

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 6  |
| 1 Відомості про механізм і вимоги до електроприводу .....  | 8  |
| 1.1 Опис технологічного процесу слябінга 1150 .....  | 8  |
| 1.2 Технічна характеристика, конструкція та робота механізму<br>натискного пристрою робочої кліті слябінгу 1150.....             | 12 |
| 1.3 Технологічні вимоги до електроприводу механізму натискного<br>пристрою обтискної кліті .....                                 | 16 |
| 2 Розрахунок потужності та вибір електродвигунів натискного пристрою<br>обтискної кліті слябінгу 1150.....                       | 19 |
| 2.1 Розрахунок потрібної потужності електродвигунів .....  | 19 |
| 2.2 Вибір електродвигунів й перевірка їх потужності по нагріву.....  | 25 |
| 3 Вибір силової та перетворювальної техніки механізму натискного<br>пристрою обтискної кліті слябінгу 1150.....                  | 33 |
| 3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу<br>керування електроприводом .....                                 | 33 |
| 3.2 Вибір комплектного тиристорного електроприводу.....  | 38 |
| 3.3 Вибір силового трансформатора та згладжувального дроселя .....   | 41 |
| 3.4 Опис принципової схеми натискного пристрою .....   | 45 |
| 3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (КТЕ) та система захисту .....  | 49 |
| 3.4.2 Резервування перетворювальної техніки .....  | 50 |
| 3.4.3 Система керування (АСКТП) .....  | 52 |
| 3.5 Вибір комутаційної апаратури.....  | 55 |
| 4 Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом механізму<br>натискного пристрою обтискної кліті слябінгу 1150 ..... | 57 |
| 4.1 Математичний опис об'єкта керування.....   | 57 |
| 4.2 Розрахунок статичних та динамічних параметрів елементів і<br>вузлів системи електроприводу .....                             | 59 |
| 4.3 Синтез регулятора струму.....  | 62 |

|  |     |
|--|-----|
|  | 5   |
| 4.4 Синтез регулятора швидкості .....  | 66  |
| 4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості .....   | 70  |
| 4.6 Розрахунок параметрів позиційного контуру .....  | 73  |
| 5 цифрове моделювання системи підпорядкованого керування<br>електроприводом у середовищі MATLAB/SIMULINK ..... | 80  |
| 6 Охорона праці .....  | 95  |
| 6.1 Аналіз умов експлуатації проектного електроустаткування .....  | 95  |
| 6.2 Заходи щодо охорони праці .....  | 97  |
| 6.3 Розрахунок захисного заземлення .....  | 99  |
| Висновок .....   | 102 |
| Перелік посилань .....   | 104 |
| Додаток А .....  | 107 |
| Додаток Б .....  | 109 |

## ВСТУП

Розвиток і вдосконалення технології гарячої прокатки вимагає від виробника прокатного обладнання застосування більш сучасних, оптимальних і ефективних електроприводів, основою яких є електродвигуни. Правильний вибір основних параметрів електродвигунів мінімізує фінансові витрати при виготовленні обладнання і його подальшої експлуатації, оптимізує навантаження і продуктивність, є запорукою успішної та надійної роботи механізмів.

У розмаїтості встаткування металургійних цехів особливе місце займають прокатні кліті. Тому що зазначене встаткування дуже дороге й тому не має на увазі резерву дуже важливо зробити правильний вибір силового встаткування. Як об'єкт дослідження й автоматизації в даній роботі прийнятий один із головніших механізмів в прокатній кліті - натискний пристрій. Висока якість роботи даного механізму визначається досконалістю алгоритму керування.

У цей час керування натискними пристроями більшості прокатних станів здійснюється вручну операторами. Урахування багатьох факторів, що визначають якість вихідної продукції, таких як температура металу, хімічний склад сталі, пружні властивості прокатної кліті й ін., залежать від інтуїції оператора, в обов'язки якого крім цього входить контроль роботи інших механізмів ділянки кліті. Тому в роботі прокатного стану нерідкі збої, пов'язані з відмовою натискного механізму.

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

Система автоматичного регулювання (САР) існуючих електроприводів натискних пристроїв як правило трьохконтурні із зовнішнім контуром позиціонування та лінійним регулятором положення, а в більшості випадків

взагалі двоконтурні із зовнішнім контуром швидкості або ЕДС двигуна й внутрішнім контуром струму, тобто САР побудовані без контуру регулювання положення. Точність позиціонування, а отже й товщина металевої заготовки у цьому випадку цілком залежать від професіоналізму операторів стана. САР з лінійним регулятором положення можуть бути настроєні тільки на одне програмне переміщення, а якщо буде потреба відпрацьовування більших або менших програмних переміщень у системі спостерігається «дотягнення» та перерегулювання в графіках перехідних процесів основної регульованої координати, що в більшості випадків неприпустимо з погляду технологічного процесу. Дійсно, як «дотягнення», так і перерегулювання в загальному випадку збільшує розрахунковий час відпрацьовування заданих переміщень, зтягуючи процес прокатки блюмів; погіршує точність позиціонування верхнього валка, викликає додаткові биття механічної частини натискного пристрою, що виявляє частиною прокатної кліті.

На підставі вищевикладеного доцільно синтезувати систему керування натискним пристроєм, що забезпечує напівавтоматичний режим позиціонування виконавчого органа (роль оператора тут зводиться тільки до завдання в систему передбачених програмою прокатки величин переміщень) та малою чутливістю до параметричних і координатних збурень. Рішення цього завдання дозволить підвищити продуктивність кліті, поліпшити якість вихідної заготовки, знизити число відмов електроустаткування, що у свою чергу забезпечить додатковий економічний ефект.

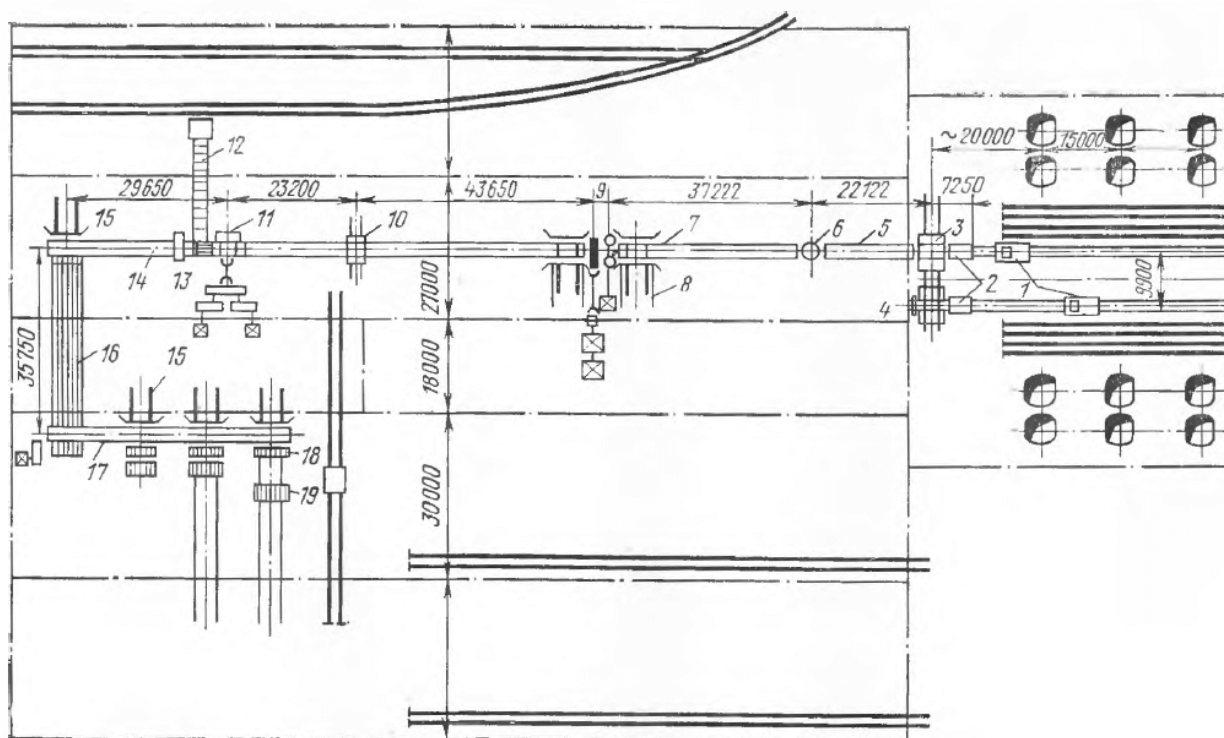
Безпечна і безаварійна експлуатація систем електропостачання та численних електроприймачів ставить перед працівниками електрохозяйств різнобічні і складні завдання з охорони праці. Здорові та безпечні умови праці електротехнічного персоналу та працівників, які експлуатують електрифіковані виробничі установки,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

# 1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

## 1.1 Опис технологічного процесу слябінга 1150

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

Розташування обладнання та його склад приведено на рис. 1.1.



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

Рисунок 1.1 - План розташування обладнання цеха слябінга 1150

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

Все обладнання слябінга можна розділити на п'ять ділянок:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

У робочій клітці слябінга (рис. 1.2) горизонтальні валки діаметром 1150 мм. Довжина бочки 2100 мм, урівноваження гідравлічне. Максимальна швидкість установки (переміщення) валків 220 мм/с. Максимальна повний тиск металу на валки при прокатці 25 МН; максимальна швидкість валків 4,8 м/с. Кожен валок забезпечений індивідуальним приводом від двоякірного електродвигуна постійного струму.

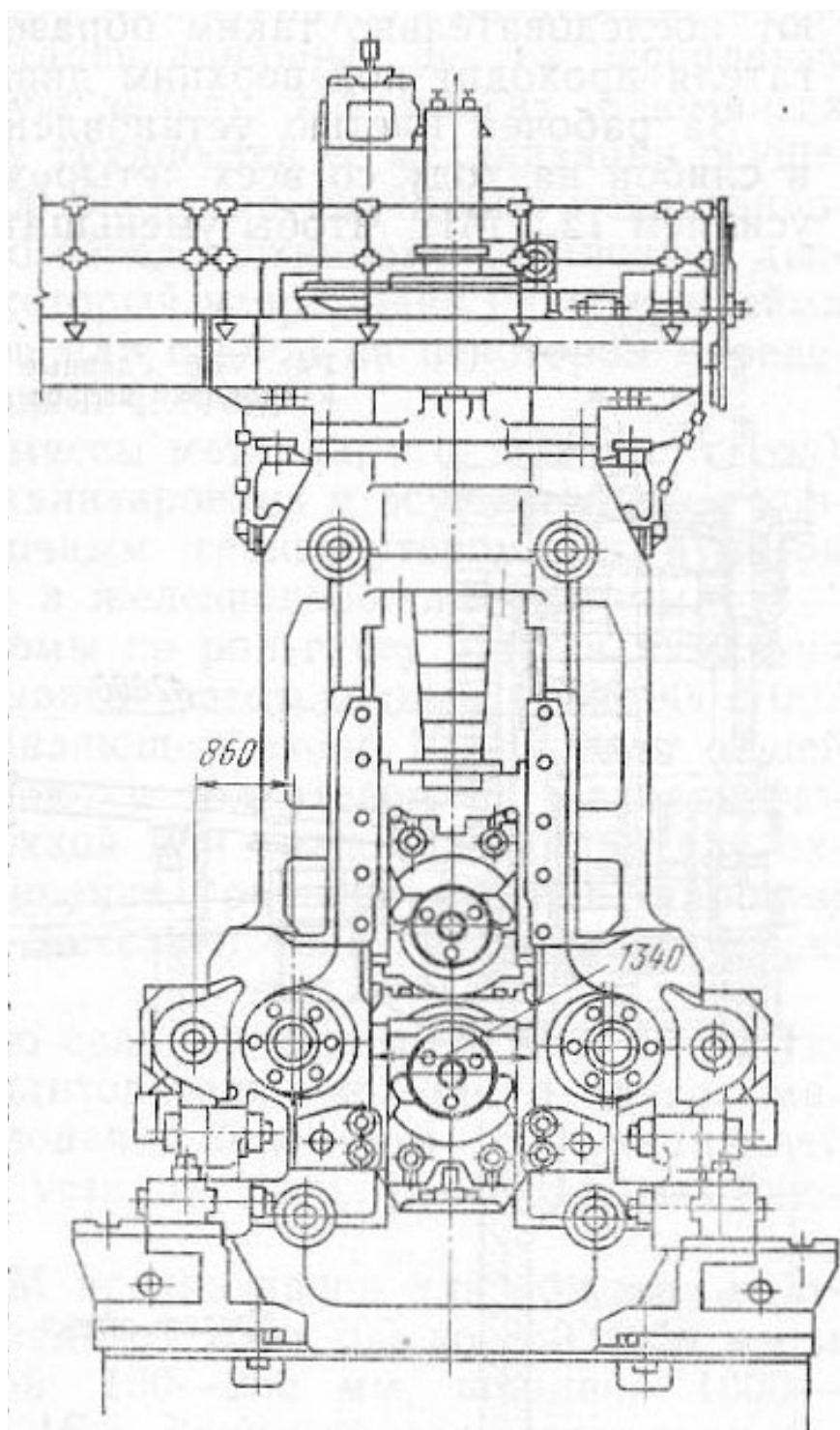


Рисунок 1.2 - Робоча клітці слябінга 1150 (вид з боку)



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

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

## **1.2 Технічна характеристика, конструкція та робота механізму натискного пристрою робочої кліті слябінгу 1150**

Механізму регулювання міжвалкового зазору кліті або натискний пристрій призначений для зміни відстані/зазору між валками прокатною кліті у відповідності до умов технологічного процесу. На листових, смугових та обтискних станах зазор між валками регулюється переміщення за допомогою натискного пристрою тільки верхнього валка. Зміна зазору між валками здійснюється після кожного пропуску. На конструкцію натискного механізму значний вплив оказує швидкість переміщення робочого валка.

Механізми установки валків завжди працюють спільно з механізмами врівноваження валків, за допомогою яких валки притискаються до натискних гвинтів, а також здійснюється вибірка зазорів і люфтів. При переміщенні валків горизонтальних клітей вниз і при зведенні валків вертикальних клітей механізми установки валків змушені долати зусилля переврівноваження валків, які створюються відповідними гідроциліндрами. Фізично кожне таке переміщення супроводжується натиском на гідроциліндри врівноваження.

Очевидно, що тиск на гідроциліндри врівноваження і натиск на метал у час прокатки послужили причиною того, що в літературі механізми установки валків отримали більш поширене друга назва - натискні пристрої/механізми.

Важливою характеристикою натискного механізму є швидкість переміщення валків. Для реверсивних клітей швидкість переміщення повинна

бути такою, щоб виконати установку нового розчину валків за час реверсування розкату на робочому і розкатному рольгангах.

З метою збільшення продуктивності стану час, витрачається на установку верхнього валка, має бути мінімальним. Тому переміщення верхнього валка має відбуватися з більшої швидкістю (наприклад, на блюмінгах ця швидкість доходить до 250 мм/с). Швидкість переміщення натискних гвинтів залежить також від довжини шляху, який повинен пройти натискний гвинт при установці валка. Цей шлях на обтискних станах у багато разів більше, ніж на листових і тонколистових станах. Тому з метою можливого скорочення пауз при прокатці швидкість переміщення натискних гвинтів у обтискних станів приймають більшою, ніж, наприклад, у листових [1, 2].

На блюмінгах, слябінгах і товстолистових станах переміщення верхнього валка відбувається після кожного пропуску металу через валки, тому з метою скорочення паузи між проходами для установки верхнього валка застосовують швидкохідні натискні механізми з приводом від вертикальних фланцевих електродвигунів через циліндричні шестерні. На рис. 1.3 гідравлічного пристрою для врівноважування робочого валка обтискної кліті.

#### Пристрої для врівноваження валків

Якщо той чи інший спосіб подушки верхнього валка були б підвішені до кінців натискних гвинтів і установка верхнього валка відбувалася б тільки переміщенням гвинтів вгору і вниз, то виникли б наступні негативні явища:

- при холостому ході стану під дією маси верхнього валка і його подушок між торцями натискних гвинтів і їх підп'ятників, а також в різьбі натискної гайки неминуче утворилися б зазори. При подальшому завданню металу у валки виникали б динамічні навантаження на шийки валка і на натискні гвинти, які супроводжувалися б сильними ударами;

- розчин між валками ніколи не відповідав би необхідному обтисненню внаслідок невідомої величини зазначених зазорів.

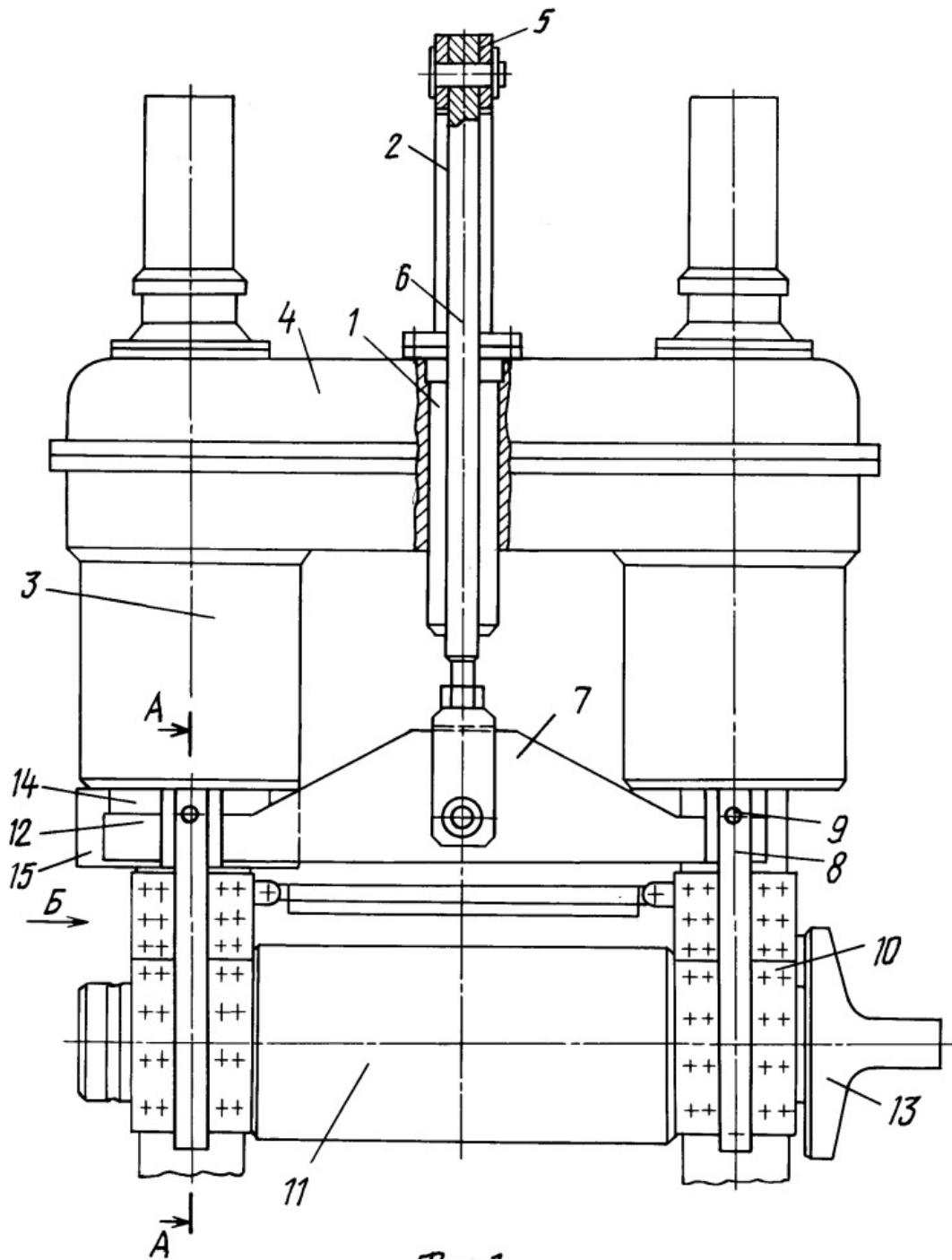


Рисунок 1.3 - Схема гідравлічного пристрою для врівноважування  
робочого валка обтискної кліті

Щоб уникнути цих негативних явищ у всіх робочих клітей передбачені спеціальні пристрої для врівноваження верхнього валка і його подушок. За допомогою таких пристроїв подушки верхнього валка завжди щільно

притиснуті до торців натискних гвинтів і зазори в з'єднаннях шийки валка з натискною гайкою не утворюються.

Для врівноваження верхнього валка з подушками застосовують пристрої вантажні, гідравлічні і пружинні. В даній кліті використовується гідравлічне урівноваження. Конструкція цього пристрою проста і вона надійно в експлуатації. У той же час вантажному врівноважуванню властиві такі недоліки: інерція контрвантажів великої маси викликає динамічні навантаження в системі; розташування великих важелів з контрвантажами вимагає поглиблення і ускладнення фундаменту під робочою кліттю; неможливо здійснювати переміщення валка незалежно від натискного механізму.

Гідравлічний пристрій врівноваження робочого валка обтискного прокатного стану містить циліндр 1 з плунжером 2, змонтованим нагорі робочої кліті 3 стану, по центру редуктора у натискного пристрою нагорі плунжера 2 виконано шарнірне кріплення траверси 5, до кінців якої підвішені дві тяги 6. У нижній частині тяг виконано шарнірне кріплення двох поперечних балок 7, на кінцях яких за допомогою чотирьох тяг 8 із захопленнями через шарнірні валики 9 підвішені подушки 10 і верхній робочий валок 11 на подовжених на 200 мм кінцях 12 балок 7, протилежних лопаті 13 валка 11, з зазором до подушки 10 змонтовані за допомогою захоплень 14 два контрвантажи 15 вагою, рівним вазі лопаті 13 валка 11.

Електропривод натискного механізму може бути здійснений від одного або декількох двигунів. Найбільш поширений привід натискного пристрою за допомогою двох двигунів, що забезпечує зменшення махового моменту приводу. Зазвичай передбачається можливість спільної і роздільної роботи електродвигунів, для чого механізм обладнується розчіпними муфтами, електромагнітними муфтами або іншими необхідними пристроями [3-5].

Для електроприводу натискного механізму використовуються двигуни постійного струму, що обумовлено напруженим режимом роботи, необхідністю регулювання швидкості і забезпечення екскаваторної характеристики.

Для збільшення інтенсивності роботи натискного пристрою живлення двигунів повинно здійснюватися від комплектних тиристорних приводів із сучасною системою керування.

При цьому система повинна забезпечувати [3-5]:

- підтримання заданого прискорення;
- ефективне гальмування;
- підтиск кінців розкату при заданих розчинах валків;
- ефективне безконтактне обмеження ходу.

В табл. 1.2 наведені технічні данні механізму регулювання міжвалкового зазору робочої кліті слябінгу 1150.

Таблиця 1.2 - Технічні та технологічні данні натискного пристрою робочої кліті слябінгу 1150

| Найменування параметра   | Значення                   |
|--|----------------------------|
| Передавальне число редуктора   | $i_p = 4,8$                |
| Шаг вінта, мм  | $h = 64$                   |
| Час циклу прокатки заготовки (листа), с  | $t_{ц} = 59,8$             |
| Сумарний момент інерції механізму, приведений до валу двигуна натискного гвинта, кг·м <sup>2</sup> | $J'_{мех} = 39,9$          |
| Статичний момент на валу електродвигуна, Нм  | $M_c = 2950$               |
| Існуюча тривалість включень двигуна, в.о.  | $\varepsilon_{сущ} = 0,33$ |
| Діаграма переміщень, мм<br>75, 65, 85, 85, 75, 205, 115, 115, 105, 45, 115, 25, 65, 25, 575        |                            |

### 1.3 Технологічні вимоги до електроприводу механізму натискного пристрою обтискної кліті

Натискний пристрій задіяний в технологічному процесі обтискного стану та повинен забезпечувати задану продуктивність при відповідній якості продукції яку випускає підприємство. З метою забезпечення зазначених показників, електрообладнання натискного пристрою має задовольняти як загальним, так і спеціальним технологічним вимогам [3-5]:

- працездатність;
- безвідмовність;
- надійність;
- ремонтпридатність;
- безвідмовність експлуатації;
- безперебійність;
- економічність;
- стабільність.

Тому що натискний пристрій перебуває в важких умовах, вплив високої температури, вплив газів, електрообладнання повинно відповідати спеціальним вимогам [3-5]:

- велика частота включень;
- підвищений ККД. Передача великого моменту приводу завдяки застосуванню черв'ячних передач;
- мінімальний час протікання перехідних процесів, що визначає продуктивність;
- електропривод повинен забезпечувати широкий діапазон регулювання

швидкості  $D_{\omega} = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = 5:1$ ;

- для натискних пристроїв реверсивних станів гарячої прокатки характерна велика кількість включень в годину, в даному випадку порядку 200-220 включень в годину, крім того незалежно від того включені натискні гвинти чи ні вони постійно перебувають під намагнічуванням;
- необхідний, можливо, менший момент інерції;
- пуск повинен бути порівняно плавний, без різких стрибків струму. В іншому випадку виникають удари, що руйнують конструкцію (особливо редуктор);
- електропривод повинен бути позиційним, так як основна функція натискного пристрою - це зміна положення робочого валка;

- електропривод повинен забезпечувати високу швидкість та точність відпрацювання завдання, тому що привід позиційний, то точність позиціонування становить 0,2 мм;
- однозонне регулювання швидкості;
- висока ступінь надійності роботи системи електроприводу і схеми управління.

## **2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НАТИСКНОГО ПРИСТРОЮ ОБТИСКНОЇ КЛІТІ СЛЯБІНГУ 1150**

### **2.1 Розрахунок потрібної потужності електродвигунів**

Для натискних пристроїв з великою частотою включень в годину, тобто на обтискних реверсивних та товстолистових станах гарячої прокатки застосовуються електродвигуни постійного струму. Для цих натискних гвинтів застосовується привід двома двигунами, причому кінематична схема передбачає можливість роздільної роботи гвинтів. Застосування такого приводу пояснюється прагненням зменшити момент інерції приводу, що особливо важливо при великій частоті включень. З цієї ж причини на обтискних станах існує тенденція до зниження передавального числа редуктора натискного пристрою з заміною черв'ячної передачі циліндричної і з застосуванням двигунів вертикального виконання. Крім того, двохдвигунний електропривод виходить більш компактним і надійним, при виході з ладу одного електродвигуна можна продовжувати роботу з половинною потужністю. Муфти зчеплення дозволяють впливати двома електродвигунами на один натискний гвинт, що іноді необхідно при його заклинюванні.

У табл. 1.1 наведено вихідні дані необхідні для розрахунку потрібної потужності електродвигунів натискних гвинтів обтискної кліти стану 950.

Для розрахунку потужності двигунів позиційних електроприводів натискних гвинтів реверсивних станів, використаний уточнений метод гранично-допустимого часу роботи механізму [3, 6, 7]. Запропонований метод вигідно відрізняється від існуючих своєю строгою аналітичністю і структурованістю, а також можливістю гарантованого забезпечення конкретних технологічних вимог, а саме можливістю відпрацювання електроприводом програмних переміщень за час, що не перевищує гранично допустимого часу, обумовленого технологією роботи кожного конкретного механізму.

При виборі потужності приводних електродвигунів рекомендується попередньо визначити частку потужності електричних машин, що витрачається



виключно «на механіку» без урахування інерційності (моменту інерції) якоря / ротора самих машин, оскільки ця величина при проектуванні «з нуля» і до остаточного вибору електродвигунів, як правило, невідома. Так само можна шукані величини визначати і в функції  $J_{\text{дв}}$  с наступною побудовою залежностей  $P_{\text{н треб}}(J_{\text{дв}})$  и  $\lambda_{\text{пт}}(J_{\text{дв}})$  [7].

У табл. 2.1 наведені розрахункові формули і значення наступних величин:

- допустимий технологічний час відпрацювання  $i$ -го програмного переміщення (з округленням до найближчої величини, кратної 0,5),  $\Delta t_i$ ;
- необхідна лінійна швидкість переміщення робочого органу,  $V_{i \text{ треб}}$ ;
- необхідна величина еквівалентного лінійного прискорення робочого органу при відпрацювання по трикутним тахограми, при  $V_{i \text{ треб}} \leq V_{\text{уст}}$ , а також при відпрацювання по трапецеїдальним тахограми, при  $V_{i \text{ треб}} \geq V_{\text{уст}}$ ;
- реальний час відпрацювання заданих переміщень при  $S_i \leq S_{\text{кр}}$  та  $S_i \geq S_{\text{кр}}$ .

Усталена осьова швидкість переміщення робочого органу:

$$V_{\text{уст}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{i \text{ треб}} = 171,778 \text{ мм/с} \quad (2.1)$$

где  $n$  - загальна кількість переміщень відпрацьованих приводом натискного пристрою в циклі;

$V_{i \text{ треб}}$  - необхідна лінійна швидкість переміщення натискних гвинтів  $i$ -го програмного переміщення, мм/с.

