можна здійснювати підйом і транспортування великогабаритних вантажів. При цьому крани даного виду вважаються одними з найбезпечніших, надійних і довговічних.

Вантажопідйомні машини за призначенням об'єднуються в наступні групи:

1. Універсальні машини для підйому і переміщення вантажу за допомогою гака на гнучкому підвісі (вантажному канаті). До них відносяться різні крани, кран-балки, лебідки, талі. Варіантом цієї групи є машини зі спеціальним вантажозахватним органом на вантажному канаті.

2. Різні вантажопідйомні крани для перевантаження сипучих вантажів за допомогою грейфера.

3. Вантажопідйомні машини для переміщення вантажу за допомогою захоплення, що переміщається по жорстких напрямних. До них відносяться крани-штабелери, технологічні крани металургії, штирові крани кольорової металургії.

4. Спеціалізовані крани для зведення будівель і споруд. До них належать будівельні баштові крани, судосборочні крани і самопіднімальні будівельні крани.

5. Крани з несучими канатами (кабель-крани).

Можна виділити наступні основні типи козлових кранів: універсальні або загального призначення і спеціальні. Універсальні крани використовуються для обслуговування різних будівельних і складських майданчиків зі схожими умовами експлуатації. Конструкційними особливостями таких кранів є: довжина проліт - від 12 до 32 метрів, висота підйому вантажу - від 7 до 9 метрів, робочий виліт консолі - в межах 6-8 метрів. Широко використовуються козлові крани, опори яких складаються з роздільних стояків, рознесених на відстань, необхідне для пропуску вантажного візка. Також козлові крани розрізняються залежно від характеру опори. Козлові крани з жорсткими опорами конструктивно простіші, ніж крани з однією жорсткою і однією еластичною опорами, але при цьому зменшуються їх згинальні моменти від переносного і горизонтального динамічного навантаження.

У козлових кранах можуть використовуватися такі вантажозахватні пристрої: грейфер, гак і магніт та ін.

Режим роботи вантажопідйомної машини циклічний. Цикл складається з переміщення вантажу по заданій траєкторії і повернення машини до вихідного

положення для нового циклу. Число закінчених циклів в годину C_n входить в поняття продуктивності крана. У циклі роботи машини час включення (роботи) будь-якого з його механізмів t_p чергується з часом пауз $t_{пауз}$ цього механізму (поки включений інший механізм, відбувається застроповка або расстроповка вантажу або технологічна пауза). Максимальне час закінченого циклу роботи машини (механізму) $t_p + t_{пауз}$, нормоване ГОСТ 183-74, становить 600 с. При тривалості циклу більше 600 з він умовно поділяється на закінчені складене частини, наприклад рух в одному напрямку і паузу після нього загальною тривалістю до 600 с. Умовні циклограми циклу роботи вантажопідйомної машини (крана). Крани можуть мати чітко виражений циклічний режим роботи, наприклад перевантажувальні крани штучних вантажів, грейферні крани навалювальних вантажів, технологічні крани металургії, у яких повторюються цикли ідентичні. Значне число кранів універсального призначення немає багаторазово повторюваних одностипних циклів. Крани машинобудівних виробництв, монтажні крани і т.п., у яких цикли роботи постійно змінюються як за тривалістю, так і за складом послідовно використовуваних механізмів, відносяться до машин з умовно циклічної роботою. Механізми кранів характеризуються відносною тривалістю включення, коли час включення і час пауз регулярно чергується. Відносна тривалість включення виражається відношенням часу включення механізму до загального часу циклу або у вигляді відношення часу включення за певний проміжок часу до часу цього проміжку.

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ Й ТЕХНІЧНІ ДАННІ

1.1 Опис конструкції

Козловий ККД-15 є краном загального призначення. Знаходить широке застосування для оперативного обслуговування відкритих складів і навантажувальних майданчиків. Даний кран знайшов широке використання також на складах штучних, тарних, контейнерних вантажів промислових підприємств, сільському господарстві при температурі навколишнього повітря від плюс 40 ° С до мінус 40 ° С.

Зовнішній вигляд крана представлений на рисунку 1.1. Суцільнометалева конструкція крана служить гарантом його надійності і довговічності. Оснащення кабіни кріслом-пультом, електронною апаратурою, дистанційним керуванням, датчиком тиску вітру робить його сучасним вантажопідйомним краном, надійним в експлуатації і зручним в обслуговуванні.

Кран ККД-15 комплектується знімними вантажозахоплювальними пристроями (траверсами, канатними стропами) і вантажопідйомними електромагнітами і грейферами, а також пристосуваннями для монтажу. Пристосування для монтажу крана складаються з чотирьох поліспастів, чотирьох гальмових башмаків.

Живлення крана ККД-15 здійснюється від мережі трифазного змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц.



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд козлового крана

1.2 Технічні характеристики

Кран козловий ККД-15 електричний володіє вантажопідйомністю в 15 тонн з підвісним вантажним монорельсовим візком. Проліт крана козлового становить 14,0 - 32,0, висота підйому 9,0 метрів; режим експлуатації ЗК / АЗ, управління з стаціонарної або рухомий кабіни, розміщення У1 (відкрите повітря), температурний режим -40 / + 40С.

Умови роботи крана:

- необхідна температура робочого середовища становить -40 ° С до + 40 ° С;
- стандартні групи режиму роботи крана - ЗК, кліматичне виконання - У1;
- необхідна напруга 380 В;
- обладнання не призначене для роботи над місцями зберігання вибухових речовин.

Кран ККД-15 відрізняє підвищена швидкість підйому вантажу і пересування крана. Застосування на крані електричного гальмування електроприводом без участі механічного гальма при опусканні вантажу дозволяє

отримати стійкі посадочні швидкості, значно поліпшити використання електродвигуна, гальма, підвищити надійність роботи контактної апаратури за рахунок зниження числа включення приводу при здійсненні доводочних операцій.

На рисунку 1.2 наведено габаритне креслення крана ККД-15, а його технічні характеристики наведені в таблиці 1.1

Таблица 1.1 - Технические характеристики крана ККД-15

Характеристика	Значение
1	2
Грузоподъёмность, т	15
Емкость грейфера $V, \text{м}^3$ и насыпная плотность груза $g, \text{т/м}^3$:	
- $V=3 \text{ м}^3$	$2,0 < g < 2,5$
- $V=4 \text{ м}^3$	$1,5 < g < 1,8$
- $V=5 \text{ м}^3$	$1,0 < g < 1,5$
Группа режима работы крана по ИСО 4301/1	A4
Подвод питания:	
- к тележке	кабель
- к крану	гибкий кабель
Масса крана, т	150
Давление на подкрановый путь, кН	350
Тип подкранового рельса	P65 ГОСТ8161
Скорость передвижения, м/с (м/мин):	
- крана	0,43(25,8)
- тележки	0,6(36)
Суммарная номинальная мощность электродвигателей, установленных на кране, кВт, не более	215
Механизм подъема и замыкания грейфера:	
- скорость подъема, м/с(м/мин)	0,42(25)
- группа режима работы крана по ИСО 4301/1:	M5
- скорость замыкания грейфера, м/с(м/мин)	0,21(12,5)

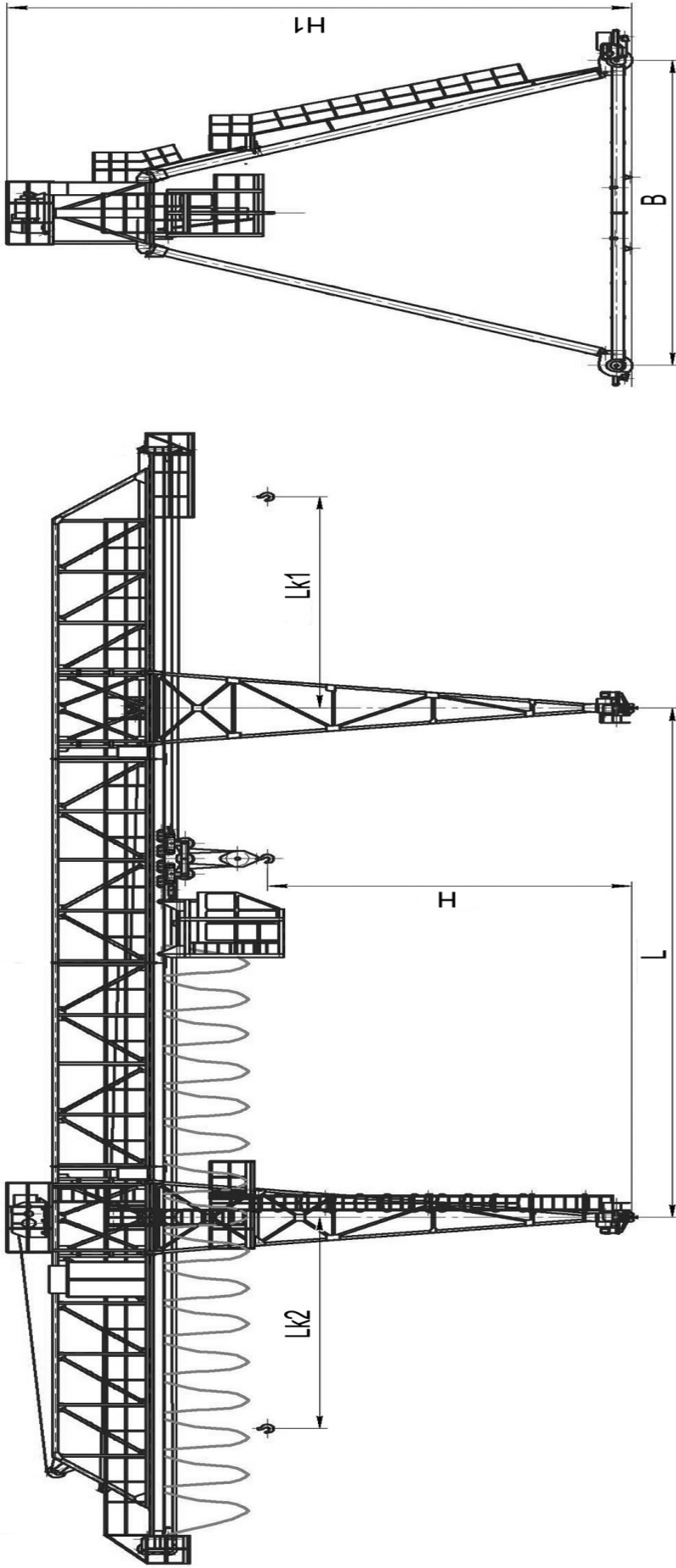


Рисунок 1.2 - Габаритне креслення крана ККД-15

1.3 Механізм підйому крана

Конструкція механізму підйому козлового крана показана на рисунку 1.3. Кінематична схема механізму вантажного візка козлового крана ККД-15 приведена на рисунку 1.4. Параметри складових частин механізму пересування зведені в таблицю 1.2.

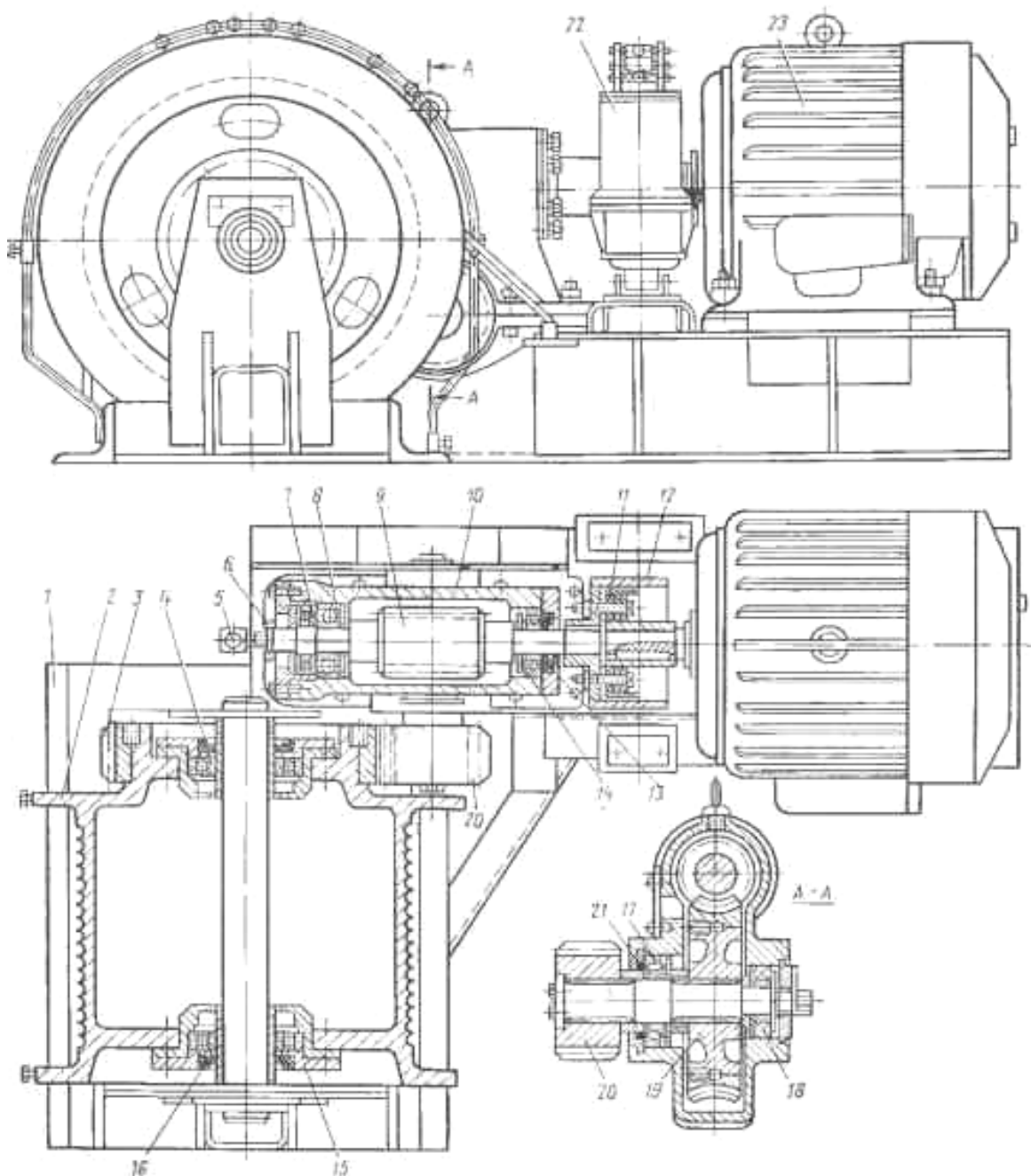


Рисунок. 1.3 - Конструкція механізму підйому козлового крана

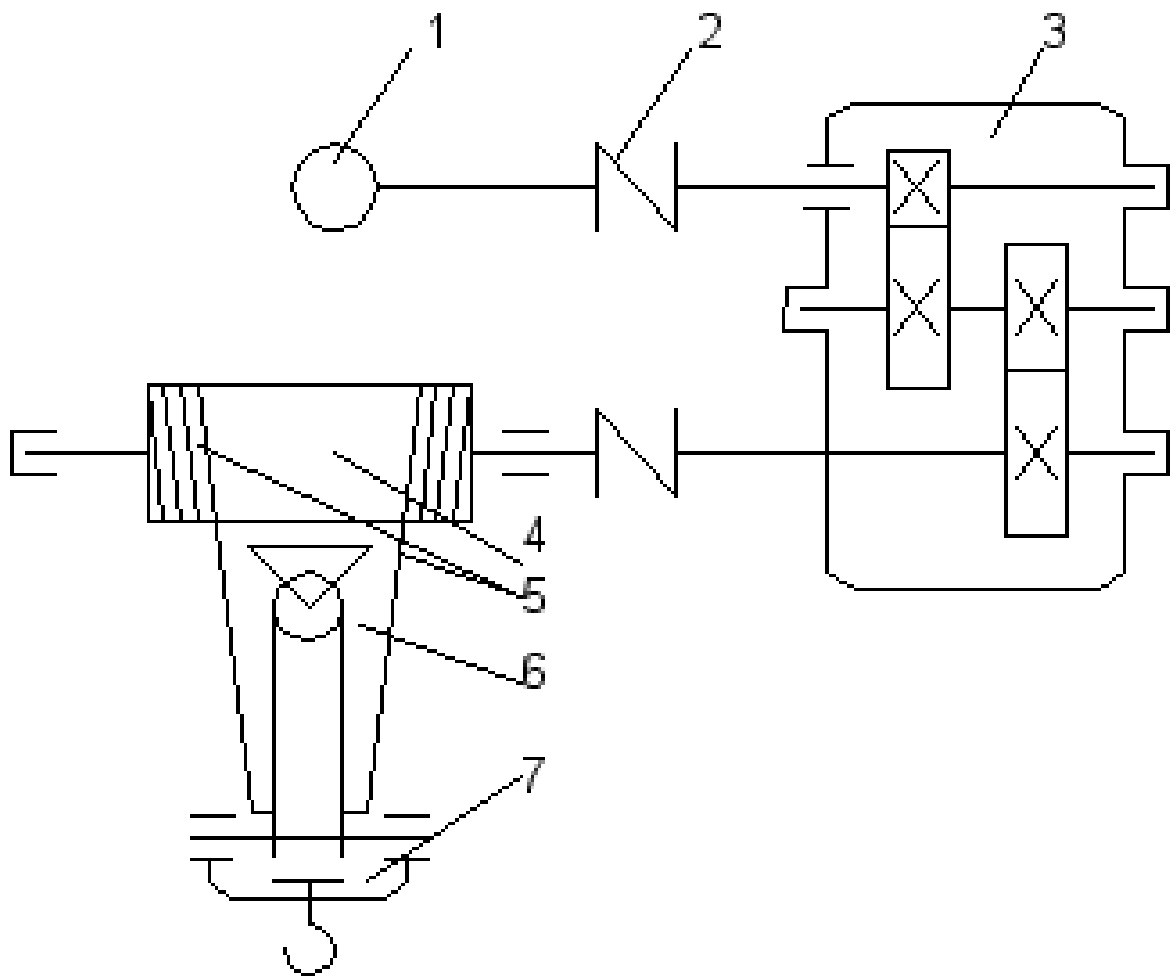


Рисунок. 1.4 - Кінематична схема механізму вантажного візка
козлового крана ККД-15

В механізмі встановлен редуктор 1Ц2У-355-25-22 с передаточним числом $i_p = 19,88$. Диаметр грузового барабана составляет $D_B = 0,5$ м, а передаточное число полиспаса равно $i_n = 3$.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ПРИВОДНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Системи керування електроприводом і механізмів підйому повинні забезпечувати: оптимальні прискорення і уповільнення, яких припускаються за умовами технологічного процесу; надійне аварійне механічне гальмування; надійне робоче електричне гальмування без небезпечної розгойдування вантажів; регулювання швидкості пересування в необхідному діапазоні; розгін механізму без пробуксовування ходових коліс і гальмування.

Для механізмів підйому кранів застосовуються системи електроприводів, як постійного, так і змінного струму.

2.1 Вимоги, які пред'являються до електроприводів і системи електропостачання

2.1.1 Вимоги пред'являються до електродвигунів підйомних установок.

Залежно від характеру окремих операцій підйомних пристроїв до приводних двигунів пред'являються наступні основні вимоги:

- 1) забезпечення можливості пуску в хід механізму, реверсування напрямку переміщення вантажів і останов механізмів належною точністю;
- 2) в окремих випадках двигун повинен регулюватися в певному діапазоні швидкості відповідно до вимог технологічних процесів;
- 3) момент, що розвивається, двигуна повинен бути такий, щоб була повна можливість забезпечення роботи механізму з заданою інтенсивністю;
- 4) при заданих частоті і числі включень в годину двигуна не повинно бути перегріву обмоток, через якого можливий тривалий останов підйомного механізму;
- 5) при особливих умовах роботи (підвищена температура, велика вологість, наявність газів і парів хімічних речовин, запиленість навколишнього середовища, наявність вибухонебезпечної суміші і т. п.) Двигун повинен мати відповідну конструкцію, а його обмотки-термостійку і противосиростну ізоляцію;

6) приводний двигун повинен володіти найменшими маховими масами, які надають значний вплив на перебіг перехідних процесів, особливо при частих пусках приводу;

7) при напружених режимах роботи підйомних установок і неможливості їх тривалого зупину за технологічними умовами виробництва повинна бути передбачена можливість швидкої заміни двигуна; в окремих випадках корпус двигуна повинен бути роз'ємним;

8) приводний двигун по потужності повинен відповідати потужності підйомної установки, володіти необхідною перевантажувальною здатністю і підвищеною механічною міцністю;

9) напруга двигуна повинна відповідати напрузі мережі живлення; можливі коливання напруги повинні враховуватися при розрахунку потужності двигунів, особливо змінного струму, для яких зниження напруги сильно відбивається на їх пускових і перевантажувальних здібностях;

10) двигуни повинні бути виконані з урахуванням безпеки та зручності обслуговування.

З перерахованих основних вимог, що пред'являються до приводних двигунів, видно, яким важливим обставиною є визначення реальних умов, в яких буде працювати встановлюється двигун. Перш ніж вибрати тип двигуна, треба ретельно проаналізувати всі можливі фактори, що впливають в тій чи іншій мірі на його роботу, а отже, і на роботу підйомної установки. Необхідно пам'ятати, що зупинка підйомної установки може спричинити за собою зупинку багатьох інших механізмів цеху та навіть кількох цехів.

2.1.2 Вимоги, які пред'являються до автоматичного керування електроприводами

Механізми мостових кранів, як правило, працюють в дуже напружених режимах: велике число включенні в годину, швидкі перехідні процеси при розгоні, гальмуванні, реверсуванні супроводжуються підвищеними моментами навантаження і т. П. Крім цього потрібно мати підвищену надійність роботи всіх механізмів кранів. З огляду на, що потужності двигунів кранових установок досить великі, управління ними за допомогою ручної дії вкрай важко. Тільки

перехід на автоматичне керування електродвигунами механізмів кранів може дати належний ефект. Основні вимоги, що пред'являються до автоматички управління кранових механізмів, можуть бути наступними:

1) система автоматичного управління повинна мати просту структурну схему;

2) окремі елементи слід вибирати з підвищеною надійністю в роботі, легко замінні і прості за конструкцією;

3) в схемі автоматичного управління необхідно передбачати різні види захисту: від втрати напруги в мережі, перевантаження понад допустимі значення струму або моменту і від коротких замикань в системі;

4) пуск двигуна повинен здійснюватися за певним заданим законом, незалежно від швидкості перемикання командоапарата оператором;

5) в схемі необхідно передбачати неможливість пуску двигуна після відновлення напруги мережі в момент, коли, командоапарат ще знаходиться в будь-якому робочому положенні; пуск повинен бути можливий тільки після повернення командоапарата в початкове (нульове) положення;

6) при різкому пересуванні рукоятки командоапарата з положення «вперед» в положення «назад» необхідно передбачати автоматичне плавне реверсування двигуна з струмами перемикання, що не перевищують допустимих значень;

7) при повному відключенні живлення двигунів в схемі має бути передбачено механічне гальмування;

8) в схемі автоматичного управління необхідно передбачати роздільне керування кожним двигуном механізму (підйом, пересування візка або моста, поворот) від окремого командоапарата;

9) при переміщенні вантажів на всіх напрямках в схемі автоматичного управління необхідно передбачити обмежувачі ходу, що відключають живлення двигунів, коли пересування вантажу небезпечно; при роботі декількох кранів в одному прольоті цеху слід передбачати між ними блокування, що виключають можливість зіткнення кранів;

10) між пристроями проти викрадення і робочими двигунами пересування крана повинна бути блокування з тим, щоб при застопореному крані було б неможливо включити двигуни пересування;

11) при необхідності плавного опускання вантажу повинна бути передбачена можливість отримання низьких швидкостей;

12) в схемі слід передбачати блокування, що дозволяє відключати всю систему живлення крана, якщо потрібно знаходження людини на поверхні моста або візки.

2.2 Розрахунок необхідної потужності електродвигуна

Основною вимогою при виборі є його відповідність умовам технологічного процесу робочої машини. Завдання вибору приводного двигуна полягає в пошуку такої електричної машини, яка буде забезпечувати заданий технологічний цикл механізму, мати конструкцію, відповідну умовам експлуатації і компонування, а її нагрівання при цьому не повинно перевищувати допустиму (нормативну) межу.

Вибір двигуна недостатньої потужності може привести до порушення заданого технологічного циклу і зниження продуктивності робочої машини. Відбуваються при цьому його підвищене нагрівання і прискорене старіння ізоляції визначають передчасний вихід з ладу самого двигуна, останов робочої машини і економічні втрати.

Неприпустимим є також використання двигунів завищеною потужності, так як при цьому, маючи завищену початкову вартість, електропривод працює з низькими ККД і коефіцієнтом потужності. Таким чином, обґрунтований вибір потужності двигуна багато в чому визначає техніко-економічні показники роботи технологічного обладнання.

У завдання вибору двигуна кранового механізму входять попередній вибір двигуна, розрахунок його на задоволення теплового режиму, а також перевірка на забезпечення заданих прискорень (забезпечення пускового режиму і запасу зчеплення для механізмів пересування).

Найбільшу складність представляє розрахунок теплового режиму двигуна. Загальноприйняті методи теплового розрахунку по еквівалентним параметрам навантаження (струму, моменту, потужності) або середнім втратам дають достовірні результати тільки тоді, коли досить точно відома навантажувальна діаграма роботи електродвигуна. Для кранових електроприводів в більшості випадків характерним є невизначеність режиму роботи, що при специфічних особливостях кранових машин закритого виконання з підвищеними постійними втратами і погіршеними умовами тепловіддачі призводить до великих погрешностей при традиційних методах розрахунку.

Для розрахунку потужності приводного електродвигуна механізму підйому крана скористаємося методом еквівалентного ККД [1]. Даний метод найбільш повно враховує особливості роботи кранових електроприводів.

Определяем расчетную мощность двигателя:

$$P_F = P_{\text{ст.ном}} = \frac{9,81 \cdot (q + q) \cdot v_{\text{под}}}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{9,81 \cdot (13000 + 300) \cdot 0,42}{0,9} = 70959 \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

где $\eta_{\text{мех}} = 0,9$ - общий КПД механизма подъема, при двухступенчатой зубчатой передаче, помещенной в закрытый корпус редуктора [2];

$q = 500 \text{ кг}$ - масса подвески с крюком.

Скорость и частота вращения двигателя составят:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{дв}} &= \frac{i_{\text{п}} \cdot i_{\text{р}} \cdot v_{\text{под}}}{0,5 D_{\text{в}}} = \frac{3 \cdot 19,88 \cdot 0,42}{0,5 \cdot 0,5} = 100,195 \text{ с}^{-1}, \\ n_{\text{дв}} &= \frac{30 \cdot \omega_{\text{дв}}}{\pi} = \frac{30 \cdot 100,195}{3,14} = 956,794 \text{ об/мин.} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Исходя из режима работы М5 и применяемой системы электропривода постоянного тока с тиристорным преобразователем по таблице 6.5 из [1] определяем коэффициент $k_T = 1,15$. Тогда требуемая мощность составит:

$$P_{\text{ном.т}} = \frac{P_F}{k_T} = \frac{70959}{1,15} = 61703,478 \text{ Вт} \quad (2.3)$$

Так как $P_{\text{ном.т}}$ меньше P_F , то предварительно выбираем двигатель по мощности расчетной $P_F = 70959 \text{ Вт} = 70,9 \text{ кВт}$.

Предварительно выбираем двигатель постоянного тока краново-металлургической серии Д812 с паспортными данными приведенными в таблице 2.1. Данные взяты из [1].

Номинальная скорость вращения двигателя:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 570}{30} = 59,69 \text{ с}^{-1}. \quad (2.4)$$

Таблица 2.1 – Паспортные данные двигателя Д812

1. Номинальная мощность P_H , кВт при ПВ, 40%	47
2. Номинальная мощность P_H , кВт при ПВ, 25%	51
3. Напряжение питания якоря U_H , В	440
4. Ток якоря номинальный I_H , А	92
5. Номинальная частота вращения n_H , об/мин	570
6. Момент инерции $J_{ДВ}$, кг·м ²	7
7. Сопротивление якоря и добавочных полюсов r_H , Ом	0,1

Определяем суммарный момент инерции:

$$\begin{aligned} J_{\Sigma} &= 1,2 \cdot J_{ДВ} + (Q + q) \cdot \left(\frac{v_{ПОД}}{\omega_H} \right)^2 = \\ &= 1,2 \cdot 7 + (15000 + 500) \cdot \left(\frac{0,42}{59,69} \right)^2 = 9,167 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Эквивалентное КПД определяется по формуле:

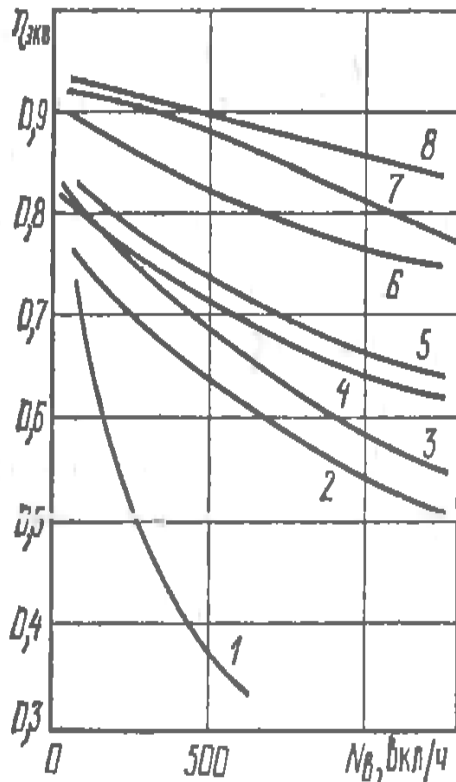
$$\eta_{ЭКВ} = \frac{\eta_{ЭКВ.БАЗ}}{1 + \frac{\eta_{ЭКВ.БАЗ} - \eta_{ЭКВ.Н}}{\eta_{ЭКВ.Н}} \cdot \frac{J_{\Sigma}}{1,2 \cdot J_{ДВ}} \cdot \left(\frac{n_{МАХ}}{1000} \right)^2}, \quad (2.6)$$

где $\eta_{ЭКВ.БАЗ} = 0,94$ - эквивалентное КПД, определяемое из таблицы 6.5 в [1];

$n_{МАХ} = 1,05 \cdot n_H = 1,05 \cdot 570 = 598,5$ об/мин - максимальная частота вращения двигателя (при однозонном регулировании равна скорости холостого хода);

$\eta_{ЭКВ.Н}$ - КПД в зависимости от числа включений двигателя в час N_{Σ} по рисунку 2.1.

При числе включений в час $N_B = 200$ для тиристорного электропривода постоянного тока $\eta_{ЭКВ.N} = 0,9$



1 — двухскоростной короткозамкнутый двигатель при $2p = 4/24$; 2 — параметрическое регулирование двигателей с фазным ротором и торможением противотоком; 3 — трехскоростные короткозамкнутые двигатели при $2p = 4/8/24$; 4 — параметрическое регулирование двигателей постоянного тока, короткозамкнутых двигателей с $2p = 6$ и двигателей с фазным ротором при динамическом торможении; 5 — трехскоростные короткозамкнутые двигатели при $2p = 6/12/24$; 6 — с ограниченной зоной частотного управления двухскоростных короткозамкнутых двигателей; 7 — тиристорный привод постоянного тока; 8 — частотно-управляемые односкоростные короткозамкнутые двигатели

В результате получим:

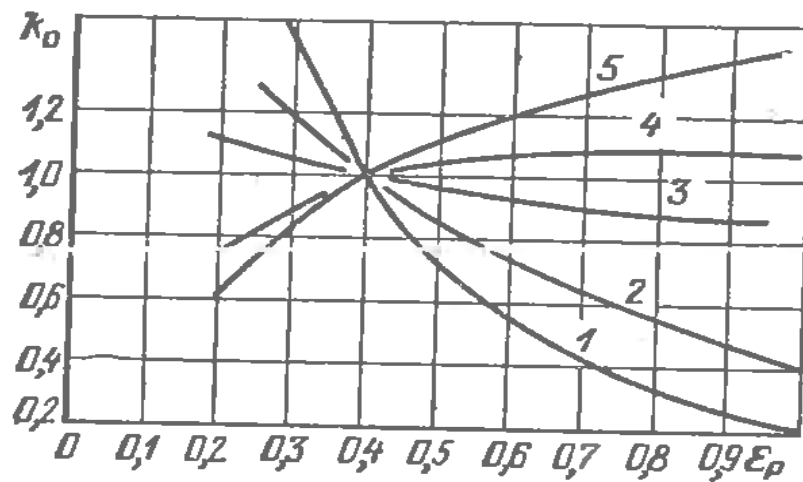
$$\eta_{ЭКВ} = \frac{0,94}{1 + \frac{0,94 - 0,92 \cdot 0,167 \cdot (270)^2}{0,92 \cdot 1,27 \cdot 1000}} = 0,932, \quad (2.7)$$

Проверяем двигатель по тепловому режиму:

$$P_{НОМ.Г} = \frac{K_D \cdot K_{ЭКВ} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_F}{\epsilon_H}}}{K_0 \cdot K_F} \cdot \frac{\eta_{ЭКВ.ВАС}}{\eta_{ЭКВ.ВАС} - K_D \cdot (\eta_{ЭКВ.ВАС} - \eta_{ЭКВ})} \cdot P_{СТ.НОМ} =$$

$$= \frac{1 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{0,4}}}{1 \cdot 1} \cdot \frac{0,94}{0,94 - 1,25 \cdot (0,94 - 0,92)} \cdot 70959 = 45897,218 \text{ Вт} = 45,9 \text{ кВт}. \quad (2.8)$$

Здесь коэффициенты $K_D = 1$, $K_{ЭКВ} = 0,8$, $\epsilon_F = 0,4$ приняты согласно таблице 6.4 из [1]; $K_F = 1$; $K_D = 1,25$ согласно таблице 6.5 из [1], $K_0 = 1$ по рисунку 2.2 взятому из [1].