Розрахункова величина критичного переміщення виконавчого органу:

$$S_{\text{кр}} = \frac{V_{\text{уст}}^2}{a_{\text{э max}}} = \frac{171,778^2}{721,653} = 40,889 \text{ мм} \quad (2.2)$$

де  $a_{\text{э max}} = 721,653 \text{ мм/с}^2$  - максимальна необхідна величина еквівалентного прискорення відповідно із табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок величин еквівалентних прискорень

| $S_i$ ,<br>мм | $\Delta t_i$ ,<br>с | $V_{i \text{ треб}} = \frac{2S_i}{\Delta t_i}$ ,<br>мм/с | $a_{\Delta_i} = \frac{4S_i}{\Delta t_i^2}$ ,<br>мм/с <sup>2</sup> | $a_{\Xi_i} = \frac{V_{\text{уст}}^2}{\Delta t_i V_{\text{уст}} - S_i}$ ,<br>мм/с <sup>2</sup> | $\Delta t_i \text{ вкл.}$ ,<br>с |
|---------------|---------------------|--|---|---|----------------------------------|
| 1             | 1                   | 1  | 1   | 1   | 1                                |
| 1             | 75                  | 1  | 150   | 1   | 0,675                            |
| 2             | 65                  | 2  | 130   | 2   | 0,616                            |
| 3             | 85                  | 3  | 170   | 3   | 0,733                            |
| 4             | 85                  | 4  | 170   | 4   | 0,733                            |
| 5             | 75                  | 5  | 150   | 5   | 0,675                            |
| 6             | 205                 | 6  | 205   | 6   | 1,431                            |
| 7             | 115                 | 7  | 230   | 7   | 0,908                            |
| 8             | 115                 | 8  | 230   | 8   | 0,908                            |
| 9             | 105                 | 9  | 210   | 9   | 0,849                            |
| 10            | 45                  | 10   | 180   | 10  | 0,5                              |
| 11            | 115                 | 11   | 230   | 11  | 0,908                            |
| 12            | 25                  | 12   | 100   | 12  | 0,372                            |
| 13            | 65                  | 13   | 130   | 13  | 0,616                            |
| 14            | 25                  | 14   | 100   | 14  | 0,372                            |
| 15            | 575                 | 15   | 191,667   | 15  | 3,585                            |

Час відпрацювання критичного переміщення виконавчого органу:

$$\Delta t_{S_{\text{кр}}} = \frac{2V_{\text{уст}}}{a_{\text{э max}}} = \frac{2 \cdot 171,778}{721,653} = 0,476 \text{ с} \quad (2.3)$$

Фактична тривалість включення приводних електродвигунів:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{mS_{\text{кр}} + \sum S_i + 2\sqrt{S_{\text{кр}}} \sum \sqrt{S_i}}{V_{\text{уст}} t_{\text{ц}}} = \\ &= \frac{13 \cdot 40,889 + 1725 + 2\sqrt{40,889} \cdot 10}{171,778 \cdot 59,8} = 0,232 \end{aligned} \quad (2.4)$$

де  $\sum S_i = 1725$  мм мм - для визначення  $\sum_{i=1}^m S_i$  враховуються тільки ті переміщення, для яких  $S_i > S_{\text{кр}}$  ( $m = 13$  - кількість переміщень, які більше критичного;

$\Sigma\sqrt{S_i} = 10$  - для визначення  $\sum_{i=1}^q \sqrt{S_i}$  підсумовування проводиться для переміщень  $S_i < S_{кр}$  ( $q = 2$  - кількість переміщень, які менше критичного);

$t_{ц}$  - час циклу роботи механізму, с.

Перерахунковий коефіцієнт, що враховує постійні втрати в електродвигуні і погіршення умов охолодження в неусталених процесах і в періоди пауз:

$$\xi = \sqrt{1 + \frac{(\varepsilon_k - \varepsilon)}{\varepsilon \left( \frac{\varepsilon}{\beta} - \varepsilon_k + 1 \right)}} \approx \sqrt{\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{1,0}{0,232}} = 2,076 \quad (2.5)$$

де  $\varepsilon_k = 1,0$  - каталожна тривалість включень електродвигунів.

Коефіцієнт часткового змісту переміщень більших критичного в загальній програмі переміщень:

$$k_2 = \frac{\sqrt{S_{кр}} \Sigma\sqrt{S_i} + mS_{кр}}{mS_{кр} + \Sigma S_i + 2\sqrt{S_{кр}} \Sigma\sqrt{S_i}} = \frac{\sqrt{40,889} \cdot 10 + 13 \cdot 40,889}{13 \cdot 40,889 + 1725 + 2 \cdot \sqrt{40,889} \cdot 10} = 0,25 \quad (2.6)$$

Коефіцієнт перерахунку окружної швидкості двигуна до лінійної швидкості механізму:

$$k_s = \frac{h}{2\pi i_p} = \frac{64}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,8} = 2,122 \text{ мм/рад} \quad (2.7)$$

де  $h$  - шаг натискного вінта, мм;

$i_p$  - передавальне число редуктора.

Необхідна швидкість електродвигуна для відпрацювання заданих переміщень:

$$\omega_{н \text{ треб}} = V_{уст} \frac{1}{k_s} = \frac{171,778}{2,122} = 80,948 \text{ рад/с} \quad (2.8)$$

Момент інерції електродвигуна (поки ця величина не визначена) задаємо в діапазоні  $J_{\text{дв}} = (0 \div 1,5) J'_{\text{мех}}$ , тоді сумарний момент інерції, приведений до валу електродвигуна залежно від  $J_{\text{дв}}$ :

$$J'_{\Sigma}(J_{\text{дв}}) = J'_{\text{мех}} + 2J_{\text{дв}} = (1,0 \div 4,0) J'_{\text{мех}} \quad (2.9)$$

Номінальна необхідна потужність електроприводу, приведена до величини каталожної тривалості включення  $\varepsilon_{\text{к}} = 1,0$  та величина кратності пуско-гальмівних струмів, що забезпечують роботу електроприводу без перегріву для випадку стабілізації динамічного моменту електроприводу:

$$\begin{aligned} P_{\text{н треб}}(J_{\text{дв}}) &= \frac{J'_{\Sigma}(J_{\text{дв}}) \omega_{\text{н треб}}^2}{\Delta t_{\text{с кр}} \xi} \sqrt{8k_2 + \left( \frac{\Delta t_{\text{с кр}} M_c}{J'_{\Sigma}(J_{\text{дв}}) \omega_{\text{н треб}}} \right)^2} = \\ &= \frac{J'_{\Sigma}(J_{\text{дв}}) 80,948^2}{0,476 \cdot 2,076} \sqrt{8 \cdot 0,25 + \left( \frac{0,476 \cdot 2950}{J'_{\Sigma}(J_{\text{дв}}) \cdot 80,948} \right)^2}; \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{п.т}}(J_{\text{дв}}, k_{\text{загр}}) &= k_{\text{загр}} \sqrt{\frac{\xi^2 - \left( \frac{M_c \omega_{\text{н треб}}^2}{P_{\text{н треб}}(J_{\text{дв}})} \right)^2}{2k_2}} = \\ &= k_{\text{загр}} \sqrt{\frac{2,076^2 - \left( \frac{2950 \cdot 80,948}{P_{\text{н треб}}(J_{\text{дв}})} \right)^2}{2 \cdot 0,25}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

де  $M_c$  - статичний момент на валу електродвигуна, Нм;

$k_{\text{загр}} = \frac{P_{\text{н треб}}}{P_{\text{н дв}}}$  - коефіцієнт завантаження електродвигунів які

встановлюються, задаємо, наприклад 60%, 70% и 80%. [7].

Для визначення потрібної потужності побудуємо залежність  $P_{\text{н треб}}(J_{\text{дв}})$  и  $\lambda_{\text{п.т}}(J_{\text{дв}}, k_{\text{загр}})$  рис. 2.1.

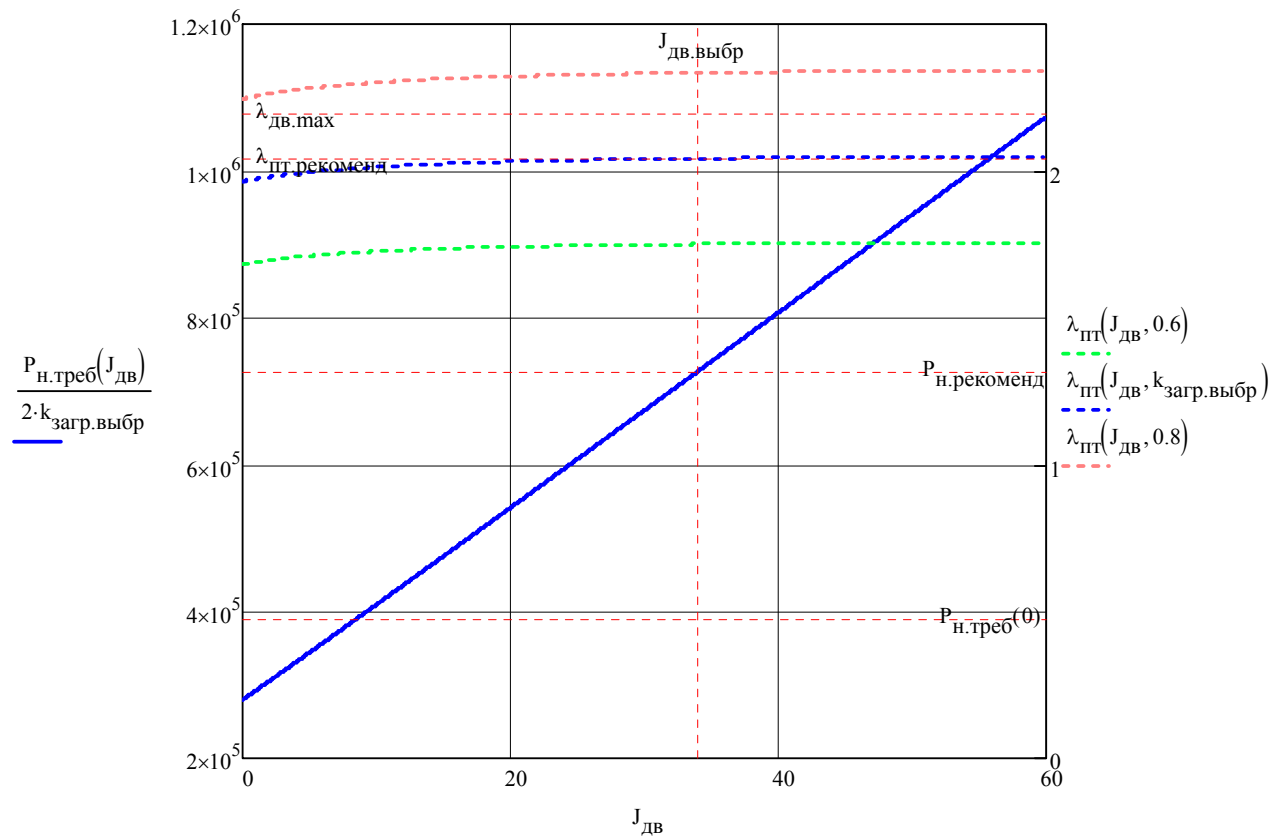


Рисунок 2.1 – Залежність  $P_{н\text{ треб}}(J_{дв})$  и  $\lambda_{п.т}(J_{дв}, k_{загр})$  для різних коефіцієнтів завантаження електродвигунів 60%, 70% и 80% відповідно

Як видно з представлених на рис. 2.1 діаграм поставленим умовам задовольняє електродвигун потужністю від 390 до 1100 кВт (залежно від величини їх власного моменту інерції) і номінальною швидкістю більшою 733 об/хв. При цьому завантаження машин по нагріванню вибирається заздалегідь; кратності  $\lambda_{п.т}$  пуско-гальмівних струмів/моментів від 1,7 до 2,2 (вибирається єдина уставка).

Задаємося значенням моментом інерції електродвигуна  $J_{дв} = 34 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  за залежністю  $P_{н\text{ треб}}(J_{дв})$  и  $\lambda_{п.т}(J_{дв}, k_{загр})$  (рис. 2.1) визначаємо  $P_{н\text{ треб\ рекоменд}} = 727,1 \text{ кВт}$  та  $\lambda_{п.т\ рекоменд} = 2,0$  при коефіцієнті загрузки  $k_{загр} = 0,7$ .

## 2.2 Вибір електродвигунів й перевірка їх потужності по нагріву

В якості приводних двигунів НУ із каталогу [8] вибираємо два електродвигуни постійного струму концерну Siemens типу 1GH7 404-5NH40-7NV1 з технічними даними, наведеними в табл. 2.2 і в додатку А.

Таблиця 1.2 - Технічні дані електродвигуна постійного струму типу 1GH7 404-5NH40-7NV1

| Найменування параметра  | Позначення та чисельне значення  |
|---|--|
| Номінальна потужність, кВт  | $P_{\text{н дв}} = 820$  |
| Номінальна напруга, В   | $U_{\text{н дв}} = 600$  |
| Номінальний струм, А  | $I_{\text{н дв}} = 1440$   |
| Номінальна частота обертання, об/хв   | $n_{\text{н дв}} = 795$  |
| Опір обмотки якоря, обмоток додаткових полюсів і компенсаційної обмотки при 120 °С ( $r_{\text{я.дв}}$ ), мОм | $R_a = 15$   |
| Індуктивність обмотки якоря, мГн  | $L_a = 0,27$   |
| Максимально допустима частота обертання при зниженні потоку збудження, об/хв                                  | $n_{\text{max дв}} = 1110$   |
| Номінальний момент, Нм  | $M_{\text{н дв}} = 9850$   |
| Номінальна напруга збудження, В   | $U_{\text{нв дв}} = 310$   |
| Момент інерції, кг·м <sup>2</sup>   | $J_{\text{дв}} = 34$   |
| Перевантажувальна здатність за током та за моментом   | $I_{\text{max}} / I_{\text{н}} = 2,1$<br>$M_{\text{max}} / M_{\text{н}} = 2,0$ |

У двигуни вбудовані імпульсні датчики швидкості Heidenhaine, тип ROD436.001E2 - 1024 імпульси/оборот.

Для перевірки обраних електродвигунів по нагріванню використовуємо уточнений метод гранично-допустимого часу роботи механізму [3, 6, 7].

Як впливає із табл. 2.1, в даній програмі прокатки немає програмних переміщення менше розрахункового критичного переміщення натискних

гвинтів; нагрів електродвигунів в основному визначається в цьому випадку струмами статичного навантаження, а також пуско-гальмівними струмами.

З урахуванням обраного електродвигуна номінальна необхідна потужність електроприводу, приведена до величини каталожної тривалості включення  $\varepsilon_k = 1,0$  та величина кратності пуско-гальмівних струмів, що забезпечують роботу електродвигуна без перегріву для випадку стабілізації динамічного моменту електроприводу [6, 7]:

$$P_{\text{н треб}} = \frac{J'_{\Sigma} \omega_{\text{н}}^2}{\Delta t_{S_{\text{кр}}} \xi} \sqrt{8k_2 + \left( \frac{\Delta t_{S_{\text{кр}}} M_c}{J'_{\Sigma} \omega_{\text{н}}} \right)^2} =$$

$$= \frac{107,9 \cdot 83,252^2}{0,476 \cdot 2,076} \sqrt{8 \cdot 0,25 + \left( \frac{0,476 \cdot 2950}{107,9 \cdot 83,252} \right)^2} = 1076,308 \text{ кВт} \quad (2.12)$$

$$\lambda_{\text{п.т}} = k_{\text{загр}} \sqrt{\frac{\xi^2 - \left( \frac{M_c \omega_{\text{н}}^2}{P_{\text{н треб}}} \right)^2}{2k_2}} =$$

$$= 0,656 \sqrt{\frac{2,076^2 - \left( \frac{2950 \cdot 83,252}{1076,308} \right)^2}{2 \cdot 0,25}} = 1,916 \quad (2.13)$$

де  $J'_{\Sigma} = J_{\text{мех}} + 2J_{\text{дв}} = 39,9 + 2 \cdot 34 = 107,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - сумарний момент інерції, приведений до валу електродвигуна;

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi n_{\text{н дв}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 795}{30} = 83,252 \text{ рад/с} - \text{номінальна швидкість двигуна};$$

$$k_{\text{загр}} = \frac{P_{\text{н треб}}}{2P_{\text{н дв}}} = \frac{1076,308}{2 \cdot 820} = 0,656 - \text{коефіцієнт загрузки встановлених}$$

електродвигунів.

Для оцінки коректності отриманих розрахункових формул розрахуємо потрібну потужність електродвигунів існуючим методом еквівалентних прискорень.

Відповідно до методу еквівалентних прискорень відносно значення

еквівалентного моменту повторно-короткочасного режиму роботи із заданою програмою переміщень, наведеного до величини каталожної тривалості включення  $\varepsilon_k$  для випадку стабілізації динамічного моменту електроприводу при  $\lambda_{п.т} = 1,916$ :

$$M_{п.к*}^{\varepsilon_k} = \sqrt{\frac{(M_{п*}^2 + M_{т*}^2)(\sqrt{S_{кр}} \Sigma \sqrt{S_i} + mS_{кр}) + M_{с*}^2(\Sigma S_i - mS_{кр})}{mS_{кр} + \Sigma S_i + 2\sqrt{S_{кр}} \Sigma \sqrt{S_i}}} \cdot \frac{1}{\xi} =$$

$$= \sqrt{\frac{(2,065^2 + 1,766^2)(\sqrt{40,889} \cdot 10 + 13 \cdot 40,889) + 0,15^2(1725 - 13 \cdot 40,889)}{13 \cdot 40,889 + 1725 + 2\sqrt{40,889} \cdot 10}} \cdot \frac{1}{2,076} = 0,656 \quad (2.14)$$

що в точності відповідає отриманим раніше результатами  $k_{зарп} = 0,656$ ;

де  $M_{п*} = \lambda_{п.т} + M_{с*} = 1,916 + 0,15 = 2,065$  - відносна величина пускового моменту електродвигуна;

$M_{т*} = \lambda_{п.т} - M_{с*} = 1,916 - 0,15 = 1,766$  - відносна величина гальмівного моменту електродвигуна;

$$M_{с*} = \frac{M_c}{2M_{н\ дв}} = \frac{2950}{2 \cdot 9850} = 0,15 - \text{відносна величина статичного моменту.}$$

Наведений розрахунок показує, що застосування обраних електродвигунів допустимо і задовольняє умовам роботи з точки зору нагріву. Для контролю правильності подальшої настройки системи керування електроприводом натискного пристрою розрахуємо час  $\Delta t_{i\ \text{вкл}}$ , який витрачається на переміщення натискних гвинтів. Результати цього розрахунку зведені в табл. 2.1. Обчислений час роботи приводу не перевищує допустимого значення пауз  $\Delta t_i$  між пропусками. Отже, при обраній потужності електродвигунів натискний пристрій не лімітує роботу головного приводу і забезпечує необхідну продуктивність стану.

Незважаючи на те, що за технологічними вимогами (див. табл. 2.1) необхідно забезпечити переміщення натискних гвинтів на усталеній швидкості



230 мм/с, а реальна швидкість переміщення натискних гвинтів як впливає з розрахунків становить 171,778 мм/с це не позначається на продуктивності прокатного стану, оскільки всі програмні переміщення  $S_i$  відпрацьовуються електроприводом за час який не перевищує максимально допустимого  $\Delta t_i$ .

На рис. 2.2 – 2.5 наведені тахограми і навантажувальні діаграми роботи електроприводу натискного пристрою за цикл роботи прокатного стану, а також для декількох з програмних переміщень.

Відповідно до отриманих діаграмами середньоквадратичний момент (струм) за цикл роботи механізму:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum (M_i^2 t_i)}{t_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{59} (M_i^2 t_i)}{59,8}} = 0,656 \quad (2.15)$$

що в точності відповідає отриманим раніше результатами, які були отримані за методом еквівалентних прискорень і уточненого методу гранично-допустимого часу роботи механізму  $k_{\text{загр}} = 0,656$ .

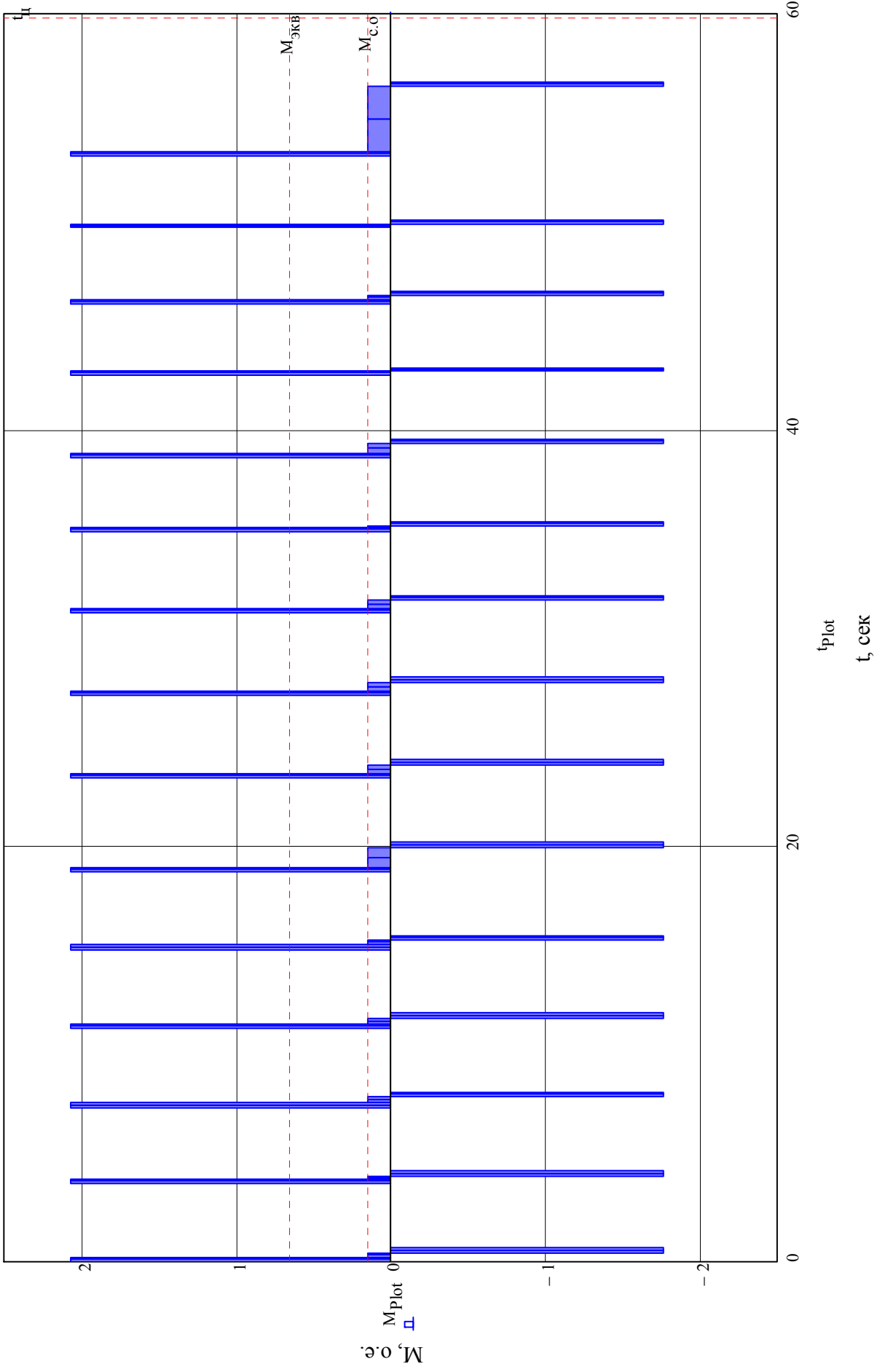


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма роботи електроприводу НП за цикл роботи прокатного стану

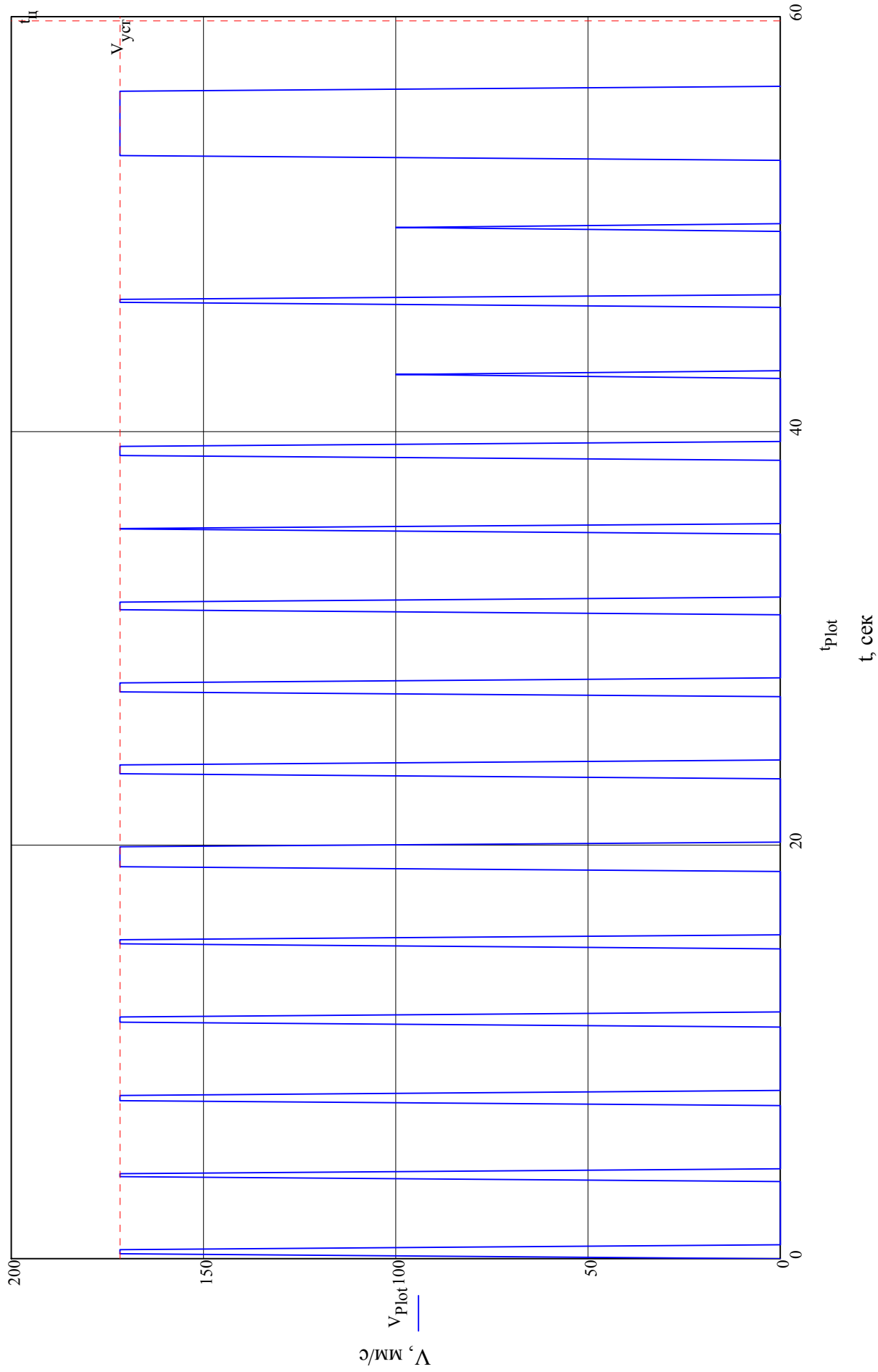


Рисунок 2.3 – Тахограми руху електроприводу натискного пристрою за цикл прокатного стану

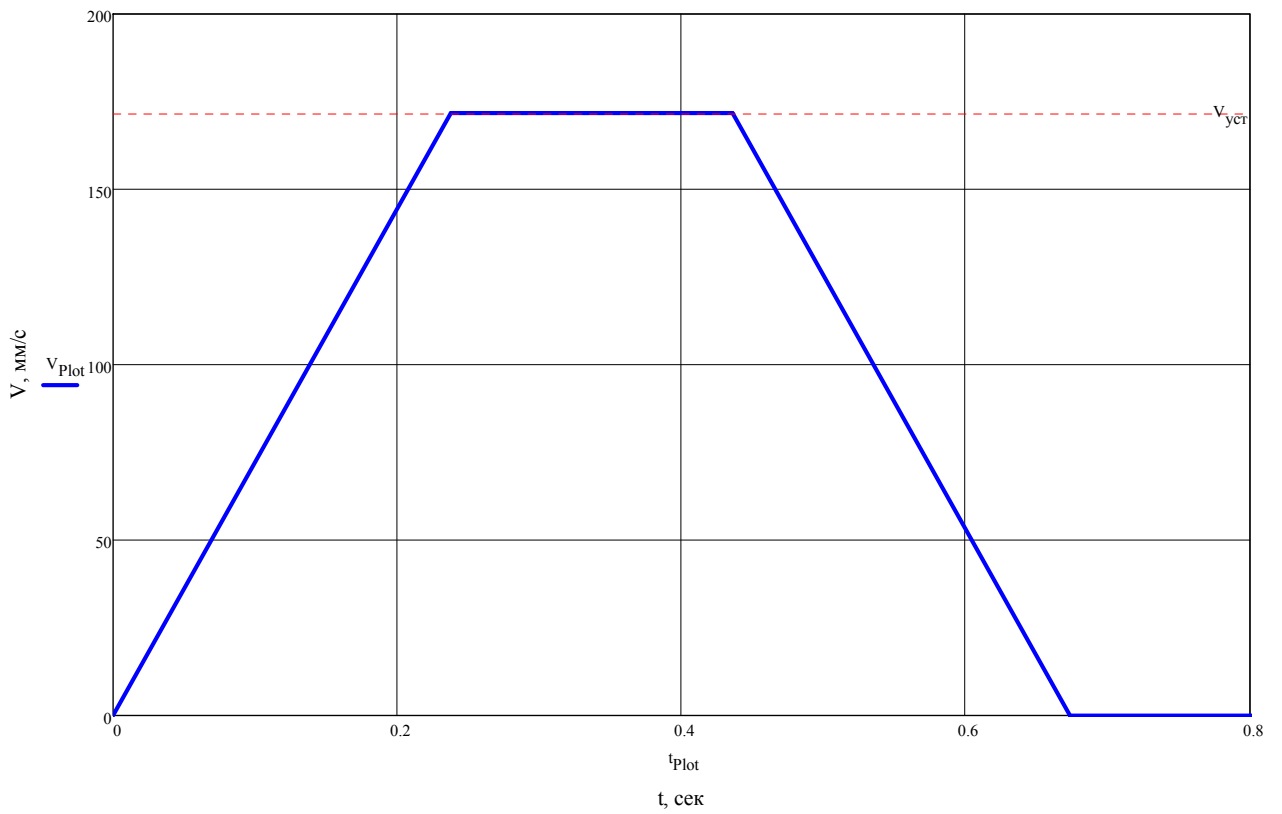
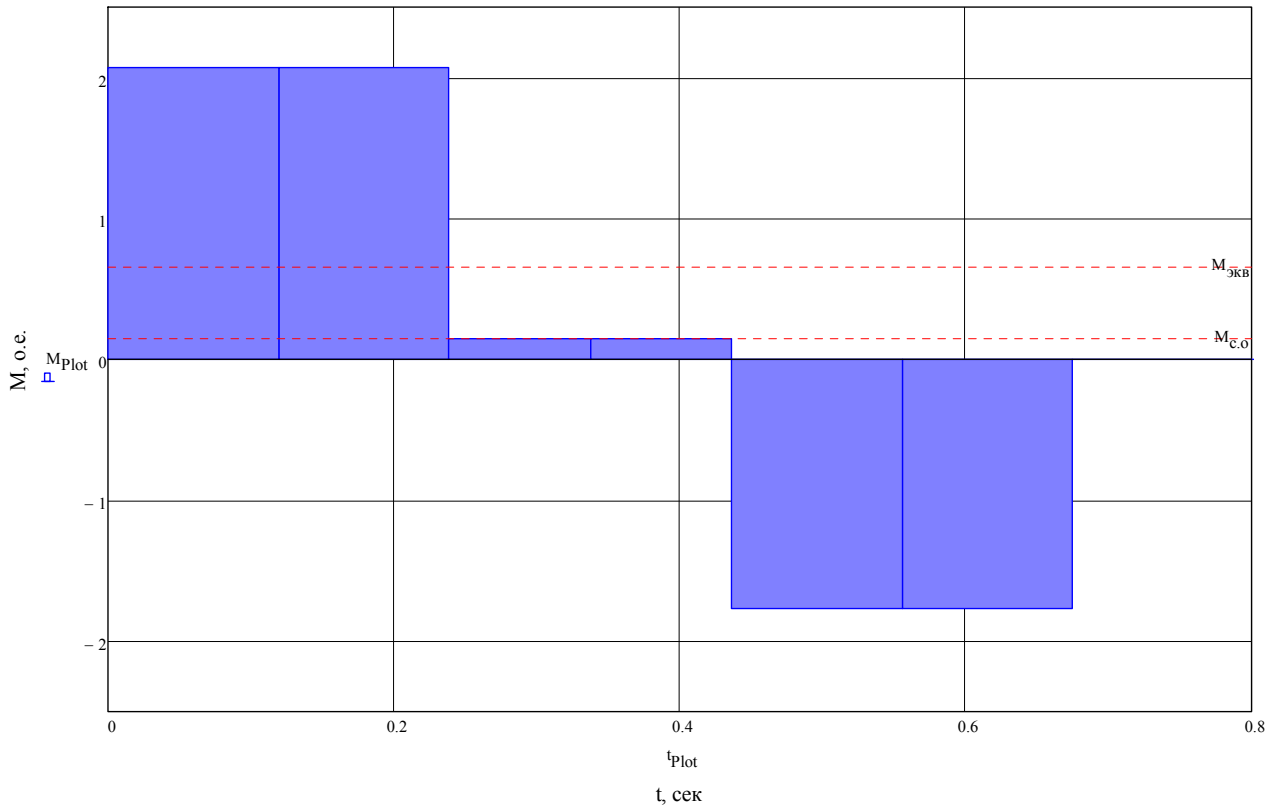


Рисунок 2.4 – Момент та швидкість електродвигунів при відпрацюванні першого програмного переміщення 75 мм

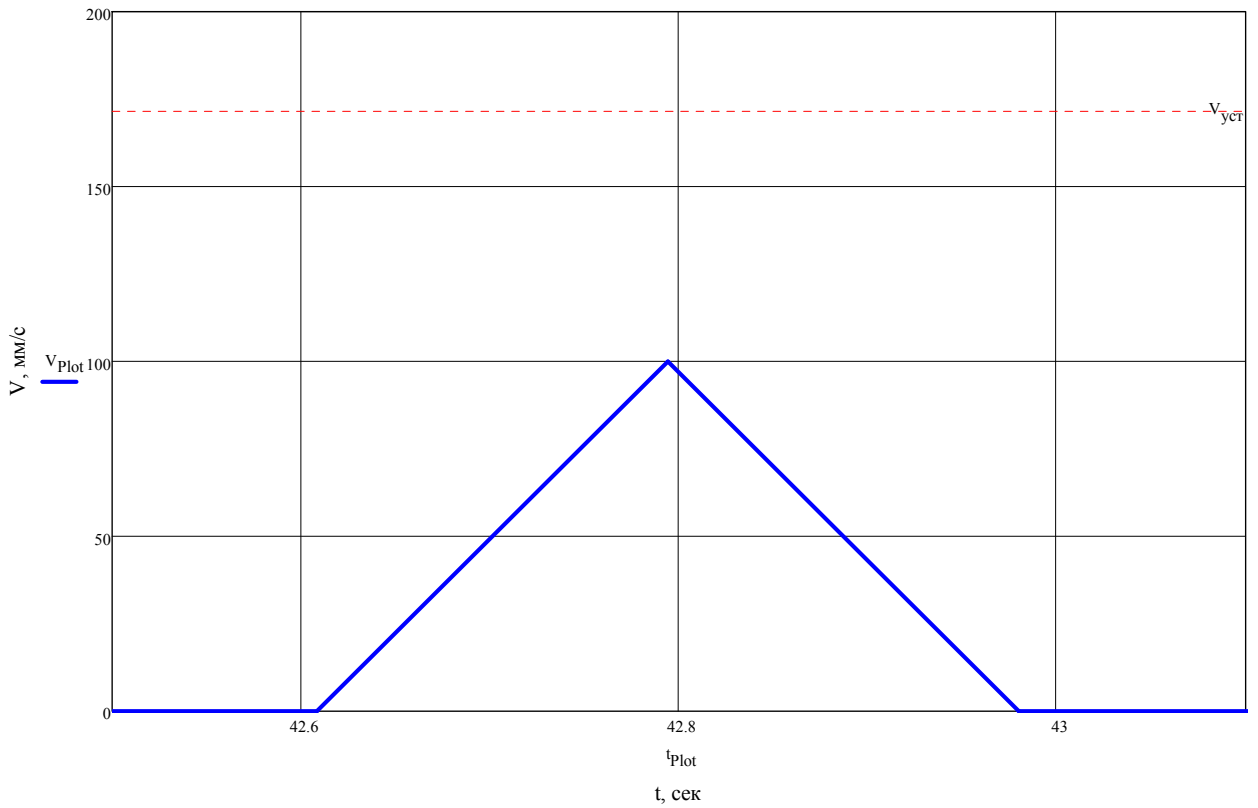
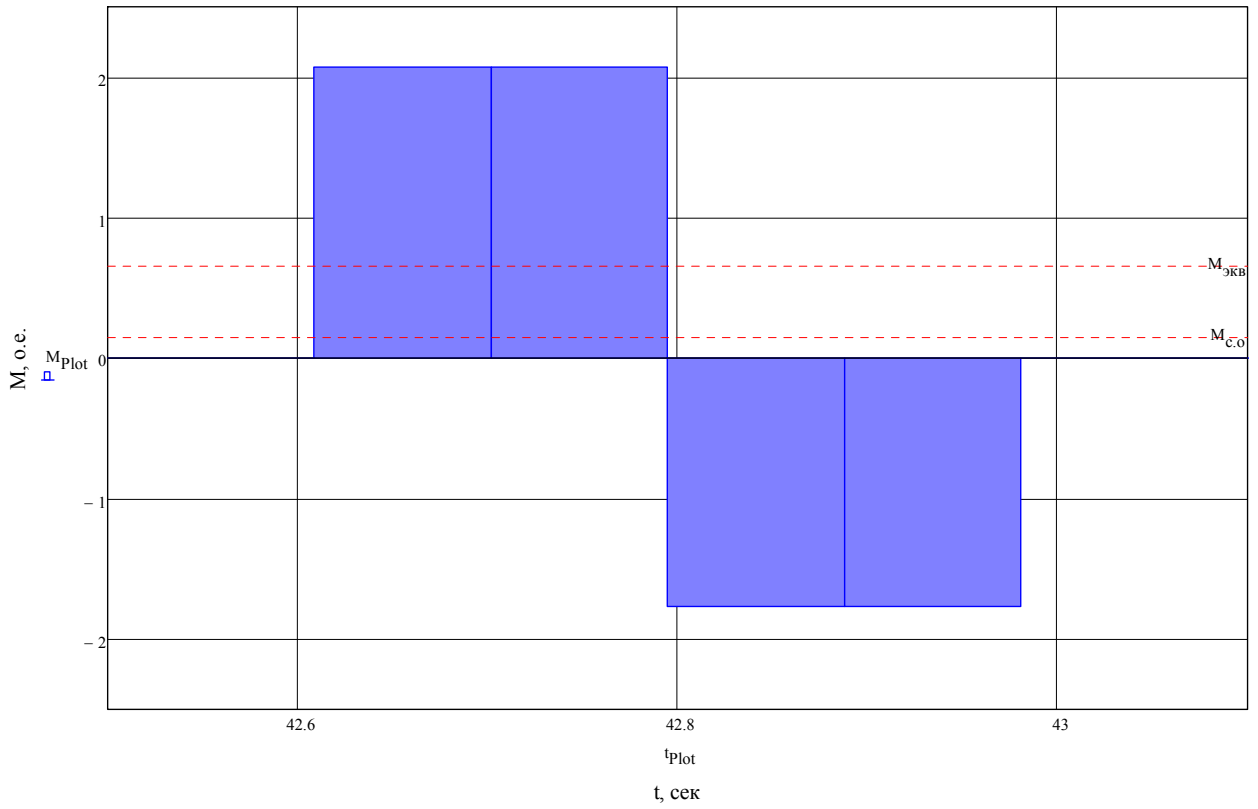


Рисунок 2.5 – Момент та швидкість електродвигунів при відпрацюванні дванадцятого програмного переміщення 25 мм

## **3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ МЕХАНІЗМУ НАТИСКНОГО ПРИСТРОЮ ОБТИСКНОЇ КЛІТИ СЛЯБІНГУ 1150**

### **3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом**

З метою забезпечення технологічних вимог електроприводу, усунення виявлених недоліків необхідно вибрати оптимальну систему електроприводу.

Механізми на металургійних підприємствах працюють на двигунах постійного або змінного струму.

Двигун постійного струму має ряд переваг: простота пристрою і управління; практично лінійні регулюючі та механічні характеристики двигуна; легко регулювати частоту обертання, має хороші пускові властивості (великий пусковий момент) так як двигуни постійного струму оборотні, то вони можуть бути використані як в руховому, так і в генераторному режимах [9, 10].

Двигуни постійного струму відрізняються своєю надійністю, тому їх пропонується використовувати для тих механізмів, які мають особливі (підвищені) вимоги по надійності. Але двигун постійного струму так само має і недоліки: необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових вузлів, так як у нього обмежений термін служби через зношення колектора; необхідність в джерелі постійного струму, або наявність перетворювача, велика вартість двигуна і апаратури управління. Використання двигуна постійного струму дозволить вести технологічний процес в кращому режимі.

Вибираємо двигун постійного струму з незалежним збудженням так як він задовольняє спеціальним вимогам в пункті 1.3.

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

(ТП) змінного струму в постійний. Відповідно до цього силова частина електропривода може бути зібрана по різних схемах: Г-Д, ШИП-Д або ТП-Д.

Система Г-Д має гарні регульовальні властивості, порівняно невисоку питому вартість і більшим 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 КПД через потрібне перетворення енергії (електричної в механічну й навпаки), великий рівень шуму в процесі роботи, необхідність регулярного й ретельного обслуговування.

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

Переваги системи ШПП-Д визначаються перевагами ШПП як джерела живлення, а саме [9, 10]:

- високі динамічні властивості (швидкодія, точність, якість регулювання і т.д.) через відсутність у ШПП додаткових індуктивностей у ланцюзі навантаження, високої частоти комутації й менше істотних нелінійностей перетворювача;

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

- високий КПД, тому що втрати потужності на регулюючому елементі ШПП незначні в порівнянні із втратами потужності у випадку безперервного регулювання;

- високий коефіцієнт потужності системи;

- високе використання двигунів по струму через велику частоту комутації й малих пульсацій струму якоря;

- низький вихідний опір перетворювача й тому більш швидкісні й механічні характеристики двигуна;

- мала чутливість до змін температури навколишнього середовища,

оскільки регулюючим фактором є час провідності ключа, а не величина внутрішнього опору регулюючого елемента, що має місце при безперервному регулюванні;

- малі габарити й маса;
- постійна готовність до роботи.

Разом з тим ШПП властиві й недоліки:

– імпульсний режим роботи регулюючого елемента приводить до необхідності встановлювати вихідні фільтри, що викликає інерційність процесу регулювання в замкнених системах;

– високі швидкості включення й вимикання струму в силовому ланцюзі ШПП приводять до виникнення радіоперешкод.

У цей час практичне застосування ШПП на напівпровідникових елементах обмежене електроприводами малої й середньої потужності.

В електроприводах середньої й великої потужності широке поширення отримала система ТП-Д. В порівнянні із системою Г-Д ця система електропривода має низку переваг:

- відсутність обертових частин, безшумність у роботі;
- більш високі швидкодія й КПД (КПД 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 механізм більшою продуктивністю і високою якістю продукції;
- менша чутливість до впливу газів і забрудненого середовища;
- відсутність складних вентиляційних пристроїв.

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

– погіршення коефіцієнта потужності пропорційно  $\cos\phi$  й зменшення при цьому навантажувальній здатності ТП, що особливо відчутно в приводах великої потужності;



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

– викривлення форми напруги живильної мережі в результаті комутаційних процесів у ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, що харчуються від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко сіткова напруга використовується в якості опорного.

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

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

Для підтримки системою заданих параметрів на необхідному рівні вони, як правило, будуються замкненими, а підвищення якісних показників їх роботи досягається введенням спеціальних коригувальних ланок (системи з послідовною, паралельною й змішаною корекцією) або організацією модального управління [11, 12]. Системи з паралельною, послідовною й змішаною корекцією звичайно являють собою багатоконтурні системи регулювання. Кожна із цих систем має свої переваги й недоліки.

При застосуванні паралельної корекції підвищується стабільність характеристик системи за рахунок ланок, охоплених зворотним зв'язком. Вплив перешкод на коригувальний пристрій, включених в ланцюг зворотного зв'язку, значно менше, чим 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 розрахунків системи й більша трудомісткість налаштування. Контур, утворений

зворотним зв'язком, може сам по собі виявитися нестійким, виникають також труднощі з підсумовуванням сигналів. Крім того, цю систему слід завжди розглядати як єдине ціле, тому що в більшості випадків зміна одного з параметрів вимагає перерахунку й перебудови всієї системи.

Системи з послідовною корекцією вигідно відрізняються від систем з паралельною корекцією, особливо при складних структурах об'єкта регулювання, великій кількості регульованих параметрів і високих вимогах до якості регулювання. Прості й зручні для практики способи розрахунків і настроювання контурів систем з послідовною корекцією дозволяють навіть при значних погрішностях у визначенні динамічних параметрів об'єкта регулювання одержати цілком працездатну систему управління електроприводом. Такі системи вводять в експлуатацію методом послідовного настроювання окремих контурів системи управління (на відміну від систем з паралельною корекцією). Більшою перевагою систем з послідовною корекцією є зручність обмеження кожного з регульованих параметрів на заданому рівні.

Створення практично без інерційних тиристорних і транзисторних перетворювачів з малою потужністю управління й операційних підсилювачів постійного струму, застосовуваних у якості активних коригувальних ланок, забезпечило широке впровадження систем з послідовною корекцією для управління практично всіма видами металургійного електропривода постійного струму [11, 12].

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

У 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 перебувають у підпорядкуванні один з іншим.

Наприклад, параметр напруги перетворювача підпорядкований параметру струму в головному ланцюзі, а останній підпорядкований параметру швидкості електродвигуна й т.п. Тому системи з послідовною корекцією називають також системами підпорядкованого керування (регулювання).

### 3.2 Вибір комплектного тиристорного електроприводу

Привід кожного гвинта електромеханічного натискного пристрою верхніх валків кліті здійснюється від електродвигуна постійною струму закритого виконання. Живлення якірних ланцюгів електродвигуна електромеханічного натискного пристрою верхніх валків кліті здійснюється від комплектного тиристорного електроприводу (КТЕ).

Основними технічними даними комплектних тиристорних електроприводів є номінальний струм  $I_{н\ тп}$  та напруга  $U_{н\ тп}$ . Для багатодвигунних електроприводів при послідовному живленні якірних ланцюгів номінального струму перетворювача береться сумарний струм двигунів, через що зростає його потужність, а отже і його ціна.

Номінальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яка менше номінальної напруги КТП, визначається за ДСТ 25953-83, на 5-15%, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості й на безпечне інвертування при зниженні напруги живильної мережі, тобто  $U_{н\ тп} = (1,05 \div 1,15)U_{н\ дв}$ .

Дотримуючись наведених рекомендацій, вибираємо роздільне живлення якірних ланцюгів. Установлюємо на кожний електродвигун по одному тиристорному перетворювачу.

Для встановлених електродвигунів, по каталогах [13, 14] вибираємо реверсивний комплектний електропривод (КТЕ) SIMOREG DC Master концерну Siemens шафового виконання, технічні дані якого наведено в таблиці 3.1 та в додатку Б. КТЕ однодвигунний. з реверсом струму в якірного ланцюга, трансформаторне підключення до мережі з лінійним контактором і пристроєм

динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами керування, з однозонної системою регулювання швидкості зі зворотним зв'язком за швидкістю від імпульсного датчика швидкості, система автоматичного регулювання струму, напруги, ЕРС, частоти обертання, натягу, положення, системи захисту і сигналізації перетворювача і електроприводу.

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. Системи керування (СУ) - мікропроцесорні, уніфіковані між собою, і з іншими виробами (інтелектуальними пультами управління, компенсаторами реактивної потужності, системами діагностики, пристроями віддаленого вводу-виводу).

У системі регулювання буде передбачений блок розподілу навантажень.

Таблиця 3.1 – Технічні дані перетворювача SIMOREG DC MASTER 6RM7095-4GS02

| Найменування параметра                       | Позначення та чисельне значення |
|--|---------------------------------|
| Номінальна живлюча 3х фазна напруга, В       | $U_{H1\ TP} = 500$              |
| Номінальний вхідний струм, А                 | $I_{H1\ TP} = 1658$             |
| Номінальна випрямлена (постійна) напруга, В  | $U_{H\ TP} = 600$               |
| Номінальний випрямлений (постійній) струм, А | $I_{H\ TP} = 2000$              |
| Номінальна потужність, кВт                   | $P_{H\ TP} = 1200$              |
| Номінальна напруга збудження, В              | $U_{B\ TP} = 373$               |
| Номінальний струм збудження, А               | $I_{B\ TP} = 40$                |
| Вага, кг                                     | $m_{TP} = 870$                  |

Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу та конструкція шафи SIMOREG DC MASTER приведені на рис. 3.2 - 3.2 [13,14].

With SIMOREG DC MASTER 450 A to 850 A, 460 V

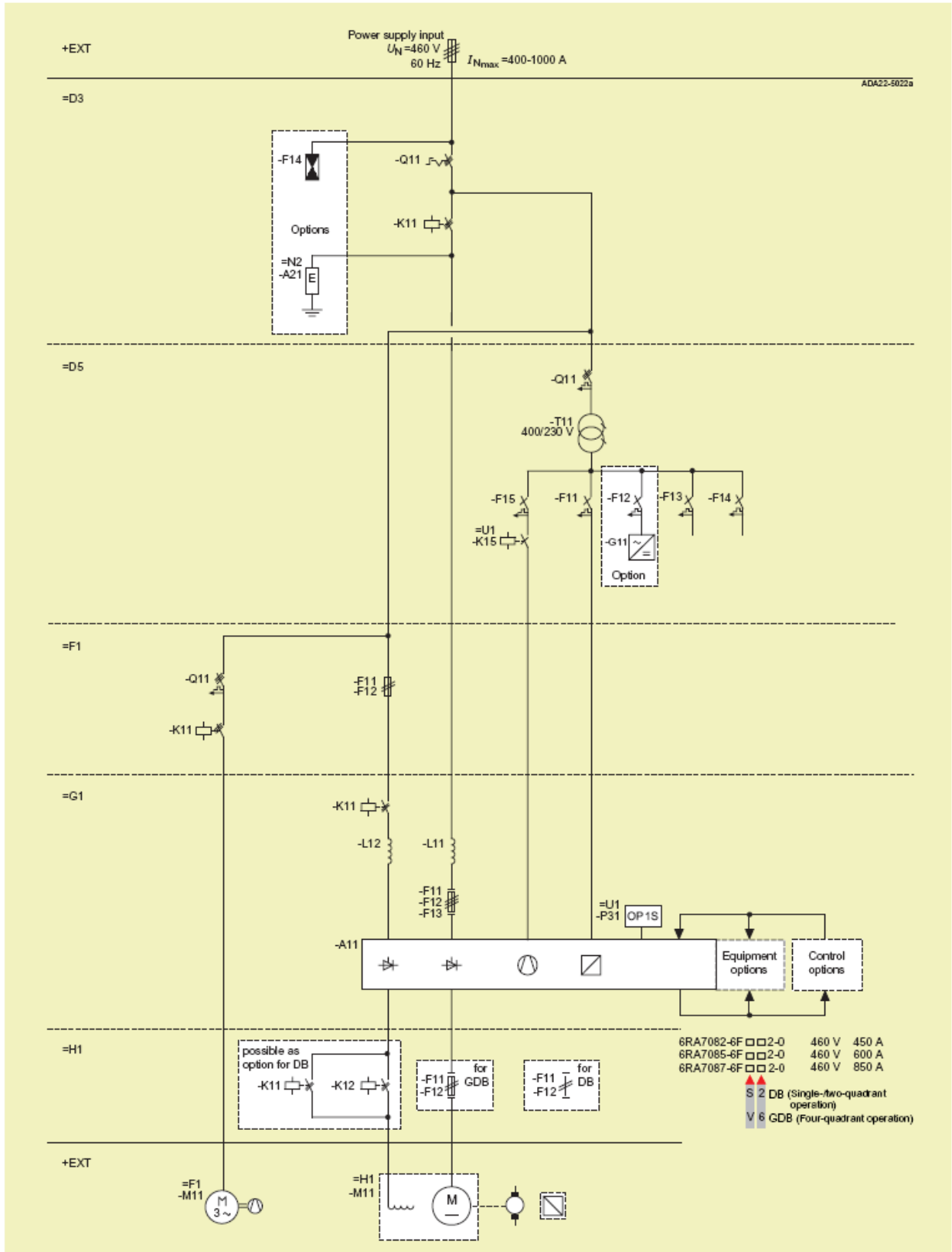


Рисунок 3.1 - Однолінійна схема силової частини комплектного тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

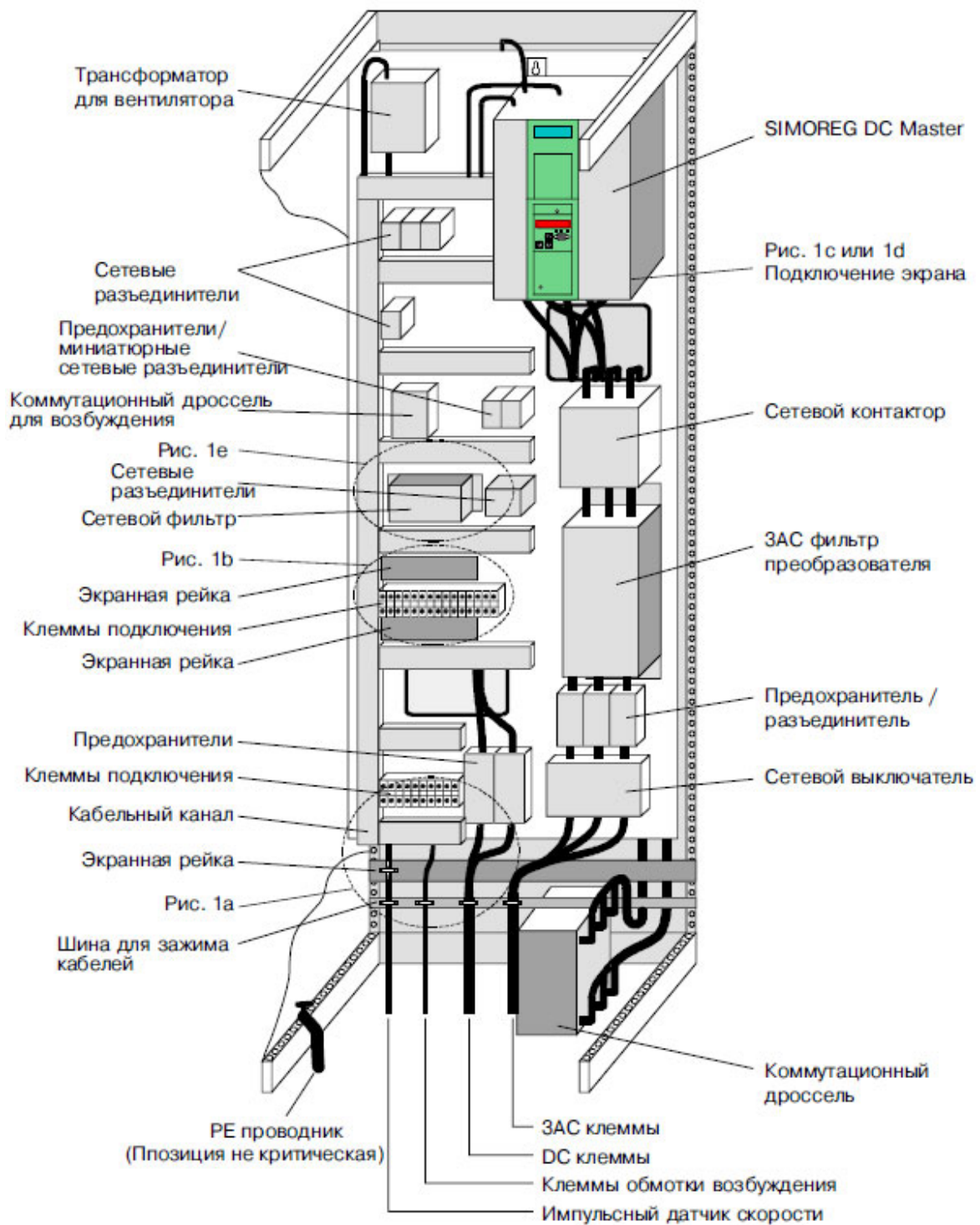


Рисунок 3.2 - Конструкція шафи комплектного тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

### 3.3 Вибір силового трансформатора та згладжувального дроселя

Силовий трансформатор у схемі керованого випрямляча застосовується для узгодження стандартної напруги мережі ( $\sim 380$  В;  $\sim 6$  кВ;  $\sim 10$  кВ) й напруги

навантаження. Зменшення напруги на виході тиристорного перетворювача постійного струму за рахунок зміни кута управління в більшості практичних випадків неприпустимо, тому що це веде до недовикористання по потужності перетворювальної установки й зниженню її енергетичних показників (коефіцієнта потужності). Крім того, трансформатор обмежує струм у режимі короткого замикання, а також швидкість наростання струму в аварійних режимах роботи ТП. Для узгодження ТП з цеховою мережею вибираємо із довідника [15] силовий трансформатор ТСЗП-1600/10УЗ, технічні дані, якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні дані силового трансформатора ТСЗП-1600/10УЗ виконання 2 (Y / Δ) для живлення комплектного ЕП

| Найменування параметра   | Позначення та значення  |
|--|-------------------------|
| Первинна номінальна потужність, кВ·А<br>розрахункове значення $S_{1н} = 1,045 \cdot 1,35 \cdot U_{2тр} \cdot I_{днтр} \cdot 10^{-3}$ | $P_{тр} = 1612$         |
| Напруга живильної мережі (мережева обмотка), В   | $U_{1тр} = 6000$        |
| Номінальна випрямлена напруга (перетворювач), В  | $U_{дн} = 660$          |
| Номінальний випрямлений струм (перетворювач), А  | $I_{днтр} = 2000$       |
| Вторинна лінійна напруга (вентильна обмотка) $U_{2лн}$ , В   | $U_{2тр} = 570$         |
| Вторинний лінійний струм (вентильна обмотка) $I_{2лн}$ , А<br>розрахункове значення $I_{2тр} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{днтр}$          | $I_{2тр} = 1635$        |
| Потужність втрат холостого ходу, Вт  | $\Delta P_{хх} = 3400$  |
| Потужність втрат короткого замикання, Вт   | $\Delta P_{кз} = 13500$ |
| Напруга короткого замикання, %   | $U_{кз\%} = 6$          |
| Струм холостого ходу, %  | $I_{хх\%} = 1,1$        |
| Вага, кг   | $m_{тр} = 5400$         |

Оскільки пульсації струму, що протікає в якірному ланцюгу, погіршують тепловий режим електродвигуна й умови його комутації, для їх зменшення

застосовується згладжувальний дросель. Зменшення пульсацій напруги на затискачах якоря при включенні дроселя пояснюється тим, що на якір подається сума випрямленої напруги мережі і ЕРС самоіндукції дроселя. Крім цього, введення згладжувального реактора призводить до звуження зони переривчастих струмів, що, в свою чергу, призводить до збільшення жорсткості швидкісних характеристик приводу.