1 – неветильовані асинхронні; 2 – постійного струму; 3 і 4 – вентильовані відповідно тихохідні і швидкохідні з фазним ротором; 5 - вентильовані швидкохідні короткозамкнені.

Поскольку $P_{\text{ном.т}} < P_{\text{н}}$, то двигатель Д812 окончательно принимаем в качестве приводного для механизма подъема крана ККД-15.

3 ВИБІР, РОЗРАХУНОК ТА ОБГРУНТУВАННЯ СИЛОВОЙ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ І СПОСІБ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

– В даний час найбільш поширеними і масово випускаються промисловістю є системи керування електроприводом, побудовані за принципом підлеглого управління. У порівнянні з попередніми їм системами вони мають більшу швидкодію, виконані на базі уніфікованих елементів, що полегшує проектування і складання. Важливими перевагами такого способу управління так само є простота синтезу регуляторів, мала потужність управління, висока експлуатаційна надійність і простота обслуговування. Хоча в наші дні існують системи управління, що забезпечують найкращі показники, системи підлеглого управління все ще актуальні.

– Принципи підлеглого управління дозволяють з'єднати систему управління з об'єктом незалежно від того, чи використовується в ньому система ТП-Д, Г-Д або інший керований перетворювач. Велика інерційність електромашинних пристроїв компенсується, можливо, обмеження динамічних струмів на заданому рівні.

– Сучасні уніфіковані системи автоматичного керування електроприводом будують за принципом підлеглого регулювання параметрів.

– Аналіз структурних схем об'єкта управління - силовий частини електропривода - показує, що вони мають вигляд ланцюжка послідовно з'єднаних ланок, на виході кожного з яких формується той чи інший параметр.

– Перевагою системи підлеглого управління в можливості обмеження величини підлеглого параметра шляхом обмеження вихідного сигналу регулятора зовнішнього контуру.

– Метою даного курсового проекту є розрахунок і дослідження позиційної системи електроприводу постійного струму підлеглого управління.

– Для харчування якірних ланцюгів електродвигунів і обмоток збудження електричних машин постійного струму застосовуються, головним чином, що обертаються електромашинні генератори (Г), широтно-імпульсні перетворювачі (ШИП) на тиристорах і транзисторах і тиристорні перетворювачі (ТП) змінного

струму в постійній. Відповідно до цього силова частина електроприводу може бути зібрана за різними схемами: Г-Д, ШИП-Д або ТП-Д.

– Система Г-Д володіє хорошими регульовальними властивостями, порівняно невисокою питомою вартістю і великим терміном служби. Основною перевагою цієї системи є високий коефіцієнт потужності, крім того, при роботі системи Г-Д не спотворюється форма напруги живильної мережі змінного струму.

– До недоліків цієї системи слід віднести: складність, низький ККД через потрібного перетворення енергії (електричної в механічну і навпаки), великий рівень шуму в процесі роботи, необхідність регулярного і ретельного обслуговування.

– В даний час система Г-Д має обмежене застосування в зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах і транзисторах. У металургійній промисловості використовується в якості електроприводу великої потужності на деякі прокатних станах (наприклад, обтискних).

– Переваги системи ШИП-Д визначаються перевагами ШИП як джерела живлення, а саме:

– високі динамічні властивості (швидкодія, точність, якість регулювання і т.д.) через відсутність у ШИП додаткових індуктивностей в ланцюзі навантаження, високої частоти комутації і менш істотних нелінійностей перетворювача;

– широкий діапазон регулювання вихідної напруги (до 1: 105);

– високий ККД, оскільки втрати потужності на регулюючому елементі ШИП незначні в порівнянні з втратами потужності в разі безперервного регулювання;

– високий коефіцієнт потужності системи;

– високу використання двигунів по струму через велику частоти комутації і малих пульсацій струму якоря;

– низький вихідний опір перетворювача і тому більш жорсткі швидкісні і механічні характеристики двигуна;

– мала чутливість до змін температури навколишнього середовища, оскільки регулюючим чинником є час провідності ключа, а не величина

внутрішнього опору регулюючого елемента, що має місце при безперервному регулюванні;

- малі габарити і маса;
- постійна готовність до роботи.
- Разом з тим ШИП притаманні і недоліки:
 - імпульсний режим роботи регулюючого елемента призводить до необхідності встановлювати вихідні фільтри, що викликає інерційність процесу регулювання в замкнутих системах;

– високі швидкості включення і виключення струму в силовому ланцюзі ШИП призводять до виникнення радіоперешкод.

– В даний час практичне застосування ШИП на напівпровідникових елементах обмежена електроприводами малої і середньої потужності.

– В електроприводах середньої і великої потужності широкого поширення набула система ТП-Д. В порівнянні з системою Г-Д ця система електроприводу має низку переваг:

- відсутність обертових частин, безшумність в роботі;
- вищі швидкодію і ККД (ККД системи ТП-Д становить 0,96 ... 0,98, системи Г-Д - 0,76 ... 0,84);
- більш висока точність регулювання завдяки відсутності інерції, що часто забезпечує механізму велику продуктивність і високу якість продукції;
- менша чутливість до впливу газів і забрудненого середовища;
- відсутність складних вентиляційних пристроїв.

Разом з тим у порівнянні з системою Г-Д система ТП-Д має такі недоліки:

- погіршення коефіцієнта потужності пропорційно і зменшення при цьому здатності навантаження ТП, що особливо відчутно в приводах великої потужності;

- при глибокому регулюванні крім зменшення коефіцієнта потужності збільшується амплітуда пульсацій в кривих випрямленої напруги і струму, що може несприятливо позначитися на комутації струму приводного двигуна, викликати розриви струму і коливання швидкості обертання двигуна;

- спотворення форми кривої напруги живильної мережі в результаті

комутаційних процесів в ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, які живляться від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко мережеве напруга використовується в якості опорного.

Особливо відзначимо, що перераховані недоліки системи ТП-Д стають вагомими тільки при великій потужності приводу, однак при цьому і її переваги виступають особливо яскраво.

Тиристорів (система ТП-Д) мають високі техніко-економічні показники і експлуатаційні гідності, відповідають сучасним вимогам технологічних процесів і по праву стають головним засобом керованого перетворення електричної енергії в механічну.

В даному курсовому проекті силова частина електроприводу зібрана за схемою ТП-Д.

Для підтримки системою заданих параметрів на необхідному рівні вони, як правило, будуються замкнутими, а підвищення якісних показників їх роботи досягається введенням спеціальних коригувальних ланок (системи з послідовною, паралельної і змішаної корекцією) або організацією модального управління. Системи з паралельної, послідовної і змішаної корекцією зазвичай представляють собою багатоконтурні системи регулювання. Кожна з цих систем має свої переваги і недоліки.

При застосуванні паралельної корекції підвищується стабільність характеристик системи за рахунок ланок, охоплених зворотним зв'язком. Вплив перешкод на коригуючий пристрій, включене в ланцюг зворотного зв'язку, значно менше, ніж при включенні його в прямий канал системи, оскільки сигнал знімається з виходу системи, що представляє собою фільтр низьких частот.

Основними недоліками паралельної корекції є відносна складність розрахунку системи і велика трудомісткість налаштування. Контур, утворений місцевої зворотним зв'язком, може сам по себе виявитися нестійким, виникають також труднощі з підсумовуванням сигналів. Крім того, цю систему слід завжди розглядати як єдине ціле, так як в більшості випадків зміна одного з параметрів вимагає перерахунку і перебудови всієї системи.

Системи з послідовною корекцією вигідно відрізняються від систем з

паралельною корекцією, особливо при складних структурах об'єкта регулювання, великому числі регульованих параметрів і високих вимогах до якості регулювання. Прості і зручні для практики методи розрахунку і настроювання контурів систем з послідовною корекцією дозволяють навіть при значних погрішності у визначенні динамічних параметрів об'єкта регулювання отримати цілком працездатну систему керування електроприводом. Такі системи вводять в експлуатацію методом послідовної налаштування окремих контурів системи управління (на відміну від систем з паралельною корекцією). Великою перевагою систем з послідовною корекцією є зручність обмеження будь-якого з регульованих параметрів на заданому рівні.

Створення практично безінерційних тиристорних і транзисторних перетворювачів з малою потужністю управління і операційних підсилювачів постійного струму, що застосовуються в якості активних коригувальних ланок, забезпечило широке впровадження систем з послідовною корекцією для управління практично всіма видами металургійного електроприводу постійного струму.

САУ з послідовною корекцією розбивається на ряд контурів, число яких дорівнює числу регульованих параметрів системи. Параметрами регулювання можуть бути: напруга перетворювача, сила струму в головній ланцюга, швидкість електродвигуна, кутовий або лінійне положення робочого механізму, натяг металу, що прокочується і ін.

В системі регулювання з послідовною корекцією головним параметром регулювання є той, який визначає основну мету автоматичного регулювання. Інші параметри - допоміжні, вони підпорядковані головному параметру. Крім того, допоміжні параметри також знаходяться в підпорядкуванні один з іншим. Наприклад, параметр напруги перетворювача підпорядкований параметру струму в головній ланцюга, а останній підпорядкований параметру швидкості електродвигуна і т.п. Тому системи з послідовною корекцією називають також системами підлеглого управління (регулювання).

В даному курсовому проекті вибираємо систему регулювання з послідовною корекцією (підпорядковане управління).

Як відомо 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 [2]:

- випрямлена ЕРС при одному і тому ж вторинному напрузі трансформатора в два рази більше;
- пульсації випрямленої ЕРС в два рази більше за частотою і менше по амплітуді;
- вентильні групи можуть підключатися до мережі без трансформатора;
- 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 двохобмотувальні трансформатор меншої потужності. Перевага перехресної схеми в тому, що в даній схемі аварійні процеси при одночасному включенні тиристорних груп протікають легше, тому цю схему 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 тиристори обох одночасно. При цьому одна група працює в випрямному режимі з кутом регулювання, розвиває середнє значення випрямленої напруги і забезпечує протікання струму через навантаження. В цей же час друга група перекладається в інверторний режим з кутом регулювання і середнє значення випрямленої напруги. При такому управлінні в РТП утворюється замкнений 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: $\alpha_1 = \alpha_2$. Це рівність виконується за умови: $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$. При цьому способі управління в зрівняльній 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: $\alpha_1 \neq \alpha_2$. При цьому в зрівняльній контурі завжди є постійна складова напруги, спрямована проти провідності тиристорів, оскільки інверторная 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 перебіг невеликого зрівняльного струму сприятливо позначається на статичних характеристиках ТП. Таким чином, переваги спільного управління:

- відсутність необхідності в переходах силового ланцюга;
- високу швидкодію при переході з одного режиму в інший і постійна готовність до цього переходу;
- однозначність в статичних характеристиках ТП.

Роздільне управління РТП полягає в тому, що керуючі імпульси з виходу СІФУ подаються тільки на ту групу тиристорів, яка повинна працювати. Недоліки цього методу управління:

- наявність в кривій навантаження при перемиканні груп бестокової паузи, що погіршує динамічні характеристики ТП;

- нелінійність і розривність зовнішніх і регулювальних характеристик внаслідок виникнення переривчастого струму навантаження при роботі ТП в режимі близькому до режиму холостого ходу;

- необхідність контролю за наявністю керуючих імпульсів при роботі інверторної групи в області безперервного струму;

- необхідність узгодження напруги вентильних груп в момент перемикання.

У той же час застосування роздільного методу управління дозволяє зменшити обсяг РТП і приблизно в 2-4 рази його масу за рахунок дорогих і громіздких зрівняльних реакторів. Також кілька погіршує застосування силового трансформатора через відсутність його завантаження зрівняльним струмом [2].

У розробляється перетворювачі застосовується спільне управління вентильними групами.

Для управління ТП в даний час застосовують головним чином безінерційні системи імпульсно-фазового управління (СІФУ) з лінійно мінливих (пилкоподібним) або синусоїдальним опорною напругою, причому форма опорного напруги істотно впливає на вигляд статичної регулювальної характеристики ТП і його перешкодозахищеність [2, 3].

Для отримання пилообразного опорного напруги необхідний спеціальний генератор, робота якого синхронізована з мережею живлення. Таке опорна напруга дозволяє отримати широкий діапазон регулювання вихідних керуючих імпульсів СІФУ, а процеси комутації в ТП не спотворюють його форму. Однак статична регулювальна характеристика ТП, керованого СІФУ з пилкоподібним опорною напругою, є нелінійної і являє собою частину синусоїди.

Синусоїдальна опорна напруга зазвичай отримують безпосередньо з мережі живлення змінного струму шляхом трансформації, тому його форма може бути в значній мірі перекошена за рахунок явища комутації та вимагає фільтрації. Діапазон регулювання вихідних імпульсів СІФУ з синусоїдальним опорною напругою становить (без спеціальних схемних рішень) менше град.ел. (Для реверсивних ТП - 140 град.ел.), що не завжди прийнятно на практиці. Перевагою ТП з такою формою опорного напруги СІФУ є те, що характеристика вхід-вихід перетворювача є строго лінійної. Такий вид регулювальної характеристики ТП

дуже бажаний, якщо перетворювач працює в тій чи іншій системі автоматичного регулювання, так як можна не піклуватися про стійкість такої системи у всьому діапазоні, якщо проведена її стабілізація в одній точці [2]. Тому в розробляється ТП застосуємо синусоїдальное опорна напруга.

3.1 Вибір комплектного електроприводу

Виходячи з вимог, що пред'являються до механізму підйому крана, 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 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 тиристори 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 замкнений 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.

У електроприводі застосуємо перетворювач з роздільним управлінням вентильними 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 електроприводів пересування козлового крана приведена на рисунку 3.1.

З огляду на, що обраний двигун мають номінальну напругу, живлення тиристорних перетворювача здійснюємо до мережі 380В через струмообмежуючі реактори.

Комплектний тиристорний електропривод постійного струму КТЕ є статичний перетворювач змінного струму в випрямлений струм двигуна постійного струму. КТЕ призначений для оснащення електроприводів металургійної промисловості, транспорту, хімічної, цементної виробництва, виробництва паперу машин та іншого технологічного обладнання.

В складі КТЕ основі виробу шестіпульсний (дванадцятіпульсний) тиристорний перетворювач з системою управління, що здійснює регулювання вихідної напруги в широкому діапазоні.

Крім того, виріб має комплект захисної і комутаційної апаратури, систему допоміжних пристроїв (пристрій харчування обмотки збудження, пристрій управління електромагнітним гальмом, пристрій живлення обмотки збудження тахогенератора), систему автоматичного регулювання (струму, напруги, ЕРС, частоти обертання, натягу, положення) систему захисту та сигналізації перетворювача і електроприводу.

конструктивне виконання

Комплектний пристрій, повністю готове до підключення, що складається з одного або декількох шаф, в яких скомпоновано необхідне обладнання. Шафи, що входять до складу електроприводу, є металеву конструкцію каркасного типу.

Обслуговування до 1000 А - одностороннє, від 1000 А - двостороннє. Ступінь захисту IP21. Габаритні розміри шаф відповідають ГОСТ 10985.

З огляду на параметри обраного двигуна, вибираємо КТЕ 100. 440. М-1 2 Р-4 УХЛ4, тобто перетворювач на ток 100А і випрямлена напруга 440 В модернізований, однодвигуновий, реверсивний з живленням від мережі 380 В через струмообмежувальним реактор. Система регулювання ЕРС або швидкості.

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

ЛПУ - логічне перемикаючий пристрій;

К - осередок 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 - осередок 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;

$i_{\text{макс}}$ - сигнал, який відповідає максимальному значенню струму двигуна;

П-режим - пропорційний режим;

ПИ-режим - пропорційно-інтегральний режим;

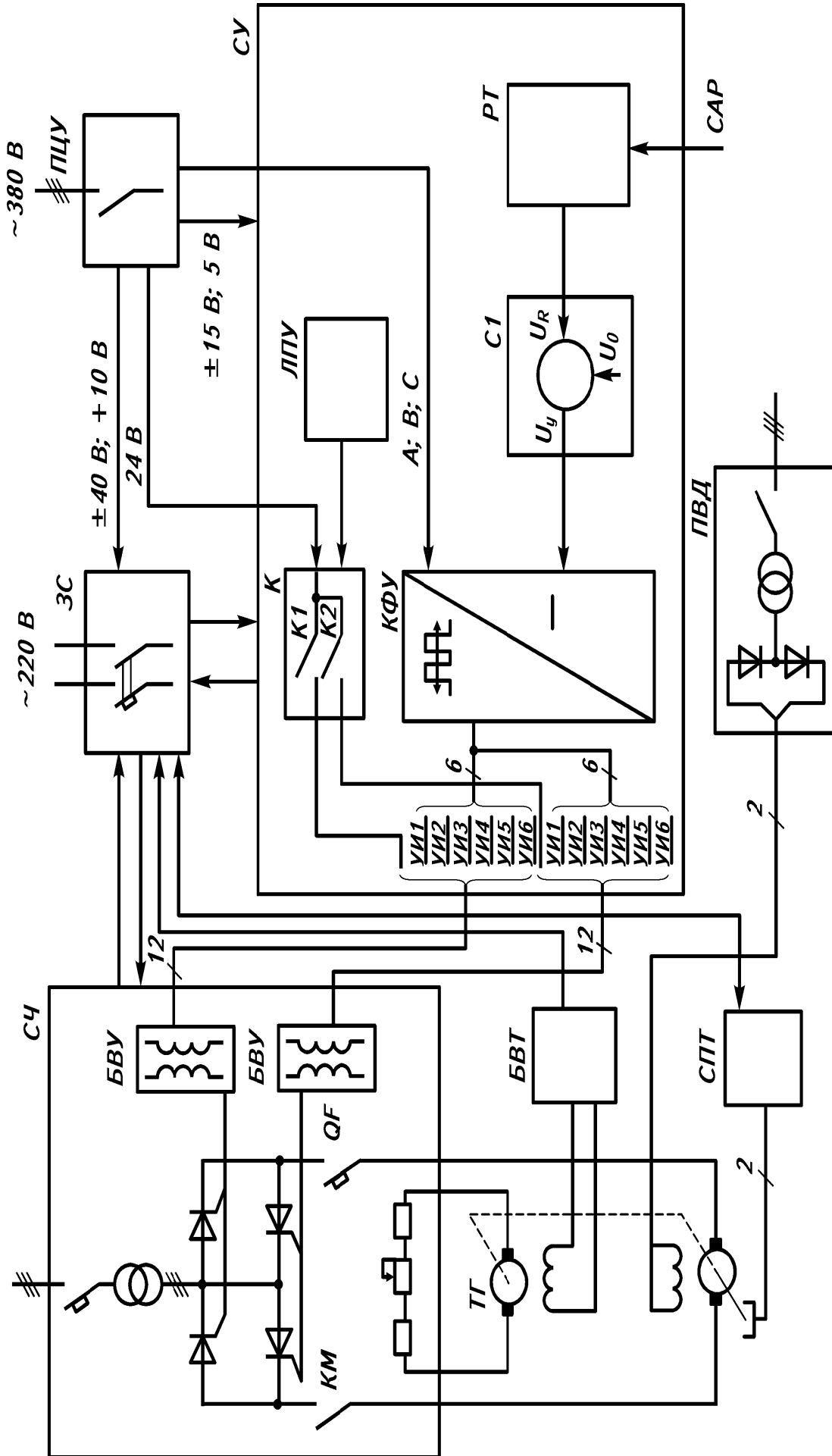


Рисунок 3.1 - Функціональна схема комплектного тиристорного електроприводу (КТЕ)

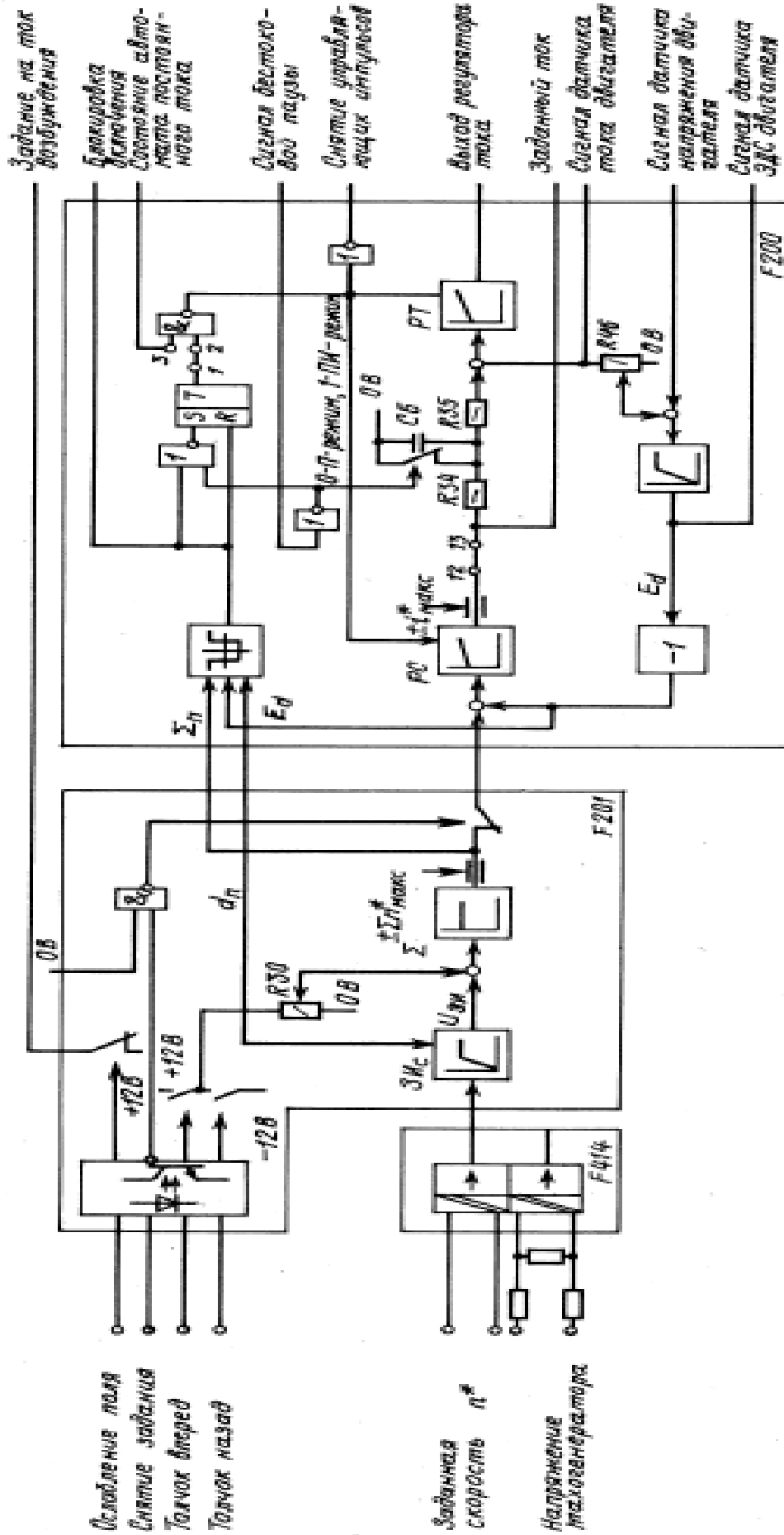


Рисунок 3.2 - Функциональна схема системи автоматичного регулювання швидкості реверсивного КТЕ

3.2. Визначення ЕДС умовного холостого ходу ТП

$$E_{d0} = U_{dH} + \Delta U_{CP} + \Delta U_{VP} + \Delta U_{TP} + \Delta U_K + \Delta U_{B.CP} + \Delta U_{MO(CO)} + \Delta U_C \quad (3.2.1)$$

де $U_{dH} = U_H$ - середнє значення випрямленої напруги;

ΔU_{CP} , ΔU_{VP} , ΔU_{TP} - падіння напруги на активному опорі відповідно реактора, що згладжує і трансформатора;

ΔU_K - комутаційне падіння напруги;

$\Delta U_{B.CP}$ - середнє значення падіння напруги на тиристорі;

ΔU_C - можливі коливання напруги від нестабільності мережі живлення;

$\Delta U_{MO(CO)}$ - запас по напрузі ТП, необхідний для виконання умови реалізації оптимальної настройки контуру струму на МО або СО;

Вхідні у формулу для E_{d0} складові розраховуються так

$$\Delta U_{CP} \approx \Delta U_{VP} \approx (0,005 \dots 0,01) U_{dH} = 0,01 \cdot 440 = 4,4 \text{ В}, \quad (3.2.2)$$

$$\Delta U_{TP} \approx (0,02 \dots 0,03) U_{dH} \cdot 2 = 0,02 \cdot 440 \cdot 2 = 17,6 \text{ В}, \quad (3.2.3)$$

(т.к. струм протікає по двом фазам)

$$\Delta U_K \approx 0,5 \frac{U_K \%}{100} U_{dH} = 0,5 \cdot \frac{6}{100} \cdot 440 = 13,2 \text{ В}, \quad (3.2.4)$$

Зазвичай беруть $U_K \% = 5 \dots 7\%$

$$\Delta U_{B.CP} = 2 \frac{U_0 + r_D I_H}{3} = 2 \frac{1,768 + 0,011 \cdot 92}{3} = 1,829 \text{ В}, \quad (3.2.5)$$

де U_0 – напруга випрямлення ВАХ тиристора;

r_D – динамічний опір тиристора;

$$U_0 \approx (1,35 \dots 1,55) U_{KL} = 1,36 \cdot 1,3 = 1,768 \text{ В}, \quad (3.2.6)$$

де U_{KL} – класифікаційне падіння напруги на тиристорі при номінальному струмі (береться з паспорта на тиристор)

$$U_{KL} \approx (1 \dots 1,8) \text{ В};$$

$$r_D = (0,2 \dots 0,3) \frac{U_{KL}}{I_{В.ДОП}} = 0,25 \cdot \frac{1,3}{30,667} = 0,011, \quad (3.2.7)$$

де $I_{В.ДОП}$ – паспортна величина допустимого струму вентиля.

Якщо в розрахунках вийшло, що $\Delta U_{B.CP} < 1 \text{ В}$, то його величину в подальших

розрахунках можна не враховувати.

$$\Delta U_{MO(CO)} = (0,15 \dots 0,20) U_{dH} = 0,15 \cdot 440 = 66 \text{ В} \quad (3.2.8)$$

$$\Delta U_C = 0,1 U_{dH} = 0,1 \cdot 440 = 44 \text{ В} \quad (3.2.9)$$

$$E_{d0} = U_{dH} + \Delta U_{CP} + \Delta U_{YP} + \Delta U_{TP} + \Delta U_K + \Delta U_{B.CP} + \Delta U_{MO(CO)} + \Delta U_C = \\ 440 + 4,4 + 4,4 + 17,6 + 13,2 + 1,829 + 66 + 44 = 591,429 \text{ В} \quad (3.2.10)$$

3.3. Розрахунок електричних параметрів силового трансформатора (схема з'єднання обмоток Y/Y)

Лінійна напруга на вторинній обмотці силового трансформатора (СТ):

$$U_{2Л} = \frac{E_{d0}}{1,35} = \frac{591,429}{1,35} = 438,095 \text{ В} \quad (3.3.1)$$

Фазна напруга на вторинній обмотці СТ

$$U_{2\phi} = \frac{E_{d0}}{2,34} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3}} = \frac{438,095}{\sqrt{3}} = 252,934 \text{ В} \quad (3.3.2)$$

Чинне значення струму вторинної обмотки СТ

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_H = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 92 = 75,118 \text{ А} \quad (3.3.3)$$

Чинне значення струму первинної обмотки

$$I_1 = \frac{I_2}{K_{TP}} = \frac{75,118}{13,696} = 5,485 \text{ А} \quad (3.3.4)$$

$$K_{TP} = \frac{U_C}{U_{2Л}} = \frac{6000}{438,095} = 13,696 \quad (3.3.5)$$

U_C – лінійна напруга мережі.

Виходячи з каталожних даних по каталогу вибираємо або СТ з двома вторинними обмотками, або два окремих СТ, кожен з яких має одну вторинну обмотку. При цьому вибирається СТ з рівною, або найближчої більшою потужністю:

- для СТ з однієї вторинної обмоткою (двохобмотувальні трансформатор) вибираємо два однакових СТ, кожен з яких має потужність

$$P_{TP} \geq 1,045 P_{dH} = 1,045 \cdot 40482 = 42301,6 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (3.3.6)$$

– для СТ з двома вторинними обмотками (триобмотковий трансформатор)

вибираємо трансформатор з потужністю

$$P_{TP} \geq \frac{3}{2} \cdot 1,045 P_{дН} = \frac{3}{2} \cdot 1,045 \cdot 40480 = 63452,4 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (3.3.7)$$

Вибираємо трансформатор типу ТМП-2500\10У2

Таблиця 3.3.1 – Технічні данні трансформатора:

Наименование параметра	Обозначение и численное значение
Мощность, кВ · А	$P_{TP} = 2300 \cdot 10^3$
Номинальное первичное напряжение, кВ	$U_{1TP} = 10$
Номинальное вторичное напряжение, В	$U_{2л.тp} = 460$
Мощность потерь холостого хода, Вт	$\Delta P_{xx} = 4500$
Мощность потерь короткого замыкания, Вт	$\Delta P_{кз} = 21600$
Напряжение короткого замыкания, %	$U_{к\%} = 7,3$
Ток холостого хода, %	$I_{xx\%} = 1,4$

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

$$\begin{cases} U_{2л.тp} \geq U_{2л} = 460 \geq 438,095 \text{ В} \\ I_{2.тp} \geq I_2 = 2886,751 \geq 75,118 \text{ А} \end{cases}$$

Якщо допустиме значення чинного струму вторинної обмотки в каталозі не вказано, то його можна розрахувати за формулою:

$$I_{2.тp} = \frac{P_{н.тp}}{\sqrt{3} U_{2л.тp}} = \frac{2300 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 460} = 2886,751 \text{ А} \quad (3.3.8)$$

З каталогу виписуємо такі дані СТ:

$P_{н.тp}$ – номінальна потужність;

$U_{1.тp}$ – напруга мережі живлення;

$U_{к\%}$ – напруга короткого замикання;

$\Delta P_{кз}$ – потужність втрат короткого замикання;

ΔP_{XX} – потужність втрат холостого ходу;

$I_{XX\%}$ – струм холостого ходу;

$U_{2Л.ТР}$ – вторинне лінійна напруга;

$I_{2.ТР}$ – діюче значення струму вторинної обмотки.

Після вибору СТ обов'язково необхідно перерахувати значення максимальної випрямленою ЕДС

$$E_{d0} = 1,35U_{2Л.ТР} = 1,35 \cdot 460 = 621 \text{ В} \quad (3.3.9)$$

3.4. Вибір силових тиристорів

Визначаємо середнє значення струму через тиристор при номінальному навантаженні:

$$I_{В.СР} = \frac{I_H}{3} = \frac{92}{3} = 30,66 \text{ А} \quad (3.4.1)$$

По величині $I_{В.СР}$ з каталогу вибираємо тиристор. У паспорті на тиристор вказується, який струм він пропускає при примусовому повітряному охолодженні з максимальною швидкістю повітряного потоку 10 або 15 м / с і вказується класифікаційне падіння напруги на тиристорі при цьому струмі УКЛ.

Якщо струм через тиристор при природному повітряному охолодженні не вказано, то необхідно керуватися тим, що при застосуванні типових семіреберних охолоджувачів з алюмінієвих сплавів тиристори можна навантажувати струмом не більше 35% від паспортної величини.

Максимальна зворотна напруга на тиристорі

$$U_{ОБР.МАКС} = K_{ЗАП} \cdot 1,045 \cdot E_{d0} = 1,6 \cdot 1,045 \cdot 621 = 1038,312 \text{ В} \quad (3.4.2)$$

где $K_{ЗАП} = 1,25 \dots 2$ – коефіцієнт запасу в залежності від необхідного ступеня надійності електроприводу.

За величиною $U_{ОБР.МАКС}$ визначається клас тиристора. (10-й клас відповідає макс. зворотному напрузі 1000 В, 11-й клас - 1100 В і т.д. Якщо розрахункове значення $U_{ОБР.МАКС}$ становить 1010В, то потрібні тиристори 11-го класу)

В даній схемі застосовуємо тиристори при природному повітряному охолодженні з установкою останніх на типові семіреберние охолоджувачі. За розрахованим середнім значенням струму через тиристор вибираємо силова

тиристор типу Т15-40

Таблица 3.4.1 – Данні для вибора силових тиристорів

Наименование параметра	Обозначение и численное значение
Максимально допустимый средний ток, А	$I_{в.доп} = 40$
Импульсное напряжение в открытом состоянии, В	$U_{ос} = 1,9$
Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В	$U_{повт} = 400.....1600$
Защитный показатель, $кА^2с$	$I^2t = 5$
Динамическое сопротивление в открытом состоянии, мОм	$r_{дин} = 5,25$
Ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии, А	$I_{ос.удар} = 1000$

Тиристор выбираем исходя из условий

$$\begin{cases} I_{в.доп} \geq I_{в.ср} = 40 \geq 30,667 A \\ U_{повт} \geq U_{обр.макс} = 1600 \geq 1038,312 B \end{cases}$$

где $U_{повт}$ – каталожная величина повторяющегося напряжения.