Індуктивність згладжувального дроселя, що включається послідовно з якорем двигуна, вибирається з умови виконання двох вимог:

- забезпечення безперервності струму якоря двигуна в певному діапазоні навантажень і частот обертання двигуна;

- обмеження амплітуди змінної складової струму якоря двигуна.

Нижче наведено розрахунок згладжує дроселя [16, приклад 1-24, 1-27].

Значення максимально випрямленої ЕРС (ідеальна випрямлена напруга; напруга на виході перетворювача):

$$E_{d0} = 1,35U_{2 \text{ тр}} = 1,35 \cdot 570 = 769,5 \text{ В} \quad (3.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

$U_{2 \text{ тр}}$  - номінальну напругу на вторинній обмотці силового трансформатора, В.

Кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги:

$$\omega_1 = 2\pi f_c m_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6 = 1884,956 \text{ Гц} \quad (3.2)$$

де  $f_c$  - частота живильної мережі, Гц;  $m_\phi$  - число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний та повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} U_{2 \text{ тр}}^2}{P_{\text{тр}}^2} = \frac{13500 \cdot 570^2}{(1612 \cdot 10^3)^2} = 1,688 \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$



$$z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз\%}} U_{2 \text{ тр}}}{100 I_{2 \text{ тр}} \sqrt{3}} = \frac{6 \cdot 570}{100 \cdot 1635 \cdot \sqrt{3}} = 12,077 \cdot 10^{-3} \quad (3.4)$$

$$x_{a \text{ тр}} = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{(12,077 \cdot 10^{-3})^2 - (1,688 \cdot 10^{-3})^2} = 11,958 \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

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

$P_{\text{тр}}$  - потужність трансформатора, В·А;

$U_{\text{кз\%}}$  - напруга короткого замикання трансформатора, %;

$I_{2 \text{ тр}}$  - діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора, А.

Індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр}} = \frac{x_{a \text{ тр}}}{2\pi f_c} = \frac{11,958 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 38,064 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (3.6)$$

де  $x_{a \text{ тр}}$  - повний опір силового трансформатора.

Необхідна індуктивність згладжувального дроселя:

$$L_{\text{сд}} = \frac{e_n E_{\text{д0}}}{i_e \omega_1 I_{\text{н дв}}} - (2L_{\text{тр}} + L_a) = \quad (2.7)$$

$$= \frac{0,24 \cdot 769,5}{0,03 \cdot 1884,956 \cdot 1440} - (2 \cdot 38,064 \cdot 10^{-6} + 0,27 \cdot 10^{-3}) = 1,92 \text{ мГн}$$

де  $e_n$  - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої напруги, може бути підрахована за допомогою рівнянь [16, с. 40], або з графіка [16, с. 47 рис. 1.31]. На цьому графіку зображено залежність  $e_n$  для мостової трифазної схеми випрямлення в функції кута регулювання  $\alpha$ . Приймаємо граничний кут регулювання  $\alpha_{\text{max}} = 90$  ел. град, тоді значення  $e_n = 0,24$ ;

$E_{\text{д0}}$  - значення максимально випрямленої ЕРС, В;

$i_e$  - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої струму.  $i_e = 0,02 \div 0,05$ , нижня межа береться для електроприводу середньої і великої потужності, а верхній - для електроприводу малої потужності [16, с. 46, 59];

$\omega_1$  - кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги, Гц;

$I_{н\ дв}$  - номінальний струм якоря електродвигуна (струм навантаження перетворювача), А (див. табл. 1.3);

$L_{тр}$  - індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму, Гн;

$L_a$  - індуктивність обмотки якоря електродвигуна, Гн (див. табл. 1.3).

З довідника [15, 17] вибираємо згладжувальний дросель, технічні дані якого наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні данні згладжувального дроселя типу ФРОС-1400/0,5У3

| Найменування параметра         | Позначення та чисельне значення |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Номінальний постійний струм, А | $I_{н\ сд} = 1500$              |
| Номінальна індуктивність, мГн  | $L_{н\ сд} = 2,3$               |
| Активний опір, мОм             | $r_{а\ сд} = 4,7$               |
| Вага, кг                       | $m_{сд} = 460$                  |

### 3.4 Опис принципової схеми натискного пристрою

Принципова схема силової частини електромеханічного натискного пристрою верхніх валків кліті приведена на рис. 3.3. Схема підключення тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70 приведена на рис. 3.4 - 3.5.

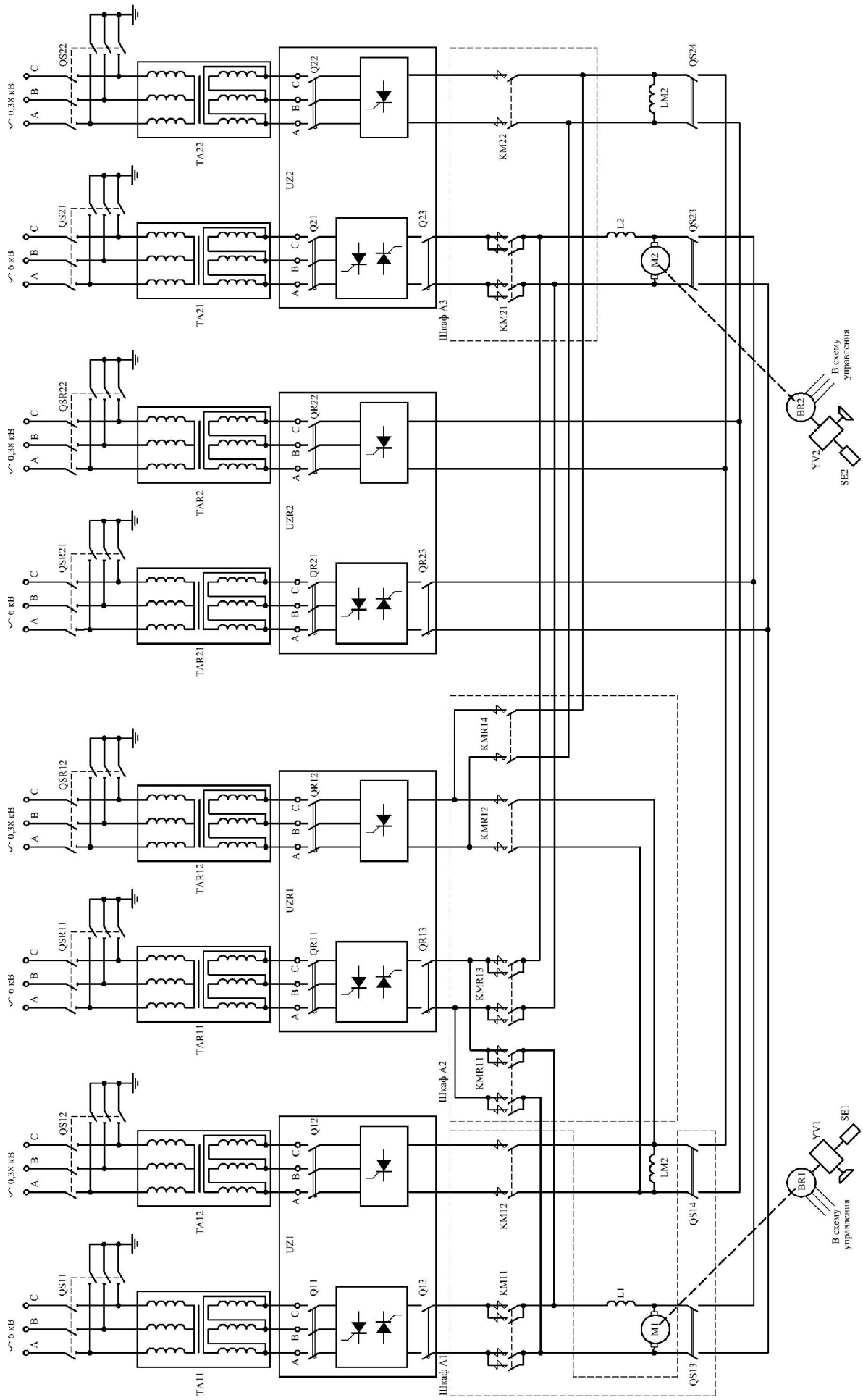


Рисунок 3.3 – Принципова схема силової частини електромеханічного натискного пристрою

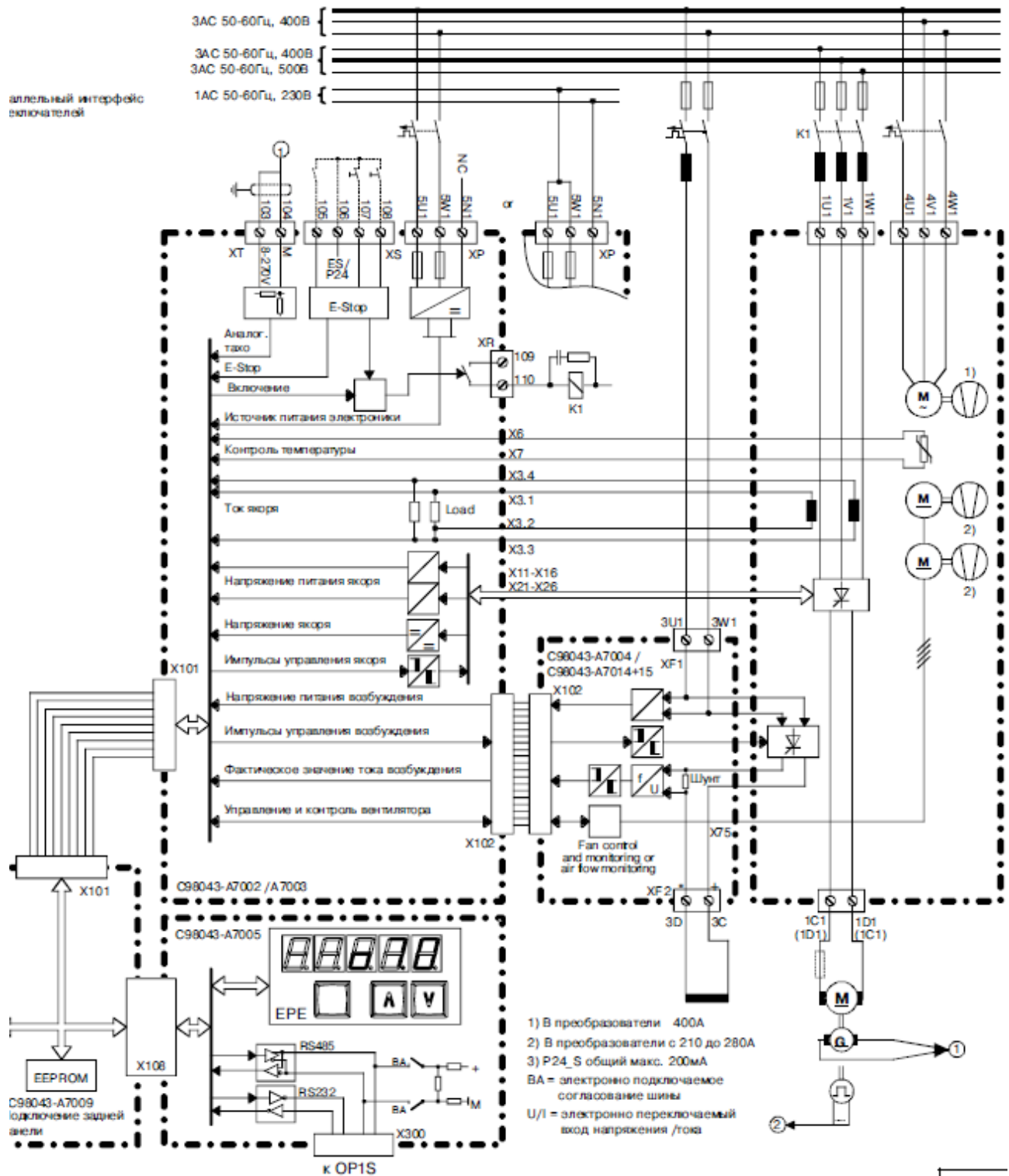


Рисунок 3.4 - Функціональна схема підключення (силова схема) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

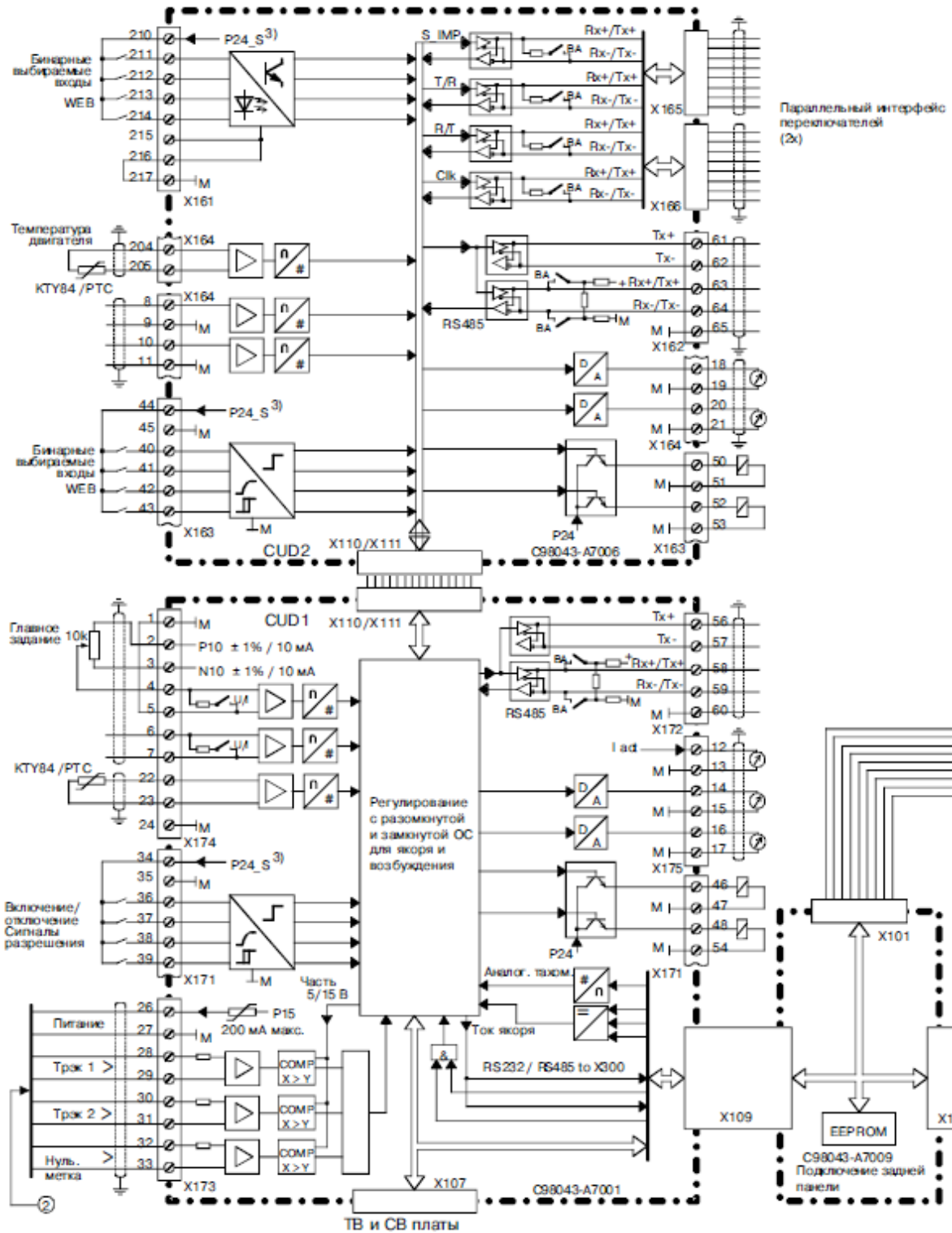


Рисунок 3.5 - Функціональна схема підключення (схема керування) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

### 3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (КТЕ) та система захисту

Привід кожного гвинта електромеханічного натискного пристрою верхніх валків кліті здійснюється від електродвигуна постійною струму закритого виконання з примусовою вентиляцією по розімкненому циклу (див. табл. 1.2).

Живлення якірних ланцюгів електродвигуна електромеханічного натискного пристрою верхніх валків кліті здійснюється від комплектного тиристорного електроприводу концерну Siemens SIMOREG DC MASTER серії 6RM70 (див. табл. 3.1), однодвигуний. з реверсом струму в якірного ланцюга, трансформаторне підключення до мережі з лінійним контактором і пристроєм динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами керування, з однозонної системою регулювання швидкості зі зворотним зв'язком за швидкістю від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP та CAN.

Трансформатори сухі ТСЗП-630/10У3 виконання 1 (Y / Δ) (див. табл.3.2) ТА11 (двигатель М1), ТА21 (двигатель М2) для живлення тиристорного перетворювача. Допустимі поштовхи випрямленого струму 200 %  $I_n$  протягом 15 с. Трансформатори ТА11 та ТА21 живляться від 6 кВ підстанції ПС через шафи високовольтного введення ШВВ1 та ШВВ2.

Схема силова. Схема випрямлення тиристорного перетворювача - трифазний реверсивний міст. У кожному плечі моста напрямки «Вперед» та «Назад» включений один таблеточний тиристор.

Узгодження вхідної напруги тиристорного перетворювача з напругою мережі живлення здійснюється вбудованим трансформатором.

Підключення тиристорних мостів до мережі змінного струму здійснюється автоматичним вимикачем Q11, Q12, Q21, Q21 відповідно.

Випрямлена напруга підключається до навантаження через двополосний автоматичний вимикач Q13 та Q23 і лінійні контактори КМ11 та КМ21.

Оперативне керування автоматичними вимикачами - дистанційне й кнопками, встановленими на двері силової шафи, а також ручне, в залежності від виконання.

Для частих оперативних включень і відключень навантаження застосовуються контактори КМ11 та КМ21. На клемниках КТЕ виведені контакти реле, що відповідають за стан контакторів КМ11 та КМ21.

Для вибору режимів «Місцеве керування», «Дистанційне керування» встановлено перемикач, що дозволяє виконувати тільки «місцеве» (наприклад, при виконанні налагоджувальних або ремонтних робіт) або тільки «дистанційне» керування контакторами КМ11 та КМ21.

Система захисту. Система захисту реагує на датчики аварій, а також на аварійні ситуації обчислювані програмно.

До датчикам системи захисту відносяться:

- герконові датчики В1, В2, встановлені на стороні змінного струму;
- блок-контакт запобіжників схеми захисту тиристорів від перенапруг;
- датчик аварії збудника (спрацьовує при зниженні струму збудження нижче порогового значення або перевищенні встановленого порога);
- датчик струму якоря;
- датчик напруги якоря;
- датчик струму збудника;
- датчик контролю охолодження силового блоку;

### **3.4.2 Резервування перетворювальної техніки**

В якості резервного агрегату UZR1, для живлення якірних ланцюгів електромеханічного натискного пристрою верхніх валків кліті застосований комплектний тиристорний електропривод SIMOREG DC MASTER серії 6RM70 (див. табл. 3.1), однодвигунний, з реверсом струму в якірного ланцюга, трансформаторне підключення до мережі з лінійним контактором і пристроєм динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами керування, з однозонною системою регулювання швидкості зі зворотним зв'язком за швидкістю від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP та CAN.

В якості резервного агрегату UZR2 застосований такий же комплектний

електропривод як і UZR1.

Трансформатори сухі ТСЗП-630/10УЗ виконання 1 (див. табл.3.2) TAR11 та TAR21 для живлення тиристорного перетворювача електродвигунів. Допустимі поштовхи випрямленого струму  $200\% I_n$  протягом 15 с. Трансформатори TAR11 та TAR21 живляться від 6 кВ підстанції ПС через шафи високовольтного введення ШВВР1 та ШВВР2.

Резервні агрегати UZR1 та UZR2 використовуються як загальні для інших натискних пристроїв клітей прокатного стану, наприклад чистової групи клітей.

З метою забезпечення безперебійної роботи застосована система автоматичного включення резерву (АВР). При цьому електродвигун підключається до резервного тиристорного перетворювача UZR1, а перемикання на резервний тиристорний перетворювач UZR2 здійснюється вручну за допомогою перемикачів QS13, QS14 і QS23, QS24 в шафах управління А1, А2, А3 відповідно.

Перемикання на роботу з резервним UZR1 проводиться в шафах А1, А2, А3 силовими контакторами якірного ланцюга і обмотки збудження.

Перемикання контрольних ланцюгів і ланцюгів керування проводиться в шафах А1, А2, А3 за допомогою реле.

Перемикання електродвигуна на живлення від резервного тиристорного перетворювача проводиться при відключеному живленні основних ланцюгів і зупиненому приводі.

Збірка схеми проводиться кнопкою SB1, яка встановлюється на двері шафи перемикання на резерв (А1, А3). При цьому виконується контроль стану контакторів шафи А2, що включають двигун до резервного перетворювача UZR1.

Контроль правильності перемикання на резерв проводиться системою управління. При перемиканні на резерв контакти контактора відповідного перетворювача, робочого або резервного, підключені на дискретний вхід системи управління, дають інформацію в систему управління про необхідність переведення в робочий стан цього перетворювача.



При появі сигналу аварії в робочому КТЕ відбувається динамічне гальмування, після його закінчення - гасіння поля двигуна до нуля. Контроль часу проводиться за допомогою реле часу в шафі перемикачів на резерв. Виробляється команда на включення контакторів, що включають головний ланцюг і ланцюг збудження двигуна до резервного перетворювача UZR1.

Контактори шафи А2 підключення до резервного перетворювача включаються автоматично за сигналами з шаф А1, А3. При аварії в резервному агрегаті відбувається динамічне гальмування і після його закінчення гасіння поля двигуна до нуля.

### **3.4.3 Система керування (АСКТП)**

Автоматизована система керування технологічним процесом (АСКТП) передбачає два основні режими роботи: ручний та автоматичний.

Ручний режим роботи здійснюється з пульта поста керування ПК оператором. За допомогою органів керування оператор видає необхідні команди і при цьому здійснює візуальний контроль розчину валків по цифровим індикаторам.

Оператор має можливість керувати електроприводами натискних гвинтів спільно, а при ремонтах обладнання - спільно (режим поштовху) або окремо (режим «випробування»). Ручне спільне керування може використовуватися в робочому технологічному режимі при тимчасово непрацездатному автоматичному керуванні.

Автоматичне керування є основним способом управління в робочому технологічному режимі і передбачає програмну перебудову розчину валків відповідно до технологічної схеми прокатки, також видачу відповідних команд на перебудову від АСКТП. Ручне втручання оператора при цьому можливо, але, в основному, оператор здійснює тільки нагляд за процесом прокатки і роботою устаткування. Система автоматизації забезпечує електричну синхронізацію положень натискних гвинтів з похибкою не більше 0,05 мм.

Напівавтоматичне керування є допоміжним режимом і передбачає

отримання дозволу оператора на автоматичну перебудову і враховує можливість ручного втручання оператора для коригування програм з метою оптимізації настройки.

Основні технологічні режими передбачають режими «налагоджування», «перевалки» та «калібрування».

- Режим «налагоджування» - спільне синхронне переміщення натискних гвинтів відповідно з уставкою завдання розчину робочих валків.

- Режим «перевалка» - спільне синхронне переміщення натискних гвинтів вгору під контролем позиційної системи з максимальною швидкістю до максимального робочого рівня. Такий стан натискних гвинтів забезпечує зміну валків кліті.

- Режим «калібрування» - вибір нульової точки відліку позиційних (кодових) датчиків після завалювання в кліть переточених валків, після тривалої зупинки стану на ремонт, а також після заміни позиційного датчика. У разі короткочасного випадкового зникнення напруги живлення «нулі» відліку позиційних датчиків можуть бути збережені в енергонезалежних запам'ятовуючих пристроях.

Можливий варіант калібрування: при знаходженні циліндрів гідравлічного натискного пристрою (ГНУ) в середньому положенні, оператор дає завдання на рух гвинтів вниз. Рух гвинтів припиняється, коли зусилля в гідроциліндрах ГНУ доходить до невеликого значення. При необхідності, роздільним переміщенням гвинтів, зусилля під правим лівим гвинтами вирівнюються. Після цього, при однакових значеннях зусиль під правим і лівим гвинтами і зупинених натискних гвинтах, проводиться калібрування, тобто вибір початкових точок відліку позиційних датчиків.

Допоміжні технологічні режими: «заміна гвинта» та «обслуговування».

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

Режим «обслуговування» - дистанційне відключення приводу в обсязі

вимог техніки безпеки для виконання робіт на електро-та механообладнанні, встановленому на кліті.

На вхід системи управління КТЕ надходять такі зовнішні аварійні і попереджувальні дискретні сигнали механізму;

- один вхід для контролю стану контактора підключення якірного ланцюга електродвигуна (контактор призначений для відключення якоря електродвигуна від робочого КТЕ з метою забезпечення автоматичного підключення резервного агрегату АВР). Включене положення контактора АВР дозволяє включення лінійних контакторів КТЕ;

- один вхід для контролю стану контактора підключення обмотки збудження електродвигуна, (контактор призначений для забезпечення автоматичного підключення резервного агрегату). Включене положення контактора АВР дозволяє включення лінійних контакторів КТЕ. Відключення цього контактора можливо тільки при струмі збудження, що дорівнює нулю;

- один вхід реле контролю перевищення швидкості. При замиканні контакту реле контролю перевищення швидкості лінійні контактори КТЕ повинні відключитися;

- один вхід для контролю вентиляції електродвигуна. При наявності вентиляції дозволені «Готовність» та включення лінійних контакторів, а при відключенні системи вентиляції лінійні контактори не відключати і інформація про зникнення сигналу надходить на термінал і в діагностику КТЕ (попереджувальний сигнал);

- один вхід для контролю наявності мастила на механізмі. Наявність сигналу дозволяє включення лінійних контакторів. При наявності змащення дозволені «Готовність» та включення лінійних контакторів, а при відключенні системи змащення лінійні контактори не відключати і інформація про зникнення сигналу надходить на термінал і в діагностику КТЕ (попереджувальний сигнал);

- один вхід аварійного відключення оператором з посту керування лінії стану. Відключається лінійні контактори і сигнал видається в систему

діагностики КТЕ;

- один вхід для підключення колійного контактного вимикача, який призначений для відключення двигуна в крайньому верхньому положенні натискного гвинта. Після відключення рух можливий тільки вниз.

- два виходи для дискретних (сухий контакт) сигналів:

- один замикає контактний вихід «готовність приводу»;

- один замикає контактний вихід «аварія приводу».

При аварії приводу після відключення лінійних контакторів і завершення роботи динамічного гальмування необхідно виконати гасіння поля електродвигуна з метою забезпечення перемикачності контакторів АВР в ланцюзі збудження електродвигуна без струму. Необхідна витримка часу забезпечується схемою шафи АВР. (Необхідна пауза для спадання струму (до 6 с) і тільки після цього перемикачності).

За мережею Profibus DP в програмований контролер видається сигнал готовності приводу, що включає сигнал готовності КТЕ і включений стан лінійного контактора, аварія. Приймаються сигнали дозволу на пуск приводу (дозвіл на прийняття завдання) і завдання на швидкість приводу.

Всі завдання системи керування виконуються програмно-апаратним способом. Вихідними сигналами системи керування є керуючі імпульси тиристорного перетворювача головних ланцюгів і збудника, впливу на живлення електромагнітного гальма і апарати захисту КТЕ, індикація режимів роботи і причин аварійних відключень, а також формування сигналів. Вихідні сигнали формуються в функції зовнішніх завдань і величин координат електроприводу.

### **3.5 Вибір комутаційної апаратури**

Номінальна напруга автоматичного вимикача повинно бути не менше діючої напруги того ланцюгу, де він встановлюється:

- для Q11, QR11, Q21, QR21 діюча лінійна напруга вторинної обмотки

трансформатора для живлення тиристорного перетворювача  $U_{2\text{лн}}$  (див. табл. 3.2);

- для Q12, QR12, Q22, QR22 діюча лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора для живлення тиристорного збудника;

- для Q13, QR13, Q23, QR23, QS13, QS23 ідеальна випрямлена напруга (значення максимально випрямленою ЕРС)  $E_{\text{d0 тп}}$ .

- для QS14, QS24 значення напруги збудження перетворювача.

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

- для Q11, QR11, Q21, QR21:  $I_{\text{н расц}} \geq k_{\text{эп}} I_{2 \text{ тр тп}}$ ;

- для Q12, QR12, Q22, QR22:  $I_{\text{н расц}} \geq k_{\text{эп}} I_{2 \text{ тр тв}}$ ;

- для Q13, QR13, Q23, QR23, QS13, QS23:  $I_{\text{н расц}} \geq k_{\text{эп}} I_{\text{н дв}}$ ;

- для QS14, QS24:  $I_{\text{н расц}} \geq k_{\text{эп}} I_{\text{в тп}}$ .

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

$I_{2 \text{ тр тп}} = 1635 \text{ А}$  - вторинний лінійний струм для живлення тиристорного перетворювача;

$I_{\text{н дв}} = 1440 \text{ А}$  - номінальний струм електродвигуна;

$I_{\text{в тп}} = 40 \text{ А}$  - номінальний струм збудження перетворювача.

## 4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНІЗМУ НАТИСКНОГО ПРИСТРОЮ ОБТИСКНОЇ КЛІТІ СЛЯБІНГУ 1150

### 4.1 Математичний опис об'єкта керування

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

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

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

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

У зв'язку із цим повне дослідження динамічних характеристик ТП є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення. Найбільше поширення одержали два види моделей тиристорних перетворювачів: безперервна, у якій ТП представляється аперіодичною ланкою

з коефіцієнтом  $k_{тп}$  і постійної часу  $\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$  й імпульсна. Надалі, при синтезі

САР буде використана безперервна модель тиристорного перетворювача.

Система регулювання обраного тиристорного перетворювача двохпроцесорна, усі регулятори (струму якоря, швидкості, е.р.с. двигуна, струму збудження й т.п.) побудовані з функціональних блоків, реалізованих програмно. Внаслідок того, що швидкодія мікропроцесорів досить висока, ресурсів, яких крім усього іншого вистачає для реалізації системи захистів і сигналізації, здійснення моніторингу стану електропривода, діагностики збоїв і попереджень, інтерфейсу оператора й т.п., синтез системи регулювання може бути здійснений відповідно до традиційного настроювання контурів по модульному й симетричному оптимумах, причому сама система регулювання вважається безперервною. Детальні структурні схеми відповідних контурів регулювання перетворювача SIMOREG DC Master будуть представлені в наступних розділах при синтезі САР.

Таким чином, електродвигун представимо у вигляді трьох типових ланок (рис. 4.1): аперіодичної ланки першого порядку (електрична частина двигуна) і інтегруючої ланки (механічна частина), охоплених негативному зворотним зв'язком по е.р.с. двигуна. Ланка переходу від окружної швидкості електродвигуна до положення - інтегратор з коефіцієнтом передачі  $k_{мех}$  ( $A$ ).

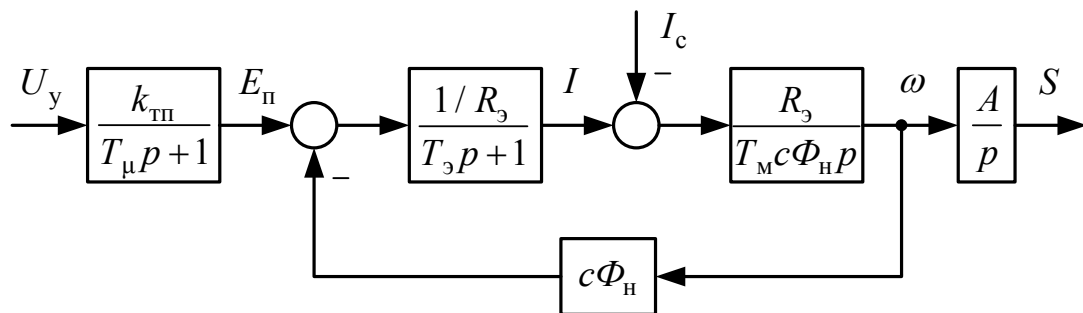


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини позиційного електроприводу

## 4.2 Розрахунок статичних та динамічних параметрів елементів і вузлів системи електроприводу

При синусоїдальній опорній напрузі системи імпульсно-фазового керування (СІФУ) перетворювача характеристика вхід-вихід ТП лінійна і коефіцієнт передачі ТП по напрузі розраховується за формулою [16, 17]:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{d0}}}{U_{\text{y max}}} = \frac{769,5}{10} = 76,95 \quad (4.1)$$

де  $E_{\text{d0}}$  – значення максимально випрямленою ЕРС, В.

$U_{\text{y max}} = 10$  В – максимальна керуюча напруга перетворювача.

Коефіцієнт пропорційності між швидкістю обертання та ЕРС двигуна:

$$c_e = \frac{U_{\text{н дв}} - I_{\text{н дв}} r_{\text{я.дв}}}{n_{\text{н дв}}} = \frac{600 - 1440 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{795} = 0,728 \quad (4.2)$$

де  $U_{\text{н дв}}$  – номінальна напруга двигуна (див. табл. 1.2), В;

$I_{\text{н дв}}$  – номінальний струм електродвигуна, А;

$r_{\text{я.дв}} = R_a$  – опір обмотки якоря при 120 °С, Ом;

$n_{\text{н дв}}$  - номінальна частота обертання двигуна, об/хв.

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_k = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_a}{2\pi} = \frac{6 \cdot 11,958 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 11,419 \text{ мОм} \quad (4.2)$$

де  $m_{\text{ф}} = 6$  - число фаз випрямлення;

$x_a$  - повний опір силового трансформатора.

Еквівалентний активний опір якорного ланцюга системи ТП-Д:



$$R_{\Sigma} = r_{\text{я.дв}} + r_{\text{а.ср}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} =$$

$$= 15 + 4,7 + 2 \cdot 3,376 + 11,419 + 1,5 = 0,037 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

де  $r_{\text{а.ср}}$  - активний опір згладжувального дроселя (див. табл. 3.3), мОм;

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

$r_{\text{к}}$  - комутаційний опір, мОм;

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 15 = 1,5$  мОм - активний опір кабелю, що з'єднують ТП з якорем двигуна (загальній ланцюг випрямленого струму).

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюгу системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} + L_{\text{н.ср}} =$$

$$= 0,27 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 38,064 \cdot 10^{-6} + 2,3 \cdot 10^{-3} = 0,0026 \text{ Гн} \quad (4.4)$$

$L_{\text{дв}} = L_{\text{а}}$  - індуктивність обмотки якоря, Гн;

$L_{\text{тр}}$  - індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму, Гн;

$L_{\text{н.ср}}$  - номінальна індуктивність згладжувального дроселя, Гн.

Електромагнітна постійна часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,0026}{0,037} = 0,071 \text{ с} \quad (4.5)$$

$L_{\Sigma}$  та  $R_{\Sigma}$  - еквівалентні індуктивність та опір системи ТП-Д.

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н дв}} - I_{\text{н дв}} r_{\text{я.дв}}}{\omega_{\text{н дв}}} = \frac{600 - 1440 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{83,25} = 6,95 \text{ Вс} \quad (4.6)$$

де  $\omega_{\text{н дв}} = \frac{\pi n_{\text{н дв}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 795}{30} = 83,25 \text{ 1/с}$  - кутова номінальна швидкість

електродвигуна.

Електромеханічна постійна часу системи ТП-Д:

$$T_M = \frac{J'_\Sigma R_\Sigma}{c\Phi_H^2} = \frac{107,9 \cdot 0,037}{6,95^2} = 0,084 \text{ с} \quad (4.7)$$

де  $J'_\Sigma = J'_{\text{мех}} + 2J_{\text{дв}} = 39,9 + 2 \cdot 34 = 107,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - сумарний момент інерції електроприводу;

$J'_{\text{мех}}$  - сумарний момент інерції механізму, приведений до валу двигуна натискного гвинта,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$  (див. табл. 1.2);

$J_{\text{дв}}$  - момент інерції електродвигуна,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

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

Передавальний коефіцієнт механізму, що зв'язує кут повороту валу з величиною переміщення механізму, визначимо по заданому критичного переміщенню  $S_{\text{зк}}$ :

$$A = \frac{S_{\text{кр}} M_{\text{дин}}}{J'_\Sigma \omega_H^2} = \frac{40,89 \cdot 37,738 \cdot 10^3}{107,9 \cdot 83,25^2} = 2,063 \text{ мм/рад} \quad (4.8)$$

где  $S_{\text{кр}}$  - величина критичного переміщення виконавчого органу, мм;

$M_{\text{дин}} = \lambda_{\text{п.т}} M_{\text{н дв}} = 1,92 \cdot 2 \cdot 19700 = 37,738 \cdot 10^3 \text{ Нм}$  - динамічний момент двох двигунів;

$\lambda_{\text{п.т}} = 1,92$  - величина кратності пуско-гальмівних струмів, що забезпечують роботу електродвигуна без перегріву для випадку стабілізації динамічного моменту електроприводу (2.13);

$M_{\text{н дв}} = 19700 \text{ Нм}$  - номінальний момент одного електродвигуна, каталожні данні (див. табл. 1.2).

### 4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму враховуємо, що електромеханічна постійна часу  $T_M$  набагато більша електромагнітної постійної часу  $T_3$ . Також будемо зневажати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, розглядаючи його її як збурюючим впливом у контурі струму [12, 18].

Структурна схема контуру струму представлено на рисунку 4.2.

У якості малої постійної часу контуру струму приймаємо малу постійну ТП  $T_\mu = 5$  мс, що обирається, виходячи з необхідної швидкодії та завадостійкості системи регулювання. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

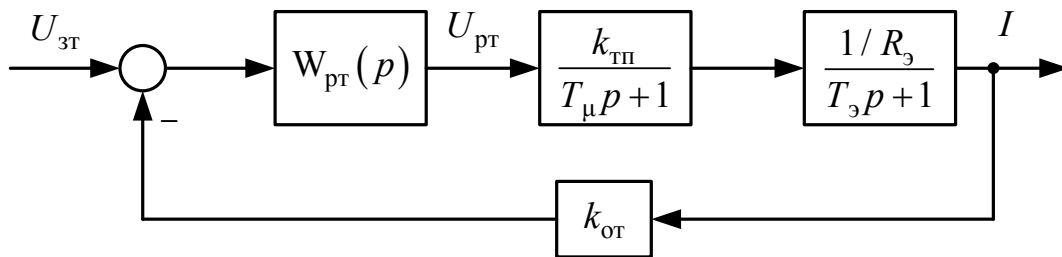


Рисунок 4.2 – Структурна схема контуру струму

На підставі структурної схеми, наведеної на рис. 4.2, та методики, викладеної в [18], можна отримати формули для визначення параметрів ПІ-РТ і передавальну функцію (ПФ) контуру регулювання струму (КРС), налаштованого на модульний оптимум (МО):

$$W_{\text{рТ}}^{\text{М}}(p) = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} 2T_\mu p} = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p} = k_{\text{рТП}} + \frac{k_{\text{рТИ}}}{p} \quad (4.9)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора струму:

$$k_{\text{рТП}} = \frac{R_3 T_3}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,037 \cdot 0,071}{76,95 \cdot 0,0027 \cdot 0,01} = 1,238 \quad (4.10)$$

$$k_{\text{рТИ}} = \frac{1}{T_{\text{рТ}}} = \frac{R_3}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,037}{76,95 \cdot 0,0027 \cdot 0,01} = 17,542 \quad (4.11)$$

де  $T_3$  – електромагнітна постійна часу системи ТП-Д;

$k_{\text{ТП}}$  – коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$$k_{\text{от}} = \frac{U_{\text{зт.мах}}}{I_{\text{мах}}} = \frac{10}{3600} = 0,0027 \quad \text{В/А} \quad - \quad \text{коефіцієнт передачі ланцюга}$$

зворотнього зв'язка по струму;

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

$I_{\text{мах}} = 2,5I_{\text{н}} = 2,5 \cdot 1440 = 3600 \text{ А} - \text{максимально допустимий струм якоря двигуна (струм упору)};$

$T_{\text{от}} = 2T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ с} - \text{постійна часу інтегрування контуру струму при настроюванні на модульний оптимум.}$

Функціональна схема контуру регулювання струму якоря, реалізована в перетворювачі програмно на базі відповідних блоків, представлено на рис. 4.3. Розраховані величини пропорційної й інтегральної частин регулятора струму при налагодженні електропривода необхідно встановити в параметрах P155.F і P156.F відповідно.

Для формування сигналу, пропорційного реальному струму якоря двигунів використовується канал аналогового входу (клеми X174.4 і X174.5 на рис. 4.4), на які подається напруга з датчика напруги, підключеного до вимірювального шунта. Шунт необхідно встановити в якірному ланцюзі двигуна. Далі сигнал фільтрується апаратним згладжуванням, оцифровується аналого-цифровим перетворювачем А/D, нормується по величині до 100% параметром P701.F і далі при необхідності інвертується за допомогою параметра P703, програмно фільтрується й на виході конектора K0011 виходить програмний сигнал, пропорційний реальному току.

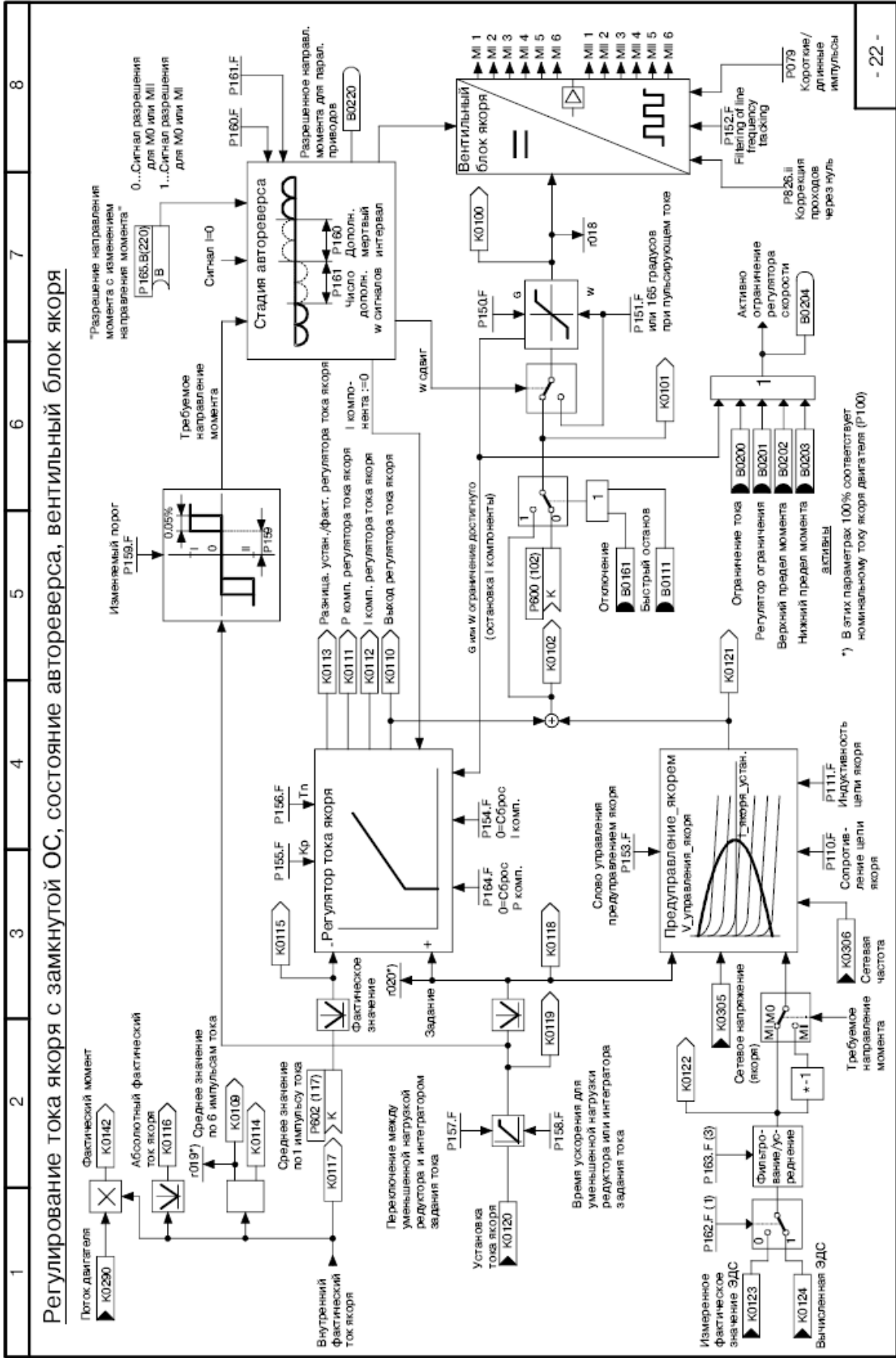


Рисунок 4.3 – Функціональна схема контуру регулювання струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

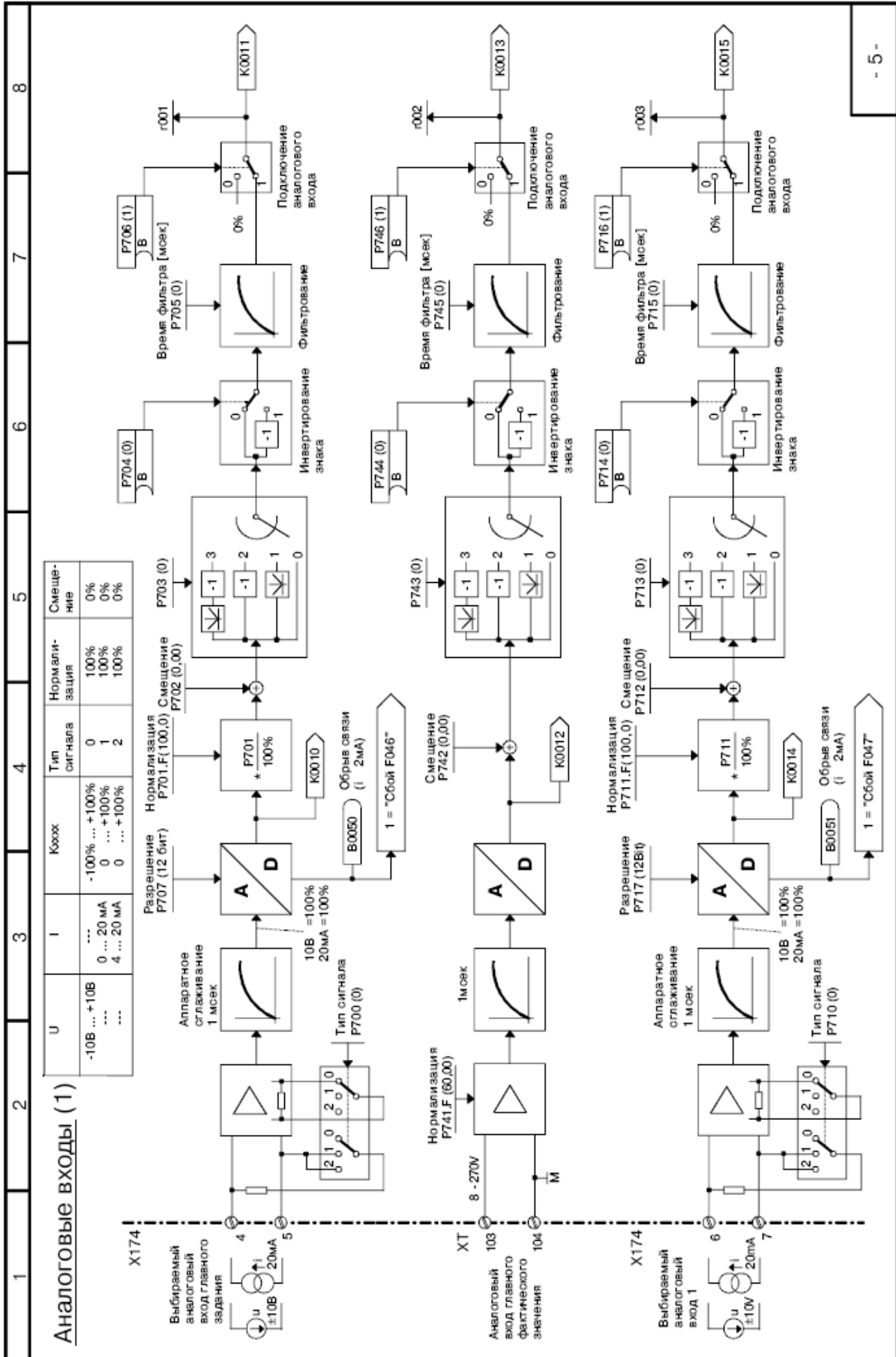


Рисунок 4.4 – Канал формирования сигнала зворотного зв'язку в перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.4 Синтез регулятора швидкості

Структурна схема контуру швидкості зі згорнутим контуром струму (оскільки  $T_\mu$  - мала постійна часу, то значенням  $T_{от}T_\mu$  можна зневажити) наведено на рисунку 4.5 [12, 18, 19].

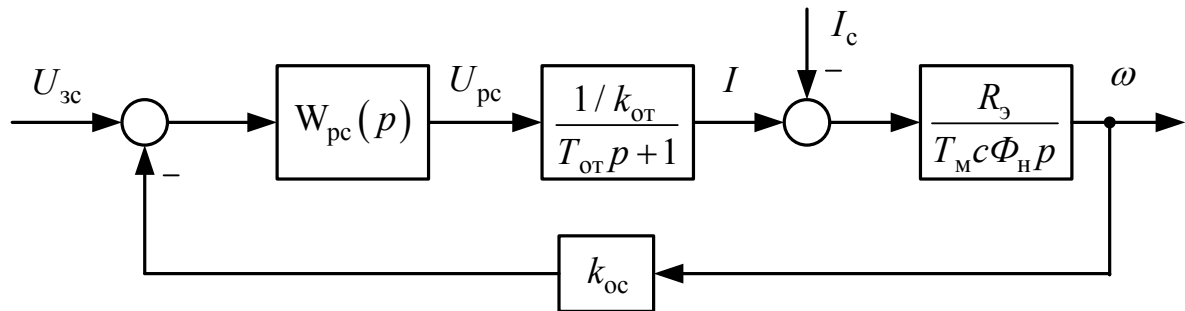


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

Регулятор швидкості організований по пропорційно-інтегральному (ПІ) закону керування з настроюванням на симетричний оптимум. Регулятор для забезпечення необхідних динамічних параметрів повинен компенсувати електромеханічну постійну часу системи  $T_M$ , а також малу постійну часу контуру швидкості  $T_{ос}$ . У цьому випадку передатна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{pc}^c(p) = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{ос} 2T_{от}} \frac{4T_{от}p + 1}{4T_{от}p} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{ос} T_{ос}} \frac{2T_{ос}p + 1}{2T_{ос}p} = k_{pc\Pi} + \frac{k_{pcИ}}{p} \quad (4.12)$$

Пропорційна та інтегральна частини ПІ-регулятора швидкості:

$$k_{pc\Pi} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{ос} T_{ос}} = \frac{0,084 \cdot 6,95 \cdot 0,0027}{0,037 \cdot 0,1 \cdot 0,02} = 17,96 \quad (4.13)$$

$$k_{pcИ} = \frac{1}{T_{pc}} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{ос} 2T_{ос}^2} = \frac{0,084 \cdot 6,95 \cdot 0,0027}{0,037 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 448,95 \quad (4.14)$$

де  $T_M$  – електромеханічна постійна часу системи ТП-Д;

$$k_{oc} = \frac{U_{zc.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{83,25} = 0,12 \text{ Вс} - \text{коєфіцієнт передачі ланцюга зворотного}$$

зв'язка по швидкості;

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

$$\omega_{max} = \omega_n = 83,25 \text{ 1/с} - \text{максимальна швидкість електродвигуна};$$

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

швидкості при настроюванні на симетричний оптимум.

Функціональна схема контуру регулювання швидкості, реалізованого в перетворювачі SIMOREG DC Master програмно на базі відповідних блоків, представлена на рисунку 4.6. Розраховані величини пропорційної й інтегральної частин регулятора швидкості при налагодженні електропривода необхідно встановити в параметрах P550.F, P225.F і P226.F відповідно.

У якості датчика швидкості вибираємо імпульсний датчик RVI 58N – 1024 імпульсів/оберт.





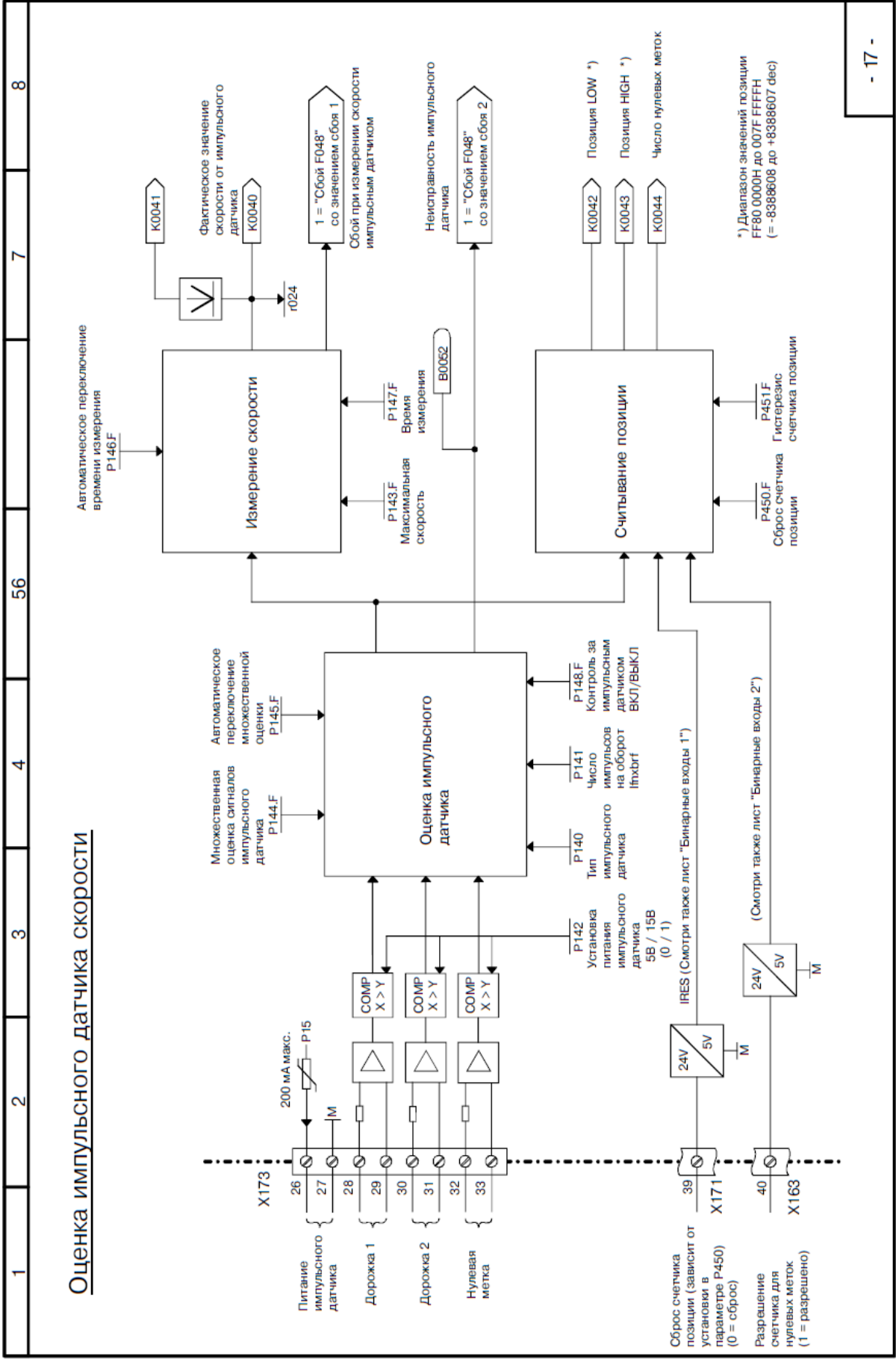


Рисунок 4.7 – Функціональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону й гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки токообмеження ( $I_{\max} = 2,5I_{\text{н}}$ ) необхідно на вході регулятора швидкості встановити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІШ). Він перетворить ступінчастий сигнал завдання швидкості в лінійний сигнал, який змінюється у часі. Усталене значення напруги виходу ЗІС, яке подається на вхід регулятора швидкості, дорівнює вхідному сигналу. Структурна схема задатчика інтенсивності наведено на рисунку 4.8.

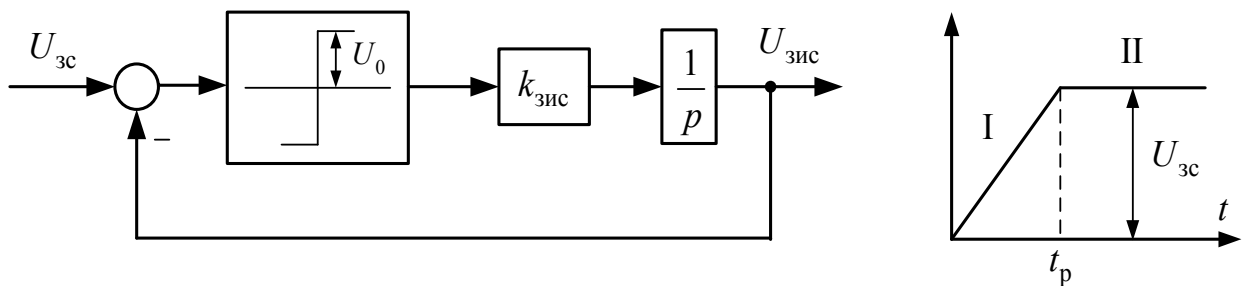


Рисунок 4.8 – Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідна напруги задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_p = \frac{R_{\text{э}}}{T_{\text{м}} c \Phi_{\text{н}}} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_p \quad (4.15)$$

II ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{II}} = U_{\text{зс}} \quad (4.16)$$

де  $I_{\text{дин}} = \lambda_{\text{п.т}} I_{\text{н дв}} = 1,92 \cdot 2 \cdot 1440 = 5517,25 \text{ А}$  - динамічний струм двох двигунів;

$\lambda_{\text{п.т}} = 1,92$  - величина кратності пуско-гальмівних струмів, що забезпечують роботу електродвигуна без перегріву для випадку стабілізації

динамічного моменту електроприводу (2.13);

$\omega_{з.уст} = \omega_n$  – усталена швидкість, яка відповідає  $U_{зс}$ ;

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

$U_0 = 10$  В - полка релейного елемента.