Из каталога выписываем следующие данные тиристора:

$I_{в.доп}$ – максимальный средний ток;

$U_{кл}$ – напряжение в открытом состоянии;

$U_{повт}$ – повторяющееся напряжение;

$(I^2t)_{тир.доп}$ – защитный показатель;

$r_{д}$ – динамическое сопротивление;

$I_{уд}$ – ударный ток.

3.5. Розрахунок індуктивності реактора, що згладжує.

Якщо для реверсивного тиристорного перетворювача обраний один СТ з двома вторинними обмотками, то

$$L_{CP} = \frac{e_n E_{d0}}{i_e \omega_1 I_H} - (L_{TP} + L_{ДВ} + L_{УР}) = \frac{0,235 \cdot 621}{0,03 \cdot 1884,956 \cdot 92} - (21,2 \cdot 10^{-6} + 0,00148 + 0) = 0,018 \text{ Гн} \quad (3.5.1)$$

где $\omega_1 = 2\pi fm$ - круговая частота 1-ой гармоники выпрямленного напряжения;

$$f = 50 \text{ Гц}; \quad m = 6.$$

Для більшості систем сучасних вентильних електроприводів зрівняльні реактори (УР) вибираються таким чином, що при $I_d \geq 1,5I_{УР}$ (где $I_{УР}$ составляет около $0,1I_H$) они насыщаются. Поэтому $L_{УР}$ в вышеприведенных формулах можно не учитывать:

$$L_{УР} = 0.$$

Индуктивность СТ на основании его каталожных данных

$$L_{TP} = \frac{X_a}{\omega} = \frac{0,007}{314} = 21,2 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \quad (3.5.2)$$

где $\omega = 2\pi f = 314 \text{ с}^{-1}$;

$$X_a = \sqrt{Z^2 - r_{TP}^2} = \sqrt{0,007^2 - 0,001^2} = 0,007 \text{ Ом}; \quad (3.5.3)$$

$$Z = \frac{U_{K\%} U_{2Л.ТР}}{100 \sqrt{3} I_{2.ТР}} = \frac{7,3 \cdot 460}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 2886,751} = 0,007 \text{ Ом}; \quad (3.5.4)$$

$$r_{TP} = \frac{\Delta P_{КЗ} U_{2Л.ТР}^2}{P_{H.ТР}^2} = \frac{21600 \cdot 460^2}{(2300 \cdot 10^3)^2} = 0,001 \text{ Ом} \quad (3.5.5)$$

Индуктивность якоря двигателя можно визначити за емпіричною формулою

$$L_{ДВ} = k \frac{U_H}{2pn_H I_H} = 5 \frac{440}{4 \cdot 570 \cdot 92} = 0,00148 \text{ Гн}, \quad (3.5.6)$$

где $k = 6 \dots 8$ - для быстроходных некомпенсированных машин;

$k = 8 \dots 12$ - для нормальных некомпенсированных машин;

$k = 5 \dots 6$ - для компенсированных машин.

Відносна величина ефективного значення першої гармоніки випрямленої

напруги e_n визначається за величиною максимального кута регулювання $\alpha_{\text{МАКС}}$, що відповідає мінімальній робочій швидкості електродвигуна:

$$\alpha_{\text{МАКС}} = \arccos \left[\frac{c_e' n_{\text{min}} + I_H r_{\Sigma}}{E_{d0}} \right] = \arccos \left[\frac{0.77 \cdot 19 + 92 \cdot 0.012}{621} \right] = 59.733, \quad (3.5.7)$$

$$c_e' = \frac{U_H - I_H r_{\text{Я.ДВ}}}{n_H} = \frac{440 - 92 \cdot 0.012}{570} = 0.77 \text{ - конструктивная постоянная;}$$

$$n_{\text{min}} = n_{\text{max}} / D = 570 / 30 = 19 \text{ об/мин,}$$

где D – заданный диапазон регулирования скорости;

$$r_{\text{Я.ДВ}} = 1,24 \cdot r_{\text{ЯД}} = 1,24 \cdot 0,01 = 0,0124 \text{ Ом - для машин серии П;}$$

Сумарний опір якiрного ланцюга системи ТП-Д

$$\begin{aligned} r_{\Sigma} &= r_K + 2 \cdot r_{\text{ТР}} + 2 \cdot r_{\text{Д}} + 2 \cdot r_{\text{СР}} = \\ &0,006 + 2 \cdot 0,001 + 2 \cdot 5,25 + 2 \cdot 0,047 = 10,604 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (3.5.8)$$

$$\text{где } r_K = \frac{m X_a}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0,007}{2 \cdot 3,14} = 0,006 \text{ Ом} \quad (3.5.9)$$

$$(m = 6)$$

$$r_{\text{СР}} \approx r_{\text{УР}} \approx (0,005 \dots 0,01) \frac{P_{\text{дн}}}{I_H^2} = 0.01 \frac{40480}{92^2} = 0.047 \text{ Ом} \quad (3.5.10)$$

Зная $\alpha_{\text{МАКС}}$, величину e_n визначаємо по кривій на рис.2.1 методичних вказівок до виконання домашніх завдань.

Відносна величина ефективного значення 1-ої гармоніки випрямленої струму i_e в залежності від потужності електроприводу знаходиться в межах $i_e = (0,02 \dots 0,05)$

Нижний предел i_e береться для електроприводу середньої і великої потужності, а верхній – для електроприводу малої потужності.

За каталогом вибираємо згладжує реактор з індуктивністю не менше $L_{\text{СР}}$ на струмі не менш I_H и выписываем его данные:

$I_{\text{СР}}$ – номинальный ток сглаживающего реактора;

$L_{\text{СР}}$ – индуктивность реактора;

$R_{\text{СР}}$ – активное сопротивление реактора.

Таблиця 3.5.1 – Вибір сглаживаючого реактора типа ФРОС-1000/0,5УЗ

Наименование параметра	Обозначение и численное значение
Мощность, кВ · А	$P_{cp} = 1000$
Номинальный постоянный ток, А	$I_{н.ср} = 800$
Номинальная индуктивность, мГн	$L_{н.ср} = 2.3$
Активное сопротивление, мОм	$r_{а.ср} = 4.7$

3.6. Розрахунок індуктивності зрівняльного реактора

$$L_{VP} = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}U10^{-6}}{\omega I_{VP}} K_{ЭФ} - 4L_{TP} = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3} \cdot 252,934 \cdot 0,19}{314,159 \cdot 9,2} - 4 \cdot 21,2 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (3.6.1)$$

где $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,159$;

$$I_{VP} = 0,1I_H = 0,1 \cdot 92 = 9,2 \text{ А} \quad (3.6.2)$$

$K_{ЭФ}$ – коефіцієнт, що залежить від діапазону регулювання вихідної напруги ТП. Якщо за умовами завдання кут α змінюється від 0 до 90° , то $K_{ЭФ}$ можна прийняти $0,19$. Якщо ж $\alpha = 0 \dots \alpha_{\text{МАКС}} < 90^\circ$, то $K_{ЭФ}$ слід визначити по величині $\alpha_{\text{МАКС}}$ на рис.2.2. методичних вказівок до виконання домашніх завдань.

У реверсивному ТП використовується, як правило, два зрівняльних реактора, один з яких насичується при протіканні струму навантаження, а другий обмежує зрівняльний струм. В цьому випадку беруть два однакових зрівняльних реактора, індуктивність кожного з яких в ненасиченому стані більше або дорівнює розрахунковій. Номінальний струм обраного реактора $I_{ур.н} \geq I_H$, зрівняльний струм повинен бути приблизно дорівнює розрахунковим значенням $I_{ур}$.

Приймаємо два однакових реактора паралельно з'єднаних з наступними даними:

Таблица 3.6.1- Вибір зрівняльного реактора типу РОС-32/05

Наименование параметра	Обозначение и численное значение
Номинальный постоянный ток, А	$I_{н.ур} = 160$
Уравнительный ток, А	$I_{ур} = 15$
Индуктивность, мГн	$L_{н.ур} = 40$

3.7.Расчет параметров системы ТП-Д

Визначення коефіцієнта передачі ТП по напрузі

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

$$K_{II} = \frac{E_{d0}}{U_{y.МАКС}} = \frac{621}{10} = 62,1, \quad (3.7.1)$$

де $U_{y.МАКС}$ – максимальне керуюча напруга ТП, зазвичай приймають

$$U_{y.МАКС} = 10 \text{ В.}$$

При пилкоподібній опорному напрузі СІФУ характеристика вхід-вихід ТП нелінійна і являє собою добуток двох характеристик – регулювальної характеристики СІФУ і регулювальної характеристики блоку вентилів (БВ).

Побудуємо регулювальну характеристику СІФУ. При пилкоподібній опорному напрузі вона лінійна:

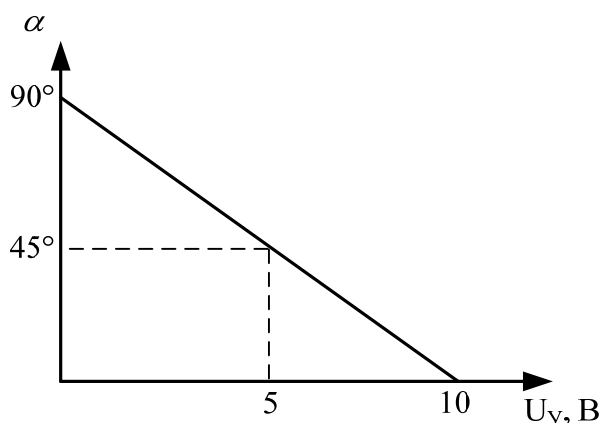


Рисунок 3.7.1 – Регулювальна характеристика СІФУ. При пилкоподібній опорному напрузі вона лінійна:

Коэффициент передачи СИФУ

$$K_{СИФУ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta U_y} = \frac{90}{10} = 9. \quad (3.7.2)$$

Строим регулировочную характеристику БВ на холостом ходу

$$E_d = E_{d0} 0,2576 = 621 \cdot 0,2576 = 160 \quad (3.7.3)$$

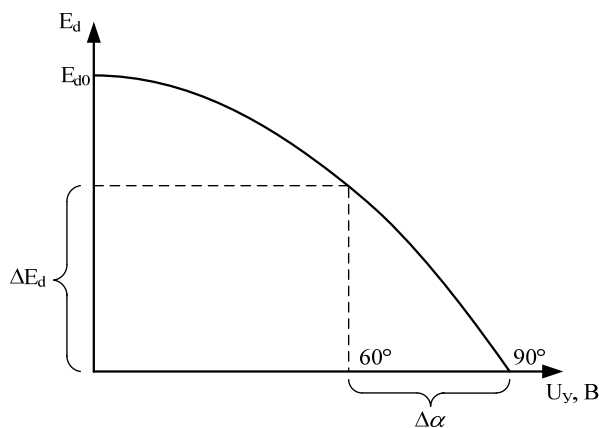


Рисунок 3.7.2 – Регулювальна характеристика БВ на холостом ходу

Определяем коэффициент передачи БВ

$$K_{БВ} = \frac{\Delta E_d}{\Delta\alpha} = \frac{160}{30} = 5,333, \quad (3.7.4)$$

где ΔE_d определяется по графику при значении $\Delta\alpha \approx 30^\circ$.

Тогда общий коэффициент передачи ТП

$$K_{П} = K_{СИФУ} \cdot K_{БВ} = 9 \cdot 5,333 = 48 \quad (3.7.5)$$

Постоянная времени ТП

Постоянная времени ТП

$$T_{П} = T_{\Phi} + T_{С.З.} = 0,008 + 0,002 = 0,01, \quad (3.7.6)$$

где T_{Φ} – постоянная времени фильтра, установленного на входе СИФУ при совместном согласованном управлении, $T_{\Phi} = 8$ мс;

$T_{С.З.}$ – среднестатистическое запаздывание, присущее ТП как звену запаздывания,

$$T_{С.З.} = \frac{1}{2mf_c} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,002 \text{ с.} \quad (3.7.7)$$

Итого получаем $T_{П} \approx 8 \dots 10$ мс.

Примітка. При роздільному управлінні додатковий фільтр на вході СИФУ не встановлюється, тому в даному випадку теоретично $T_{П} = T_{С.З.}$, однак через

наявність в ТП і взагалі в системі малих неврахованих інерційні, зазвичай приймають $T_P = 0,01$ мс.

Еквівалентний активний опір системи якорного ланцюга системи ТП-Д

$$R_{\Sigma} = r_{я.дв} + r_{ср} + 2r_d + 2r_{тр} + r_k + r_{уп} =$$

$$0,012 + 0,048 + 2 \cdot 5,25 + 2 \cdot 0,001 + 0,006 + 0,048 = 10,616 \text{ Ом} \quad (3.7.8)$$

Електромагнитная постоянная времени системы ТП-Д

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,013}{10,616} = 0,001 \text{ с}, \quad (3.7.9)$$

$$\text{Где } L_{\Sigma} = L_{дв} + 2L_{тр} + L_{ср} = 0,01 + 2 \cdot 0 + 0,002 = 0,013 \text{ Гн} \quad (3.7.10)$$

- эквивалентная индуктивность якорной цепи системы ТП-Д.

Электромеханическая постоянная времени системы ТП-Д

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} R_{\Sigma}}{(c\Phi)^2} = \frac{9,1 \cdot 10,616}{7,352^2} = 1,787, \quad (3.7.11)$$

где $J_{\Sigma} = J_{дв} + 0,3 \cdot J_{дв} = 7 + 0,3 \cdot 7 = 9,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – сумарний момент інерції, приведений до валу электродвигуна, складається з моменту інерції двигуна $J_{дв}$ и механизма $J_{мех}$. Если $J_{мех}$ не задан, то его можно принять $J_{мех} \approx (0,25 \dots 0,5) J_{дв}$.

$$c\Phi = \frac{U_H - I_H r_{я.дв}}{\omega_H} = \frac{440 - 92 \cdot 0,012}{59,69} = 7,352 \text{ В} \cdot \text{с} - \text{конструктивная постоянная}$$

двигателя,

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 570}{30} = 59,69 - \text{номинальная скорость вращения, рад/с.}$$

Структурная схема системы ТП-Д имеет вид:

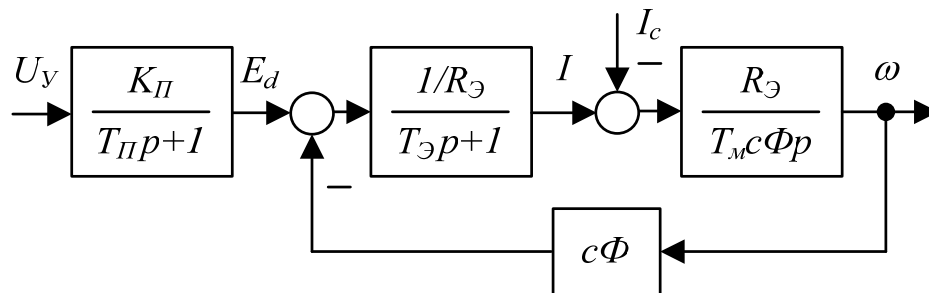


Рисунок 3.7.3 – Структурная схема системы ТП-Д

3.8 Розрахунок і вибір захисту перетворювача

При експлуатації ТП можуть виникати різні аварійні режими, при яких

через тиристори протікають струми, неприпустимі за величиною і тривалості протікання [7]. Вихід з ладу силових тиристорів ТП обумовлюється наступними причинами:

- короткі замикання; 00
- тривалі струмові перевантаження;
- прориви інверторів і електричні пробої вентилів.

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

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

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

$$I_{в.дейст} = \sqrt{3}I_{в.ср} = \sqrt{3} \cdot 241,7 = 418,6 \text{ А} \quad (3.8.1)$$

где $I_{в.ср} = 241,7 \text{ А}$ - середнє значення струму через тиристор при номінальному навантаженні.

Номінальна напруга запобіжника має бути не менше напруги того ланцюжка, де він встановлюється, інакше не буде забезпечене нормальне гасіння дуги, запобіжник зруйнується і полум'я дуги може перекинутися на токоведущую частина. Для даної схеми номінальну напругу запобіжника має бути не менше діючого значення лінійної напруги вторинної обмотки трансформатора

$$U_{2л.тр} = 570 \text{ В.}$$

Номінальний струм плавкої вставки повинен вибиратися так, щоб виконувалася

$$\text{нерівність: } (I^2t)_{пр} \leq (I^2t)_{тирист} \quad 3,2 \leq 5 \text{ кА}^2\text{с}$$

где (I^2t) - повний інтеграл відключення (теплової еквівалент) береться з паспорта на прилади.

За каталогом [6] вибираємо швидкодіючі запобіжники типу ПП, параметри яких наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Технічні дані швидкодіючих запобіжників типу ПП41 (FU1-FU12)

Наименование параметра	Обозначение и численное значение
Номинальное постоянное напряжение, В	$U_{н.пр} = 760$
Номинальный ток плавкой вставки, А	$I_{н.пл.вст} = 400$
Полный интеграл отключения, $кА^2с$	$(I^2t)_{пр} = 3,2$

– Запобіжники захищають від струмів короткого замикання, але не захищають тиристри від тривалих струмових перевантажень.

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

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

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

– Номінальна напруга автоматичного вимикача повинно бути не менше чинного напруги того ланцюжка, де він встановлюється: для QF1, QF2 - действующее линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора $U_{2л.тр} = 460 В$;

– для QF3, QF4 - значение максимальной выпрямленной ЭДС $E_{d0} = 621$ В.

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

– для QF1, QF2: $I_{н.расц} \geq k_{эп} I_{2.тр}$ $4000 \geq 3464,4$ А ;

– для QF3, QF4: $I_{н.расц} \geq k_{эп} I_n$ $3800 \geq 110,4$ А ;

где $k_{эп} = 1, 2 \dots 2$ - коэффициент эксплуатационной перегрузки;

$I_{2.тр} = 2887$ А - действующее значение тока вторичной обмотки СТ;

$I_n = 92$ А - номинальный ток электродвигателя.

Таблица 3.8.1 - Технические данные автоматических выключателей [6]

Схематическое обозначение	Тип выключателя	Род тока	Кол-во полюсов	Номинальное напряжение, В	Уставка тока расцепления, А
QF1, QF2	A3736Б	переменный	3	660	4000
QF3, QF4	A3725Б	постоянный	2	660	3800

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

$$C = \frac{10I_{в.доп}}{U_{обр.макс}} = \frac{10 \cdot 40}{1038,312} = 0,385 \text{ мкФ} \quad (3.8.2)$$

$$U_C = 1,045E_{d0} = 1,045 \cdot 621 = 648,945 \text{ В} \quad (3.8.3)$$

Выбираем конденсатор С типа МБГЧ – 750 В – 0,5 мкФ ± 10%.

Сопротивление и мощность потерь резистора R:

$$R = \frac{10U_{обр.макс}}{I_{в.доп}} = \frac{10 \cdot 1038,312}{40} = 259,578 \text{ Ом} \quad (3.8.3)$$

$$P_R = 0,021I_{в.доп}^2 R_1 = 0,02 \cdot 40^2 \cdot 259,578 = 8,722 \text{ Вт} \quad (3.8.4)$$

Выбираем резистор R типа ПЭВ – 10 Вт – 270,0 Ом \pm 5%.

Для захисту ТП від зовнішніх перенапруг застосовуємо захисну R_p - C_p – ланцюжок з використанням полярного конденсатора, включену на стороні змінного струму через додатковий малопотужний випрямляч. Розрахуємо величини параметрів елементів ланцюжка:

$$C_p = \frac{500 \cdot I_{01\%} \cdot I_{2.тр}}{f_c \cdot U_{2ф.тр}} = \frac{500 \cdot 4 \cdot 75,118}{50 \cdot 252,934} = 11,879 \text{ мкФ} \quad (3.8.5)$$

$$U_p = 2,4U_{2ф.тр} = 2,4 \cdot 252,934 = 607,043 \text{ В} \quad (3.8.6)$$

Выбираем конденсатор C_p типа СВВ60 – 630 В – 12,0 мкФ \pm 10%.

Сопротивление и мощность потерь разрядного резистора R_p :

$$R_p = \frac{1 \dots 3}{C_p} = \frac{2}{11,879 \cdot 10^{-6}} = 168,364 \text{ кОм} \quad (3.8.7)$$

$$P_{R_p} = \frac{5,76U_{2ф.тр}^2}{10R_p} = \frac{5,76 \cdot 252,934^2}{10 \cdot 168,364 \cdot 10^3} = 0,218 \text{ Вт} \quad (3.8.8)$$

Выбираем разрядный резистор R_p типа МЛТ – 0,25 Вт – 180,0 кОм \pm 5%.

Сопротивление и мощность потерь гасящего резистора R_d :

$$R_d = \frac{170U_{2ф.тр}}{I_{01\%} \cdot I_{2.тр}} = \frac{170 \cdot 252,934}{4 \cdot 75,118} = 143,105 \text{ Ом} \quad (3.8.9)$$

$$P_{R_d} = 3 \left(U_{2л.тр} 2\pi f_c C_p \right)^2 R_d \cdot 10^{-2} = \\ = 3 \left(438,095 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 11,879 \cdot 10^{-6} \right)^2 \cdot 143,105 \cdot 10^{-2} = 11,475 \text{ Вт} \quad (3.8.10)$$

Выбираем резистор R_d типа ПЭВ – 15 Вт – 150 Ом \pm 5%.

Функціональна схема розрахованого реверсивного тиристорного перетворювача, зібраного за трифазною мостовою перехресній схемі і працює на якір двигуна постійного струму представлена на рис. 2.1.

3.9 Розрахунок статичних і динамічних параметрів елементів і вузлів системи електроприводу

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

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{d0}}{U_{y \text{ max}}} = \frac{621}{10} = 62,1 \quad (3.9.1)$$

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

Еквівалентний активний опір якійного ланцюга системи ТП-Д:

$$R_{\text{Э}} = r_{\text{я.дв}} + r_{\text{ср}} + 2r_{\text{д}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ур}} + r_{\text{ш}} = \quad (3.9.2)$$

$$0,012 + 0,048 + 2 \cdot 5,25 + 2 \cdot 0,001 + 0,006 + 0,048 + 0,0012 = 10,617 \text{ Ом}$$

где $r_{\text{я.дв}} = 0,012$ мОм – активное сопротивление якорной цепи двигателя;

$r_{\text{ур}} = 0,048$ мОм – активное сопротивление уравнивающего реактора;

$r_{\text{а.ср}} = 0,048$ мОм – активное сопротивление сглаживающего реактора;

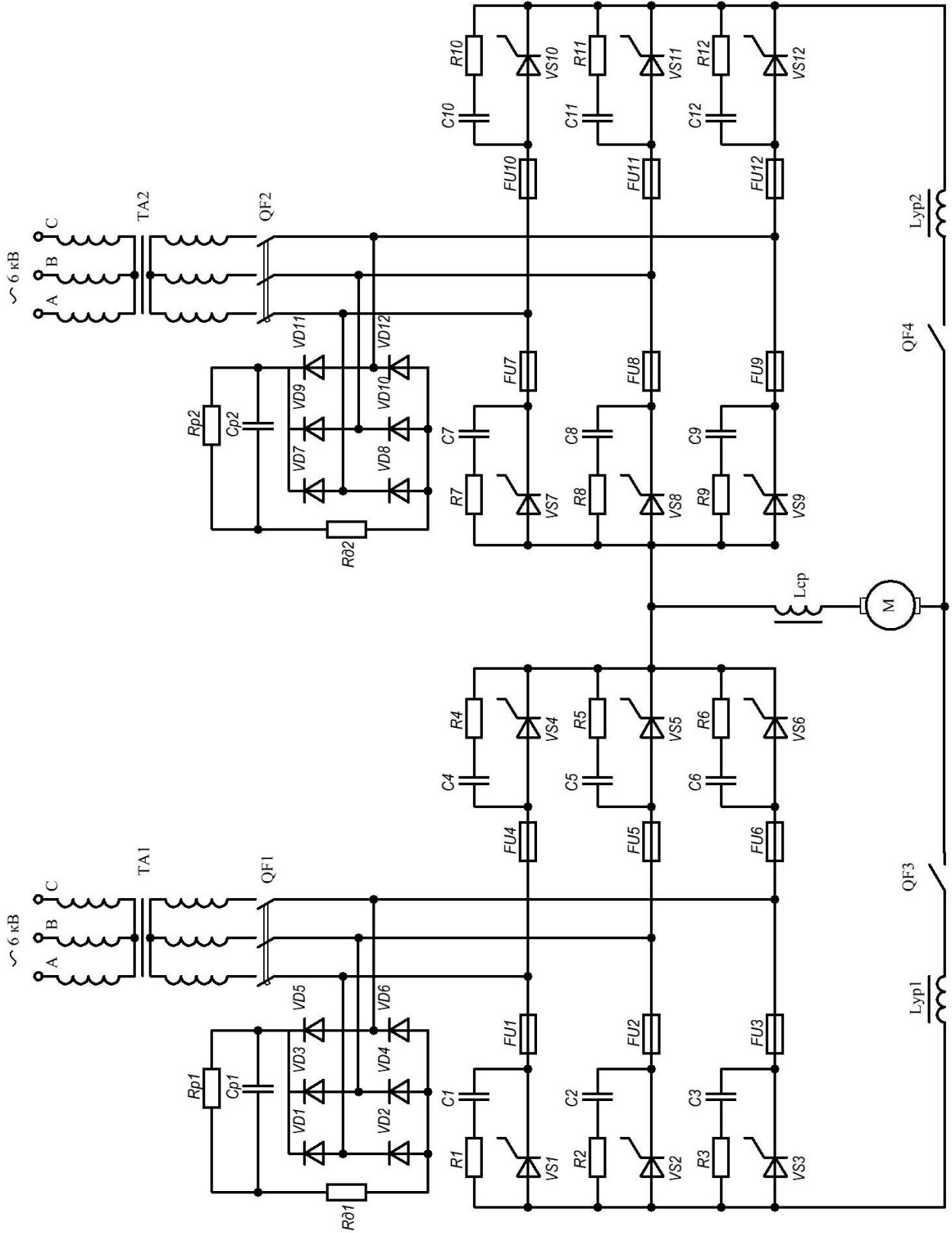


Рисунок 3.9 – Функціональна схема реверсивного тиристорного перетворювача

$r_{TP} = 0,001$ мОм – активное сопротивление силового трансформатора;

$r_{дин} = 5,25$ - динамическое сопротивление тиристора, Ом;

$r_k = 0,006$ мОм – коммутационное сопротивление;

$r_{ш} = 0,1r_{я.дв} = 0,1 \cdot 0,012 = 0,0012$ мОм – активный опір шин або кабелю, що з'єднують ТП з якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{дв} + 2L_{TP} + L_{CP} = 0,01 + 2 \cdot 0 + 0,002 = 0,013 \quad (3.9.3)$$

Електромагнітна постійна часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,013}{10,617} = 0,001 \text{ с} \quad (3.9.4)$$

Сумарний приведенний момент інерції електроприводу:

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + 0,3 \cdot J_{дв} = 7 + 0,3 \cdot 7 = 9,1 \text{ кгм}^2 \quad (3.9.5)$$

где $J_{дв} = \frac{GD^2}{4} = \frac{73}{4} = 18,25 \text{ кгм}^2$ - момент инерции электродвигателя;

$GD^2 = 73 \text{ кгм}^2$ - маховий момент электродвигателя;

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

Коэффициент двигателя (постоянная двигателя):

$$c\Phi = \frac{U_H - I_H r_{я.дв}}{\omega_H} = \frac{440 - 92 \cdot 0,012}{59,69} = 7,352 \text{ Вс} \quad (3.9.6)$$

где $\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 570}{30} = 59,69 \text{ 1/с}$ - номінальна швидкість двигуна.

Электромеханическая постоянная часу электропривода:

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} R_{\Sigma}}{(c\Phi)^2} = \frac{9,1 \cdot 10,616}{7,352^2} = 1,787 \text{ с} \quad (3.9.7)$$

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

Передавальний коефіцієнт механізму, що зв'язує кут повороту вала з

величиною переміщення механізму, визначимо по заданому критичного переміщенню $S_{зк}$:

$$A = \frac{S_{зк} M_{дин}}{J'_{\Sigma} \omega_H^2} = \frac{15 \cdot 1014,576}{\cdot 59,69^2} = 0,780 \text{ мм/рад} \quad (3.9.8)$$

где $S_{зк} = 15$ мм - заданное критическое перемещение;

$$M_{дин} = c\Phi_H I_{дин} = c\Phi_H 1,5I_H = 7,352 \cdot 1,5 \cdot 92 = 1014,576 \text{ Нм} \quad - \text{ динамічний}$$

момент (струм) двигуна.

4 РОЗРАХУНОК КОНТУРІВ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНИХ УПРАВЛІННЮ

4.1 Математичний опис об'єкта управління

При синтезі системи управління приймаються звичайні для систем електроприводу допущення, які лінеаризують силову частину об'єкта управління - двигун і регульоване джерело 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 електроприводу приймаються незмінними.

Об'єктом управління в даній системі виступає тиристорний перетворювач, електродвигун і механічна частина.

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

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

У зв'язку з цим повне дослідження динамічних характеристик ТП є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення. Найбільшого поширення набули два види моделей ТП: безперервна, в якій ТП представляється аперіодичною ланкою з коефіцієнтом $k_{\text{ТП}}$ і постійної часу

$\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$ і імпульсна. Надалі, при синтезі САК буде використана безперервна

модель ТП.

Таким чином електродвигун представимо у вигляді трьох типових ланок (рис. 4.1): аперіодичної ланки першого порядку (електрична частина машин) і

інтегруючої ланки (механічна частина), охоплених негативним зворотним зв'язком по ЕРС двох двигунів.

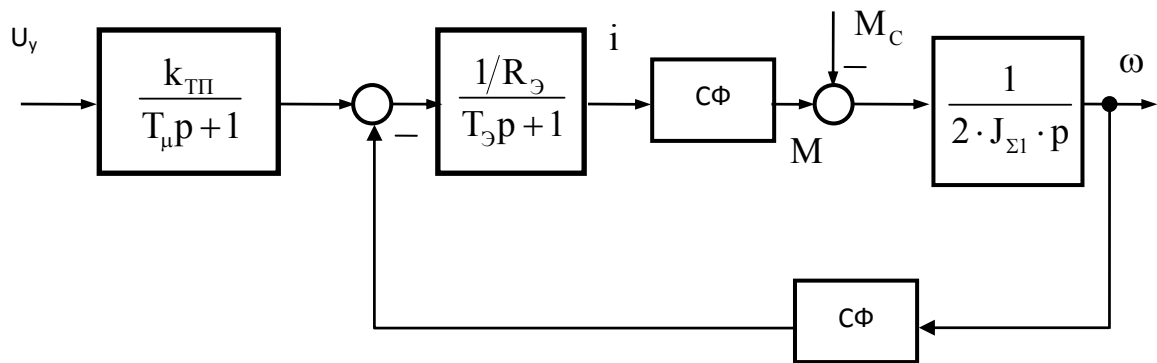


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електроприводу

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 управління 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.

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

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

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

$$K_{PTI} = \frac{R_{\Delta} \cdot T_{\Delta}}{K_{TI} \cdot K_{OT} \cdot T_{OT}} = \frac{0.169 \cdot 0.0201}{51.3 \cdot 0.0543 \cdot 0.01} = 0.122 \quad , \quad (4.2)$$

$$K_{PTI} = \frac{R_{\Delta}}{K_{TI} \cdot K_{OT} \cdot T_{OT}} = \frac{0.169}{51.3 \cdot 0.0543 \cdot 0.01} = 6.066 \quad (4.3)$$

де $T_{OT} = 2T_{\mu} \cong 0.01$ с.;

$$K_{OT} = \frac{U_{ЗТМАХ}}{I_{МАХ}} = \frac{10}{184} = 0.0543 \text{ В/А} \text{ - коефіцієнт передачі ланки зворотного зв'язку}$$

зв'язку по струму з урахуванням що:

- максимальний сигнал завдання на струм $U_{ЗТМАХ} = 10$ В ;
- максимально допустимий струм якоря двигуна $I_{МАХ} = \lambda_1 \cdot I_H = 2 \cdot 92 = 184$ А .

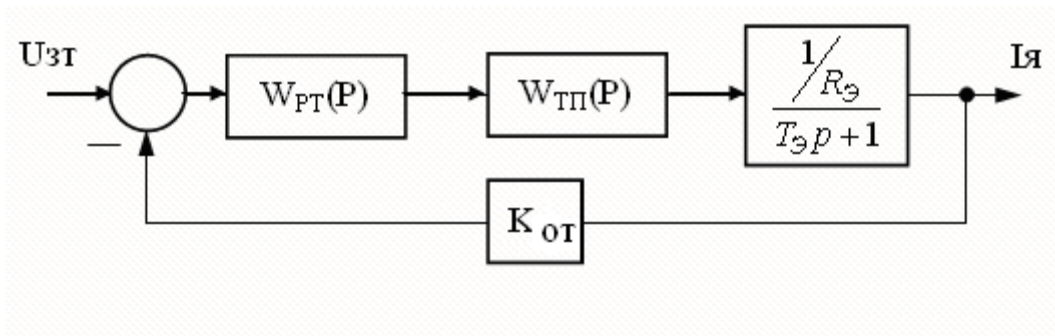


Рисунок 4.3 - Структурна схема контуру струму

На рисунку 4.4 представлена функціональна схема регулятора струму.