Час відпрацювання критичного переміщення виконавчого органу (2.3):

$$\Delta t_{S_{кр}} = \frac{2V_{уст}}{a_{э max}} = \frac{2 \cdot 171,778}{721,653} = 0,476 \text{ с}$$

Час розгону двигуна до усталеної швидкості:

$$t_p = \Delta t_{S_{кр}} = \frac{2V_{уст}}{a_{э max}} = \frac{2 \cdot 171,778}{721,653} = 0,476 \text{ с} \quad (4.17)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зис} = \frac{U_{зс}}{t_p} = \frac{10}{0,476} = 21 \text{ В/с} \quad (4.18)$$

Функціональна схема задатчика інтенсивності швидкості, реалізованого в перетворювачі SIMOREG DC Master програмно на базі відповідних блоків, представлено на рисунку 4.8.

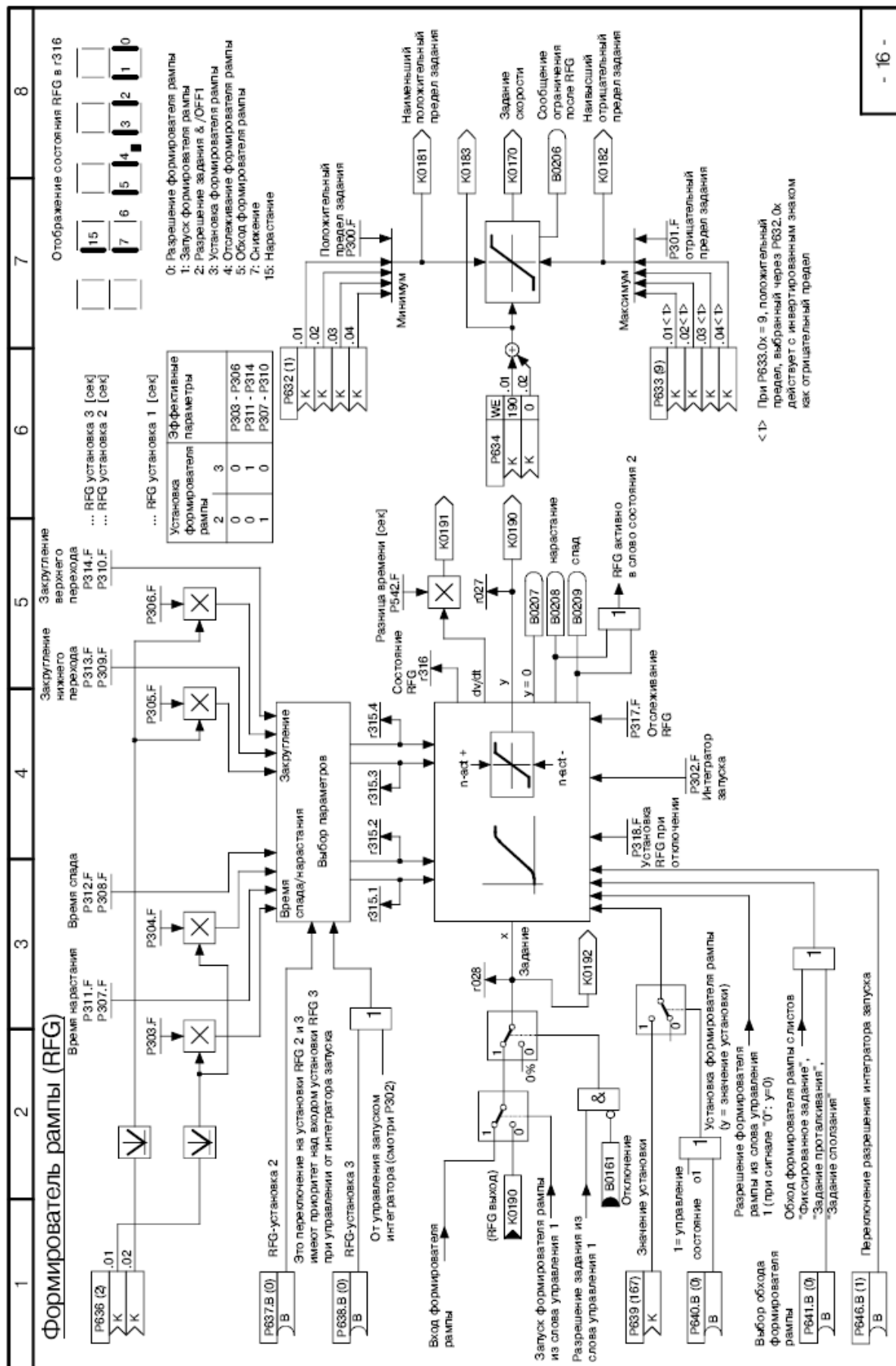


Рисунок 4.8 – Функціональна схема задавача інтенсивності в перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.6 Розрахунок параметрів позиційного контуру

Структурна схема лінійного позиційного контуру наведена на рис. 4.9 [12, 18, 19].

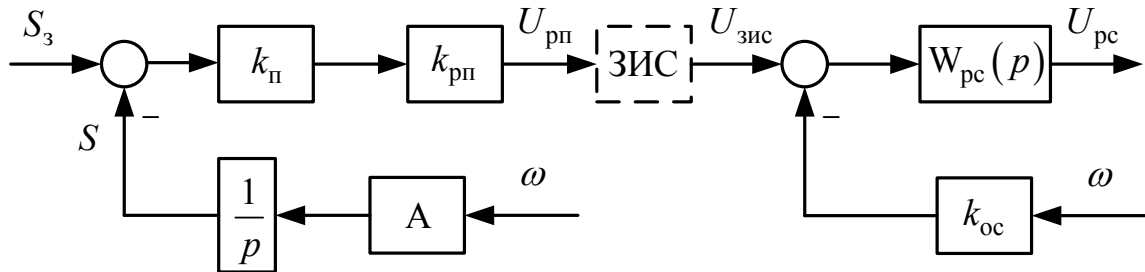


Рисунок 4.9 Структурна схема лінійного позиційного контуру

На рис. 3.7 прийняті наступні позначення:

- $k_{\Pi}$  - коефіцієнт передачі кодового датчика положення;
- $k_{рп}$  - коефіцієнт підсилення лінійного (пропорційного) регулятора положення;
- ЗІС - задатчик інтенсивності швидкості.

На вхід позиційного контуру подається завдання  $S_3$  для відпрацювання необхідного (заданого) переміщення.

Оскільки система реалізує раціональну динаміку (лінійні графіки швидкості), а статичний момент опору дорівнює 0, то прискорення розгону і гальмування рівні. Отже шлях  $S$ , відповідний виходу на усталену швидкість  $\omega_{3,уст} = \omega_H$ , дорівнює половині заданого шляху  $S_3$ . Початок гальмування приводу відбувається при рівності сигналів завдання і зворотного зв'язку на виході регулятора швидкості. Тому можна записати:

$$\begin{aligned} k_{\Pi} k_{рп} (S_3 - S) &= k_{ос} \omega_{3,уст} \\ k_{\Pi} k_{рп} \frac{S_3}{2} &= k_{ос} \omega_{3,уст} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Для вимірювання положення обираємо датчики позиції. Датчики позиції BS1 та BS2, які використовуються в якості елементів зворотного зв'язку по

позиції гвинта, електричної синхронізації положень натискних гвинтів, а також для індикації позиції гвинтів, встановлюються стаціонарно на кришках черв'ячних редукторів і сполучаються без люфтів безпосередньо (кожен) з натискними гвинтами через провідні пристрої. Сигнали датчиків позиції надходять в систему автоматизації.

Датчик кодовий серії CE58-M фірма «T&R Electronic», багатооборотний, 8192 імпульсів/оборот, з круглим валом діаметром 10 мм довжиною 19,5 мм, з фланцем діаметром 36 мм, з інтерфейсом SSI, з радіальним 12-штирьковим роз'ємом, робочий діапазон температур -  $-30^{\circ} \dots + 70^{\circ} \text{C}$ , ступінь захисту IP65, напруга живлення - 24 В постійного струму, вихідна напруга - 10 В.

Коефіцієнт передачі кодового датчика позиції (положення):

$$k_{\Pi} = \frac{U_{\text{вих.мак}}}{S_3} = \frac{10}{40,89} = 0,245 \text{ В/мм} \quad (4.20)$$

Зі співвідношення (4.19) визначимо коефіцієнт підсилення лінійного (пропорційного) регулятора положення:

$$k_{\text{рп}} = \frac{2k_{\text{ос}}\omega_{\text{з.уст}}}{k_{\Pi}S_3} = \frac{2 \cdot 0,12 \cdot 83,25}{0,245 \cdot 40,89} = 2 \quad (4.21)$$

Функціональна схема контуру регулювання положення, реалізованого в перетворювачі SIMOREG DC Master програмно на базі відповідних блоків, представлена на рисунку 4.9.

Технологічний регулятор можна використовувати для накладеного регулювання, наприклад, в якості регулятора руху, положення або тиску. Вихід модуля є вільно монтується і може діяти, наприклад, як головне завдання, додаткове завдання або струмообмеження. Технологічний регулятор являє собою ПД-регулятор з роздільним настроюванням характеристик регулювання. Також можна налаштувати і статику регулювання. Джерело для заданого і поточного значень є вільно вибраним за допомогою введення номера конектора. На вході заданого і поточного значень є параметрируема сортування

(елемент РТ1). Вихід технологічного регулятора можна обмежити на позитивне і негативне значення незалежно один від одного через параметри або обраний конектор. Після введення обмеження стає можливим мультиплікативна оцінка вихідного сигналу, яка проводиться через параметри або через сигнал конектора.

На рис. 4.11 - 4.12 наведені узагальнена функціональна та структурна схеми позиційної системи підпорядкованого керування електроприводу.



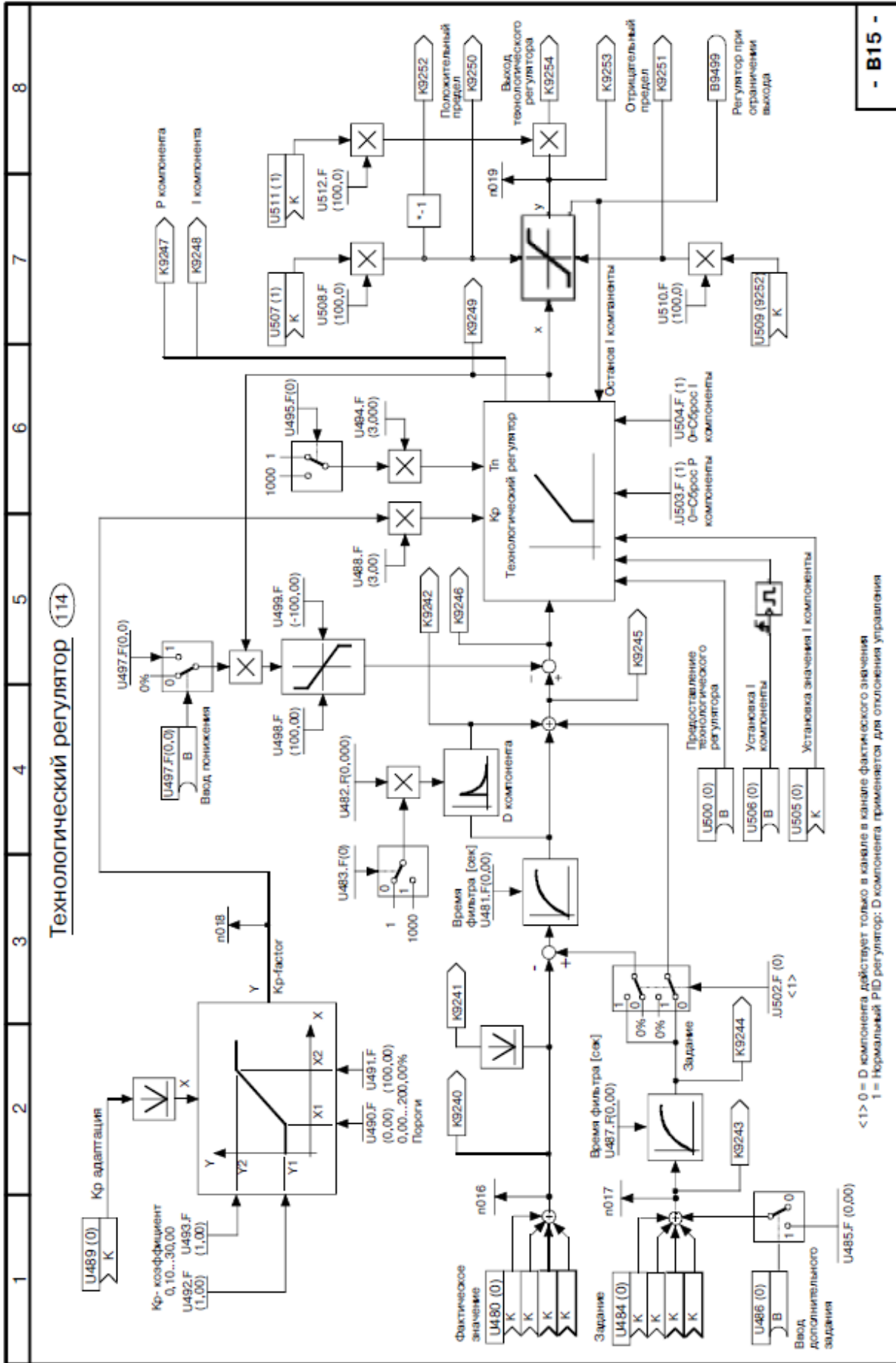
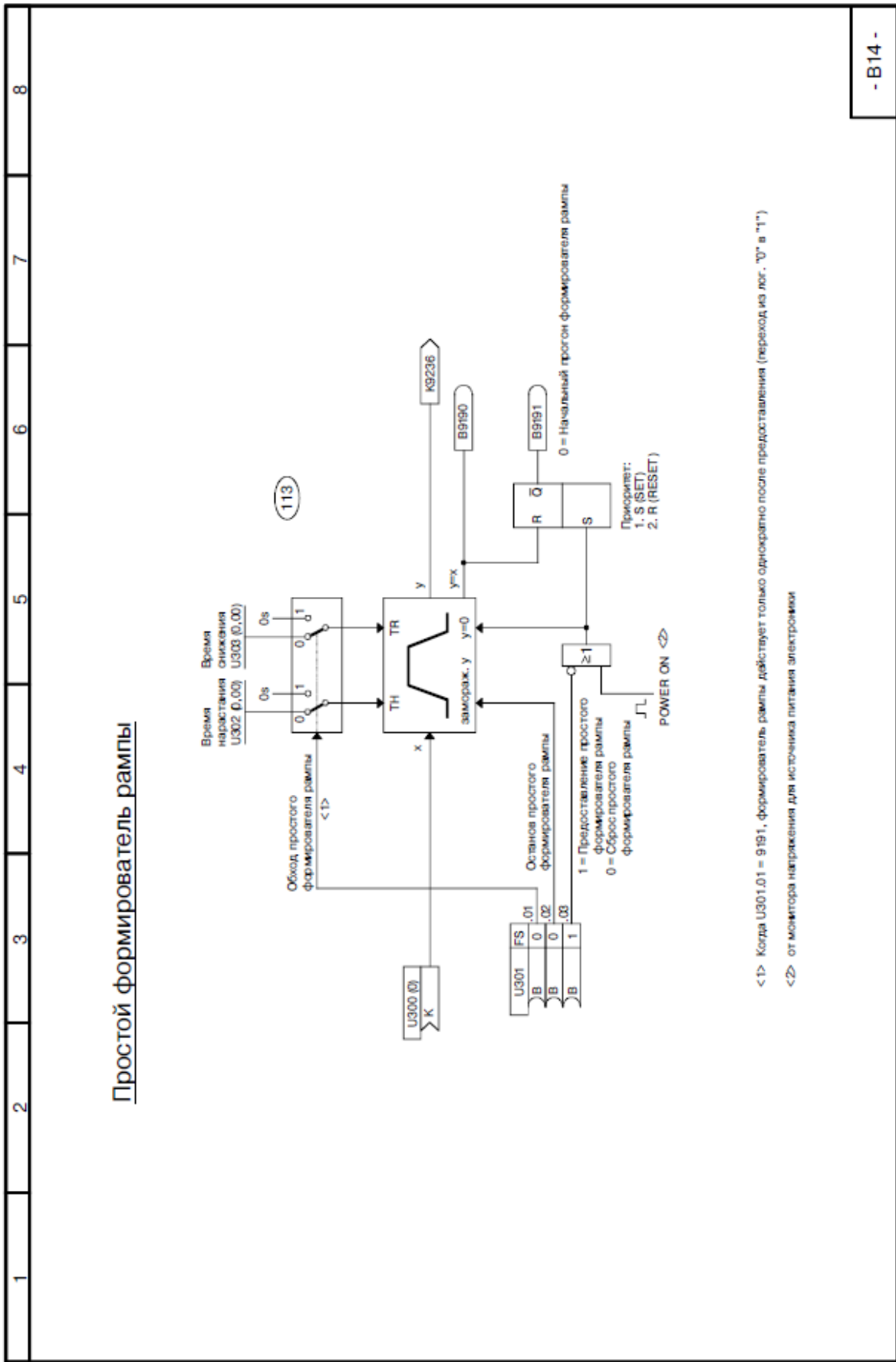


Рисунок 4.9 – Функціональна схема технологічного регулятора в перетворювачі SIMOREG DC Master



<1> Коды U301.01 = 9191, формирователь рампы действует только однократно после предоставления (переход из лог. "0" в "1")  
 <2> от монитора напряжения для исключения питания аппаратуры

Рисунок 4.10 – Функциональна схема формування головного завдання в перетворювачі SIMOREG DC Master

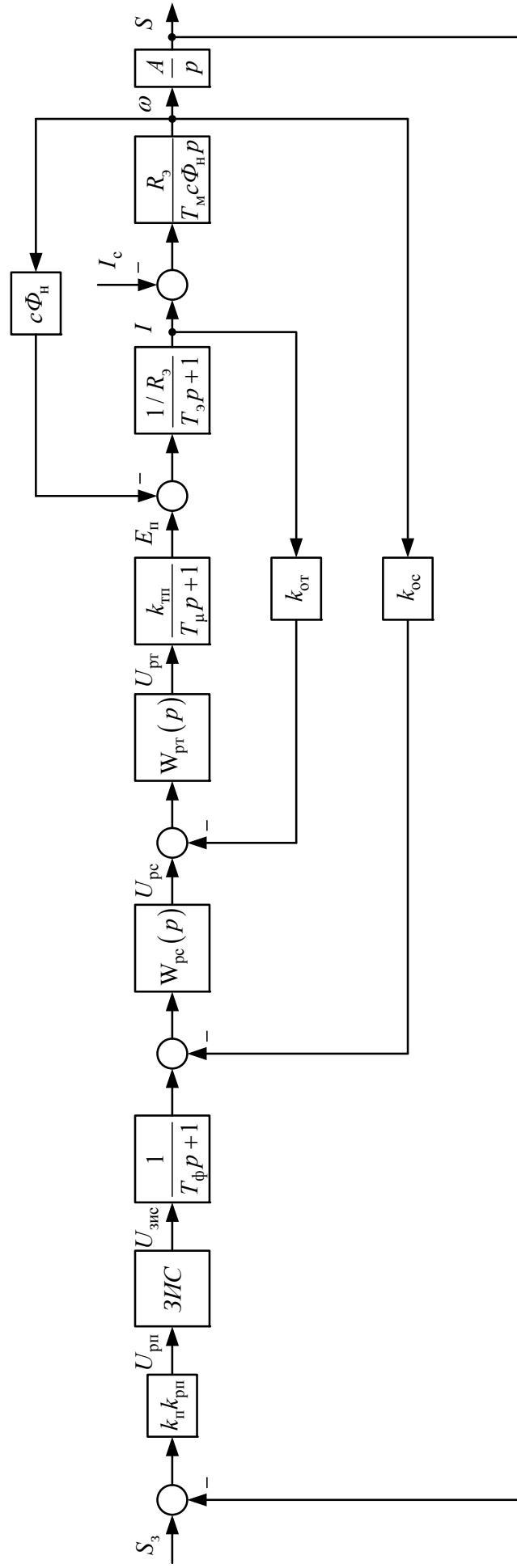


Рисунок 4.11 – Структурна схеми позиційної системи підпорядкованого керування електроприводу

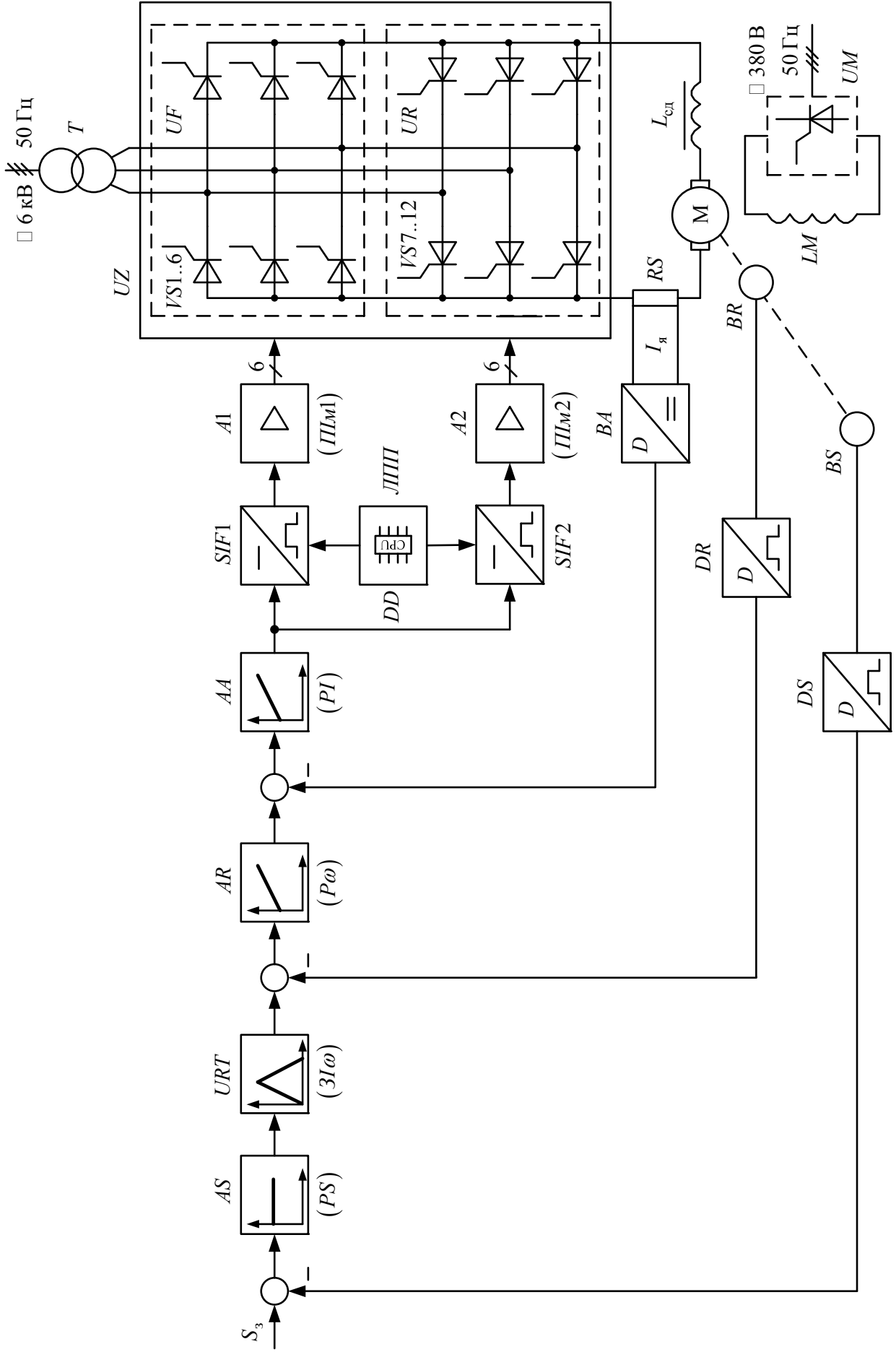


Рисунок 4.12 – Функціональна схеми позиційної системи підпорядкованого керування електроприводу

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

Цифрове моделювання розрахованої системи здійснюється в середовищі моделювання динамічних систем Matlab/Simulink [20, 21]. Створена цифрова модель позиційної системи підпорядкованого керування двигуном постійного струму, що має в своєму складі ПІ-регулятор струму, ПІ-регулятор швидкості, лінійний регулятор положення та задатчик інтенсивності швидкості наведена на рис. 5.1. Внутрішні структури підсистем (Subsystem) типових вузлів схеми наведені на рис. 5.2 - 5.5.

При реалізації регуляторів струму, швидкості та положення в цифровій моделі враховувалося їх насичення. Наприклад, при побудові моделі ПІ-регулятора недостатньо обмежити тільки його вихідна напруга за допомогою блоку Saturation, оскільки внутрішня інтегральна складова блоку при цьому може накопичувати в перехідному процесі значення, що перевершують передбачуваний поріг насичення. З цієї причини використання стандартного блоку PID-Controller, представленого в бібліотеці Simulink Extras / Additional Liner неприпустимо. Моделі регуляторів коректно враховують поріг насичення регулятора  $U_{y,max} = 10$  В (див. рис. 5.2 - 5.5).

Графіки перехідних процесів (переміщення механізму; швидкість обертання двигуна; струм якірного ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задатчика інтенсивності швидкості) наведені на рис. рис. 5.6 - 5.14.

Графіки перехідних процесів отримані як при номінальних параметрах об'єкта керування, так і при їхній варіації наведено на рис. 5.18 - 5.26.

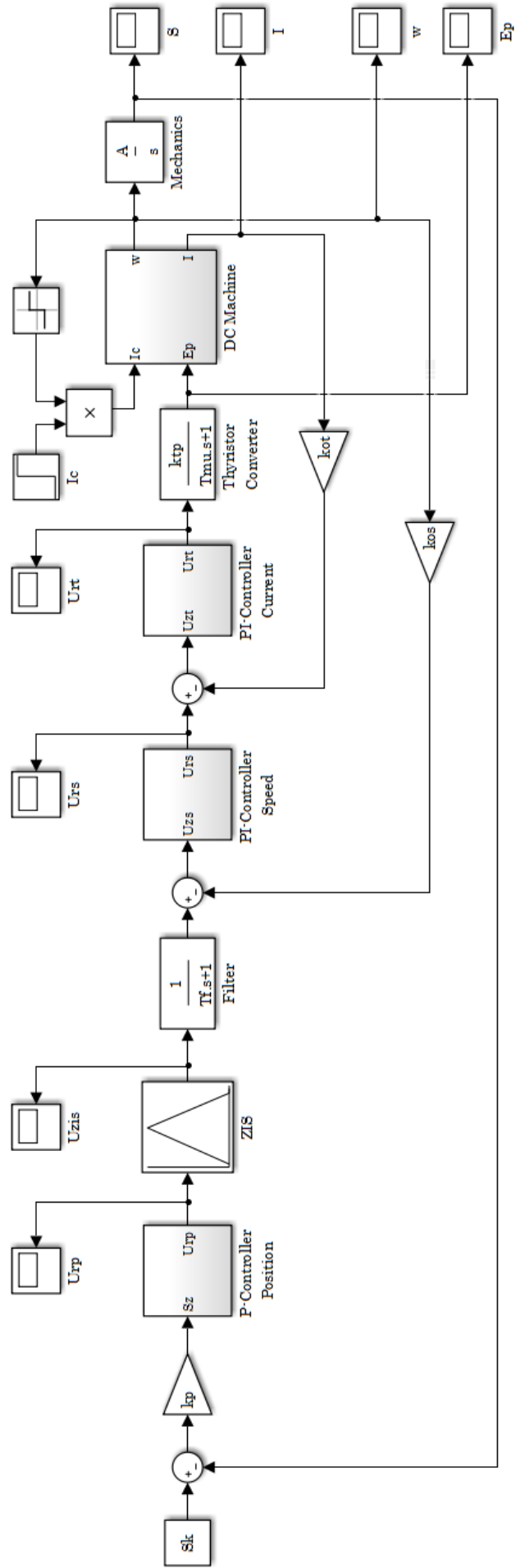


Рисунок 5.1 – Цифрова математична модель позиційної системи підрядкованого керування

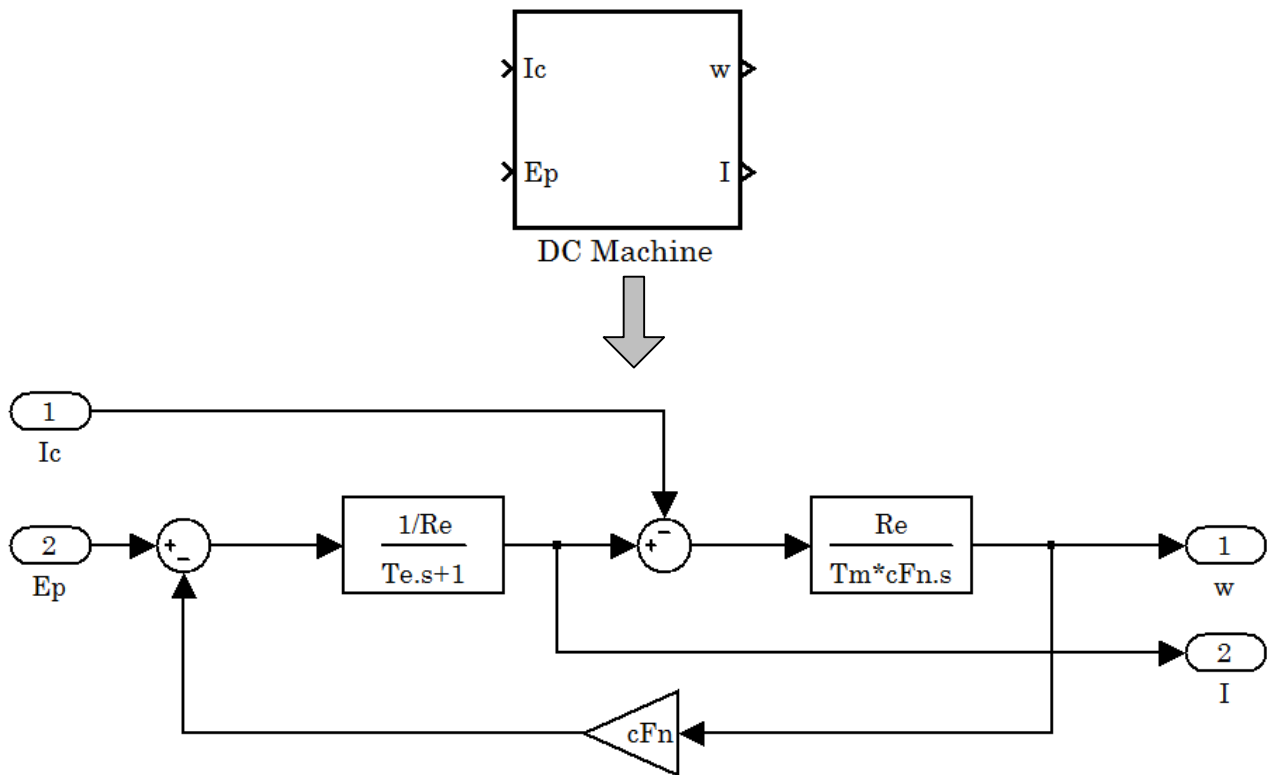


Рисунок 5.2 - Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

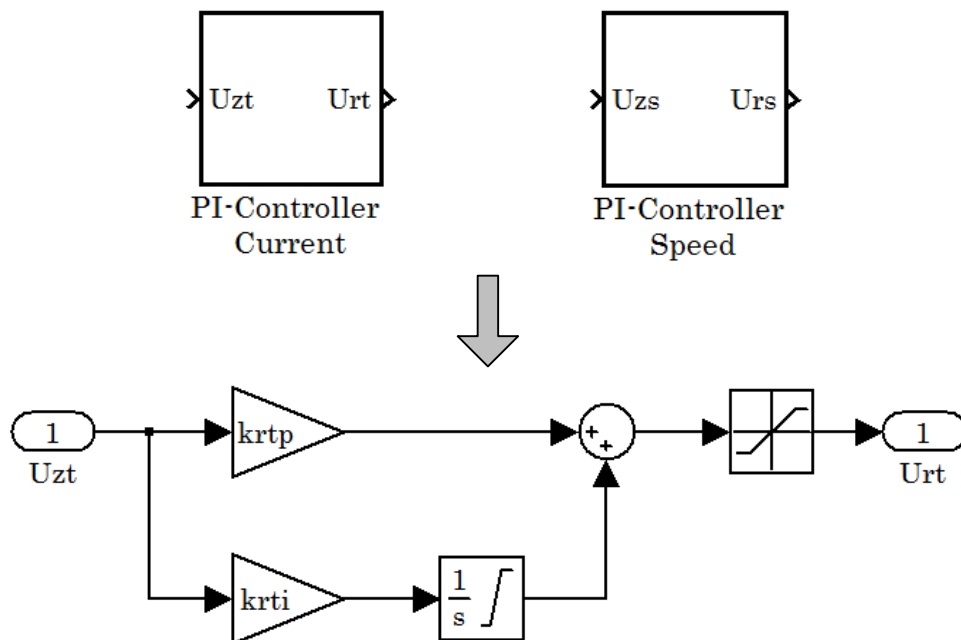


Рисунок 5.3 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) та швидкості (PI-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

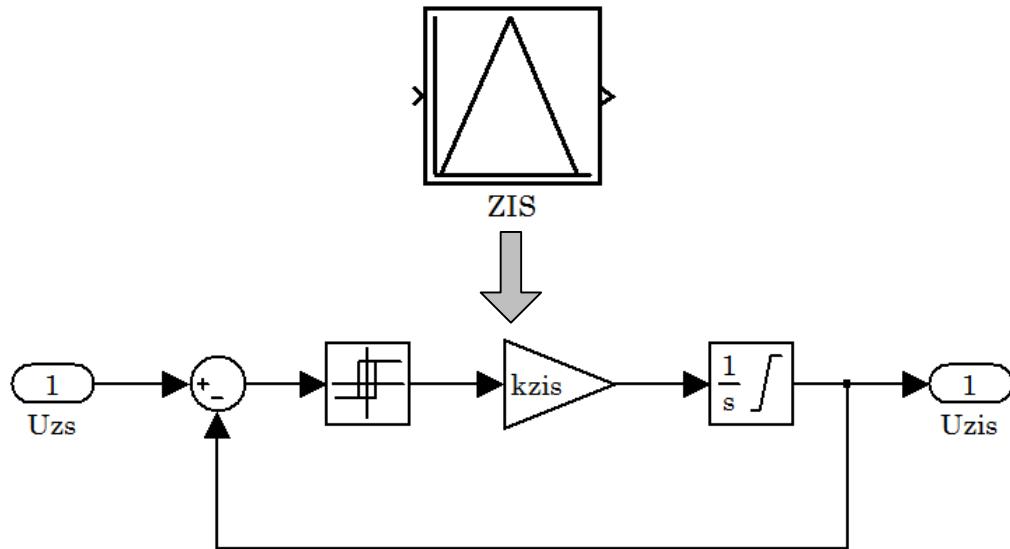


Рисунок 5.4 - Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS),  
що реалізує раціональну динаміку

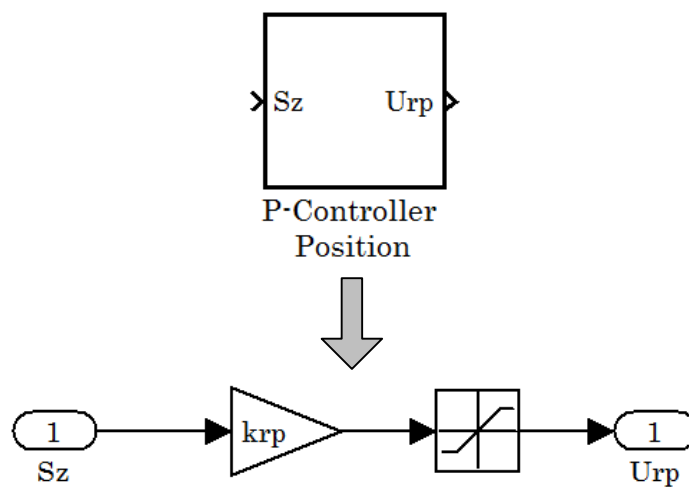


Рисунок 5.5 - Підсистема «П-регулятор» положення (P-Controller Position),  
що враховує поріг насичення регулятора



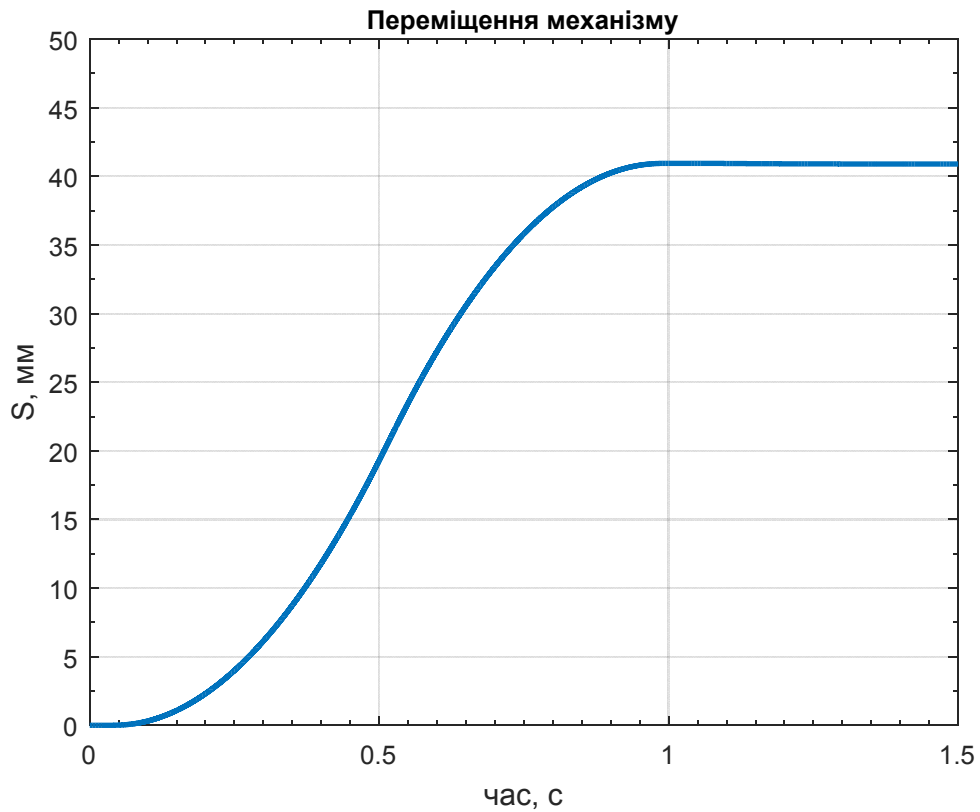


Рисунок 5.6 - Графік перехідного процесу відпрацювання критичного переміщення  $S_{кр} = 40,9$  мм механізму  $I_c = 0,2I_H$

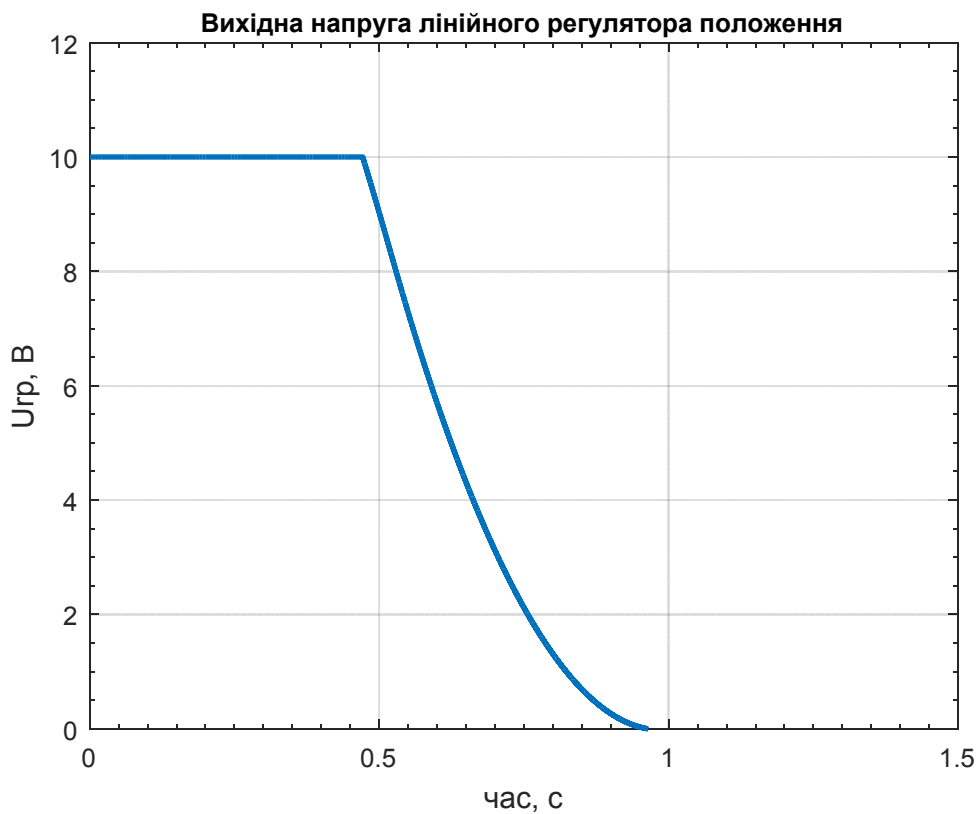


Рисунок 5.7 - Графік перехідного процесу напруги лінійного регулятора положення  $S_{кр} = 40,9$  мм механізму  $I_c = 0,2I_H$

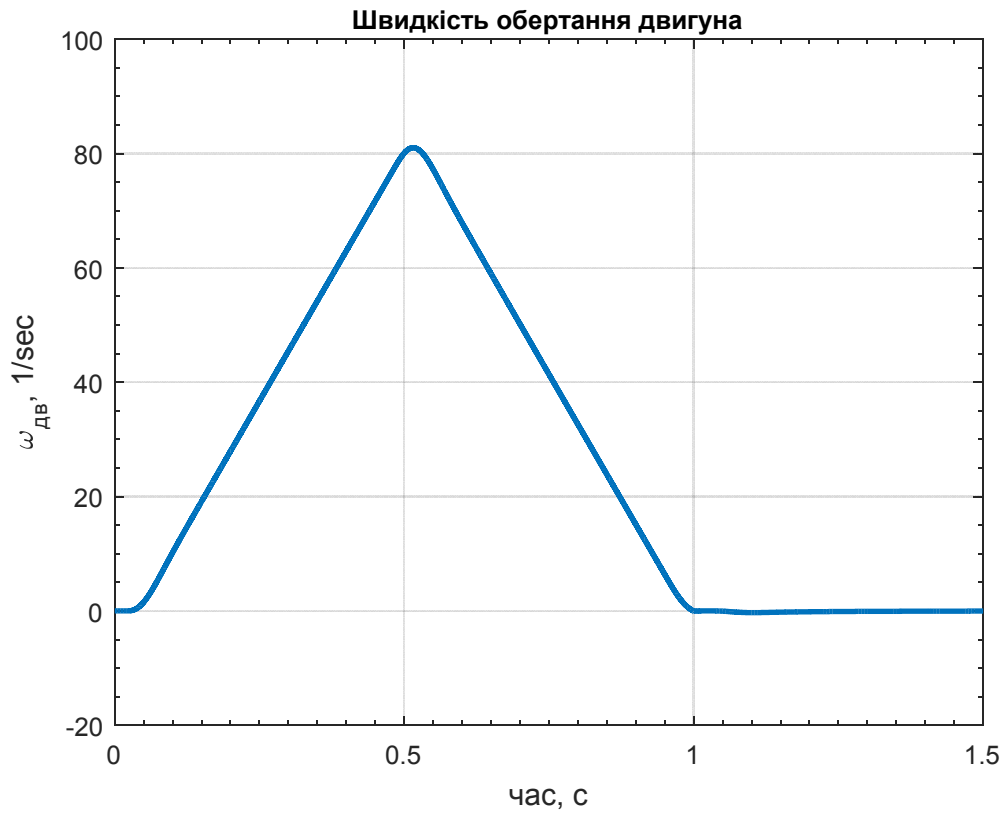


Рисунок 5.8 - Графік перехідного процесу швидкості обертання двигуна  $I_c = 0,2I_H$

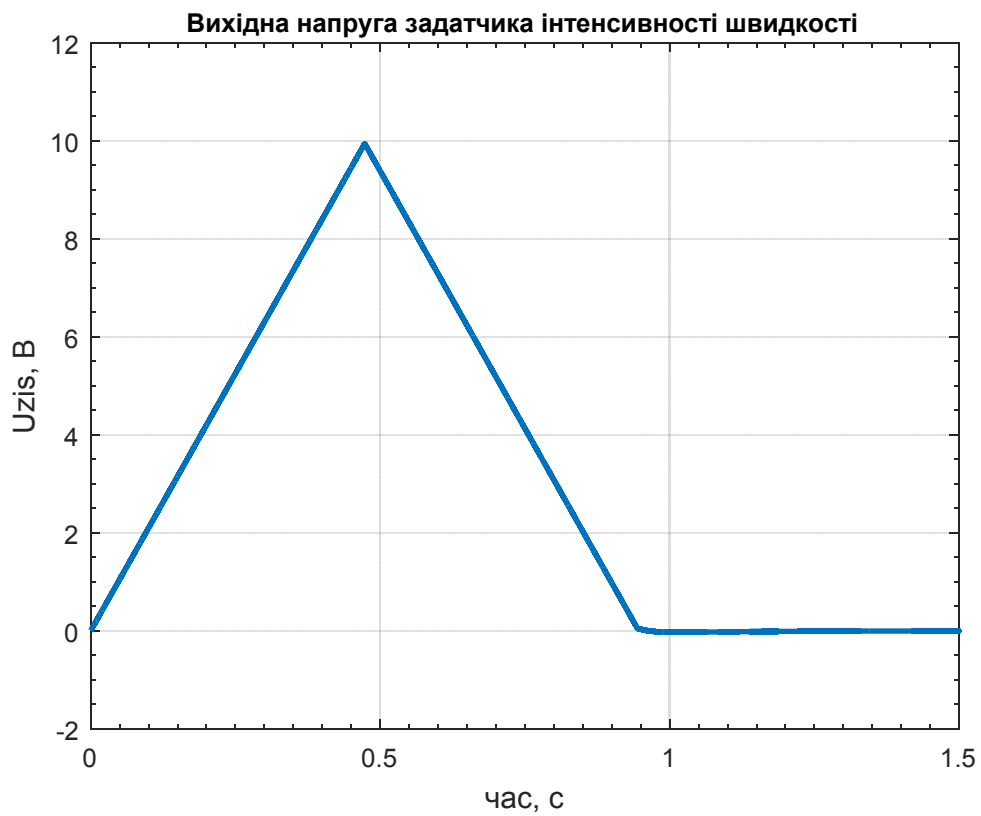


Рисунок 5.9 - Графік перехідного процесу напруги задатчика інтенсивності швидкості  $I_c = 0,2I_H$

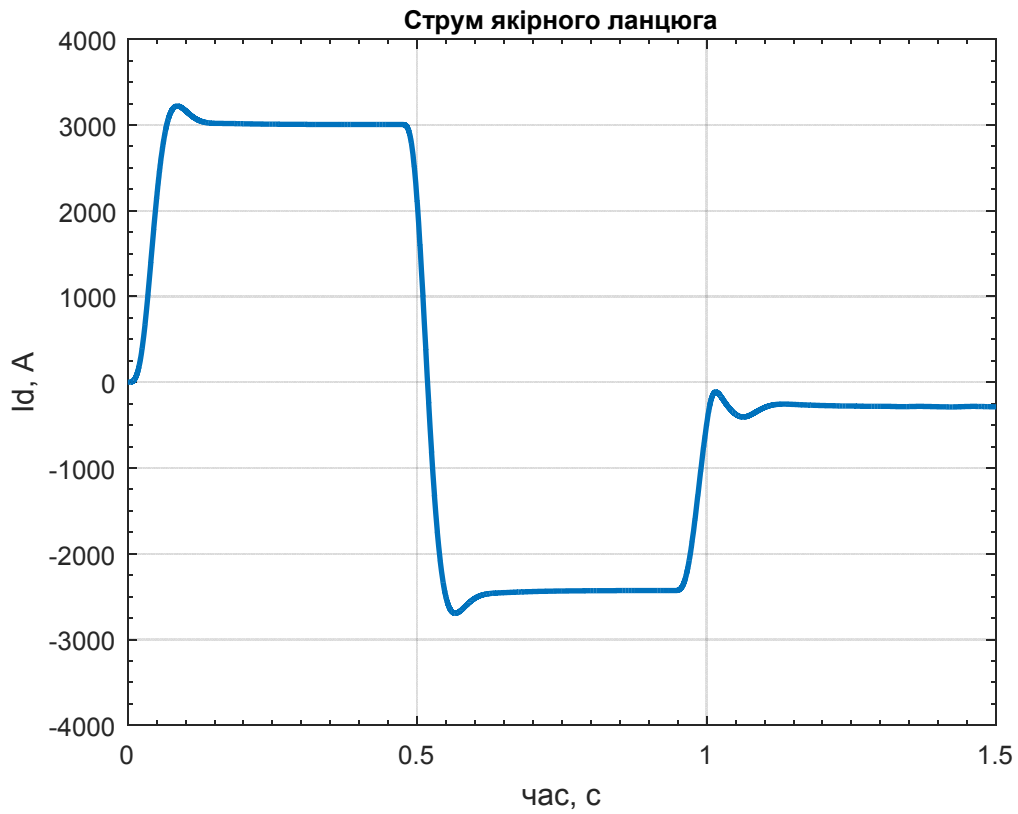


Рисунок 5.10 - Графік перехідного процесу струму якоря електроприводу  $I_c = 0,2I_H$

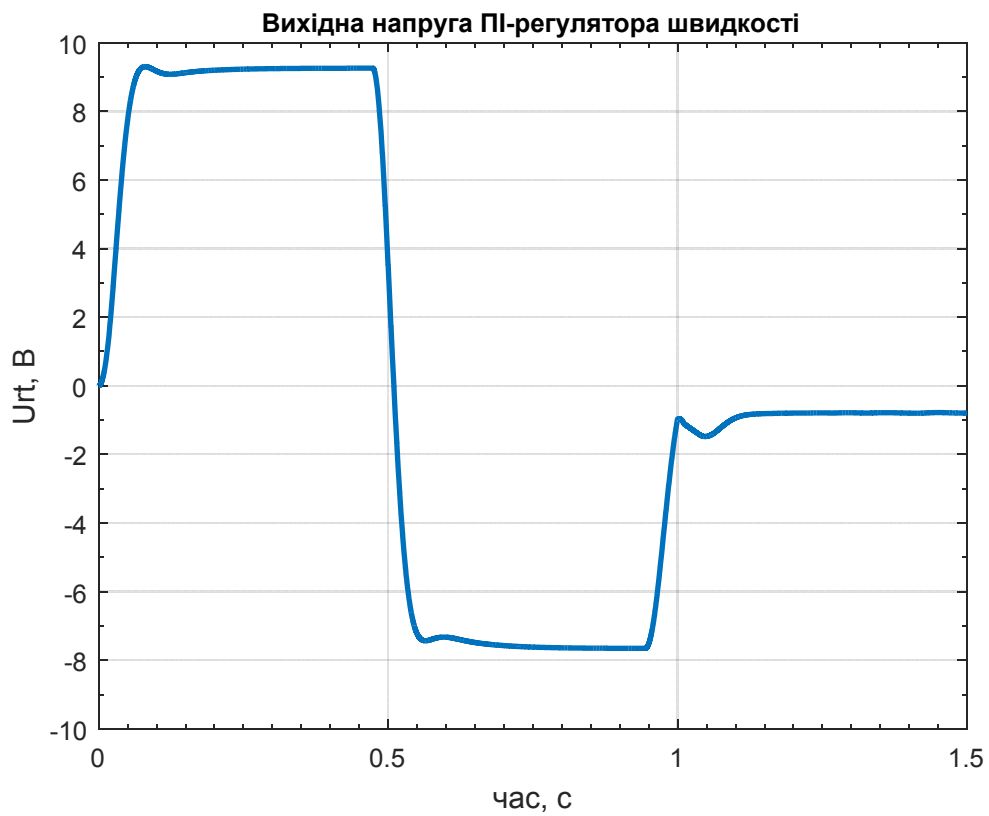


Рисунок 5.11 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора швидкості  $I_c = 0,2I_H$

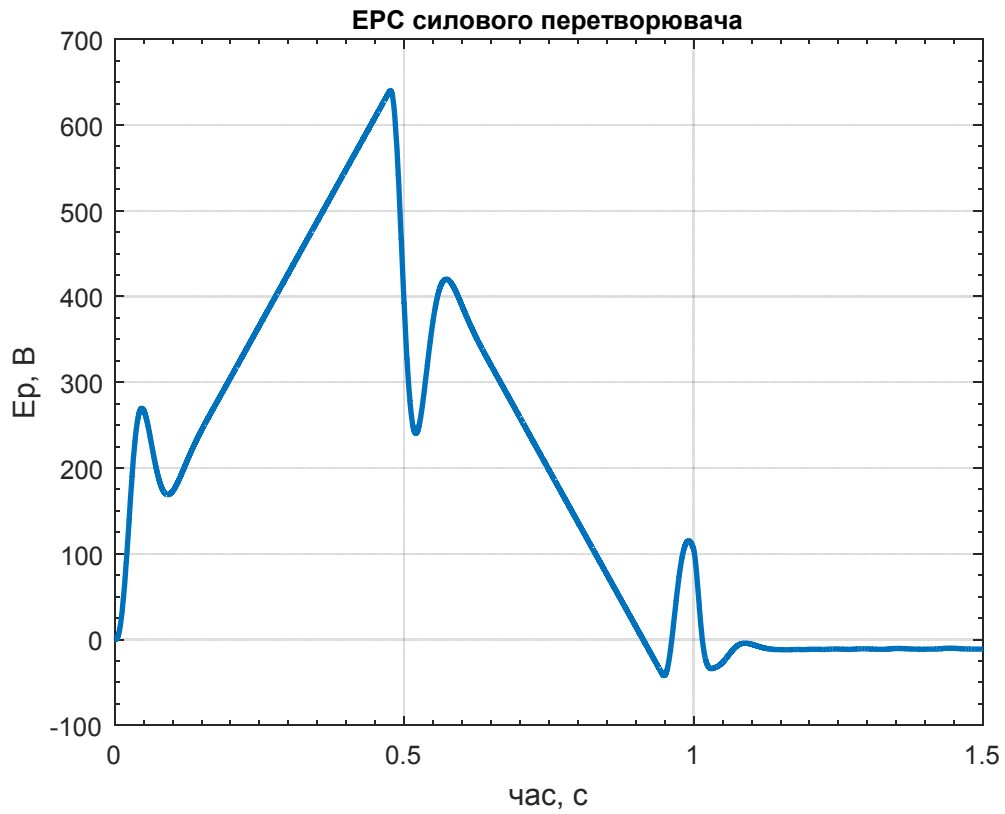


Рисунок 5.12 - Графік переходного процесу ЕРС тиристорного перетворювача  $I_c = 0,2I_H$



Рисунок 5.13 - Графік переходного процесу напруги ПІ-регулятора струму  $I_c = 0,2I_H$

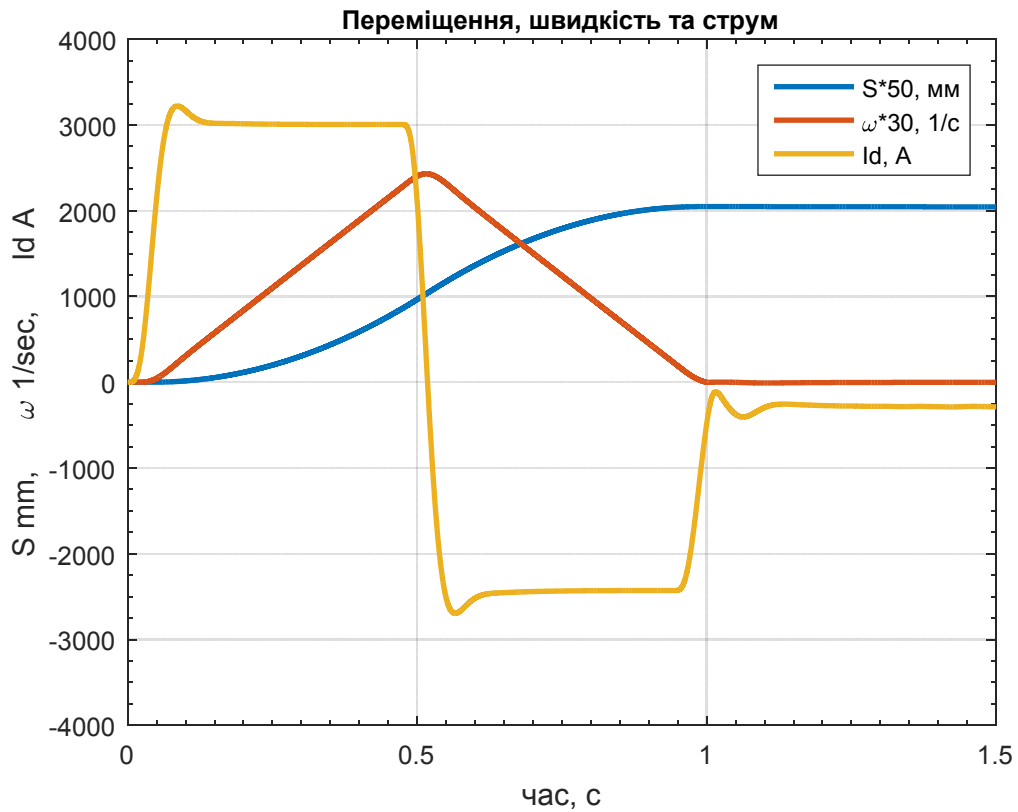


Рисунок 5.14 - Графік перехідного процесу переміщення, швидкості та струму електродвигуна  $I_c = 0,2I_H$