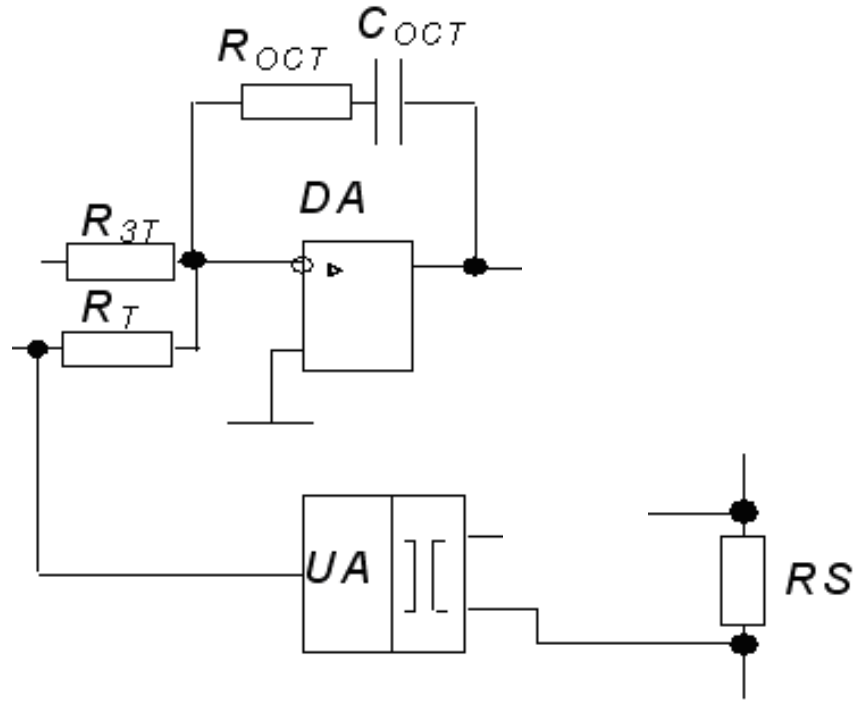


Рисунок 4.4 – Функціональна схема регулятора струму

На рисунку 4.5 представлена структурна схема регулятора струму.

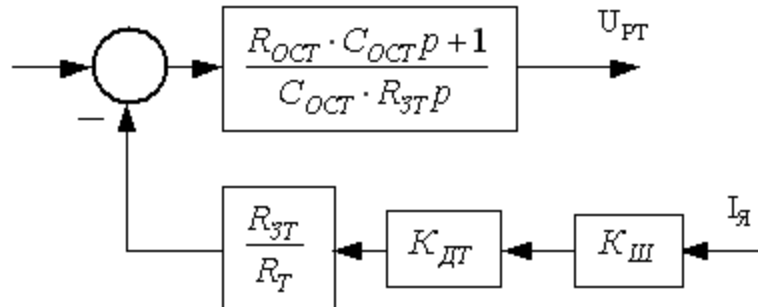


Рисунок 4.5 – Структурна схема регулятора струму

Розраховуємо елементи функціональної схеми регулятора струму по наступних співвідношеннях:

$$\begin{cases} T_{\text{э}} = R_{\text{ост}} \cdot C_{\text{ост}}; \\ \frac{K_{\text{тп}} \cdot K_{\text{т}}}{R_{\text{э}}} T_{\text{от}} = R_{\text{зт}} \cdot C_{\text{ост}}; \\ K_{\text{от}} = \frac{R_{\text{зт}}}{R_{\text{т}}} \cdot K_{\text{дт}} \cdot K_{\text{ш}}, \end{cases} \quad (4.4)$$

В якості шунта RS вибираємо шунт типу 75ШС, який має такі параметри: номінальна вихідна напруга на шунті $U_{\text{нш}} = 75$ мВ при струмі $I_{\text{нш}} = 200$ А. Отже коефіцієнт передачі шунта:

$$K_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{нш}}}{I_{\text{нш}}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{200} = 3.8 \cdot 10^{-4} \text{ В/А}. \quad (4.5)$$

Коефіцієнт передачі датчика струму:

$$K_{\text{дт}} = \frac{K_{\text{от}}}{K_{\text{ш}}} = \frac{0.0543}{3.8 \cdot 10^{-4}} = 142.894. \quad (4.6)$$

В якості стандартного датчика струму UA вибираємо датчик струму з системи УБСР-АІ типу ДТ-ЗАІ. 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-ЗАІ, 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.

$$R_{\text{ост}} = \frac{T_{\text{э}}}{C_{\text{ост}}} = \frac{0.0201}{2 \cdot 10^{-6}} = 10050 \text{ Ом} = 10,05 \text{ кОм}. \quad (4.7)$$

$$R_{\text{зт}} = \frac{K_{\text{тп}} \cdot K_{\text{от}} \cdot T_{\text{от}}}{R_{\text{э}} \cdot C_{\text{ост}}} = \frac{51.3 \cdot 0.0543 \cdot 0.01}{0.169 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 824,139 \text{ Ом} . \quad (4.8)$$

$$R_{\text{т}} = \frac{R_{\text{зт}} \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{дт}}}{K_{\text{от}}} = \frac{824,139 \cdot 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot 142,894}{0.0543} = 824,134 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

МЛТ-2 резистори метало плівкові лаковані теплостійкі призначені для роботи в ланцюгах постійного, змінного та імпульсного струмів в якості елементів навісного монтажу. Резистори відносяться до неізолюваних виробам і мають металодіелектричних провідний шар.

Вибираємо резистор $R_{\text{ост}}$ марки МЛТ - 2, опором 10 кОм. $\pm 10 \%$

Вибираємо резистор $R_{\text{зт}}$ марки МЛТ-2, опором 820 Ом. $\pm 10 \%$

Вибираємо резистор $R_{\text{т}}$ марки МЛТ-2, опором 820 Ом. $\pm 10 \%$

[<http://katod-anod.ru/rd/mlt/>].(18)

Вибираємо конденсатор $C_{\text{ост}}$ марки К50-2, ємністю 2 мкФ. $\pm 10 \%$

[<http://pin-g.com.ua/handbook/kondensatory-k50-15-k50-16-k50-18/>].(19)

Вибираємо стабілітрон VD типу КС 210Б:

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

[<https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=10069>].(20)

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:

$$W_{\text{КТ}}(p) = \frac{\frac{1}{T_{\mu}p+1} \cdot \frac{1}{T_{\text{ОТ}}p} \cdot \frac{1}{K_{\text{ОТ}}}}{1 + \frac{1}{T_{\mu}p+1} \cdot \frac{1}{T_{\text{ОТ}}p}} = \frac{\frac{1}{K_{\text{ОТ}}}}{T_{\text{ОТ}}T_{\mu}p^2 + T_{\text{ОТ}} + 1} \quad (4.10)$$

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

$$W_{\text{КТ}}(p) = \frac{1/K_{\text{ОТ}}}{T_{\text{ОТ}}p+1} \quad (4.11)$$

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

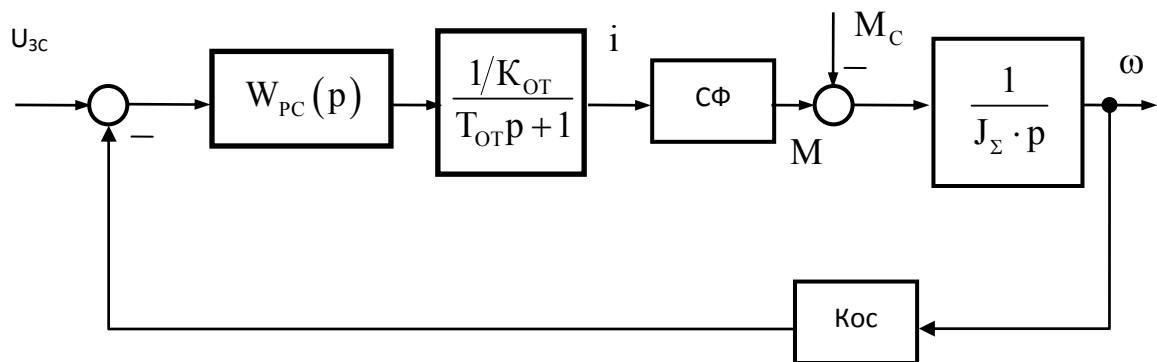


Рисунок 4.6 – Структурная схема контура скорости

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 пересування крана застосовується ПІ - регулятор.

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

$$W_{\text{РТ}}(p) = K_{\text{PC}} \cdot \frac{4 \cdot T_{\text{ОТ}}p + 1}{4 \cdot T_{\text{ОТ}}p} \quad (4.12)$$

Статичний коефіцієнт посилення регулятора швидкості:

$$K_{\text{РПС}} = \frac{K_{\text{ОТ}} \cdot J_{\Sigma}}{2T_{\text{ОТ}} \cdot C\Phi_{\text{Н}} \cdot K_{\text{ОС}}} = \frac{0.0543 \cdot 9.167}{2 \cdot 0.01 \cdot 7.158 \cdot 0.167} = 20.82$$

$$K_{\text{РИС}} = \frac{K_{\text{ОТ}}}{2T_{\text{ОТ}} \cdot C\Phi_{\text{Н}} \cdot K_{\text{ОС}}} = \frac{0.0543}{2 \cdot 0.01 \cdot 7.158 \cdot 0.167} = 2.271$$

де $K_{\text{ОС}}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості;

$$K_{\text{ОС}} = \frac{U_{\text{ЗСМАХ}}}{\omega_{\text{МАХ}}} = \frac{10}{59.69} = 0.167 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{рад} - \text{коефіцієнт передачі ланки зворотнього}$$

зв'язку за швидкістю з урахуванням того, що:

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

На рисунку 4.7 представлена функціональна схема регулятора швидкості.

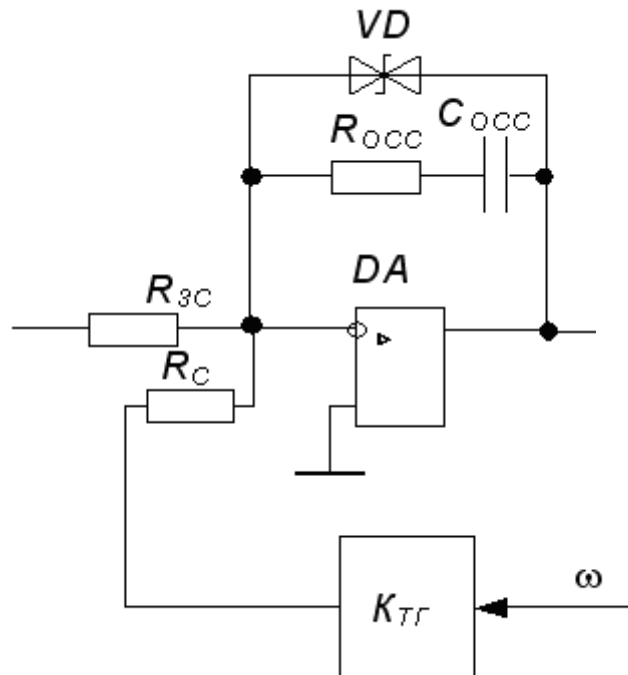


Рисунок 4.7 – Функціональна схема регулятора швидкості

На рисунку 4.8 представлена структурна схема регулятора швидкості.

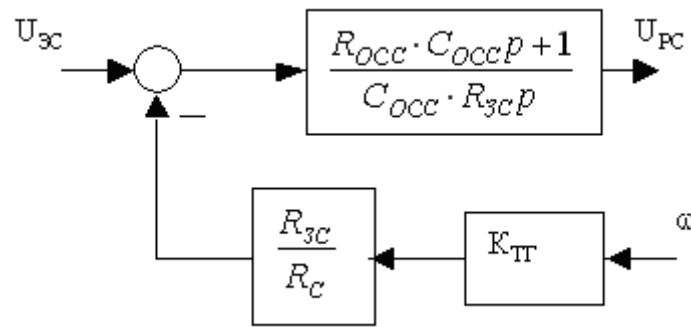


Рисунок 4.8 – Структурна схема регулятора швидкості

Як датчик швидкості вибираємо тахогенератор типу ТП 214:

$$n_H = 1000 \text{ об/хв};$$

$$U_H = 100 \text{ В};$$

$$K_{ТГ} = \frac{U_{H,ТГ}}{\omega_{H,ТГ}} = \frac{100}{3.14 \cdot 1000 / 30} = 0.96 \text{ В} \cdot \text{с}. \quad (4.13)$$

Розраховуємо елементи функціональної схеми регулятора швидкості по наступним співвідношенням

$$\begin{cases} K_{PC} = \frac{R_{OCC}}{R_{3C}}; \\ K_C = K_{ТГ} \cdot \frac{R_{3C}}{R_C}; \\ U_{3C \text{ MAX}} = K_C \cdot \omega_H. \end{cases} \quad (4.14)$$

Приймемо $C_{OCC} = 2 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Завдання на швидкість подаємо з задавача інтенсивності швидкості.

Тому задаємося $R_{3C} = 51 \text{ кОм}$. Як R_{3C}

вибираємо резистор типу МЛТ-2 опором 51 кОм. . $\pm 10 \%$

Розрахуємо R_{OCC} :

$$R_{OCC} = K_{PC} \cdot R_{3C} = 11.16 \cdot 51 = 570 \text{ кОм}. \quad (4.15)$$

Вибираємо резистор R_{OCC} типу МЛТ-2 560 кОм. . $\pm 10 \%$

Розрахуємо R_C :

$$R_C = \frac{K_{\text{ТГ}} \cdot R_{\text{ЗС}}}{K_{\text{ОС}}} = \frac{0.96 \cdot 51}{0.167} = 293.173 \text{ кОм.} \quad (4.16)$$

Вибираємо резистор R_C типу МЛТ-2, 300 кОм. $\pm 10\%$

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 - 22Ом.

4.4 Розрахунок задавача інтенсивності швидкості

Для розгону і гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки струмообмеження, застосовуємо задавач інтенсивності, що перетворює ступінчастий сигнал завдання швидкості який змінюється лінійно в часі.

Стале значення напруги виходу задавача інтенсивності, яке подається на вхід регулятора швидкості, так само вхідного сигналу. Тобто задавач інтенсивності швидкості необхідний для обмеження струму двигуна в перехідних процесах.

Структурна схема задавача інтенсивності швидкості наведена на рисунку 4.9.

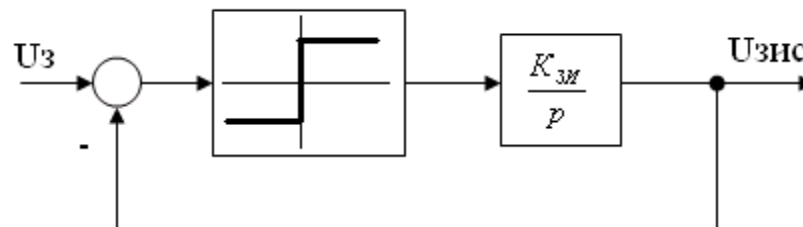


Рисунок 4.9 - Структурна схема задавача інтенсивності швидкості

Динамічний струм обмежимо на рівні $I_j = 1 \cdot I_H = 92 \text{ А}$. Тоді при номінальному навантаженні розгін буде відбуватися з максимально допустимим для двигуна струмом. Динамічний момент відповідно складе:

$$M_j = C\Phi_H \cdot I_j = 7.158 \cdot 92 = 658.536 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.17)$$

Час розгону двигуна при цьому буде наступним:

$$t_p = J_{\Sigma} \frac{\omega_H}{M_j} = 9.167 \cdot \frac{59.69}{658.536} = 0.83 \text{ с} \quad (4.18)$$

Коефіцієнт передачі ЗИС:

$$K_{\text{И}} = \frac{U_{3\text{MAX}}}{t_p} = \frac{10}{0.83} = 12.048 \frac{\text{В}}{\text{с}}. \quad (4.19)$$

На рисунку 4.10 представлена функціональна схема задавача інтенсивності швидкості.

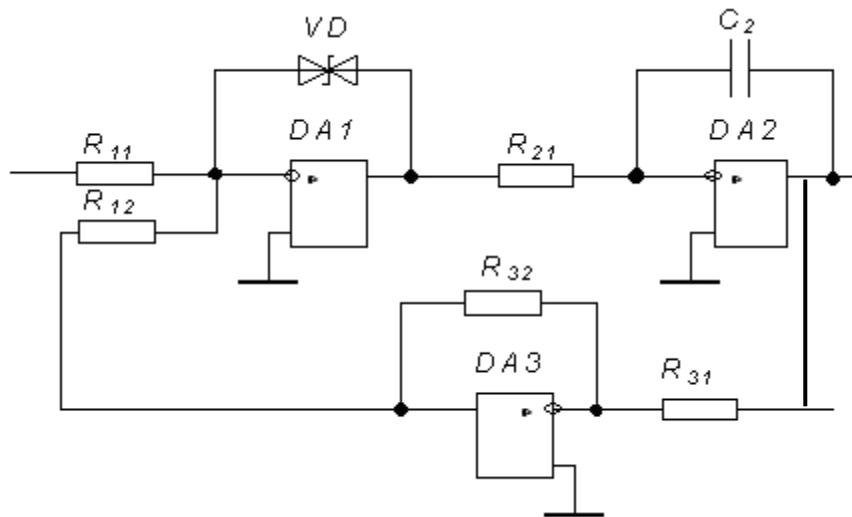


Рисунок 4.10 – Функціональна схема задавача інтенсивності швидкості

Приймаємо конденсатор C_2 ємністю 2 мкФ.

Прийmemo:

$R_{11} = R_{12} = 20 \text{ кОм}$;

$$R_{31} = R_{32} = 10 \text{ кОм.}$$

$$R_{21} = \frac{1}{K_{\text{и}} \cdot C_2} = \frac{1}{12.048 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 41.5 \text{ кОм.} \quad (4.20)$$

Вибираємо резистори R_{11} і R_{12} марки МЛТ-2, опором 20 кОм. . $\pm 10 \%$

Вибираємо резистори R_{31} і R_{32} марки МЛТ-2, опором 10 кОм. . $\pm 10 \%$

Вибираємо резистор R_{21} марки МЛТ-2, опором 47 кОм. . $\pm 10 \%$

Вибираємо конденсатор $C_{\text{оос}}$ марки К50-2, ємністю 2мкФ. . $\pm 10 \%$

Вибираємо стабілітрон VD типу КС210Б:

- напруга стабілізації - 10 В.

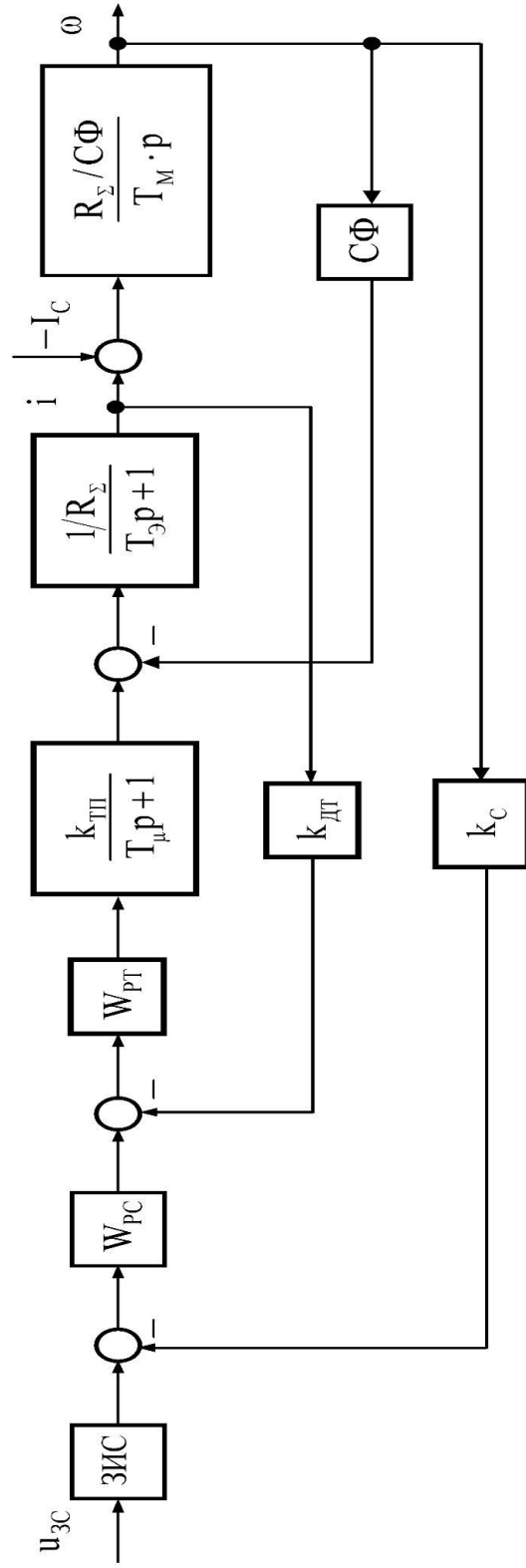


Рисунок 4.11 – Структурна схема швідкісної системи підлеглокерування

5 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

На рисунку. 5.1 представлена модель електроприводу підйома козлового крана, розроблена в середовищі моделювання динамічних систем Matlab / Simulink. На рисунках 5.2-5.7 приведені результати моделювання роботи ЕП при розгоні, реверсі та гальмуванні на холостому ході. На рисунку 5.8-5.13 представлені графіки пуску, реверса і гальмування електроприводу під навантаженням. На рисунку. 5.14 представлена модель електроприводу підйома козлового крана з сухим тертям. На рисунках 5.15-5.20 приведені результати моделювання роботи ЕП з сухим тертям. На рисунках 5.21-5.22 графіки перехідного процесу швидкості і струму при збільшенні опору R_e на 50%. На рисунках 5.23-5.24 графіки перехідного процесу швидкості і струму при зменшенні опору R_e на 50%. На рисунках 5.25-5.26 графіки перехідного процесу швидкості і струму при збільшенні індуктивності L_e на 50%. На рисунках 5.27-5.28 графіки перехідного процесу швидкості і струму при зменшенні індуктивності L_e на 50%. На рисунках 5.29-5.30 графіки перехідного процесу швидкості і струму при збільшенні моменту інерції J_{sum} на 50%. На рисунках 5.31-5.32 графіки перехідного процесу швидкості і струму при зменшенні моменту інерції J_{sum} на 50%.

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.

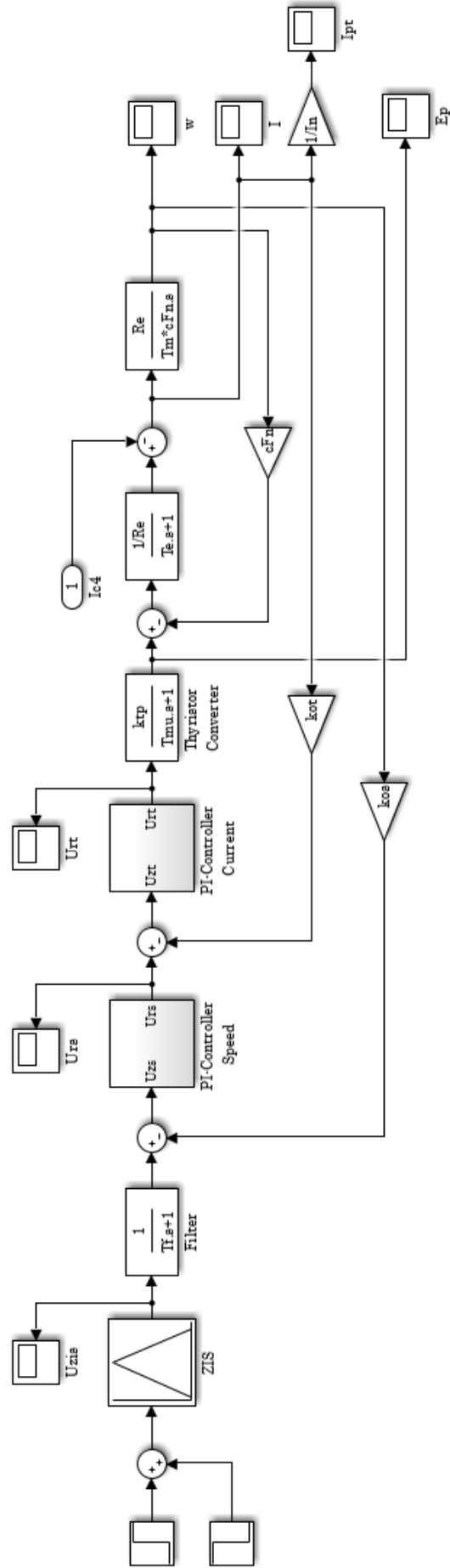


Рисунок 5.1 – Математична модель системи електропивоада (без сухого гертя)



Рисунок. 5.2 Графіки перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму

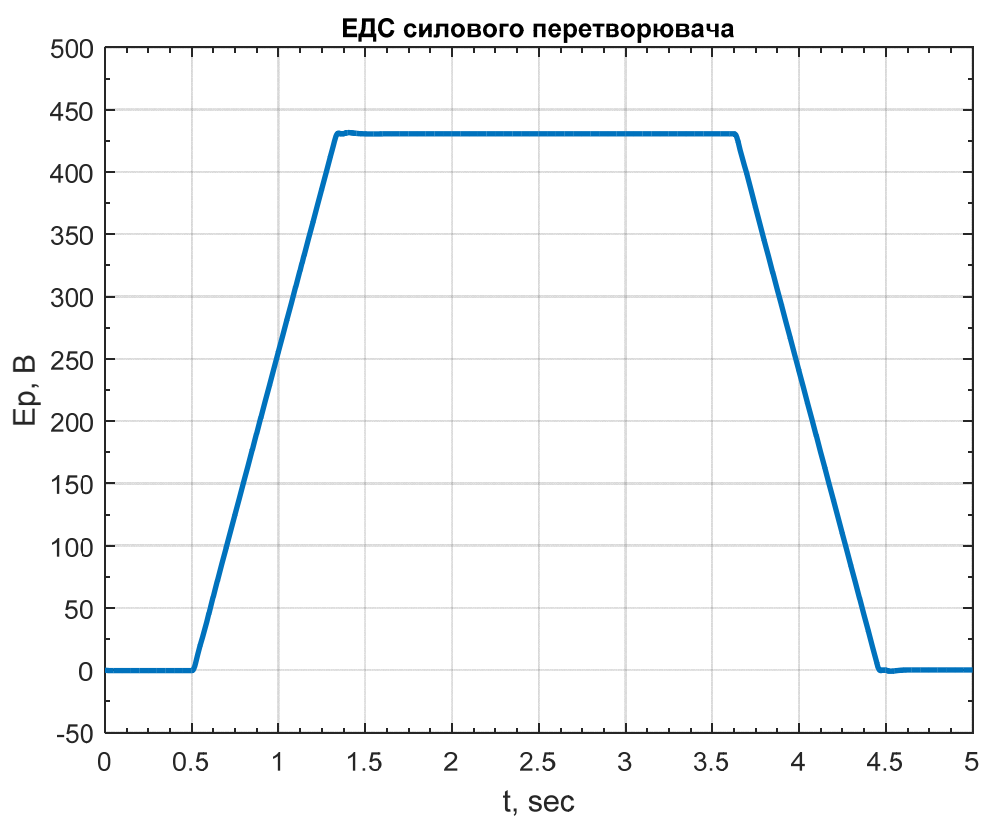


Рисунок. 5.3 Графіки перехідного процесу ЕДС силового перетворювача

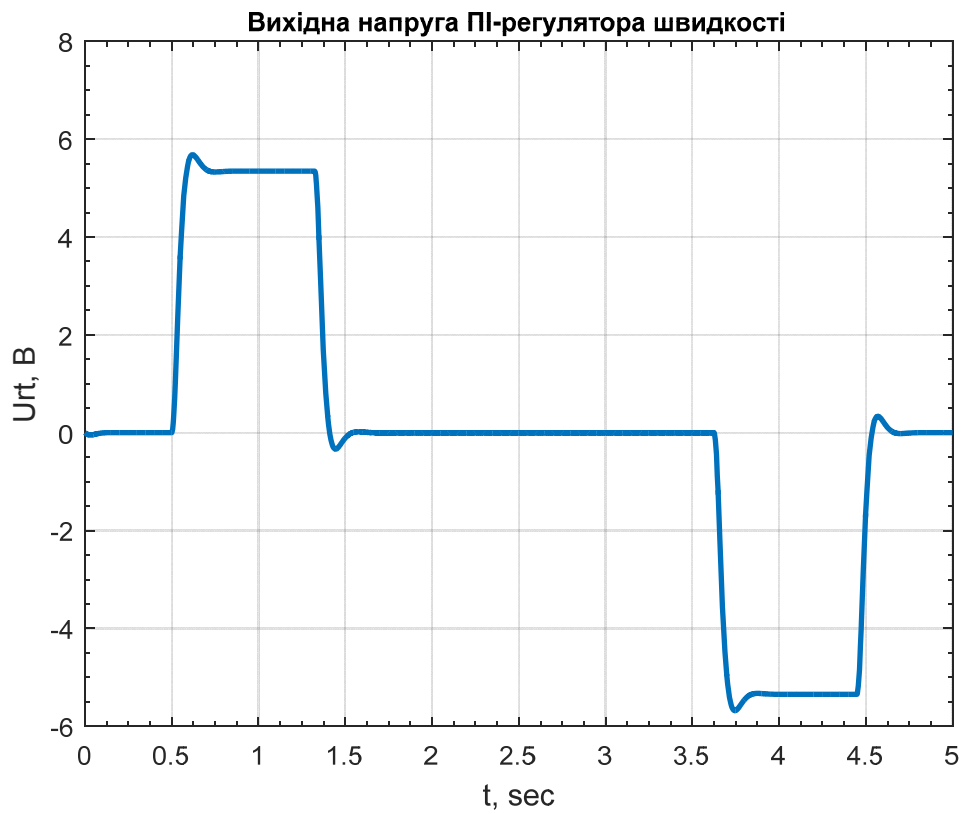


Рисунок. 5.4 Графіки перехідного процесу напруги ПІ- регулятора швидкості

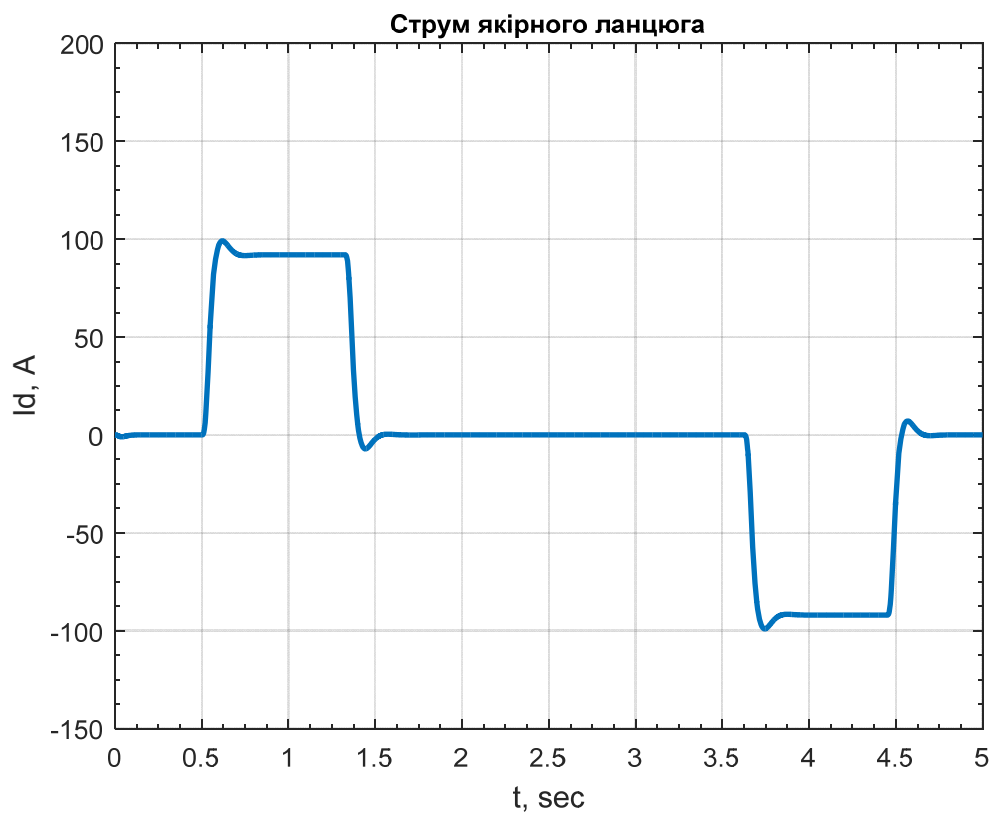


Рисунок. 5.5 Графіки перехідного процесу струму якорного ланцюга

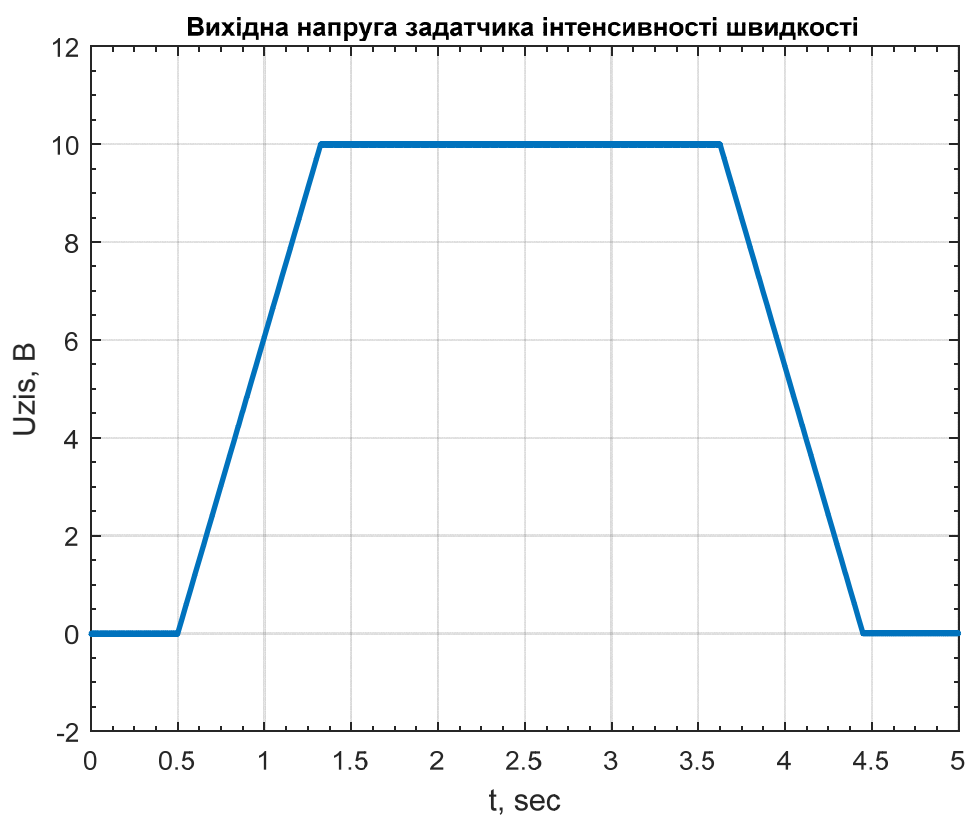


Рисунок. 5.6 Графіки перехідного процесу напруги ЗІШ

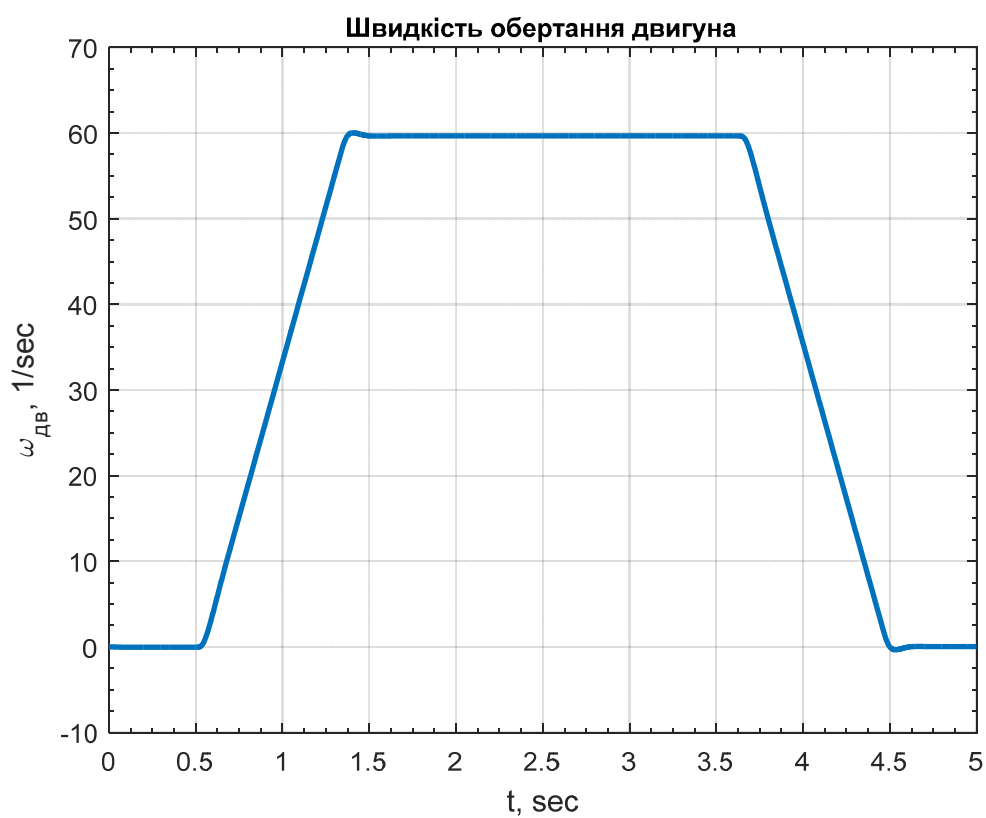


Рисунок. 5.7 Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна

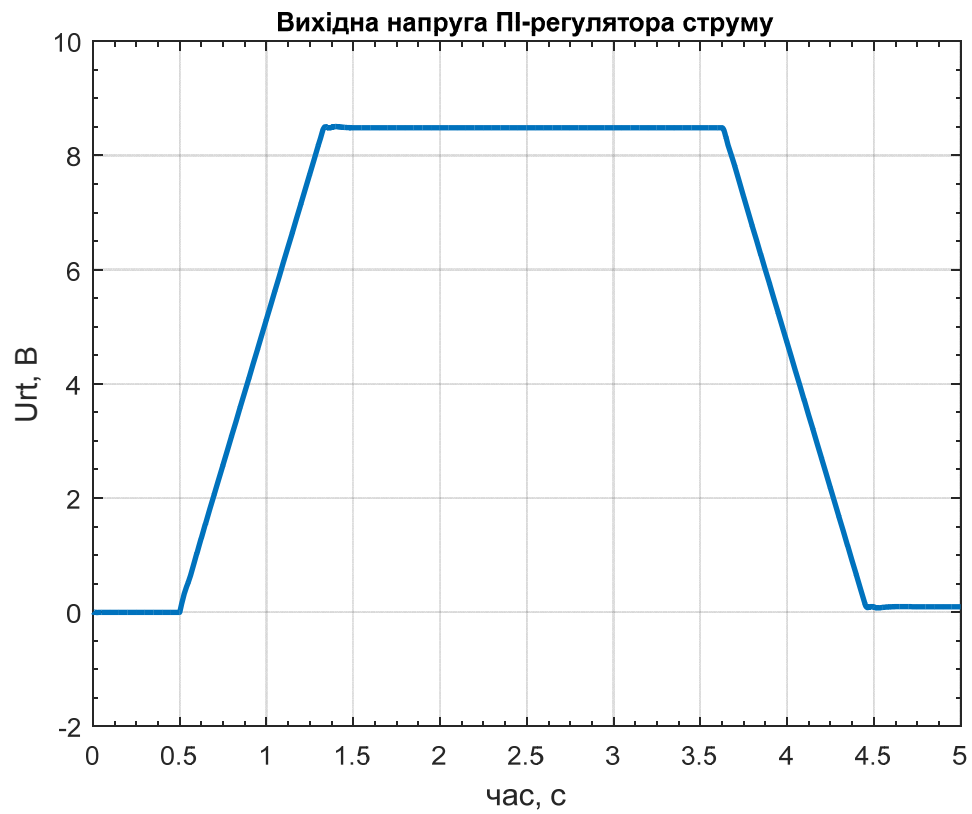


Рисунок. 5.8 Графіки перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму під навантаженням

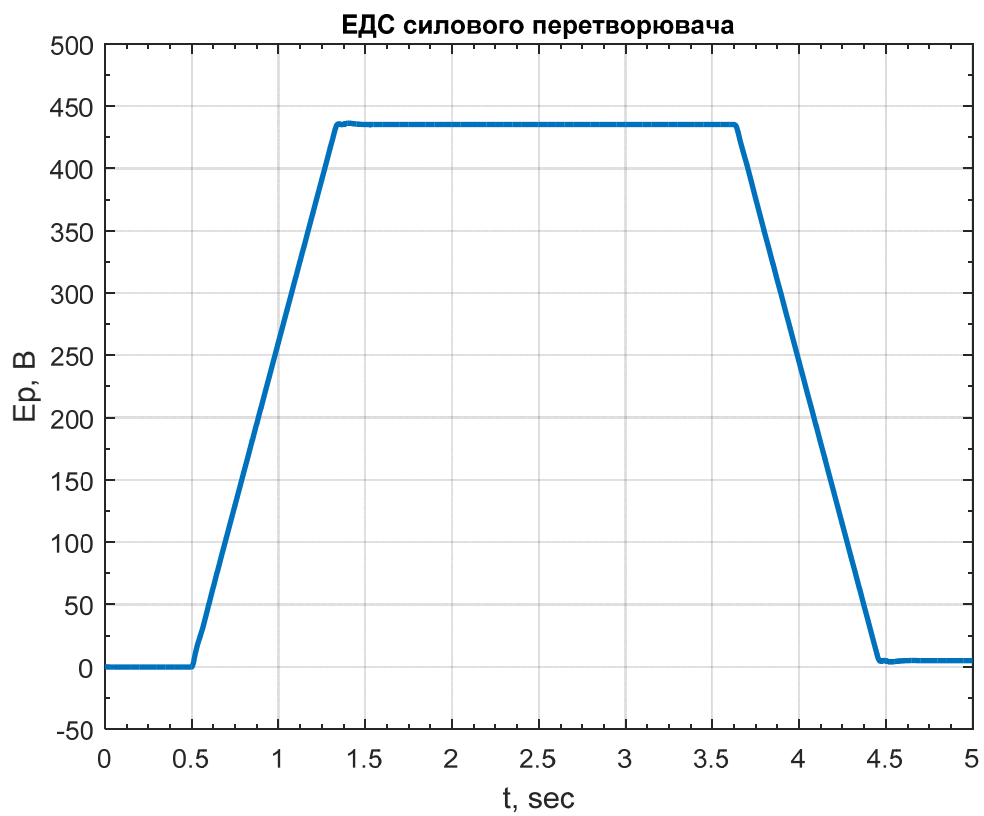


Рисунок. 5.9 Графіки перехідного процесу ЕДС силового перетворювача під навантаженням

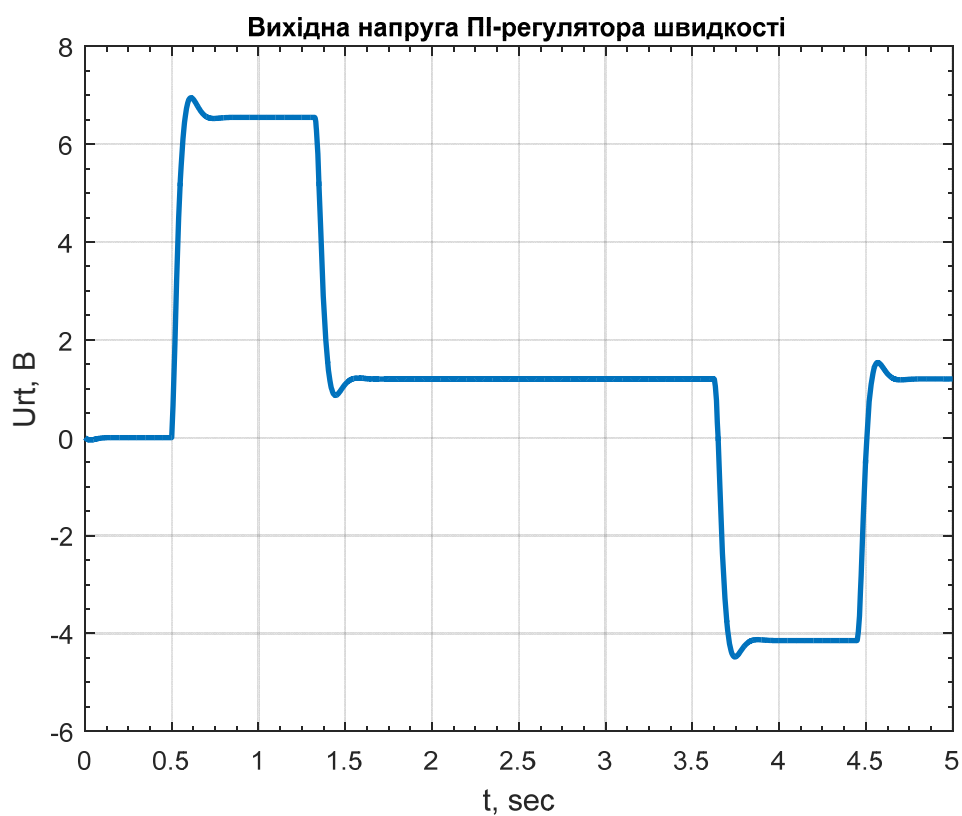


Рисунок. 5.10 Графіки перехідного процесу напруги ПІ-регулятора швидкості під навантаженням

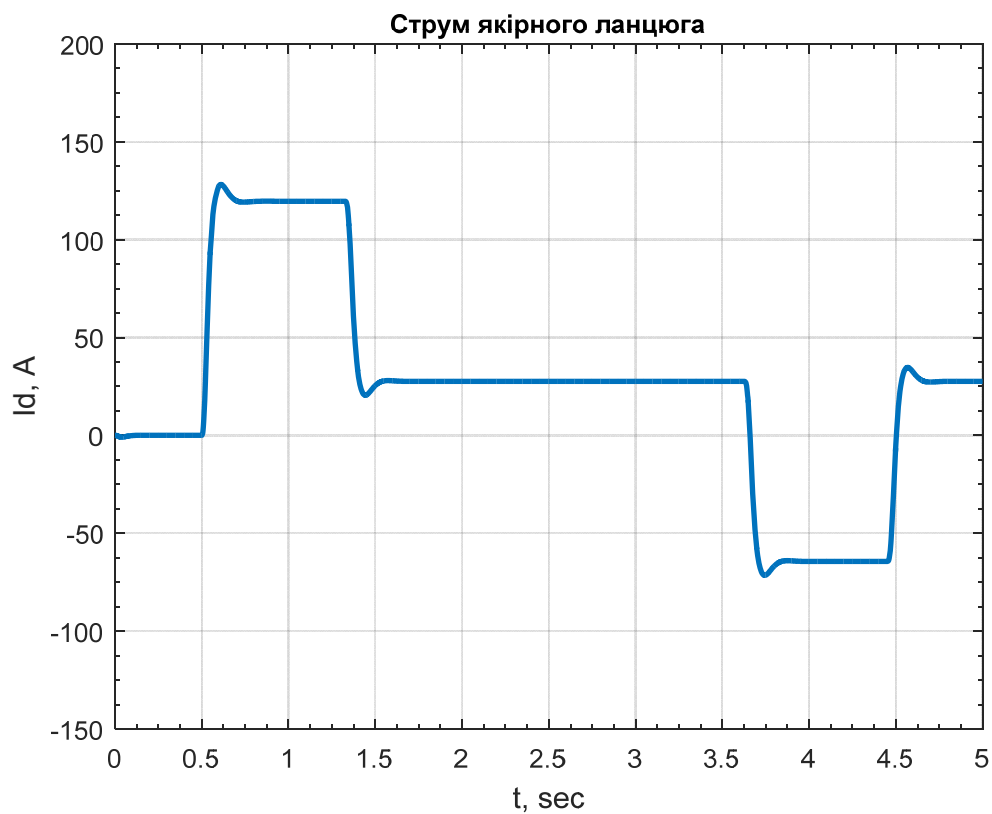


Рисунок. 5.11 Графіки перехідного процесу струму якорного ланцюга під навантаженням

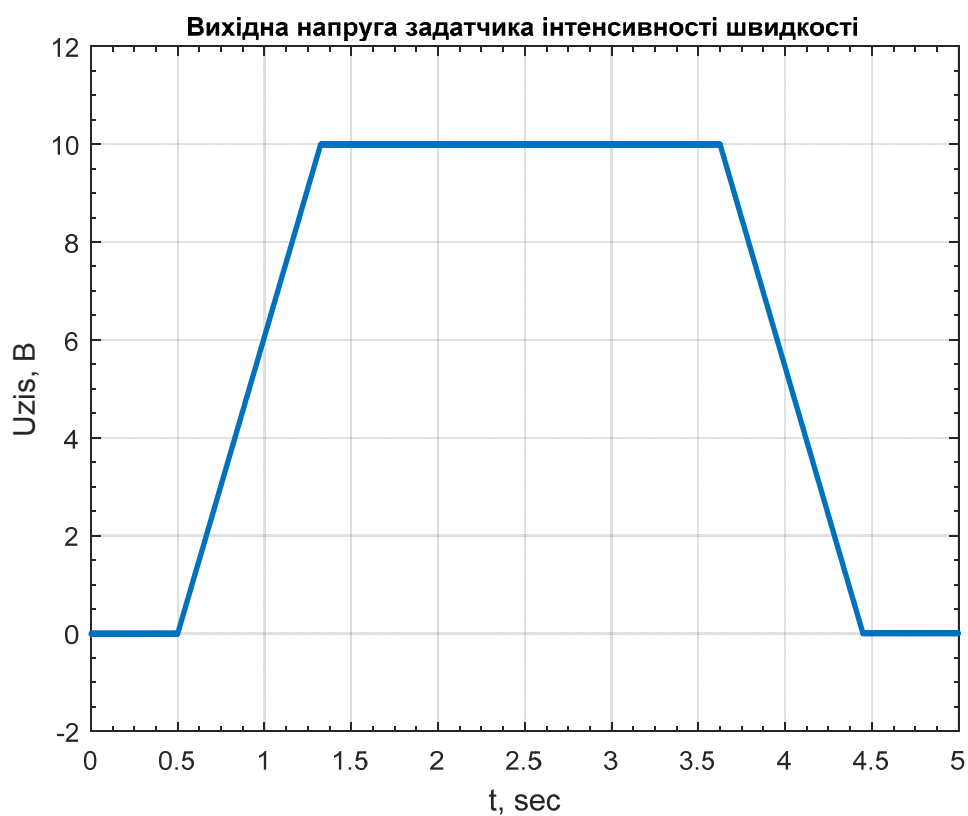


Рисунок 5.12 – Графіки перехідного процесу напруги ЗІШ під навантаженням

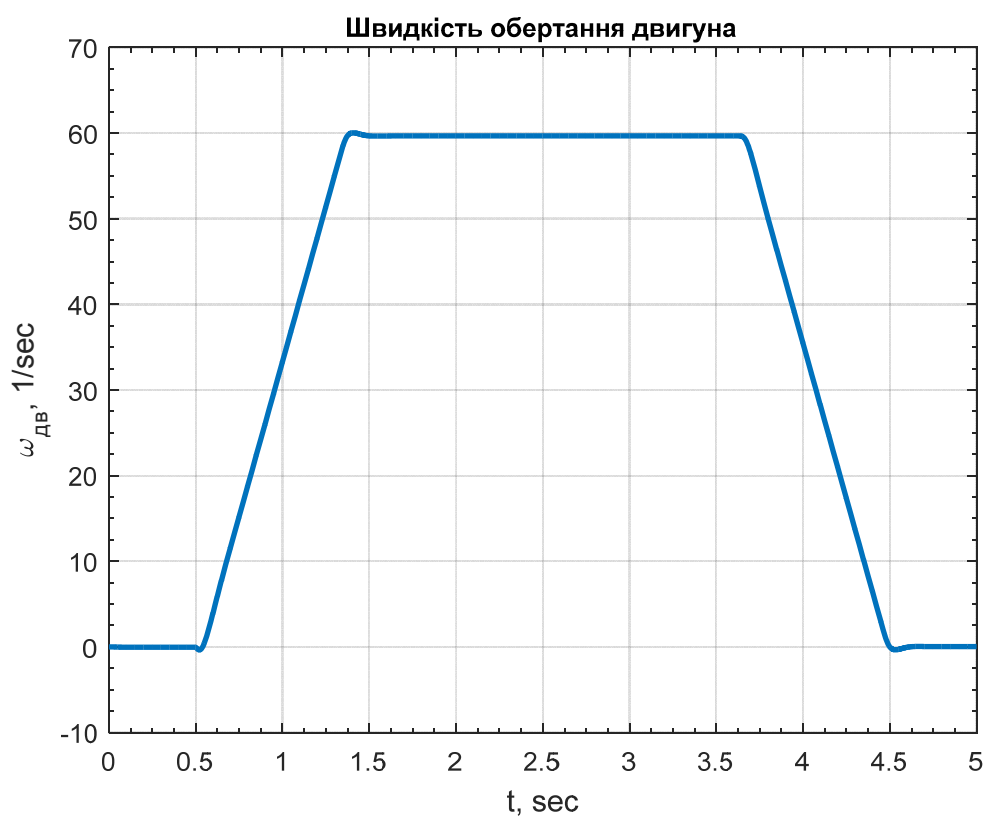


Рисунок. 5.13 Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна під навантаженням

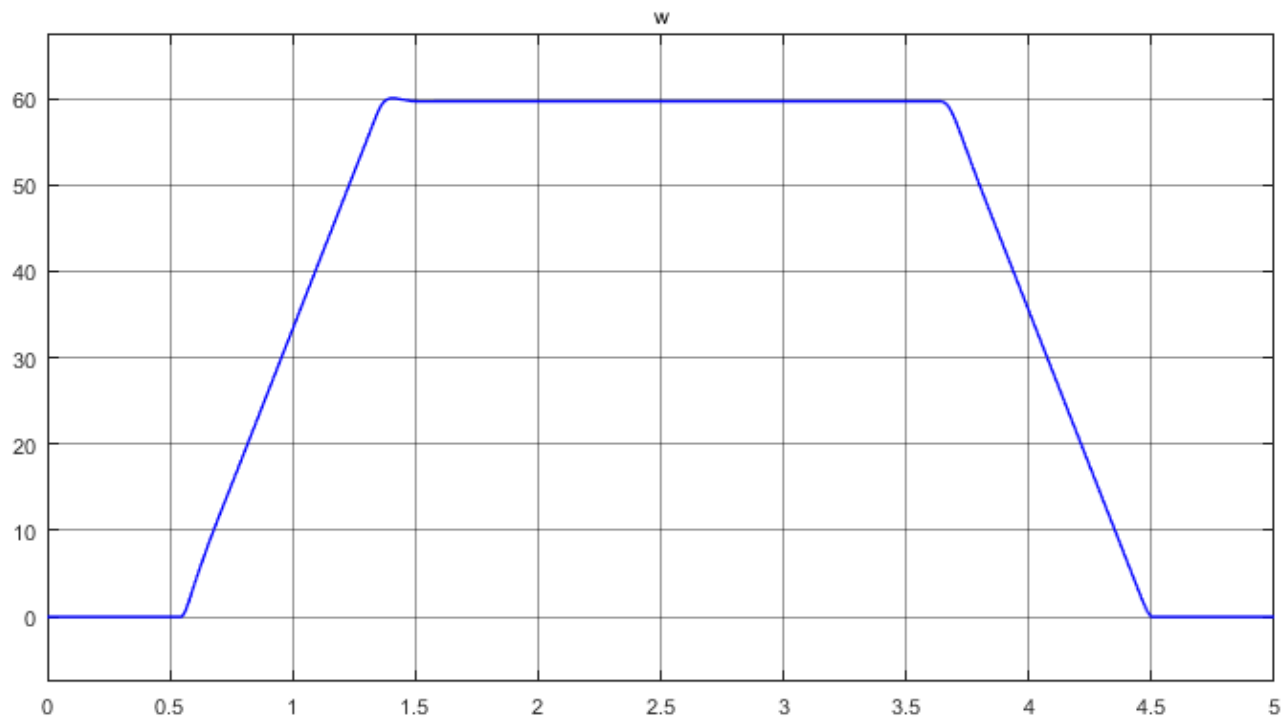


Рисунок 5.15 - Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна

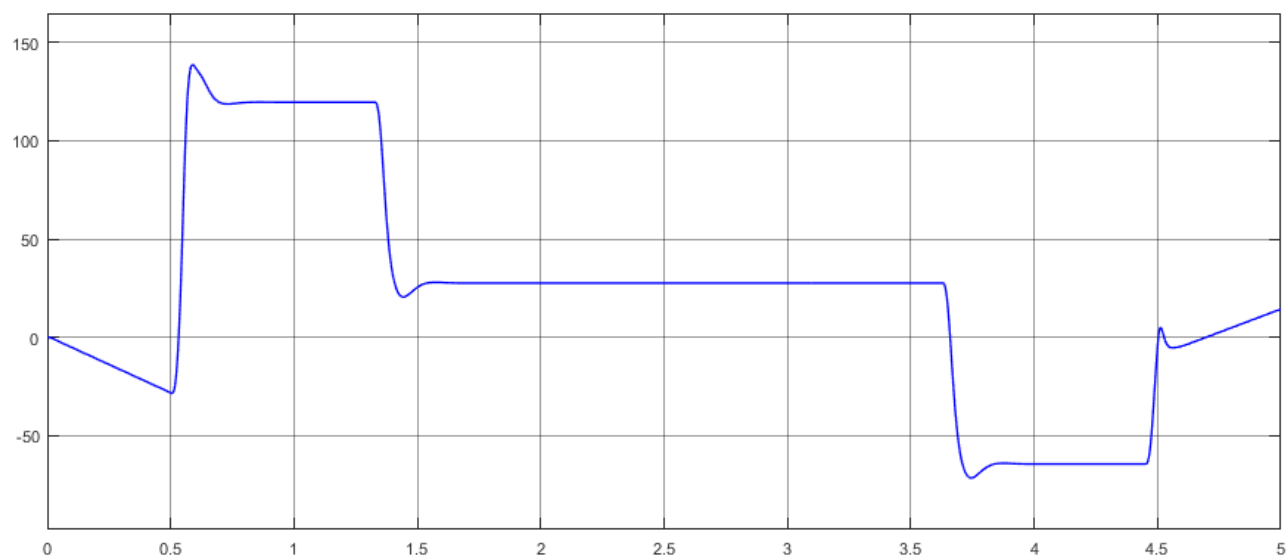


Рисунок. 5.16 Графіки перехідного процесу струму якорного ланцюга

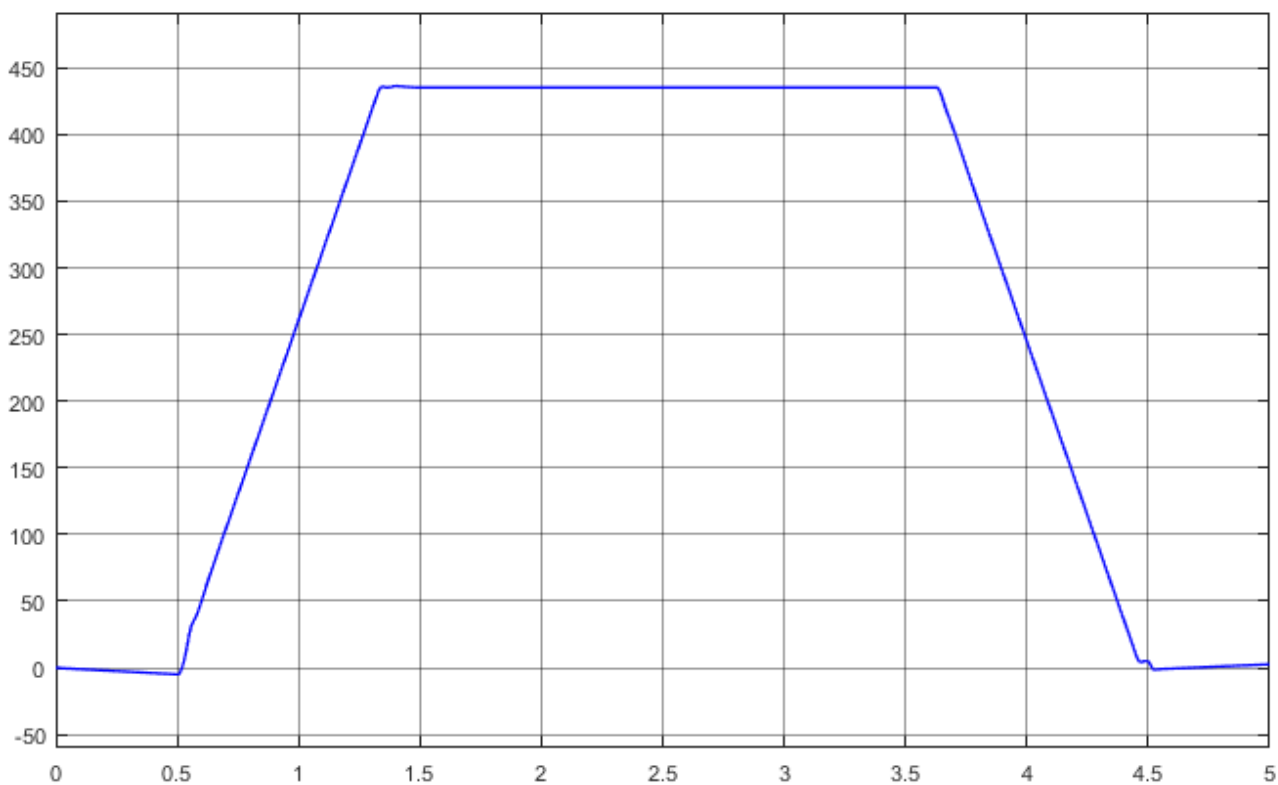


Рисунок. 5.17 Графіки переходного процесу ЕДС силового перетворювача

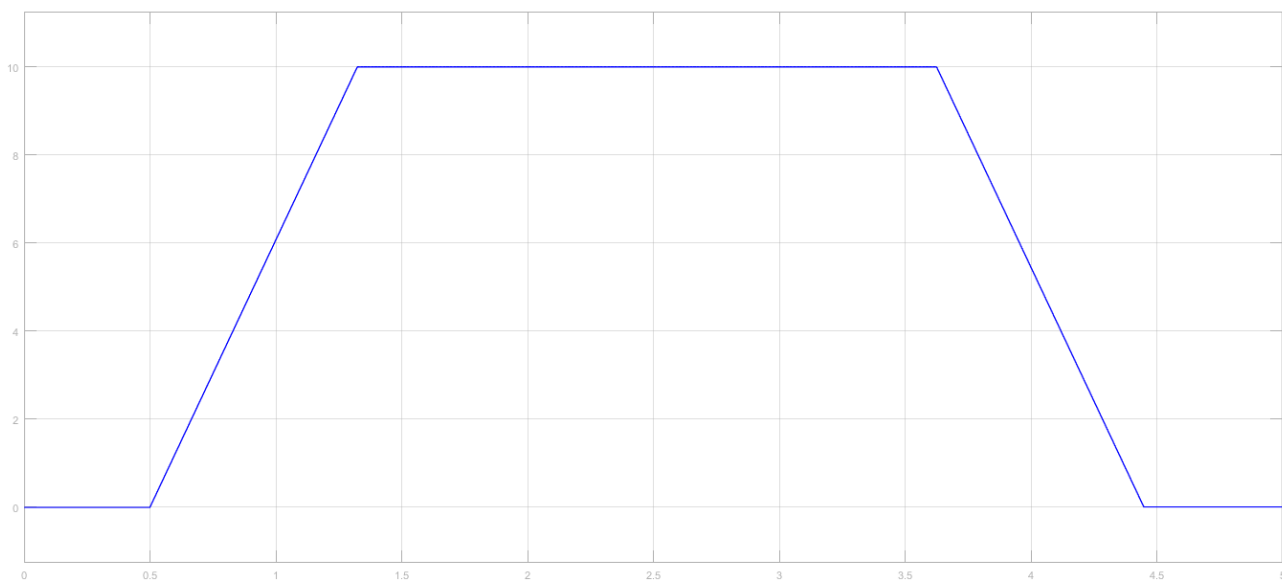


Рисунок 5.18 – Графіки переходного процесу напруги ЗШ

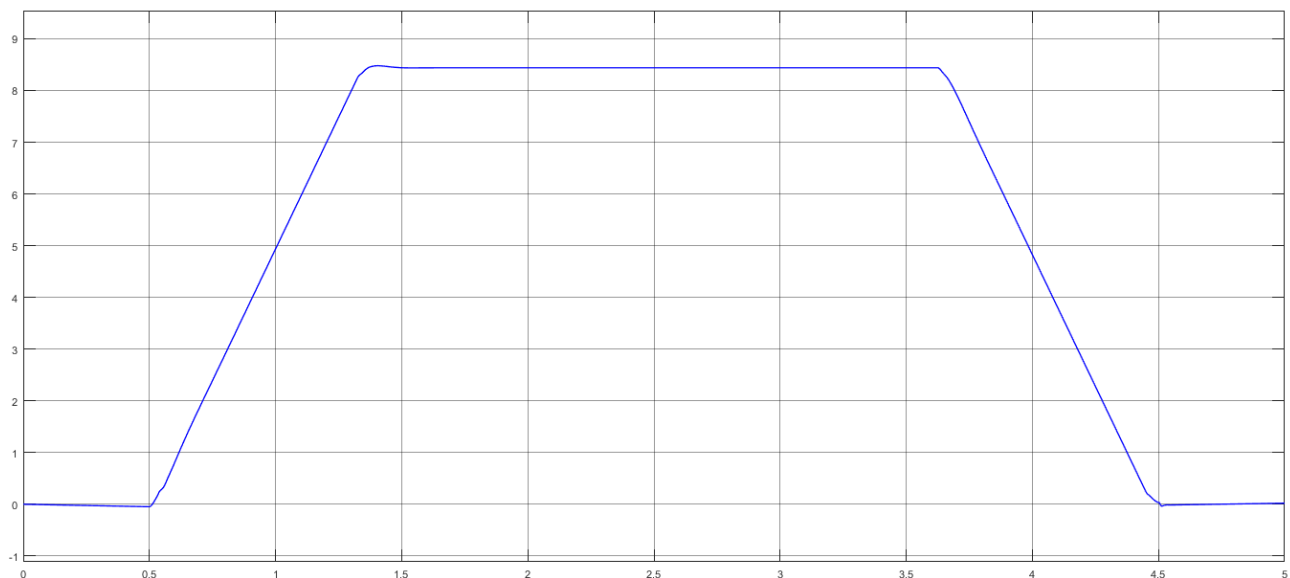


Рисунок. 5.19-Графік перехідного процесу напруги ПІ- регулятора струму

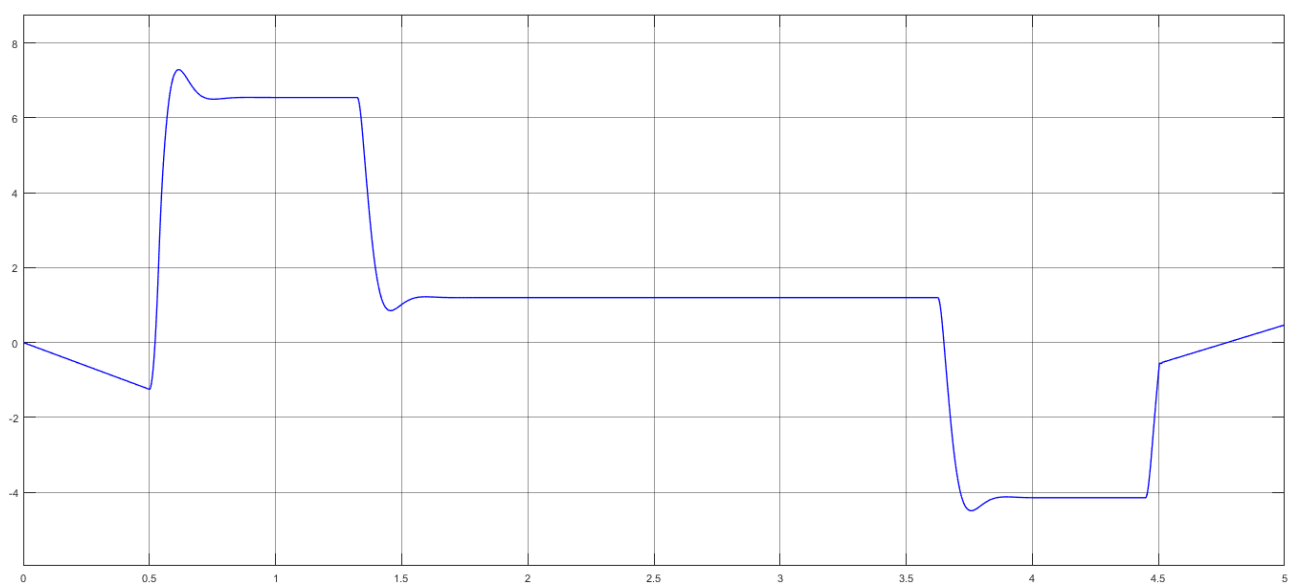


Рисунок. 5.20-Графік перехідного процесу напруги ПІ- регулятора швидкості

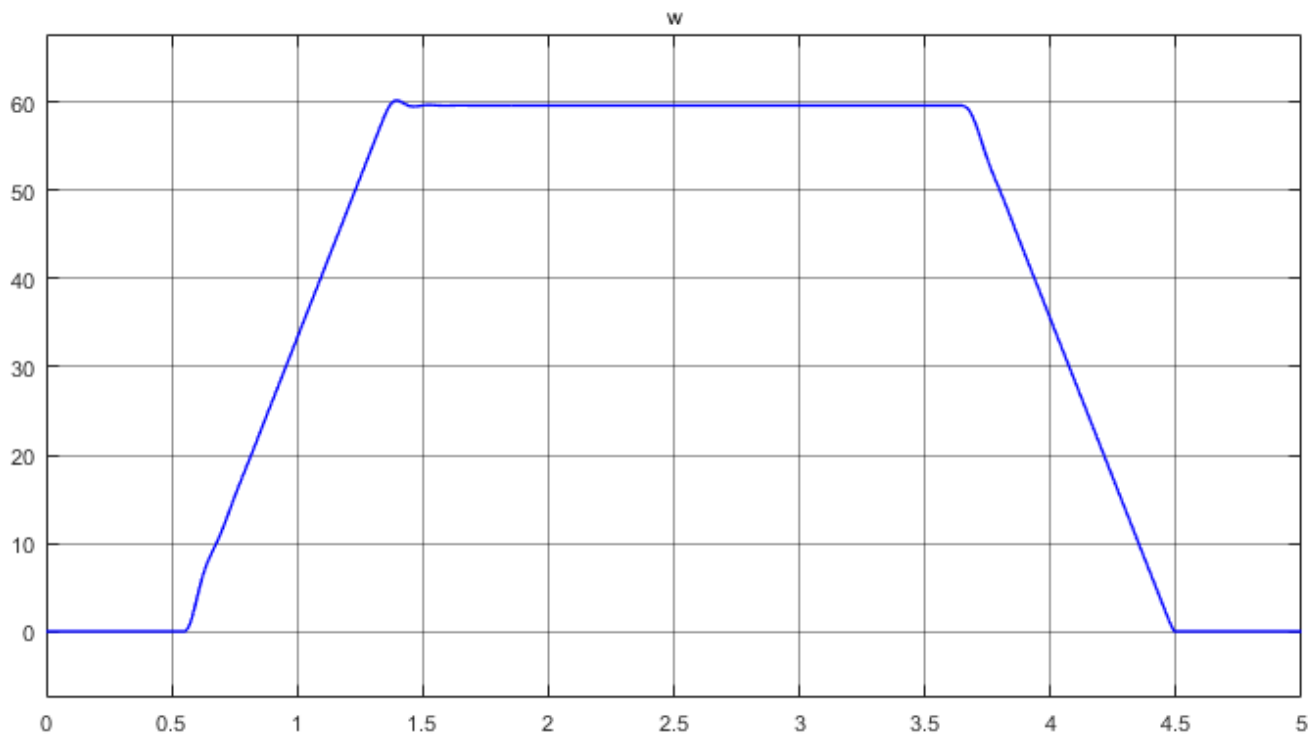


Рисунок 5.21 -Графік переходного процесу швидкості при збільшенні опору R_e на 50%

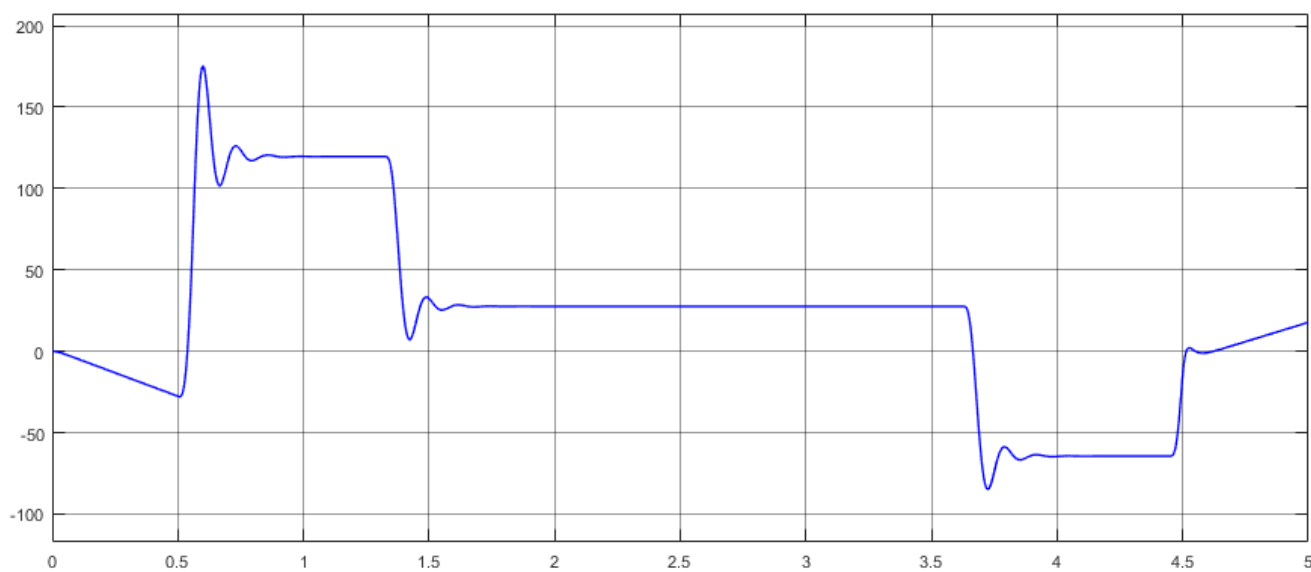


Рисунок 5.22 -Графік переходного процесу струму при збільшенні опору R_e на 50%

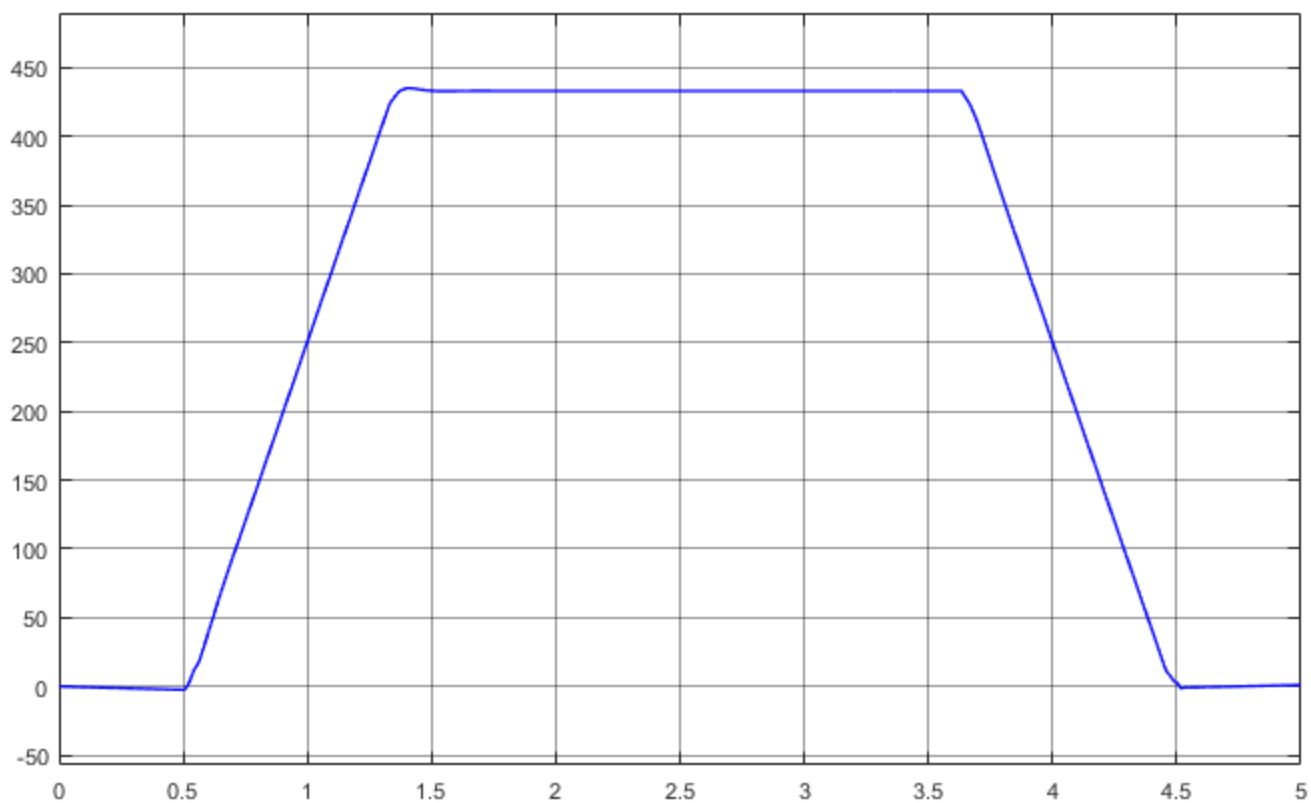


Рисунок 5.23 -Графік перехідного процесу швидкості при зменшенні опору R_e на 50%

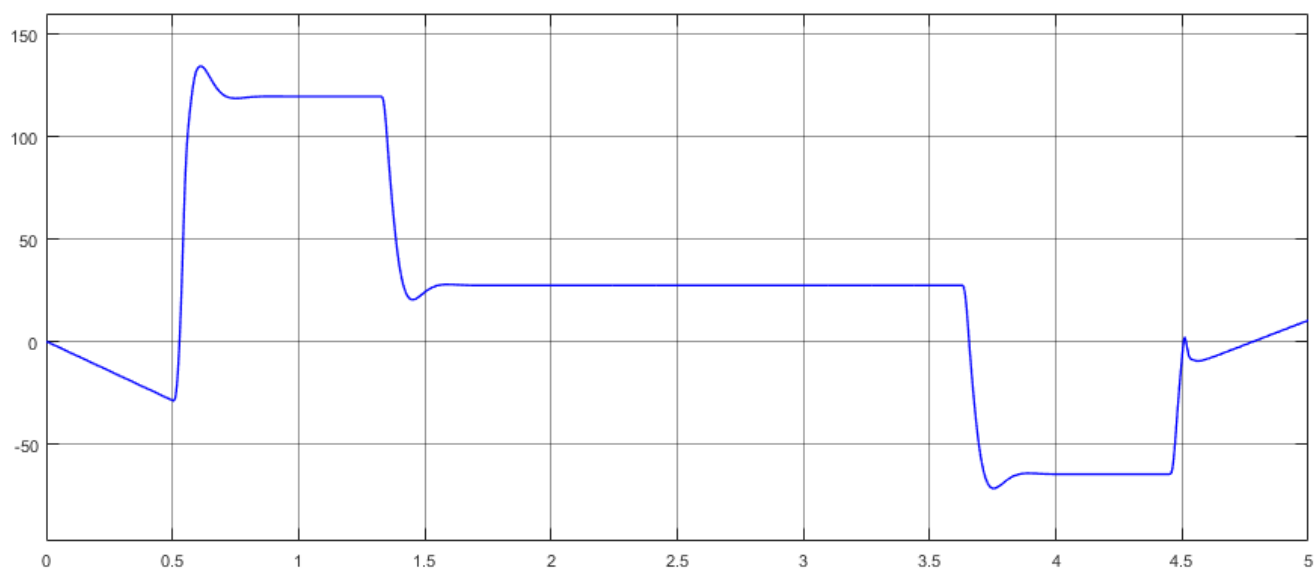


Рисунок 5.24 -Графік перехідного процесу струму при зменшенні опору R_e на 50%

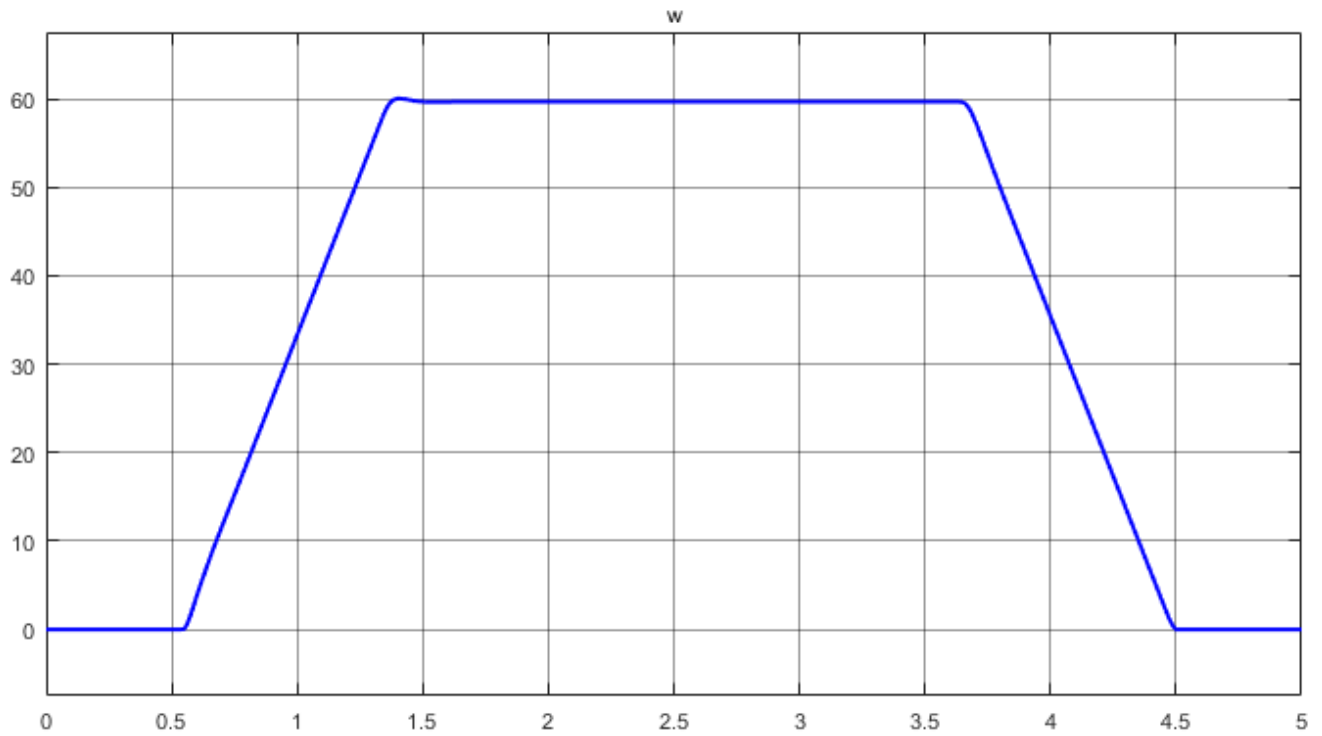


Рисунок 5.25 -Графік перехідного процесу швидкості при збільшенні індуктивності L_e на 50%

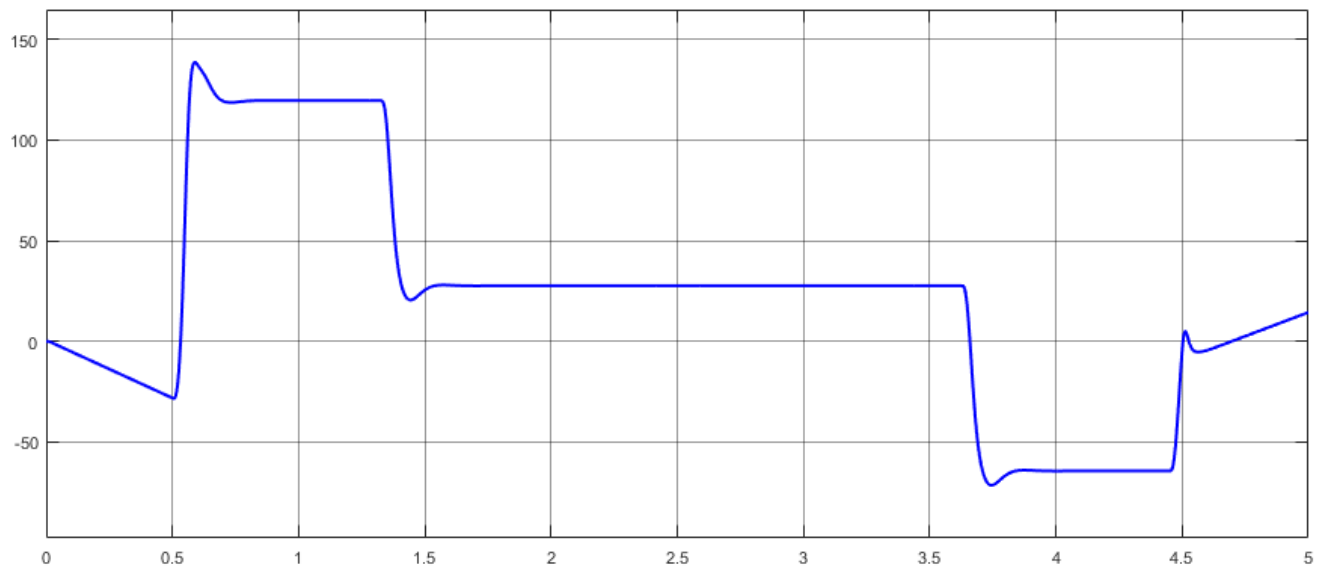


Рисунок 5.26 -Графік перехідного процесу струму при збільшенні індуктивності L_e на 50%

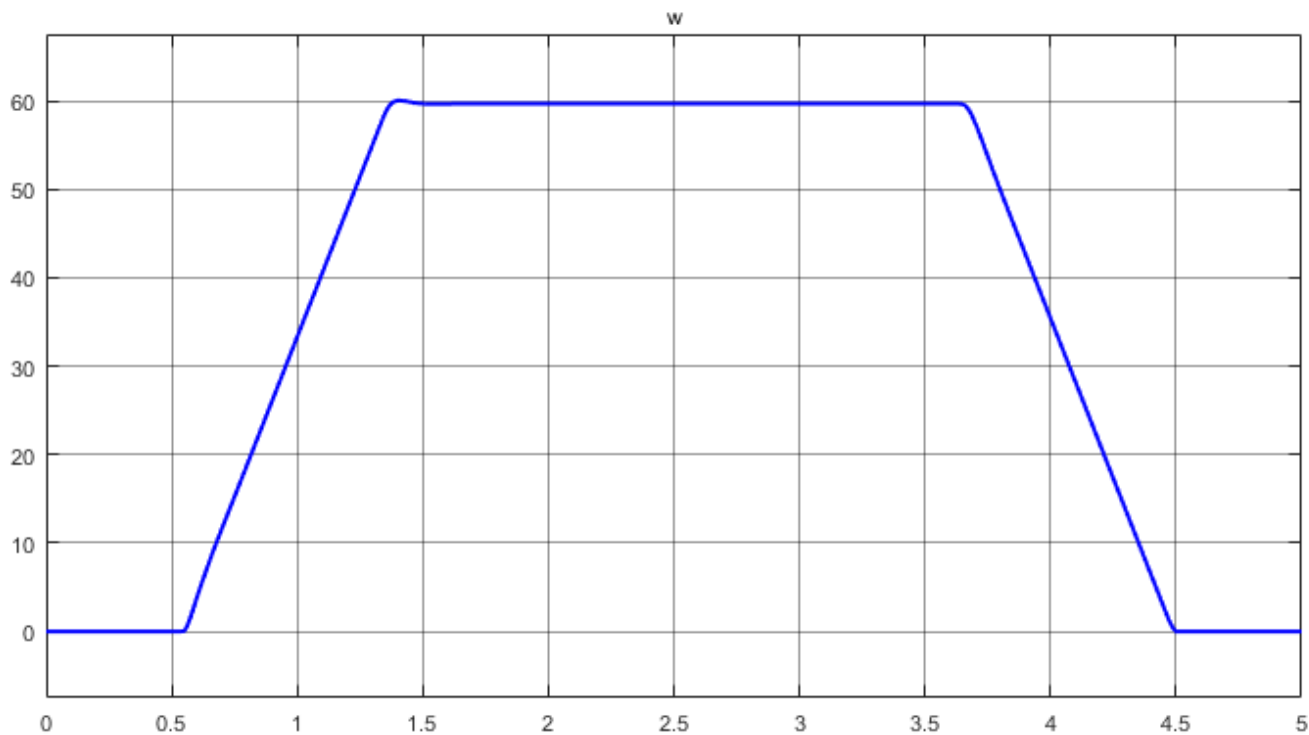


Рисунок 5.27 -Графік перехідного процесу швидкості
при зменшенні індуктивності L_e на 50%

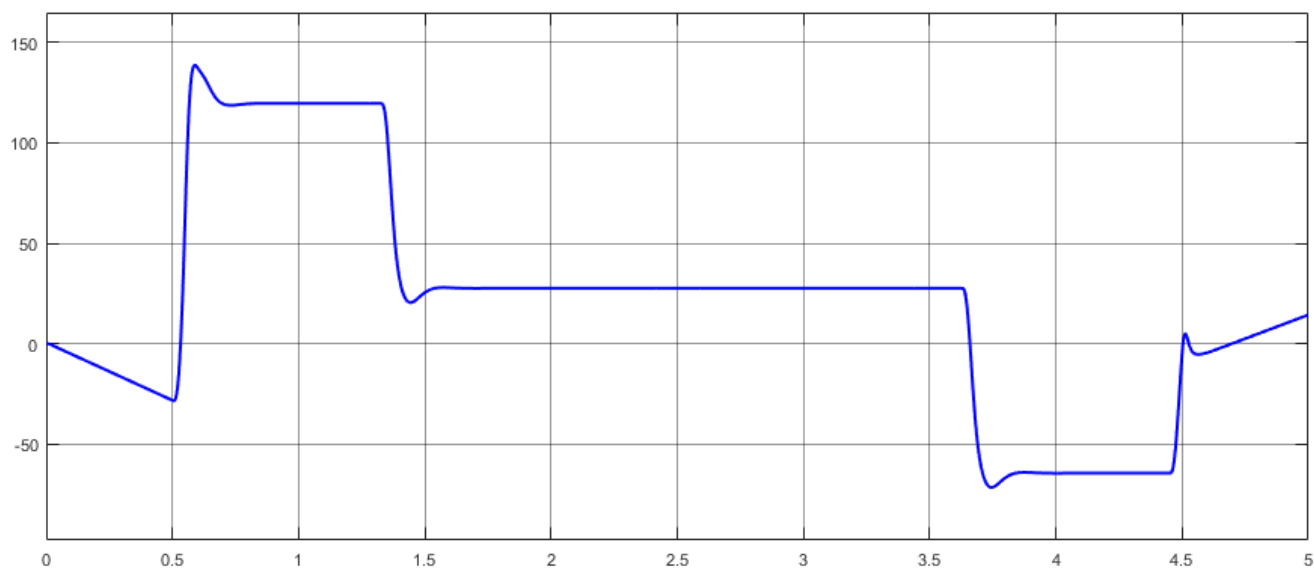


Рисунок 5.28 -Графік перехідного процесу струму
при зменшенні індуктивності L_e на 50%

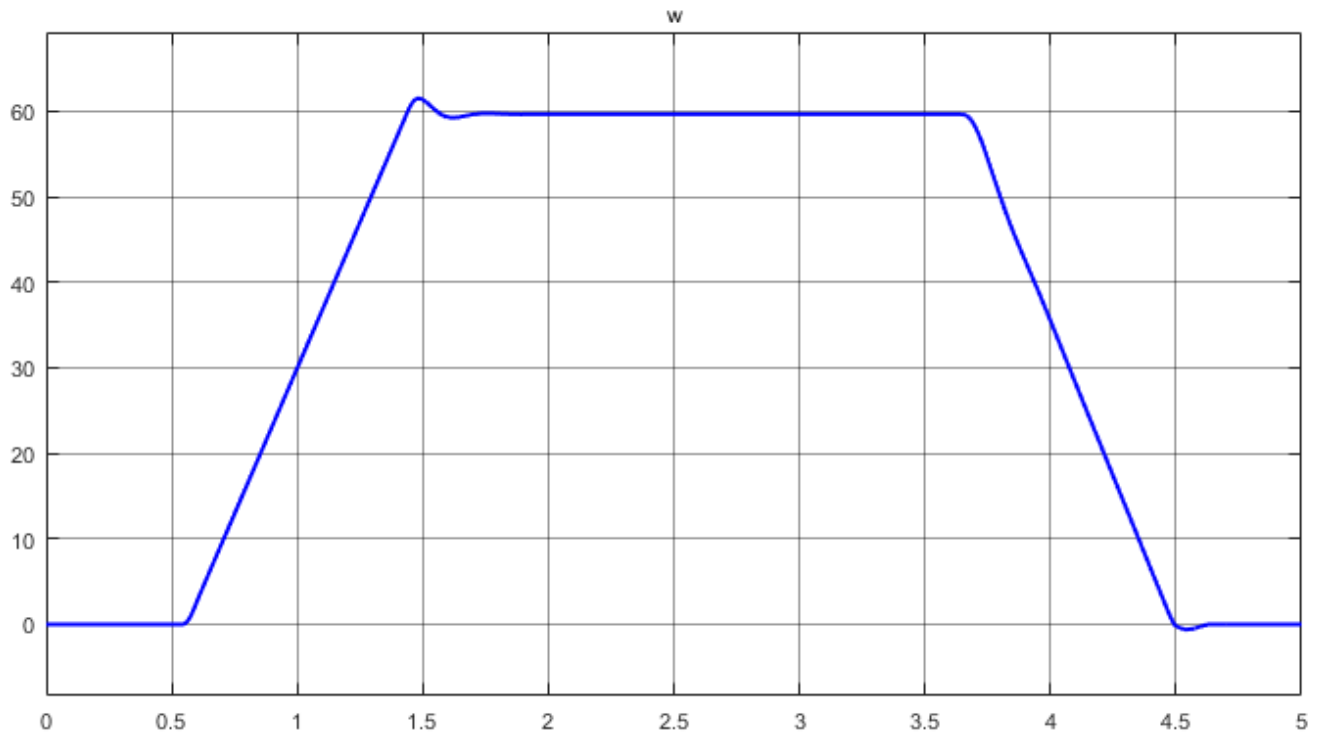


Рисунок 5.29 -Графік переходного процесу швидкості
при збільшенні моменту інерції J_{Σ} на 50%

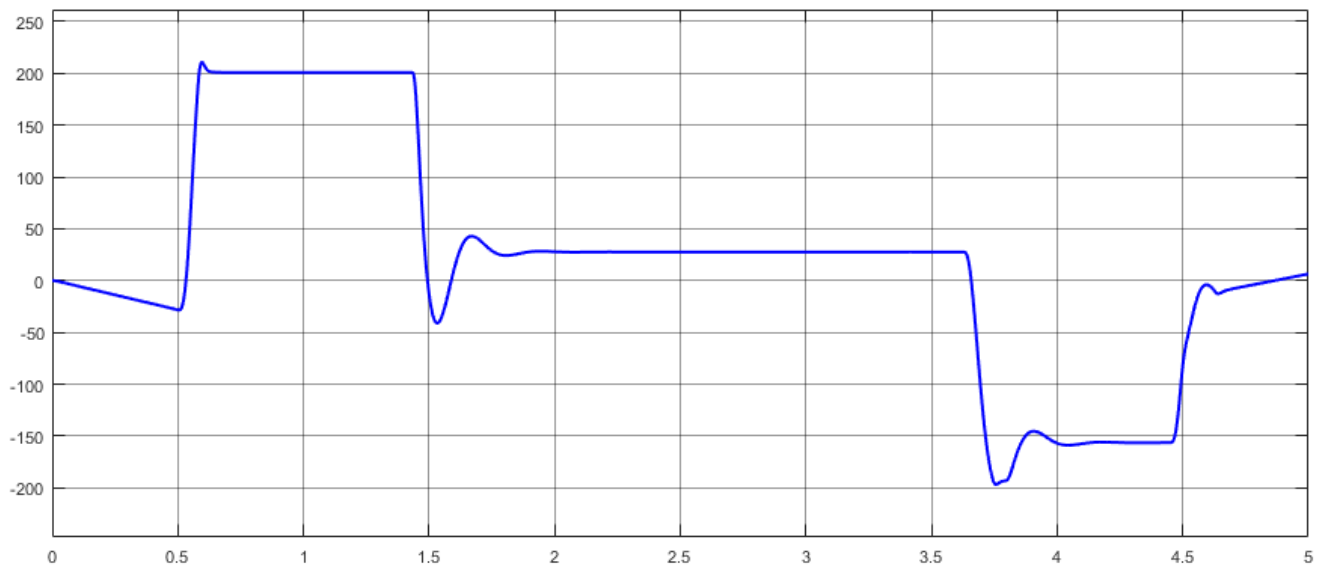


Рисунок 5.30 -Графік переходного процесу струму
при збільшенні моменту інерції J_{Σ} на 50%

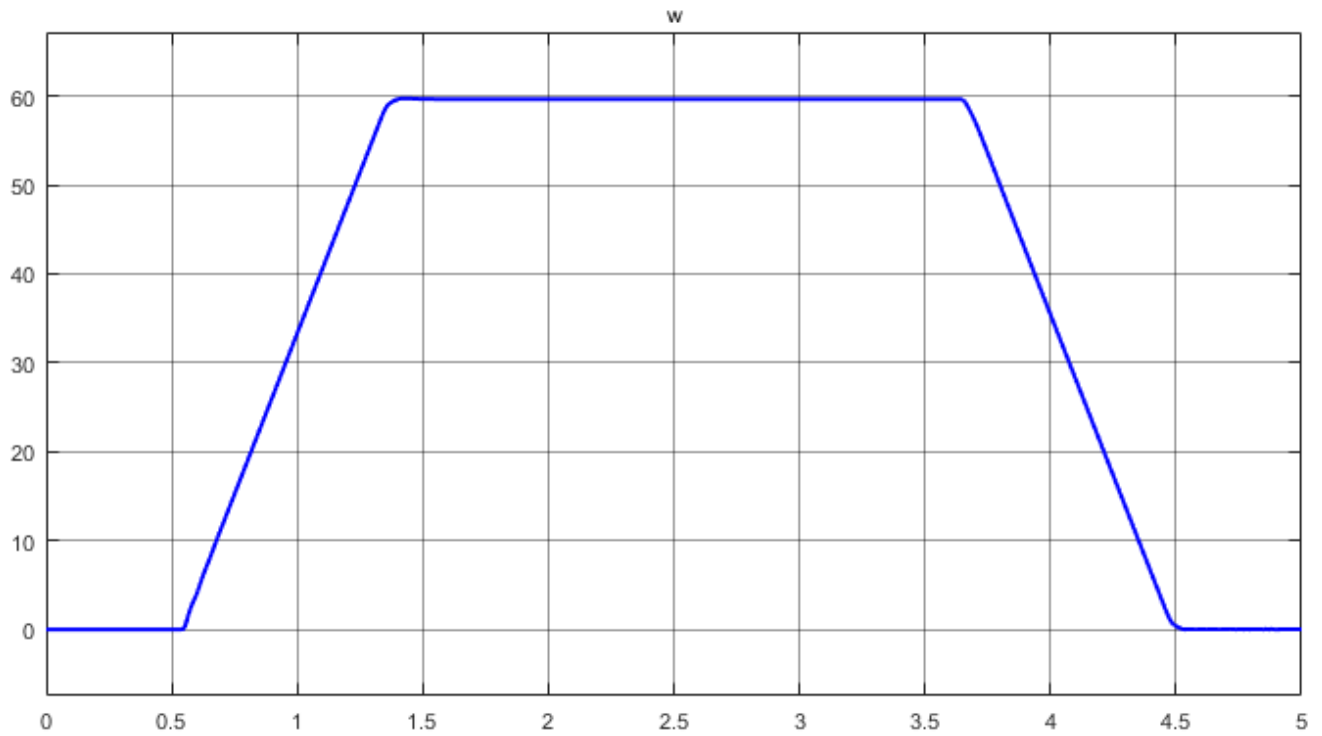


Рисунок 5.31 -Графік переходного процесу швидкості
при зменшенні моменту інерції J_{Σ} на 50%

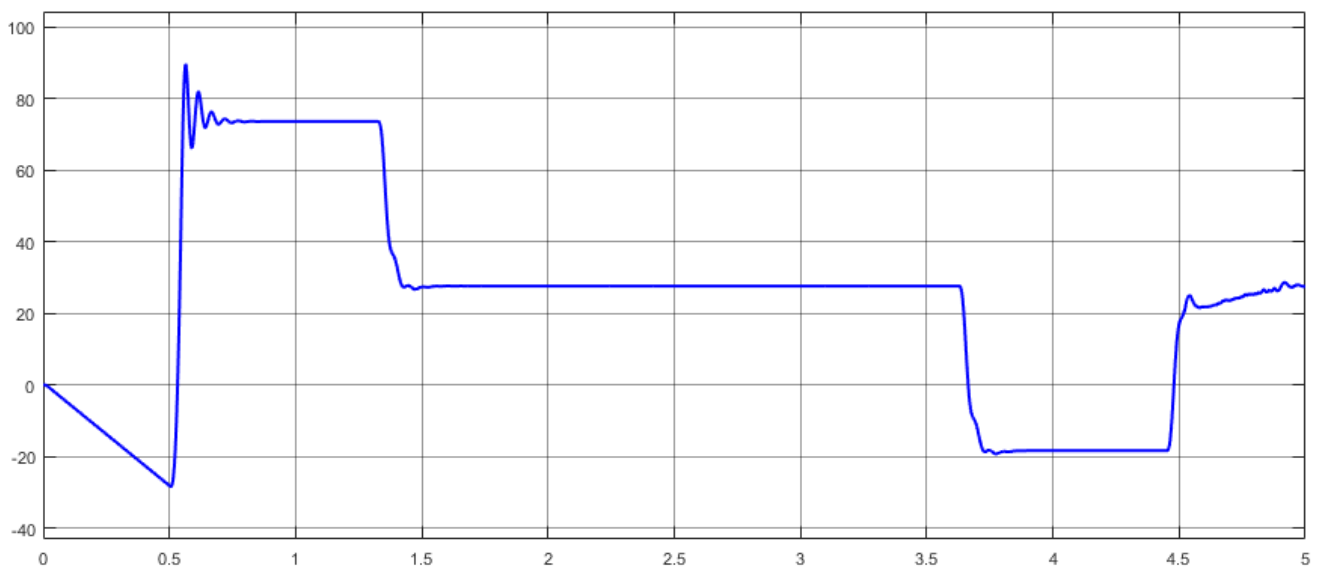


Рисунок 5.32 -Графік переходного процесу струму
при зменшенні моменту інерції J_{Σ} на 50%

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основні завдання охорони праці – вивчення небезпечних виробничих факторів, можливості їх проявів, розробка організаційних заходів та технічних засобів на виробництві, що виключають причини нещасних випадків, створення умов для безпечної праці.

6.1 Вимоги до персоналу

До робіт з експлуатації та ремонту електрообладнання допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання і відповідають вимогам, що пред'являються до персоналу, обслуговуючому електроустановки, згідно з Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів, що мають, відповідно, кваліфікацію з техніки безпеки при обслуговуванні електроустановок.

До персоналу, обслуговуючому електроустановки грейферного крану відносяться: електрики, електрослюсарі, електромеханіки та інші особи, що проводять ремонт, наладку і випробування електрообладнання, допоміжних пристроїв і електропроводки, а також особи, відповідальні за справний їх стан. Зазначеним особам надається відповідна знанням і навичкам кваліфікаційна група з техніки електробезпеки, не нижче III.

6.2 Вимоги техніки безпеки до електрообладнання крану

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електричного магнітного поля і статичної електрики. У зв'язку з цим все електрообладнання (включаючи провідникові вироби та матеріали) за своєю конструкцією, виду виконання, способу встановлення і класу ізоляції, повинні відповідати призначенню, номінальній напрузі електроустановки і чинникам навколишнього середовища.

У зв'язку з цим існують певні вимоги:

– електрообладнання, яке встановлюється в місцях, схильних до впливу атмосферних опадів, а також у місцях перебування людей, повинні бути закритого виконання;

– у комутаційної апаратури повинні бути чіткі написи, що вказують призначення вмикаємого ланцюга. Перемикачі вимірювальних приладів повинні мати індекси, які визначають вмикаємий струмоприймач;

– апарати на щитках слід розташовувати так, щоб забезпечувався доступ до обслуговуваного обладнання;

– вимикачі, призначені для включення і відключення струму навантаження, повинні бути захищені негорючими кожухами без отворів і щілин або мати дистанційне керування; забороняється установка відкритих плавких вставок в запобіжники, які знаходяться під напругою.

Для того, щоб забезпечити безпеку людини від ураження струмом, металеві частини електропристроїв, які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції проводів і інших несправностей, повинні бути надійно заземлені.

6.3. Заходи з охорони праці

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. До виконання робіт електрика по ремонту і обслуговуванню електроустаткування вантажопідійомних машин допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, навчені за відповідною програмою і атестовані кваліфікаційною комісією, а також що отримали інструктаж по безпечних методах роботи безпосередньо на робочому місці з оформленням в Журналі реєстрації інструктажа.

1.2. Електрик, допущений до ремонту і обслуговування вантажопідійомних машин, повинен мати групу по електробезпеці не нижче III.

1.3. Атестованому електрику видається посвідчення на право ремонту і обслуговування електроустаткування вантажопідійомних машин за підписом голови комісії, що скріпляє гербовою печаттю.

1.4. Допуск до роботи електромонтера по ремонту і обслуговуванню вантажопідйомних машин оформляється наказом по підприємству (цеху, ділянці) після видачі на руки посвідчення і інструкції по охороні праці.

1.5. Повторна перевірка знань електромонтера, що проводить ремонт і обслуговування вантажопідйомних машин, проводиться:

періодично, не рідше за один раз на 12 місяців;

при переході з одного підприємства на інше;

на вимогу особи, відповідальної по нагляду за вантажопідйомними машинами на підприємстві, або інспектора Держміськтехнагляду. Перевірка знань проводиться в об'ємі інструкції по охороні праці, відповідних розділів "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" і "Правил пристрою і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів".

1.6. Електромонтер, допущений до самостійної роботи по ремонту і обслуговуванню електроустаткування вантажопідйомних машин, повинен знати:

інструкцію по охороні праці для електромонтерів при обслуговуванні загальновиробничого електроустаткування напругою до 1000 В;

основні положення загальної електротехніки;

призначення, пристрій і принцип дії вузлів, механізмів і електроустаткування вантажопідйомних машин;

електричні схеми, закріплені для обслуговування вантажопідйомних машин;

відповідні розділи "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" і "Правил пристрою і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів";

основні причини пошкоджень і аварій на електроустаткуванні вантажопідйомних машин, уміти знаходити і усувати їх.

1.7. Електромонтер зобов'язаний дотримувати правила внутрішнього трудового розпорядку підприємства.

Палити у виробничих і допоміжних приміщеннях і на території підприємства вирішується тільки в спеціально відведених для цієї мети місцях.

1.8. При проведенні робіт на електромонтера можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

шум і вібрація від працюючих механізмів;
електричний струм;
виробничий мікроклімат.

1.9. Електромонтер повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту:

комбінезоном бавовняним;
рукавичками діелектричними;
галошами діелектричними.

1.10. Електромонтер, допущений до самостійної роботи по ремонту і обслуговуванню електроустаткування вантажопідйомних машин, винен:

оглядати і ремонт електроустаткування вантажопідйомних машин;
проводити підготовку електроустаткування вантажопідйомних машин до технічного огляду.

1.11. Електромонтер по ремонту і обслуговуванню вантажопідйомних машин повинен знати і дотримувати правила особистої гігієни.

1.12. Електромонтер по ремонту і обслуговуванню вантажопідйомних машин повинен уміти надати пострадавшему першу (долікарську) допомогу при нещасному випадку.

1.13. У разі виникнення в процесі роботи яких-небудь питань, пов'язаних з її безпечним виконанням, необхідно звернутися до особи, відповідальної за безпечне виробництво робіт.

1.14. Навчений і атестований електромонтер по ремонту і обслуговуванню електроустаткування вантажопідйомних машин несе повну відповідальність за порушення вимог справжньої Інструкції згідно чинному законодавству.

2 Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Перш ніж приступити до роботи, електромонтер повинен ознайомитися із записами в оперативному журналі, прийняти від електромонтера, що здав зміну, затверджену енергетиком технічну документацію, захисні засоби

по техніці безпеки, зробити запис про ухвалення зміни в оперативному журналі і розписатися.

2.2. Переконатися в достатньому освітленні робочого місця.

2.3. Привести в порядок робоче місце, прибрати всі предмети, які можуть перешкодити безпечній роботі.

2.4. Надіти спецодяг, що вважається, підготувати справні і випробувані індивідуальні засоби захисту (діелектричні рукавички, галоші).

2.5. Про всі відмічені недоліки на робочому місці повідомити майстра або керівника робіт і до їх вказівок до роботи не приступати.

3 Вимоги безпеки перед початком роботи

При технічному обслуговуванні між ремонтами

3.1. Роботи, що проводяться по усуненню несправностей електроустаткування вантажопідйомних машин по заявках машиністів і не електротехнічного персоналу, і огляди відносно безпеки їх виконання підрозділяються:

на роботи, що виконуються в порядку поточної експлуатації, із записом в оперативному журналі;

роботи, що виконуються по розпорядженню осіб адміністративно-технічного персоналу, що мають групу по електробезпеці не нижче IV, із записом в оперативному журналі.

В порядку поточної експлуатації - черговому електромонтерові по обслуговуванню електроустаткування вантажопідйомних машин дозволяється у присутності машиніста (кранівника), що має групу по електробезпеці II, провести наступні роботи:

огляд електроустаткування;

заміну ламп, що перегоріли, і плавких вставок;

ремонт і заміну електроапаратів, розташованих в кабіні машиніста (кранівника);

перевірку справності роботи приладів і пристроїв безпеки, освітлення, сигналізації і блокування, за винятком приладів сигналізації про наявність напруги на головних троллеях.

3.2. Електромонтер, отримавши заявку від машиніста (кранівника), повинен зробити запис в оперативному журналі, вказавши дату і час надходження заявки, прізвище і посаду того, що дав заявку, зміст заявки і час почала роботи.

Після усунення виявлених несправностей в тому ж журналі необхідно зробити запис про зміст виконаних робіт і часу їх закінчення.

Одночасно робиться запис про усунення несправностей у вахтовому журналі машиніста (кранівника).

3.3. При виявленні несправностей, що не відносяться до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації, черговий електромонтер повинен доповісти старшому по зміні про виявлені недоліки.

3.4. Роботи, що виконуються по розпорядженню, із записом в оперативному журналі:

- заміна згорілих електродвигунів;
- заміна електромагнітних катушок і гальм;
- регулювання кінцевих вимикачів;
- проведення періодичних оглядів.

3.5. Виконання робіт по розпорядженню повинне проводитися двома особами, що мають групу по електробезпеці не нижче III, з повним зняттям напруги, з виконанням необхідних організаційних і технічних заходів згідно вимогам "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" із записом в оперативному журналі.

3.6. Особа, що віддає розпорядження, повинна визначити склад бригади, виробника робіт і організувати допуск бригади до роботи.

3.7. При всіх видах ремонту і оглядах електроустаткування крана, що знаходиться між двома працюючими кранами, повинен оформлятися наряд-допуск з оформленням записів у вахтових журналах всіх кранів даного прольоту.

3.8. Періодичний огляд електроустаткування вантажопідійомних машин має мету виявити і усунути можливі несправності в електроустаткуванні,

приладах і пристроях безпеки, в силових ланцюгах, ланцюгах управління, сигналізації, перевірити справність захисних засобів по техніці безпеки і засобів пожежогасінні і підтвердити в журналі періодичних оглядів, що електроустаткування вантажопідійомних машин знаходиться в справному стані.

3.9. При проведенні огляду електроустаткування кранів регулювання і включення механізмів повинні проводитися по сигналу особи, що здійснює огляд.

3.10. При пересуванні моста крана особи, огляд, що проводять, і усунення несправностей електроустаткування крана, повинні знаходитися в кабіні або на настилі моста, при цьому слід остерігатися зачіпання за виступаючі частини перекриття, колони, арматуру.

3.11. При виході на настил галереї крана рубильник в кабіні машиніста повинен бути відключений і на його приводі вивішений плакат: "Не включати! Працюють люди". Знімати плакат - тільки по розпорядженню оперативного персоналу.

3.12. При проведенні огляду і усуненні несправностей електроустаткування крана необхідно дотримувати всі запобіжні засоби, застосовувати необхідні справні і випробувані захисні засоби.

3.13. Після закінчення ремонту і огляду всі зняті огорожі на електроустаткуванні і на електроапаратах повинні бути поставлені на місце і укріплені.

3.14. Результати огляду по кожному крану окремо повинні бути записані в журнал періодичних оглядів з вказівкою дати, часу огляду, короткого змісту виявлених і усунених недоліків і повинен бути підпис особи, що проводить ремонт.

3.15. При усуненні несправностей, регулюванні і оглядах електроустаткування крана забороняється:

входити на кран і сходити з нього під час його руху;

виходити на шляхи кранів, ходити по шляхах кранів, перелазити з одного крана на іншій;

проводити регулювання гальма механізму при піднятому вантажі, а також встановлювати пристосування для розгальмовування гальма уручну;

залишати на настилі галереї або на візку інструмент, а також незакріплене устаткування і деталі;

скидати інструмент, матеріали і запасні частини з крана.

3.16. Для переносного електроінструменту і переносних ламп застосовувати безпечну напругу не вище 36 В.

3.17. При виконанні всіх робіт електрик повинен вилучити у кранівника ключ-марку в порядку, встановленому на підприємстві по застосуванню ключ-марочної системи.

При плановому ремонті

3.18. Виведення крана в ремонт повинне проводитися особою, відповідальною за вміст вантажопідйомних машин в справному стані, відповідно до графіка планового ремонту з оформленням наряду для роботи в електроустановках.

Наряд видається особами електротехнічного персоналу ділянки, уповноваженими розпорядженням головного енергетика підприємства.

У рядках наряду "Окремі вказівки" фіксуються додаткові заходи безпеки, пов'язані з роботою на висоті, по попередженню наїзду працюючих кранів на ремонтований, виходу ремонтного персоналу на шляхи кранів, що діють, і тому подібне. Оформлений наряд за день до початку ремонту передається особі, відповідальній за вміст вантажопідйомних машин в справному стані, який підписом вирішує роботу в рядках "Окремі вказівки" наряду і повертає його особі, що видала наряд.

Особа, відповідальна за вміст вантажопідйомних машин в справному стані, до початку ремонту зобов'язано зробити у вахтовому журналі машиніста (кранівника) ремонтovanого крана запис наступного змісту: "Дозволяю виробникові робіт тов. _____ призвести ремонт електроустаткування крана № ___ по _____ виду ремонту з ___ ч ___ мін ___ числа ___ місяця _____ роки ___ до ___ ч ___ мін ___ числа ___ місяця _____ роки" і підписатися.

3.19. У наряді для роботи в електропристроях повинні бути вказані склад бригади, виробник робіт, що допускає до роботи, особа, що видає наряд; необхідні технічні заходи, що забезпечують безпеку робіт при ремонті електроустаткування крана; дата і час початку робіт, допуск бригади і закінчення робіт.

3.20. Допуск бригади до ремонту електроустаткування крана проводиться обличчям оперативного персоналу на підставі наряду для роботи в електроустановках і дозволу особи, відповідальної за вміст вантажопідйомних машин в справному стані. Той, що допускає робить запис в оперативному журналі служби енергетика з оформленням відповідних граф в наряді і здійснює допуск бригади на кран.

3.21. Для забезпечення безпеки при проведенні ремонту електроустаткування крана необхідно поставити його на ремонтний майданчик, провести необхідні відключення, привід рубильника закрити на замок, вивісити попереджувальні плакати по техніці безпеки, встановити переносне заземлення і зробити огорожу під ремонтним майданчиком.

3.22. Ремонт електроустаткування крана може проводитися електриками, що мають посвідчення на право ремонту і обслуговування вантажопідйомних машин, не менше двох чоловік з групою по електробезпеці не нижче III.

3.23. Не допускати на кран сторонніх осіб. Забороняється вихід на шляхи кранів без оформлення спеціального дозволу.

3.24. Після закінчення ремонту і закриття наряду особа, відповідальна за вміст вантажопідйомних машин в справному стані, проводить перевірку готовності крана до роботи, робить запис у вахтовому журналі крана: "Вирішую роботу крана з ___ ч ___ мін ___ числа ___ місяця ___ роки" за своїм підписом.

4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.1. При нещасному випадку потерпілий або очевидець, що був при цьому, зобов'язаний негайно сповістити майстра або начальника ділянки, які повинні

організувати надання першої (долікарською) допомоги потерпілому і направити його до лікувальної установи. При важкому нещасному випадку негайно викликати "швидку допомогу" і сповістити адміністрацію.

4.2. Усунення недоліків електроустаткування вантажопідйомних машин повинне проводитися тільки при відключенні крана від живлячої мережі.

5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

5.1. Після закінчення зміни або роботи електромонтер винен:

привести в порядок робоче місце;

прибрати деталі, матеріали, електроапаратуру і інструмент;

привести в порядок електросхеми і іншу технічну документацію;

зробити запис в оперативному журналі про технічне перебування електроустаткування вантажопідйомних машин на закріпленій ділянці;

здати електромонтерові, що приймає зміну, затверджену енергетиком цеху (ділянки) технічну документацію, захисні засоби по техніці безпеки, зробити запис про здачу зміни в оперативному журналі і поставити підпис про здачу зміни.

6. Заходи з пожежобезпеки.

До заходів з пожежобезпеки належать наступні :

а) застосування засобів пожежної сигналізації;

б) застосування засобів пожежегасіння;

в) організаційні заходи.

Для пожежної сигналізації передбачений тепловий сповіщувач АТІМ – 1, у якому замикання контактів відбувається внаслідок теплової деформації біметалічної пластини. Він працює за температури 60 °С і має розрахункове обслуговування до 25 м². Крім того у кабіні крана встановлено кнопчний сповіщувач ручної дії, кнопка якого захищена склом, щоб уникнути випадкового натискання.

Засоби з пожежегасіння та їх кількість наведені в таблиці 7.1.

Вогнегасники перебувають в спеціально відведених для них місцях.

Як організаційні заходи передбачені також проведення на протипожежного інструктажу і призначення відповідальних осіб, що стежать за справним станом і постійною готовністю засобів пожежегасіння і сигналізації.

У холодний і перехідний періоди року кабіна опалюється електрообігрівачем, у теплий період провітрюється природною вентиляцією.

ВИСНОВКИ

В ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення і особливості роботи електроприводу підйому козлового крана ККД-15. Була розрахована потужність двигуна і проведена його перевірка по перевантажувальній здатності. В результаті розрахунку було обрано двигун краново-металургійної серії Д812.

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.

У дипломі так само розглянуті заходи з охорони праці та техніки безпеки в умовах центральної збагачувальної фабрики.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с, ил.
2. Справочник по кранам: В 2т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций. Под общ. ред. М. М. Гохберга. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1988. – 536с.
4. А.Б. Царницкий, А.П. Шабатов. Мостовые краны общего назначения. М., 1968.
5. Электрооборудование и системы управления подъемно-транспортными машинами: Учебное пособие / П.А. Сорокин, Д.М. Крапивин М.Н. Хальфин, А.В. Редькин, В.П. Папирняк. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. – 380 с.
6. Иванченко Ф.К. и др. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин.— Киев, издательское объединение «Вища школа», Головное издательство, 1978, 576 с.
7. Коцюбинский В. С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие. – Алчевск: ДГМИ, 2004, – 150 с.
8. Справочник по электрическим машинам. Под общей редакцией И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 465с.: ил.
9. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Евзеров И.Х., Горобец А.С. Под ред. Прельмутера В.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988
10. Капунцов Ю.Д., Ильяшенко Л.А., Елисеев В.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок. – М.: Высшая школа, 1979
11. Система автоматизованого електропривода виробничих установок: Навч. посібник / І. С. Шевченко. – К.: ІСДО, 1994 – 256 с.
12. Казак С.А., Дусье В.Е., Кузнецов Е.С. и др. Курсовое проектирование грузоподъемных машин: Учеб. пособие для студентов машиностр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 319с.
13. Т.Н. Краузе. Редукторы. Справочное пособие. 1965.
14. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. Изд. 4-е. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1972 .

15. Путевые машины и механизмы, отраслевой каталог. Часть 1. Москва 1982. – 87 с.

16. Ковалев А.П. Обеспечение экономичности разрабатываемых изделий машиностроения. – М.: Машиностроение, 1986.

17. НПАОП 0.00-1.03-02. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.

18.[<http://katod-anod.ru/rd/mlt>] Вибір резисторів МЛТ

19.[<http://pin-g.com.ua/handbook/kondensatory-k50-15-k50-16-k50-18/>] Вибір конденсаторів типу К-50

20.[<https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=10069>] Вибір стабілітрона vd тип кс

7 САМОНАЛАГОДЖУВАНІ ЕКСТРЕМАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

7.1 Уявлення про адаптивні системи

Під час проектування автоматичних систем розрахунок їх параметрів виконують за припущеннями, що статичні та динамічні характеристики об'єкта керування й усіх елементів системи відомі й не змінюються протягом експлуатації та при змінюванні зовнішніх умов. Однак характеристики об'єкта і деяких елементів системи бувають відомі лише приблизно, змінюються через фізичне старіння і, крім того, залежать від зовнішніх умов. Завдяки запасам стійкості система керування буде задовільно працювати й у тому разі, коли практичні характеристики об'єкта трохи відрізняються від розрахункових. Однак у деяких випадках діапазон змінювання статичних і динамічних характеристик настільки великий, що керування об'єктом за допомогою найпростішої системи з постійними параметрами виявляється або незадовільним, або зовсім неможливим (утрата стійкості). У таких випадках можна застосувати систему керування зі змінними властивостями.

Процес змінювання властивостей системи, що дозволяє їй досягнути найкращого або, у крайньому разі, задовільного функціонування за умов, що змінюються, називається *адаптацією*. Системи, що здійснюють процес адаптації, називаються *адаптивними*. Отже, адаптивна САК – це система, яка здатна у процесі виконання основної задачі керування за рахунок змінювання параметрів і структури регулятора поповнювати нестачу інформації про об'єкт керування і діючи на нього зовнішні збурення і тим самим поліпшувати якість свого функціонування.

Пристрій, що реалізує алгоритм адаптації, називається *адаптером*.

Особливість структури адаптивних системи полягає у тому, що вони

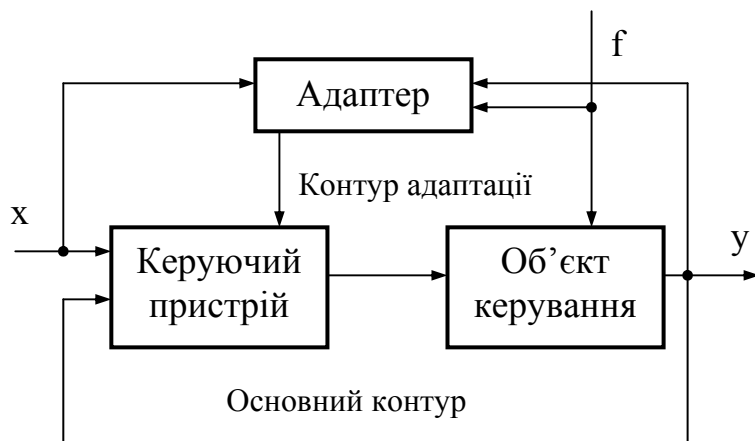


Рис. 7.1 – Функціональна схема адаптивної системи

мають додатковий контур – *контур адаптації* (рис. 1), призначений для перероблення інформації про умови роботи, що змінюються, і подальшого впливу на регулятор основного контуру керування. Адаптер у загальному випадку дістає

інформацію про вхідну дію x , збурення f , вихідну величину y і діє на керуючий пристрій основного контуру. Отже, для контуру адаптації об'єктом керування є вся основна САК.

Слід зазначити, що адаптивні системи давно існують у природі. Властивість адаптації чітко виявляється, наприклад, у тому, що живі організми здатні утримувати свої координати (наприклад, температуру) в припустимих фізіологічних межах при значних змінах умов, у яких існує організм.

Характерною ознакою адаптивних систем є відсутність повної апріорної (такої, що відома наперед) інформації про об'єкт керування, зовнішні збурення і граничні умови, тобто адаптивній системі притаманна невизначеність. Функціонування системи спрямоване на розкриття цієї невизначеності, тобто знаходження такого стану, при якому задовольняється певний критерій.

Розкриття невизначеності адаптивних систем забезпечується завдяки:

- надмірності (складності) системи, яка виявляється у багатоступеневості, багатоконтурності й т.д.;
- логічності її дії, подібно до логічного мислення людини;
- прогнозуванню стану системи і аналізу інформації, що накопичується, з метою самонавчання.

Оптимальне функціонування системи може розраховуватись на підставі аналізу інформації про її стан. Такі системи називаються *аналітичними*. Якщо оптимальний режим роботи визначається у результаті пошуку умов екстремуму критерію ефективності, то системи називаються *пошуковими*. У цьому випадку система ніби ставить серії експериментів і отримує з них дані, необхідні для поліпшення своєї якості.

Змінювання стану системи можна здійснювати за рахунок зміни керуючих впливів, параметрів настроювання і структури системи. Ці зміни називаються *контрольованими*.

Залежно від обсягу цих змін адаптивні системи розділяються на:

- *екстремальні*, в яких можна здійснювати змінювання лише керуючих впливів;
- *самоналагоджувані*, в яких, крім того, змінюються параметри системи;
- *самоорганізовані*, в яких, крім керуючих впливів і параметрів, змінюється ще й структура системи;
- *навчання*, в яких до того ж, може змінюватись алгоритм роботи, а у разі самонавчання – і критерій ефективності.

За способом здійснювання контрольованих змін адаптивні системи розділяються на:

- пасивні, в яких зміни здійснюються за наперед розробленою програмою, наприклад, оброблення початкової інформації (висота, швидкість, атмосферні умови та ін.) у системі керування автопілотом;
- активні, в яких контрольовані зміни наперед не визначені, а диктуються ситуацією, що склалася.

Зазначимо також, що адаптивні системи можуть працювати за замкнутим і розімкнутим циклами: у першому випадку виконується аналіз контрольованих змін, у другому – ні.

2 Самоналагоджувані системи керування

До класу самоналагоджуваних систем керування (СНС) належать системи, у яких, крім керуючих дій, змінюються також параметри системи.

Розглянемо постановку задачі створення СНС. Припустимо, що основний контур керування складається з об'єкта керування (ОК) і пристрою керування (ПК), який, у свою чергу, містить коректувальний пристрій (КП) (рис.2). Нехай об'єкт описується векторним диференціальним рівнянням:

$$\frac{d\bar{y}}{dt} = \bar{Y} \{ \bar{y}(t); \bar{u}_0(t); \bar{f}_0[\bar{b}_{f_0}(t); \bar{a}(t)] \}, \quad (1)$$

де \bar{y} - вектор вихідних координат об'єкта;

\bar{u}_0 - вектор керувань об'єкта;

\bar{f}_0 - вектор збурень об'єкта, що залежить від деякого вектора параметрів \bar{b}_{f_0} ;

\bar{a} - вектор параметрів об'єкта.

Пристрій керування також описується векторним диференціальним рівнянням:

$$\frac{d\bar{u}_0}{dt} = \bar{U}_0 \{ \bar{u}[\bar{b}_u(t), t]; \bar{f}[\bar{b}_f(t), t]; \bar{u}_0(t); \bar{b}(t) \}, \quad (2)$$

де \bar{u} - вектор керувань основного контуру, що залежить від деякого вектора параметрів \bar{b}_u ;

\bar{f} - вектор збурень пристрою керування, що залежить від деякого вектора параметрів \bar{b}_f ;

\bar{b} - вектор параметрів пристрою керування.

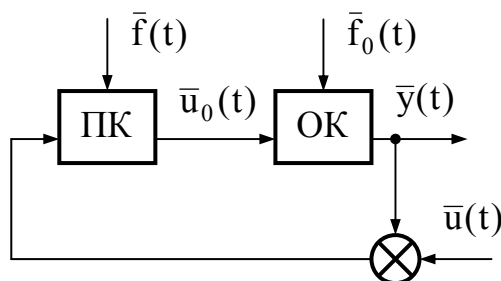


Рис. 7.2 – Основний контур керування СНС

Рівняння об'єкта у загальному випадку є нелінійним, параметри об'єкта $\bar{a}(t)$, а також параметри зовнішніх впливів $\bar{b}_{f_0}(t), \bar{b}_u(t), \bar{b}_f(t)$ є випадковими і змінними у часі. Крім того, ці параметри і керування об'єкта апріорі повністю невідомі. Задача синтезу СНС полягає у

визначенні структури пристрою керування і алгоритму змінювання його контрольованих параметрів $\bar{b}(t)$.

При цьому критерій ефективності I , що є функціоналом змінних параметрів системи, повинен набувати екстремальне значення. Як критерій ефективності, можуть слугувати: точність, швидкодія, величина середньоквадратичної помилки, стабільність динамічних характеристик, інваріантність системи до зовнішніх збурень тощо.

Аналітичні самоналагоджувані системи здійснюють контрольовані Реалізація мети керування $I = \text{extr } y$ СНС звичайно здійснюється за допомогою *пошукових* або *аналітичних* (безпошукових) алгоритмів. У першому випадку СНС здійснює змінювання параметрів коректувального пристрою на підставі аналізу реакції системи на пошукові дії. Пошукові системи з екстремальним самоналагоджуванням параметрів є одними з найдосконаліших, але через велику кількість параметрів, що змінюються, їх реалізація зустрічається зі значними труднощами. Практично пошукові СНС – це поєднання багатоканального екстремального регулятора, що розглянутий вище, і коректувального пристрою, що здійснює за рахунок змінювання параметрів системи компенсацію впливу зовнішніх і внутрішніх збурень на властивості системи.

змінювання параметрів $\bar{b}(t)$ коректувального пристрою за допомогою обчислювальних операцій, тобто визначають і розв'язують рівняння:

$$\frac{d\bar{b}}{dt} = \bar{V}\{\bar{u}_n[\bar{b}_u(t), t]; \bar{f}_n[\bar{b}_f(t), t]; \bar{f}_{0n}[\bar{b}_{f0}(t), t]; \bar{u}_0(t); \bar{b}(t), \bar{a}(t)\}, \quad (3)$$

де індексом “н” позначені спостережувані дії, що вимірюються системою вимірювальних пристроїв.

Знаходження рівняння пристрою керування без урахування зв'язку між параметрами ПК і зовнішніми та внутрішніми змінами системи складають так звану задачу *первинної оптимізації*. У результаті розв'язання цієї задачі визначається оптимальна або ідеальна модель системи, структура й ідеальні параметри КП.

Якщо ідеальні параметри системи залежать від невідомих параметрів зовнішніх і внутрішніх дій, то наближення до ідеальної моделі може бути реалізовано лише за допомогою принципу самоналагоджування.

Порівнюючи аналітичні й пошукові СНС, необхідно зазначити таке:

Аналітичні системи потребують значно більшої апіорної інформації для своєї успішної роботи і не потребують часу на пошук. Пошукові СНС не потребують такої інформації, але витрачають час на пошук, що робить їх малоприматними у разі порівняно швидкого змінювання параметрів системи.

Аналітичні самоналагоджувані системи

Функціональна схема аналітичної СНС наведена на рис.3. Вона складається з основного контуру і контуру самоналагоджування. *Основний контур* містить об'єкт керування, що складається з трьох динамічних елементів I, II, III, і коректувальний пристрій (КП). Припускається, що при відключеному контурі самоналагоджування основний контур може працювати як звичайна система автоматичного керування, в якій контрольовані змінювання параметрів не відбуваються. *Контур самоналагоджування* містить елементи основного контуру, динамічні характеристики яких зазнають непередбачених наперед змінювань, коректувальний пристрій (КП) і керуючий обчислювальний пристрій (КОП), що виробляє керуючу дію $u_c(t)$ у вигляді змінювання

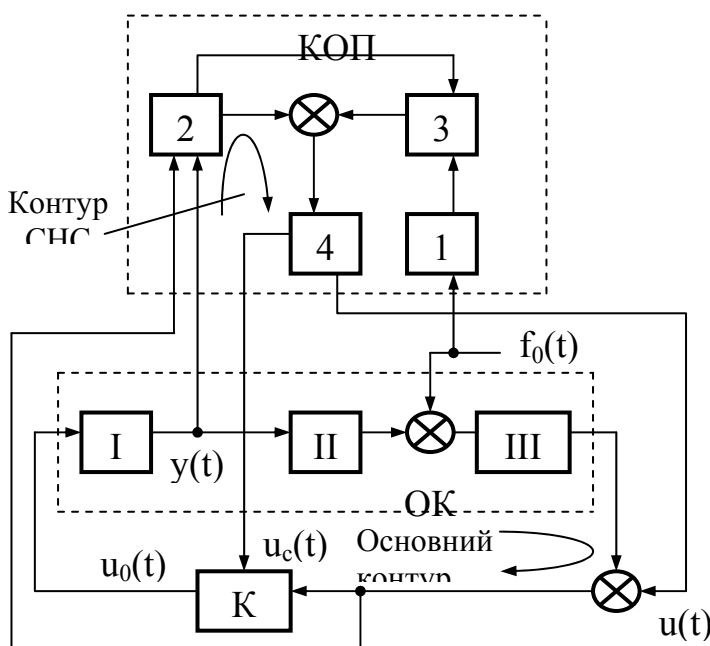


Рис. 7.3 - Функціональна схема аналітичної СНС

параметрів КП або введення додаткової дії до ланцюга основного контуру.

Керування $u_c(t)$ виробляється на підставі апіорної та поточної інформації про зовнішні й внутрішні умови роботи системи, критерію ефективності, що визначає мету керування, і критерію

самоналагоджування, що характеризує відхилення справжніх характеристик системи від заданих.

До складу КОП можуть входити такі функціональні елементи:

- аналізатор зовнішніх умов 1, що визначає характеристики зовнішніх дій $f_0(t)$;
- аналізатор внутрішніх умов 2, що визначає поточні динамічні характеристики системи;
- обчислювач оптимальних умов роботи системи 3, що розв'язує задачу первинної оптимізації;
- обчислювач 4, що виробляє керуючу дію у контурі самоналагоджування.

Робота КОП відбувається так. Обчислювач 3 на підставі вибраного критерію ефективності, заданих обмежень й інформації, що надходить на вхід від аналізаторів 1 і 2, визначає оптимальні характеристики системи і параметри, що вибрані для кількісного описання цих характеристик.

Оптимальні значення параметрів порівнюються з їх поточними справжніми значеннями, що визначаються аналізатором 2. При цьому отримуються сигнали розузгодження, які надходять до обчислювача 4. Останній виробляє керуючий сигнал $u_c(t)$, який через коректувальний пристрій намагається змінити динамічні характеристики основного контуру таким чином, щоб вони незначно відрізнялися від оптимальних характеристик. У даному випадку здійснюється так звана *вторинна оптимізація*. Якщо справжні характеристики не відрізняються від оптимальних, сигнали розузгодження дорівнюють нулю і контрольовані змінювання у системі не відбуваються.

Таким чином, у загальному випадку робота аналітичної самоналагоджуваної системи складається з повторюваних один за одним циклів, кожен з яких може підрозділятися на такі етапи:

- визначення початкових зовнішніх і внутрішніх умов роботи системи;

- визначення поточних оптимальних умов роботи системи з урахуванням обмежень (первинна оптимізація) і керування системою відповідно до цих оптимальних значень;

- визначення справжніх внутрішніх умов;

- порівняння оптимальних умов зі справжніми з точки зору прийнятого критерію самоналагоджування;

- налагоджування або корекція динамічних властивостей основного контуру (вторинна оптимізація).

У наведені СНС контур самоналагоджування виробляє керуючу дію $u_c(t)$ залежно від зовнішніх і внутрішніх умов роботи системи.

Деякі СНС використовують інформацію тільки про зовнішні дії. У цьому випадку визначення оптимальних динамічних характеристик здійснюється без урахування внутрішніх умов роботи системи, тобто зв'язок між аналізатором 2 і обчислювачем 3 відсутній. Однак і в цьому випадку система має замкнутий цикл налагоджування. Якщо аналізатор 2 відсутній зовсім, то налагоджування відбувається за розімкнутим циклом.

Існують також СНС, самоналагоджувані тільки за динамічними характеристиками. У цьому разі відсутнім є аналізатор 1. Динамічні властивості можуть визначатися або тільки для об'єкта керування, або для ланцюга, що містить, крім ОК, також послідовний коректувальний пристрій. У першому випадку система виконує самонастроювання за розімкнутим циклом, у другому – за замкнутим.

Розглянемо деякі функціональні схеми СНС.

Нехай дана система з розімкнутим циклом налагоджування, яка використовує інформацію про зовнішні дії (рис.4, а), тобто залежно від поточних значень цих дій керуючий обчислювальний пристрій (КОП) здійснює цілеспрямоване змінювання параметрів коректувального пристрою (КП) для забезпечення виконання задачі керування.

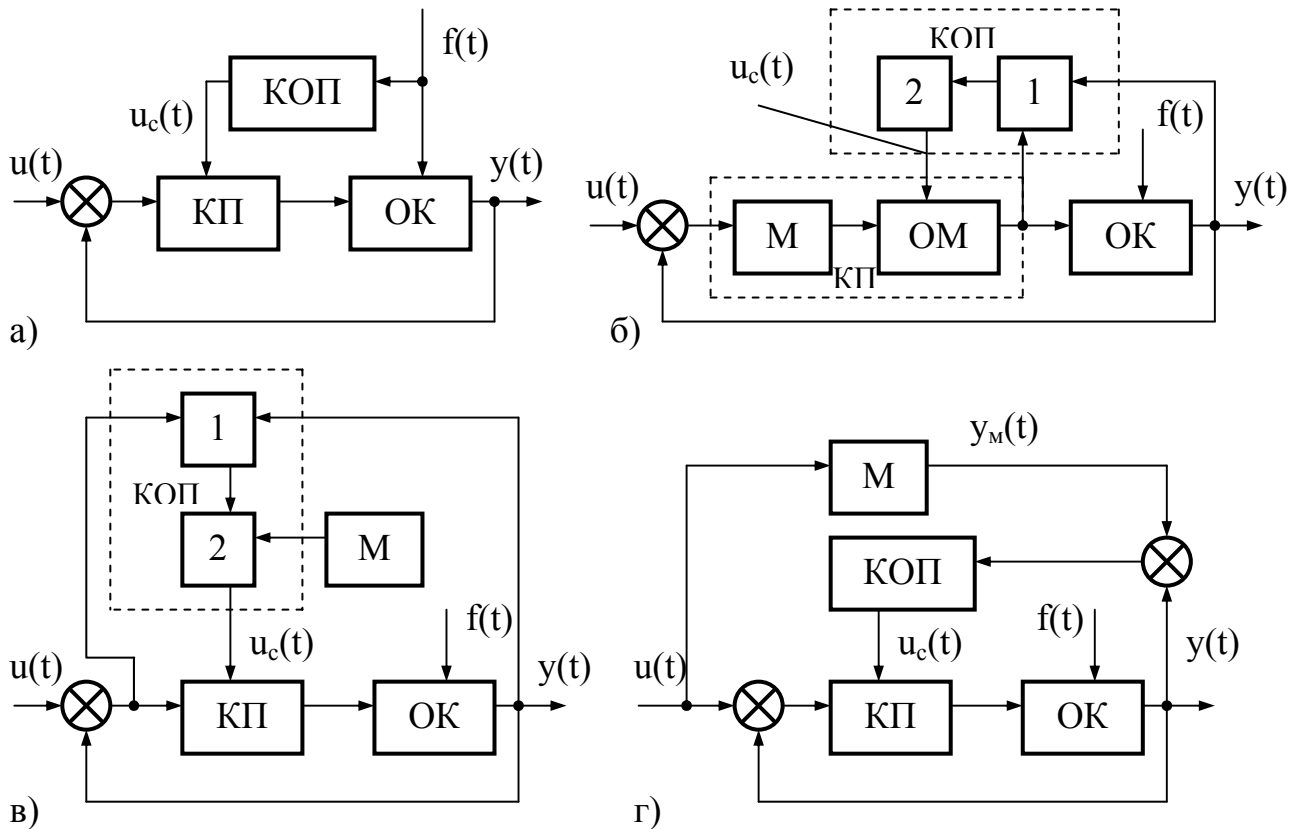


Рис. 7.4 – Функціональні схеми СНС

У процесі роботи під впливом зовнішніх дій властивості об'єкта змінюються, у зв'язку з чим передавальна функція об'єкта $W_o(s)$ буде відрізнятися від початкової $W_{оп}(s)$. Якщо СНС призначена для стабілізації динамічних властивостей системи, то має виконуватись умова:

$$W(s) = \frac{W_k(s) \cdot W_o(s)}{1 + W_k(s) \cdot W_o(s)} = \text{const}, \quad (4)$$

де $W(s)$ – передавальна функція замкнутої системи;

$W_k(s)$ – передавальна функція коректувального пристрою.

Для виконання умови (11.56) необхідно, щоб вірною була рівність:

$$W_k(s) \cdot W_o(s) = W_{кп}(s) \cdot W_{оп}(s). \quad (5)$$

де $W_{кп}(s)$ – початкова передавальна функція коректувального пристрою.

З (11.57) запишемо:

$$W_k(s) = \frac{W_{ку}(s) \cdot W_{оу}(s)}{W_o(s)}. \quad (6)$$

У реальних системах звичайно обмежуються приблизним відтворенням умови (6), оскільки реалізація $W_k(s)$ з високою точністю, а також отримання повної інформації про збурюючі дії та визначення їх впливу на параметри об'єкта є задачею, що технічно важко виконується.

Прикладом системи, що є самоналагоджуваною за динамічними характеристиками об'єкта, може слугувати СНС (рис.4, б). Коректувальний пристрій, що входить до складу основного контуру системи, є послідовним з'єднанням бажаної моделі (М) прямого ланцюга і оберненої моделі (ОМ) об'єкта керування. Задача ланцюга самоналагоджування полягає у тому, щоб обчислити поточні динамічні характеристики об'єкта (аналізатор 1), знайти і вивести до коректувального пристрою параметри оберненої моделі об'єкта (обчислювач 2). При цьому передавальна функція прямого ланцюга основного контуру буде:

$$W_n(s) = W_M(s) \cdot W_{OM}(s) \cdot W_o(s), \quad (7)$$

де $W_M(s)$ – передавальна функція еталонної моделі;

$W_{OM}(s)$ – передавальна функція оберненої моделі об'єкта керування.

З урахуванням того, що у результаті самоналагоджування $W_{OM}(s) \cdot W_o(s) \approx 1$ ($W_{OM}(s) = 1/W_o(s)$ за визначенням), маємо $W_n(s) \approx W_M(s)$, тобто справжня передавальна функція прямого ланцюга системи приблизно дорівнює бажаній передавальній функції.

Таким чином, розглянута СНС стабілізує динамічні властивості системи. Зазначимо, що у даному випадку помилки, які можуть з'являтися у ланцюгах самоналагоджування, не компенсуються системою. Тому цю систему відносять до класу розімкнутих.

У випадку визначення динамічних характеристик ланцюга, що містить змінний об'єкт керування і коректувальний пристрій (рис.4, в), керування $u_c(t)$ формується за замкнутим циклом (обчислювач 2) на підставі порівняння поточних значень параметрів, що видаються аналізатором 1, і відомих параметрів бажаної моделі М розімкненої системи.

Керування $u_c(t)$ може також формуватись на підставі порівняння вихідних координат еталонної моделі $u_m(t)$ і системи $y(t)$ (рис.4, г). На відміну від попередньої системи, де порівнюються значення параметрів, у даному випадку порівнюються поточні значення змінних.

До систем з еталонною моделлю можуть також входити аналізатори поточних характеристик об'єкта керування. Однак вони мають допоміжний характер: вони визначають поточні характеристики об'єкта, які слугують лише для більш точного визначення помилок ланцюгів самоналагоджування за замкнутим циклом.

Зазначимо ще один спосіб стабілізації динамічних характеристик системи за допомогою введення глибокого від'ємного зворотного зв'язку. Структурна схема СНС для даного випадку наведена на рис.5, а. Передавальна функція системи після нескладних структурних перетворень (рис.5, б) матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{W_k(s) \cdot W_o(s)}{1 + kW_k(s) \cdot W_o(s)} [1 + kW_M(s)], \quad (8)$$

де k – коефіцієнт підсилення ланцюга зворотного зв'язку.

Перепишемо (8) у вигляді:

$$W(s) = \frac{W_k(s) \cdot W_o(s)}{1/k + W_k(s) \cdot W_o(s)} [1/k + W_M(s)],$$

звідки видно, що за умови $k \rightarrow \infty$ права частина цього виразу наближається до $W_M(s)$, тобто у границі маємо:

$$W(s) = W_M(s). \quad (9)$$

У реальних системах величина k обмежується умовами стійкості системи

і рівність (9) виконується лише приблизно.

Розглянуті приклади показують, що для успішного функціонування самоналагоджуваних систем керування, як правило, необхідна інформація про поточні параметри зовнішніх сигналів і об'єкта керування, тобто необхідно

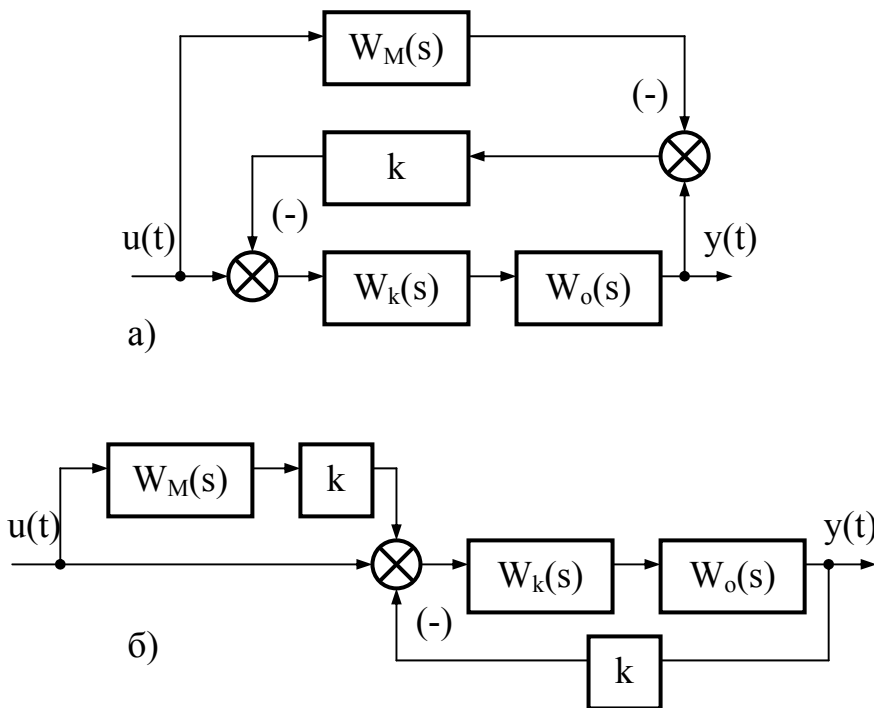


Рис. 7.5– Структурні схеми СНС з глибоким від'ємним зворотним зв'язком: початкова (а) і перетворена (б)

розв'язувати задачу *ідентифікації* об'єкта під час експлуатації системи.

7.3 Ідентифікація об'єктів керування

Під *ідентифікацією* (математичним описом) об'єкта керування розуміють визначення математичної моделі, яка встановлює з відомою точністю зв'язок між вхідними і вихідними змінними об'єкта.

Досконалим засобом отримання *рівнянь статки* як лінійного, так і нелінійного об'єкта є експериментальні методи, що ґрунтуються на обробці дослідних матеріалів, які зібрані безпосередньо на діючому об'єкті. Найбільше розповсюдження отримали методи, що ґрунтуються на використанні штучних збурень, які подаються на об'єкт за наперед спланованою програмою. Якщо вказані збурення приводять до недопустимих режимів роботи, то обмежуються реєстрацією контрольованих параметрів у режимі нормальної роботи об'єкта.

Обробіток результатів експерименту звичайно виконують за методом найменших квадратів, що дає найкраще узгодження кривої $y=f(x)$ і експериментальних точок за умови:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 = \min, \quad (10)$$

де x_i, y_i – експериментальні значення вхідної та вихідної змінних відповідно;

n – загальна кількість дослідів;

$f(x)$ – апроксимуючий вираз.

Під час вибору залежності $y = f(x)$ можливі два варіанти:

- залежність $f(x)$ відома наперед на підставі теоретичних міркувань; задача полягає у пошуку оптимальних, у розумінні виконання умови (10), параметрів цієї залежності;

- залежність $f(x)$ невідома наперед; у цьому випадку найчастіше вона задається у вигляді полінома певного степеня. Тоді пошук оптимальних значень параметрів можна виконувати через розв'язок системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що отримують після підстановки $y = f(x)$ до (10) і дорівнювання нулю частинних похідних за шуканими параметрами.

Зазначимо, що у разі залежності вихідної величини y від декількох вхідних сигналів x_i апроксимуючий поліном містить також добутки цих сигналів, що враховують їх взаємний вплив. Наприклад, у разі двох вхідних сигналів і другого степеня апроксимуючого полінома маємо:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2.$$

Існують методи визначення *динамічних властивостей* об'єктів. Специфіка ідентифікації у СНС обумовлена вимогою не тільки точності, але й недопустимості великих запізнь у видачі математичного опису об'єкта.

Відомо, що динамічні властивості лінійного об'єкта керування визначені, якщо знайдено його перехідну $h(t)$ або імпульсну перехідну (вагову) $w(t)$ функції, чи передавальну $W(s)$ або частотну передавальну $W(j\omega)$ функції.

Найпростішою з принципової точки зору є ідентифікація об'єкта за частотним методом, що ґрунтується на фізичному змісті частотних характеристик.

Розглянемо одновимірний стаціонарний об'єкт з невідомими параметрами, що описується рівнянням:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = b_m \frac{d^m u(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} u(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{du(t)}{dt} + b_0 u(t), \quad (11)$$

де $y(t)$ – вихідна координата системи;

$u(t)$ – відома (вимірювана) керуюча дія;

a_i і b_j – невідомі параметри, причому $n > m$.

Метою ідентифікації є визначення невідомих параметрів a_i і b_j .

Дія $u(t)$ становить випробувальну гармонічну дію:

$$u(t) = \sum_{k=1}^n B_k \sin \omega_k t, \quad (12)$$

де B_k і ω_k - відомі амплітуда і частота гармонічних складових випробувальної дії, необхідні для знаходження значень частотних функцій об'єкта при частотах $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$.

Якщо на вхід лінійного об'єкта подається гармонічна дія (12), то вихідний сигнал $y(t)$ також можна подати у вигляді суми:

$$y(t) = \sum_{k=1}^n B_k A(\omega_k) \sin[\omega_k t + \varphi(\omega_k)], \quad (13)$$

де $A(\omega_k)$, $\varphi(\omega_k)$ – значення амплітудної й фазової частотних функцій при частоті ω_k .

Згідно з рівнянням (11) передавальна функція об'єкта має вигляд:

$$W_o(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + 1} = \frac{R(s)}{Q(s)}. \quad (14)$$

Тоді частотна або комплексна передавальна функція:

$$W_0(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = \frac{U_R(\omega) + jV_R(\omega)}{U_Q(\omega) + jV_Q(\omega)}. \quad (15)$$

Звідси з урахуванням правил множення двох комплексних чисел знаходимо:

$$\begin{aligned} U_R(\omega) + jV_R(\omega) &= [U(\omega) + jV(\omega)] \cdot [U_Q(\omega) + jV_Q(\omega)] = \\ &= U(\omega)U_Q(\omega) - V(\omega)V_Q(\omega) + j[U(\omega)V_Q(\omega) + V(\omega)U_Q(\omega)]. \end{aligned} \quad (16)$$

Порівнявши дійсні та уявні частини цього виразу, дістанемо два рівняння:

$$\begin{cases} U_R(\omega) = U(\omega)U_Q(\omega) - V(\omega)V_Q(\omega); \\ V_R(\omega) = U(\omega)V_Q(\omega) + V(\omega)U_Q(\omega). \end{cases} \quad (17)$$

Якщо для n частот від ω_1 до ω_n експериментально визначити $U(\omega_k)$ і $V(\omega_k)$, то з рівнянь (11.69) дістанемо $2n$ лінійних алгебраїчних рівнянь вигляду:

$$\begin{cases} U_R(\omega_k) = U(\omega_k)U_Q(\omega_k) - V(\omega_k)V_Q(\omega_k); \\ V_R(\omega_k) = U(\omega_k)V_Q(\omega_k) + V(\omega_k)U_Q(\omega_k). \end{cases} \quad (18)$$

Експериментально $U(\omega_k)$ і $V(\omega_k)$ визначаємо так. На вхід об'єкта подаємо пробну дію $u(t) = 1 \cdot \sin(\omega_1 t)$. Після закінчення перехідного процесу на виході об'єкта отримуємо усталений сигнал $y(t) = A(\omega_1) \sin[\omega_1 t + \varphi(\omega_1)]$. Амплітуда і фаза цього сигналу пов'язані з дійсною та уявною частотними функціями об'єкта співвідношеннями:

$$\begin{aligned} U(\omega_1) &= A(\omega_1) \cos \varphi(\omega_1); \\ V(\omega_1) &= A(\omega_1) \sin \varphi(\omega_1). \end{aligned}$$

Сигнал з виходу об'єкта подаємо на фільтр Фур'є, який здійснює множення $y(t)$ на $\sin(\omega t)$ і $\cos(\omega t)$ та усереднення за ціле число періодів. Отже, на виході фільтра отримуємо:

$$U(\omega_1) = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(\omega_1 t) dt; \quad V(\omega_1) = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(\omega_1 t) dt.$$

Аналогічно визначаємо $U(\omega)$ і $V(\omega)$ для всіх n частот.

Об'єкт другого порядку описується передавальною функцією:

$$W_0(s) = \frac{b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}.$$

Параметри b_0 , a_2 , a_1 невідомі. Для частот $\omega_1=1 \text{ c}^{-1}$ і $\omega_2=10 \text{ c}^{-1}$ експериментально знайдені значення дійсної та уявної частотних функцій: $U(1)= 21,2$; $U(10) = -2,12$; $V(1) = -4,7$; $V(10) = -0,47$. За цими даними знайти параметри передавальної функції об'єкта.

Відповідно для заданої передавальної функції маємо: $U_R(\omega) = b_0$; $V_R(\omega) = 0$; $U_Q(\omega) = 1-a_2\omega^2$; $V_Q(\omega) = a_1\omega$. Тому система рівнянь (11.70) для частот ω_1 і ω_2 матиме вигляд:

$$\begin{cases} b_0 = U(\omega_1)(1 - a_2\omega_1^2) - V(\omega_1)a_1\omega_1; \\ 0 = U(\omega_1)a_1\omega_1 + V(\omega_1)(1 - a_2\omega_1^2). \end{cases} \quad \begin{cases} b_0 = U(\omega_2)(1 - a_2\omega_2^2) - V(\omega_2)a_1\omega_2; \\ 0 = U(\omega_2)a_1\omega_2 + V(\omega_2)(1 - a_2\omega_2^2). \end{cases}$$

або після підстановки числових значень:

$$\begin{cases} b_0 = 21,2(1 - a_2) + 4,7 a_1; \\ 0 = 21,2 a_1 - 4,7(1 - a_2). \end{cases} \quad \begin{cases} b_0 = -2,12(1 - 100a_2) + 4,7 a_1; \\ 0 = -2,12 a_1 - 0,47(1 - 100a_2). \end{cases}$$

Другі рівняння цих систем не залежать від b_0 . Розв'язавши їх, знайдемо: $a_2= 0,1$; $a_1=0,2$. Тоді з будь-якого першого рівняння знаходимо: $b_0 = 20$. Отже, передавальна функція об'єкта має вигляд:

$$W_0(s) = \frac{20}{0,1s^2 + 0,2s + 1}$$

Оптимізація динамічного стану системи при повній ідентифікації об'єкта приводить до збільшення часу самоналагоджування. Тому для підвищення швидкодії намагаються використовувати часткову інформацію, яка, хоча і є неповною, дає достатньо повне уявлення про змінювання динаміки системи. Методи визначення таких часткових характеристик отримали назву *методів непрямой ідентифікації*. Відомі, наприклад, непрямі оцінки коефіцієнта демпфірування ξ через частоту ω . Так, для затухаючих коливальних процесів можна використовувати залежність $\omega = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T}$. Як непряма оцінка динамічних властивостей системи, може також слугувати величина амплітуди автоколивань на виході системи, яка залежить від коефіцієнта підсилення розімкнутої

системи. Відхилення амплітуди від заданого значення слугує сигналом розузгодження, який відпрацьовується системою.

Висновки по розділу

Під час проектування автоматичних систем розрахунок їх параметрів виконують за припущеннями, що статичні та динамічні характеристики об'єкта керування й усіх елементів системи відомі й не змінюються протягом експлуатації та при змінюванні зовнішніх умов. Однак характеристики об'єкта і деяких елементів системи бувають відомі лише приблизно, змінюються через фізичне старіння і, крім того, залежать від зовнішніх умов.

Завдяки запасам стійкості система керування буде задовільно працювати й у тому разі, коли практичні характеристики об'єкта трохи відрізняються від розрахункових. Однак у деяких випадках діапазон змінювання статичних і динамічних характеристик настільки великий, що керування об'єктом за допомогою найпростішої системи з постійними параметрами виявляється або незадовільним, або зовсім неможливим (утрата стійкості). У таких випадках можна застосувати систему керування зі змінними властивостями.

Процес змінювання властивостей системи, що дозволяє їй досягнути найкращого або, у крайньому разі, задовільного функціонування за умов, що змінюються, називається адаптацією. Системи, що здійснюють процес адаптації, називаються адаптивними.

Отже, адаптивна САК – це система, яка здатна у процесі виконання основної задачі керування за рахунок змінювання параметрів і структури регулятора поповнювати нестачу інформації про об'єкт керування і діючи на нього зовнішні збурення і тим самим поліпшувати якість свого функціонування.

Пристрій, що реалізує алгоритм адаптації, називається адаптером.

Особливість структури адаптивних системи полягає у тому, що вони мають додатковий контур – контур адаптації, призначений для перероблення

інформації про умови роботи, що змінюються, і подальшого впливу на регулятор основного контуру керування.

Характерною ознакою адаптивних систем є відсутність повної апріорної (такої, що відома наперед) інформації про об'єкт керування, зовнішні збурення і граничні умови, тобто адаптивній системі притаманна невизначеність. Функціонування системи спрямоване на розкриття цієї невизначеності, тобто знаходження такого стану, при якому задовольняється певний критерій.

Оптимальне функціонування системи може розраховуватись на підставі аналізу інформації про її стан. Такі системи називаються аналітичними. Якщо оптимальний режим роботи визначається у результаті пошуку умов екстремуму критерію ефективності, то системи називаються пошуковими. У цьому випадку система ніби ставить серії експериментів і отримує з них дані, необхідні для поліпшення своєї якості.

Змінювання стану системи можна здійснювати за рахунок зміни керуючих впливів, параметрів настроювання і структури системи. Ці зміни називаються контрольованими.

Залежно від обсягу цих змін адаптивні системи розділяються на:

- екстремальні, в яких можна здійснювати змінювання лише керуючих впливів;
- самоналагоджувані, в яких, крім того, змінюються параметри системи;
- самоорганізовані, в яких, крім керуючих впливів і параметрів, змінюється ще й структура системи;
- навчанні, в яких до того ж, може змінюватись алгоритм роботи, а у разі самонавчання – і критерій ефективності.

За способом здійснювання контрольованих змін адаптивні системи розділяються на:

- пасивні, в яких зміни здійснюються за наперед розробленою програмою, наприклад, оброблення початкової інформації (висота, швидкість, атмосферні умови та ін.) у системі керування автопілотом;

- активні, в яких контрольовані зміни наперед не визначені, а диктуються ситуацією, що склалася.

До класу самоналагоджуваних систем керування (СНС) належать системи, у яких, крім керуючих дій, змінюються також параметри системи.

Реалізація мети керування $I = \text{extr}$ у СНС звичайно здійснюється за допомогою пошукових або аналітичних (безпошукових) алгоритмів. У першому випадку СНС здійснює змінювання параметрів коректувального пристрою на підставі аналізу реакції системи на пошукові дії. Пошукові системи з екстремальним самоналагоджуванням параметрів є одними з найдосконаліших, але через велику кількість параметрів, що змінюються, їх реалізація зустрічається зі значними труднощами. Практично пошукові СНС – це поєднання багатоканального екстремального регулятора, що розглянутий вище, і коректувального пристрою, що здійснює за рахунок змінювання параметрів системи компенсацію впливу зовнішніх і внутрішніх збурень на властивості системи.

Порівнюючи аналітичні й пошукові СНС, необхідно зазначити таке:

Аналітичні системи потребують значно більшої апріорної інформації для своєї успішної роботи і не потребують часу на пошук. Пошукові СНС не потребують такої інформації, але витрачають час на пошук, що робить їх малоприсадибними у разі порівняно швидкого змінювання параметрів системи.

Контур самоналагоджування містить елементи основного контуру, динамічні характеристики яких зазнають непередбачених наперед змінювань, коректувальний пристрій (КП) і керуючий обчислювальний пристрій (КОП), що виробляє керуючу дію $u_c(t)$ у вигляді змінювання параметрів КП або введення додаткової дії до ланцюга основного контуру.

До складу КОП можуть входити такі функціональні елементи:

- аналізатор зовнішніх умов, що визначає характеристики зовнішніх дій $f_0(t)$;
- аналізатор внутрішніх умов, що визначає поточні динамічні характеристики системи;

- обчислювач оптимальних умов роботи системи, що розв'язує задачу первинної оптимізації;

- обчислювач, що виробляє керуючу дію у контурі самоналагоджування.

Таким чином, у загальному випадку робота аналітичної самоналагоджуваної системи складається з повторюваних один за одним циклів, кожен з яких може підрозділятися на такі етапи:

- визначення початкових зовнішніх і внутрішніх умов роботи системи;

- визначення поточних оптимальних умов роботи системи з урахуванням обмежень (первинна оптимізація) і керування системою відповідно до цих оптимальних значень;

- визначення справжніх внутрішніх умов;

- порівняння оптимальних умов зі справжніми з точки зору прийнятого критерію самоналагоджування;

- налагоджування або корекція динамічних властивостей основного контуру (вторинна оптимізація).

Деякі СНС використовують інформацію тільки про зовнішні дії. У цьому випадку визначення оптимальних динамічних характеристик здійснюється без урахування внутрішніх умов роботи системи, тобто зв'язок між аналізатором 2 і обчислювачем 3 відсутній. Однак і в цьому випадку система має замкнутий цикл налагоджування. Якщо аналізатор 2 відсутній зовсім, то налагоджування відбувається за розімкнутим циклом.

Існують також СНС, самоналагоджувані тільки за динамічними характеристиками. Динамічні властивості можуть визначатися або тільки для об'єкта керування, або для ланцюга, що містить, крім ОК, також послідовний коректувальний пристрій. У першому випадку система виконує самонастроювання за розімкнутим циклом, у другому – за замкнутим.

Під ідентифікацією (математичним описом) об'єкта керування розуміють визначення математичної моделі, яка встановлює з відомою точністю зв'язок між вхідними і вихідними змінними об'єкта.

Досконалим засобом отримання рівнянь статички як лінійного, так і нелінійного об'єкта є експериментальні методи, що ґрунтуються на обробітку дослідних матеріалів, які зібрані безпосередньо на діючому об'єкті. Найбільше розповсюдження отримали методи, що ґрунтуються на використанні штучних збурень, які подаються на об'єкт за наперед спланованою програмою. Якщо вказані збурення приводять до недопустимих режимів роботи, то обмежуються реєстрацією контрольованих параметрів у режимі нормальної роботи об'єкта.

Оптимізація динамічного стану системи при повній ідентифікації об'єкта приводить до збільшення часу самоналагоджування. Тому для підвищення швидкодії намагаються використовувати часткову інформацію, яка, хоча і є неповною, дає достатньо повне уявлення про змінювання динаміки системи. Методи визначення таких часткових характеристик отримали назву методів непрямої ідентифікації.