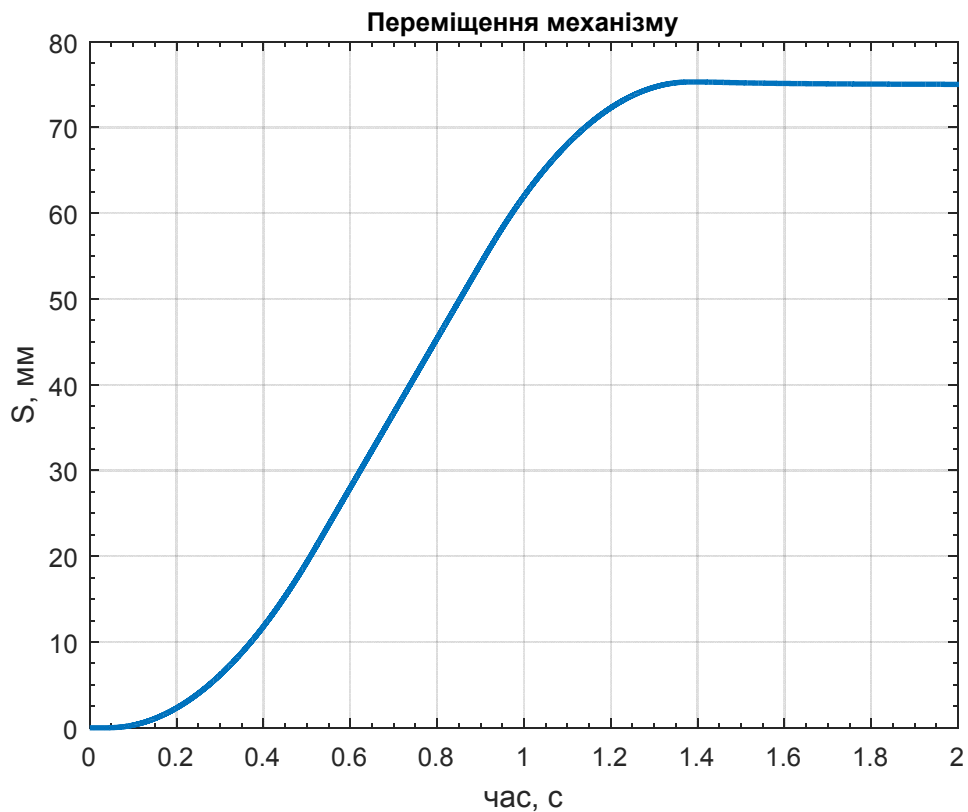


Рисунок 5.15 - Графік перехідного процесу переміщення механізму при  $S = 75 \text{ мм} > S_{кр} \text{ мм}$   $I_c = 0,2I_H$

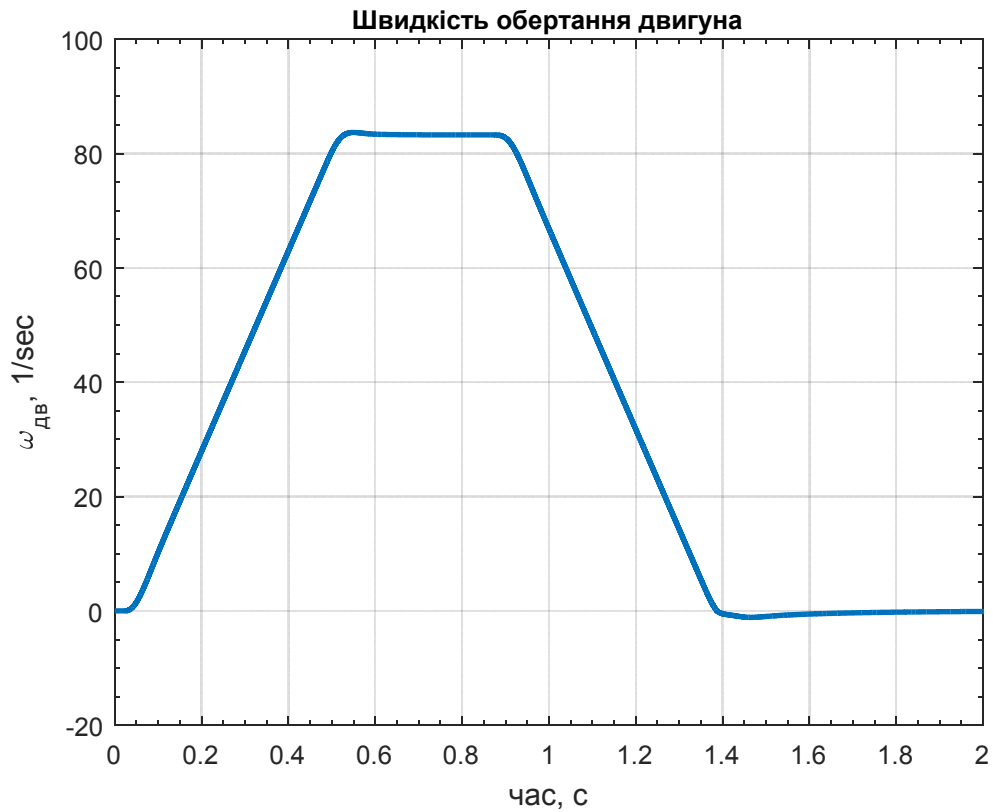


Рисунок 5.16 - Графік перехідного процесу швидкості обертання двигуна при  $S = 75 \text{ мм} > S_{\text{кр}} \text{ мм}$   $I_c = 0,2I_H$

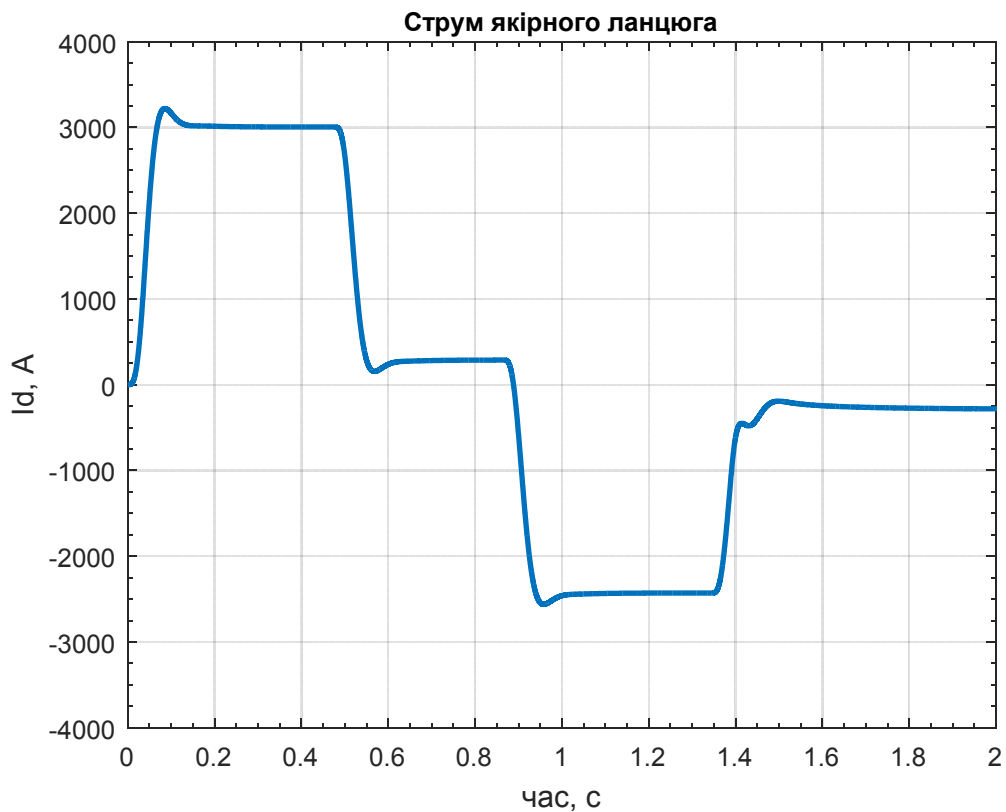


Рисунок 5.17 - Графік перехідного процесу струму якоря двигуна при  $S = 75 \text{ мм} > S_{\text{кр}} \text{ мм}$   $I_c = 0,2I_H$

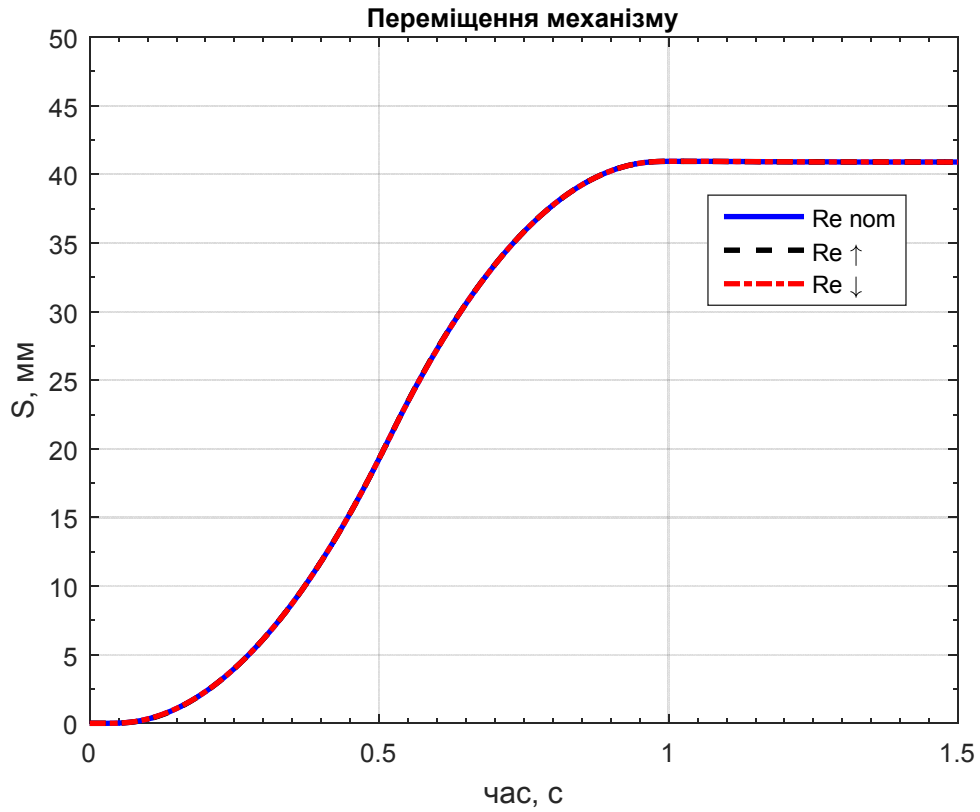


Рисунок 5.18 - Графік перехідного процесу переміщення механізму при зміні  $R_3$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_H$

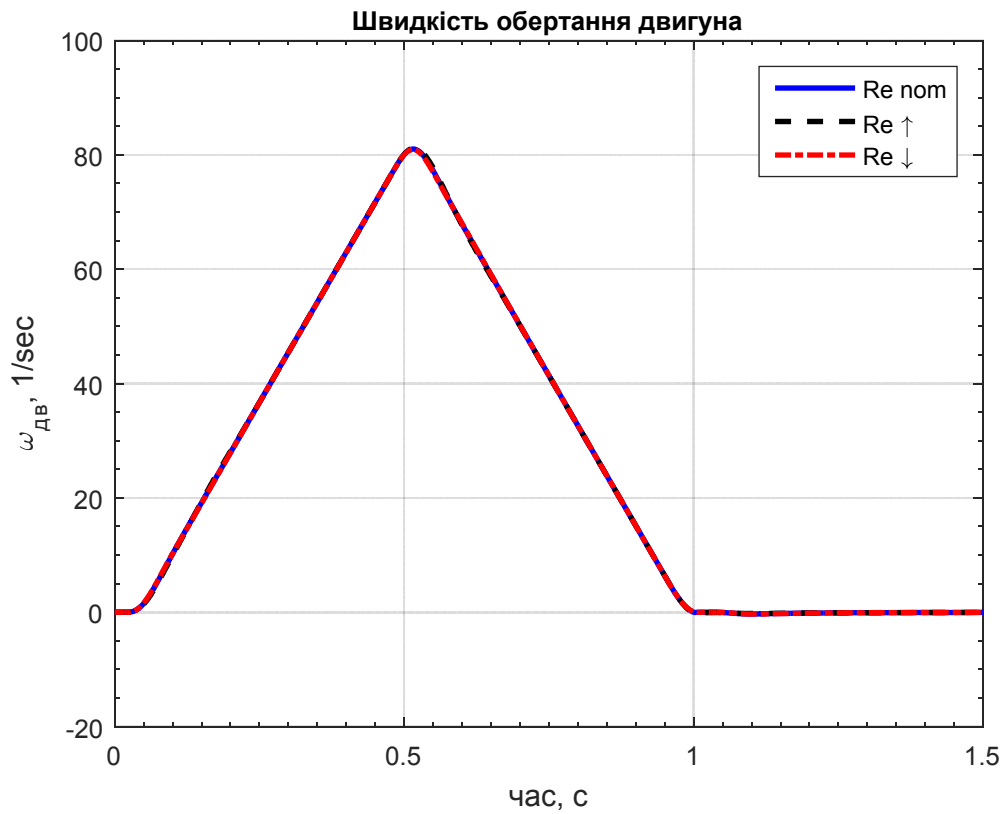


Рисунок 5.19 - Графік перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні  $R_3$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_H$

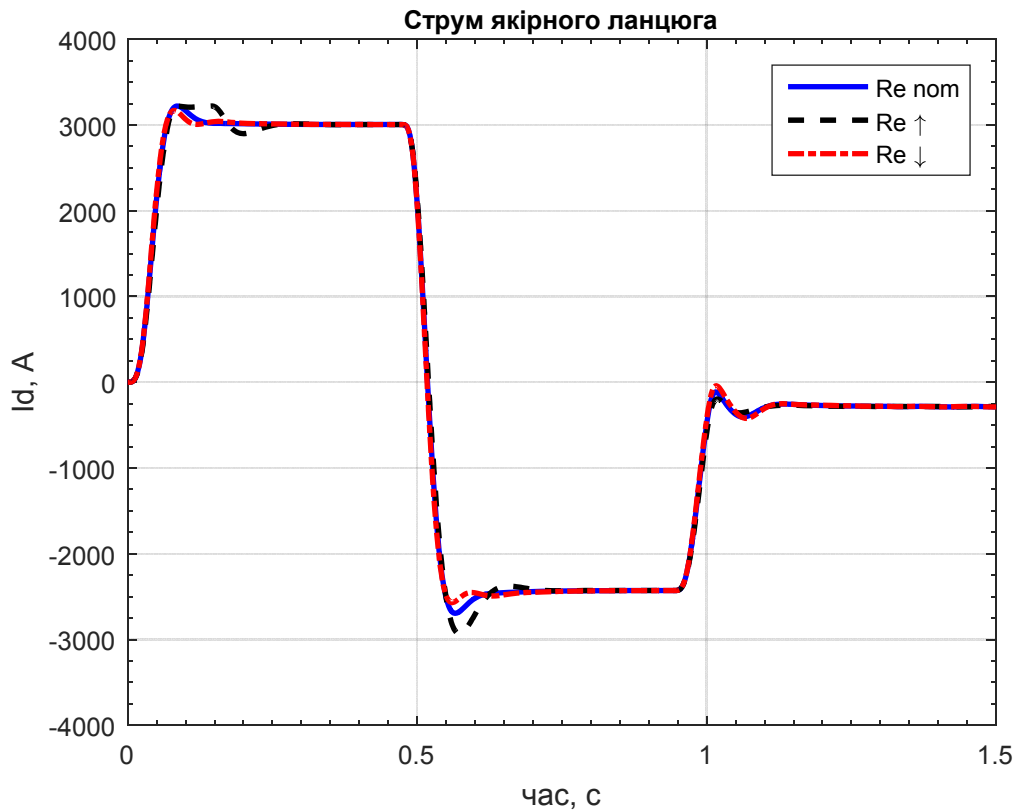


Рисунок 5.20 - Графік перехідного процесу струму якоря двигуна при зміні  $R_{\text{я}}$  в 2 рази,  $S = S_{\text{кр}}$ ;  $I_{\text{с}} = 0,2I_{\text{н}}$

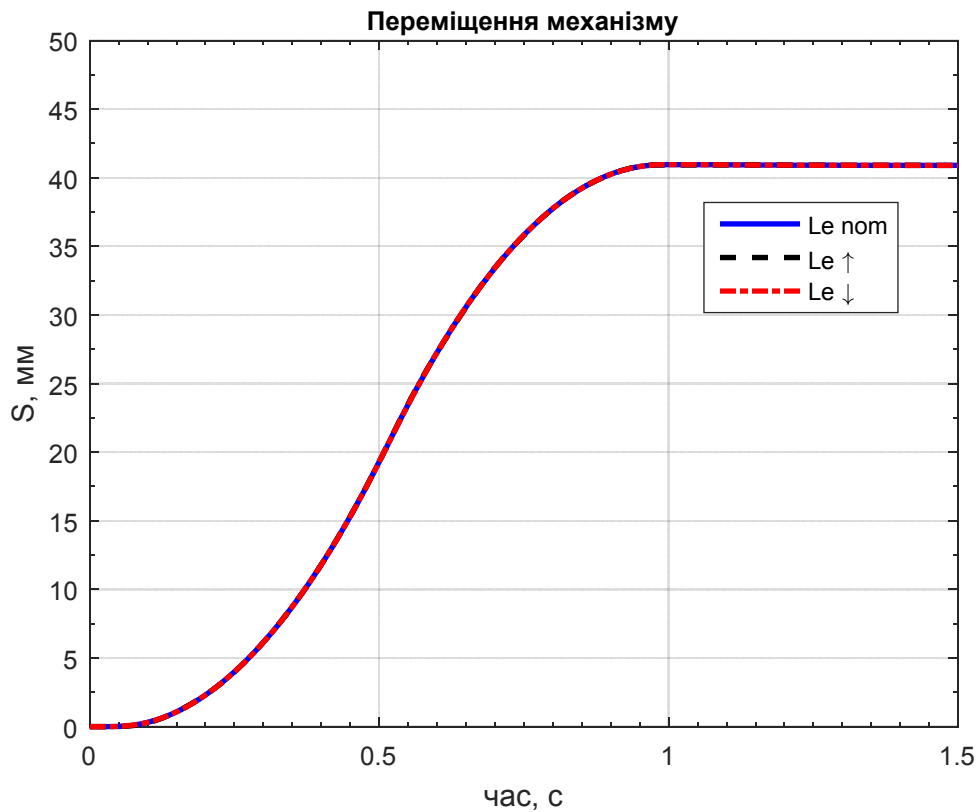


Рисунок 5.21 - Графік перехідного процесу переміщення механізму при зміні  $L_{\text{я}}$  в 2 рази,  $S = S_{\text{кр}}$ ;  $I_{\text{с}} = 0,2I_{\text{н}}$



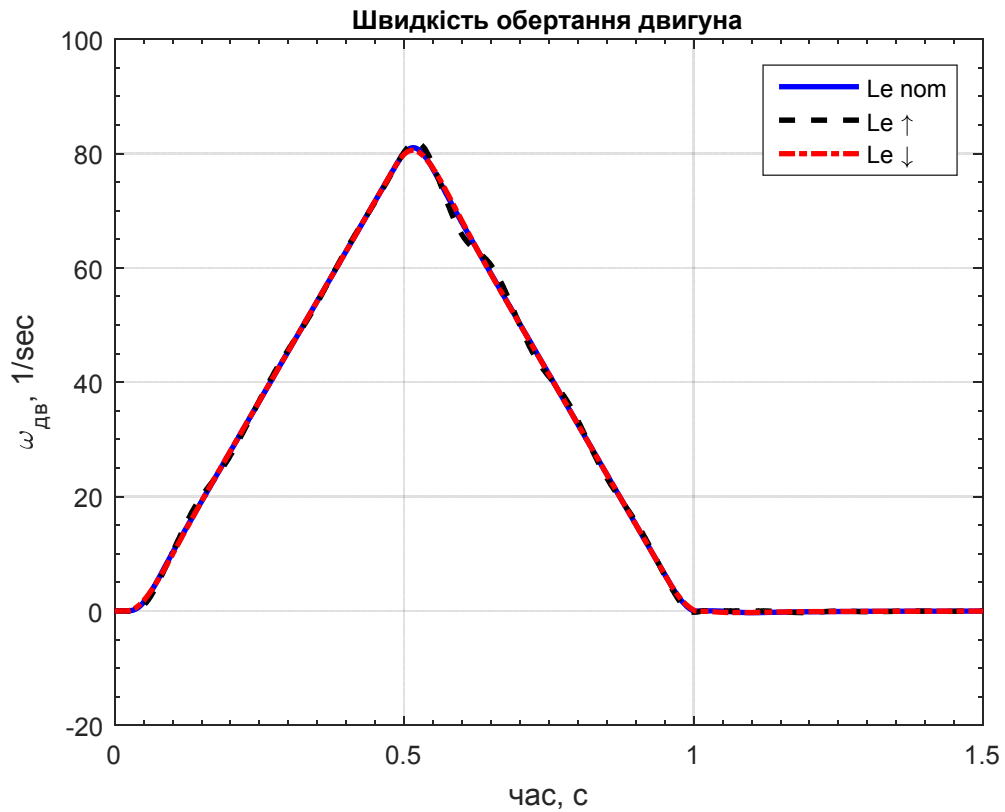


Рисунок 5.22 - Графік перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні  $L_{\sigma}$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_H$

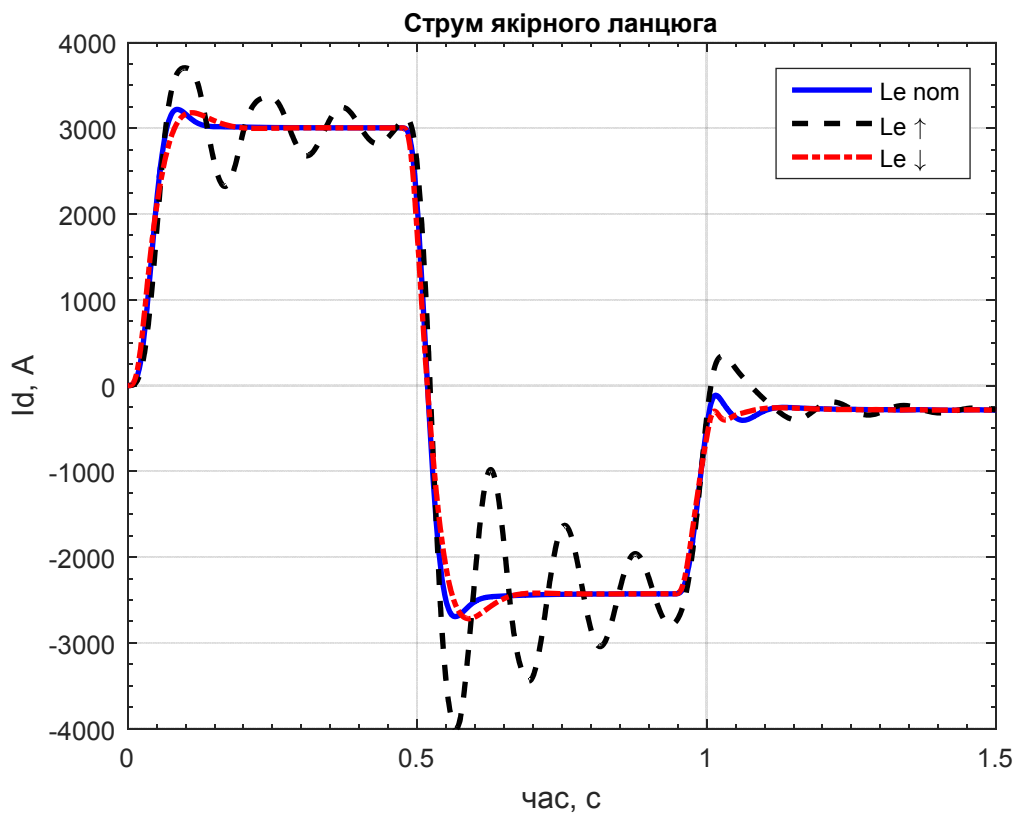


Рисунок 5.23 - Графік перехідного процесу струму якоря двигуна при зміні  $L_{\sigma}$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_H$

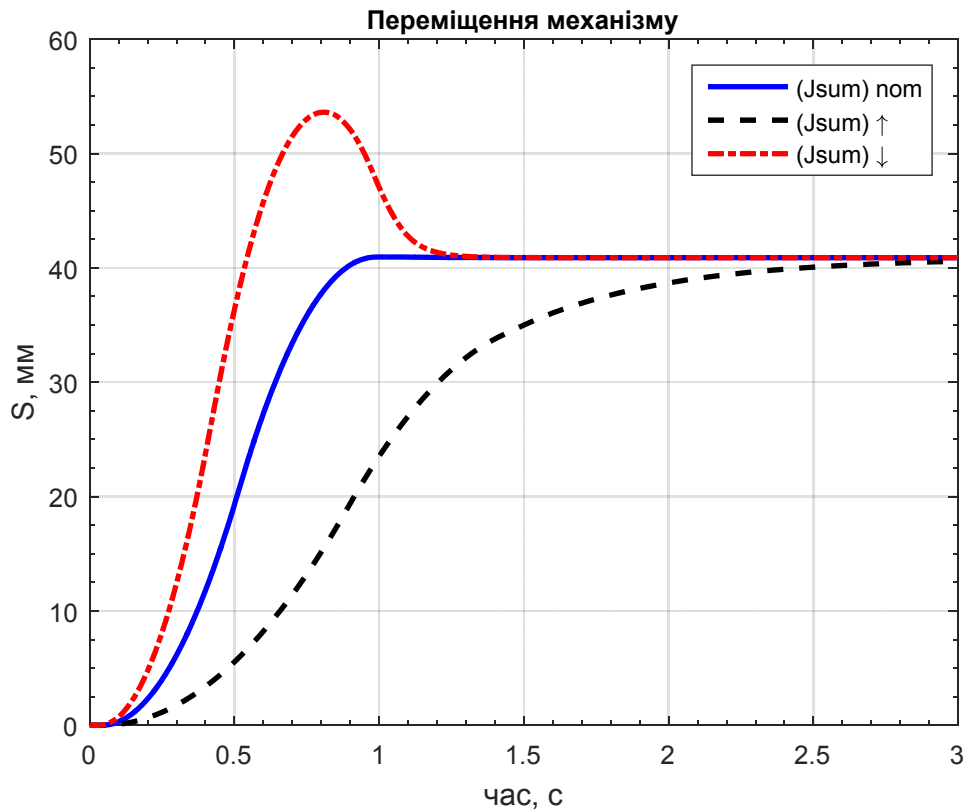


Рисунок 5.24 - Графік перехідного процесу переміщення механізму при зміні  $J'_\Sigma$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_H$

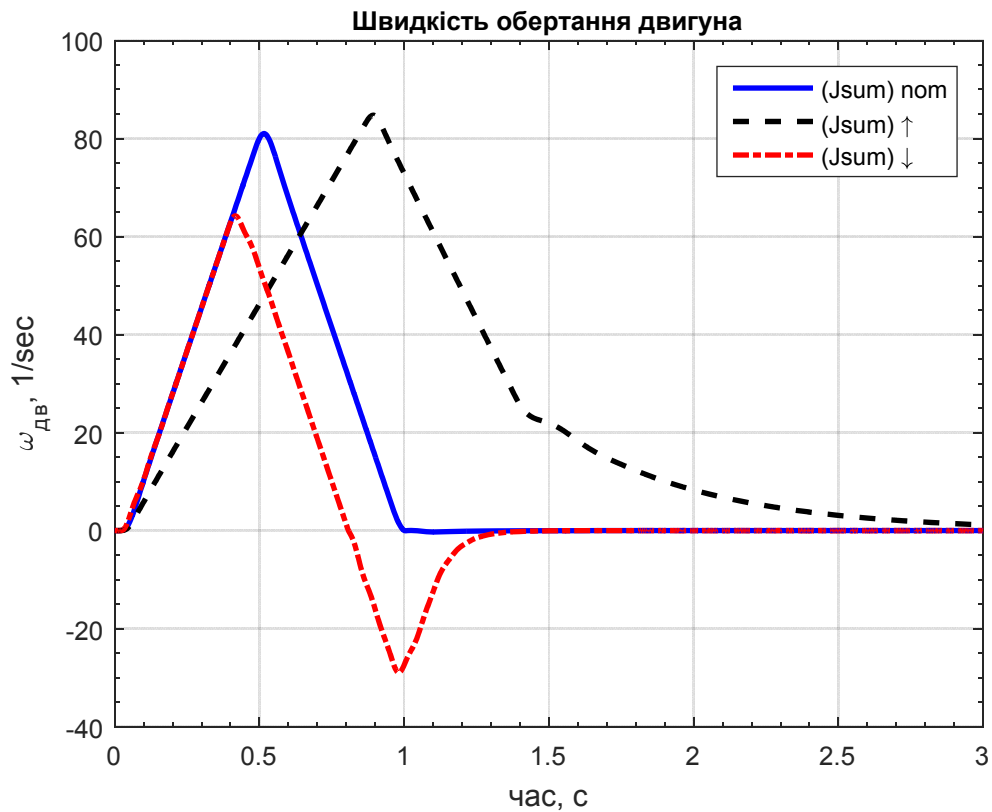


Рисунок 5.25 - Графік перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні  $J'_\Sigma$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_H$

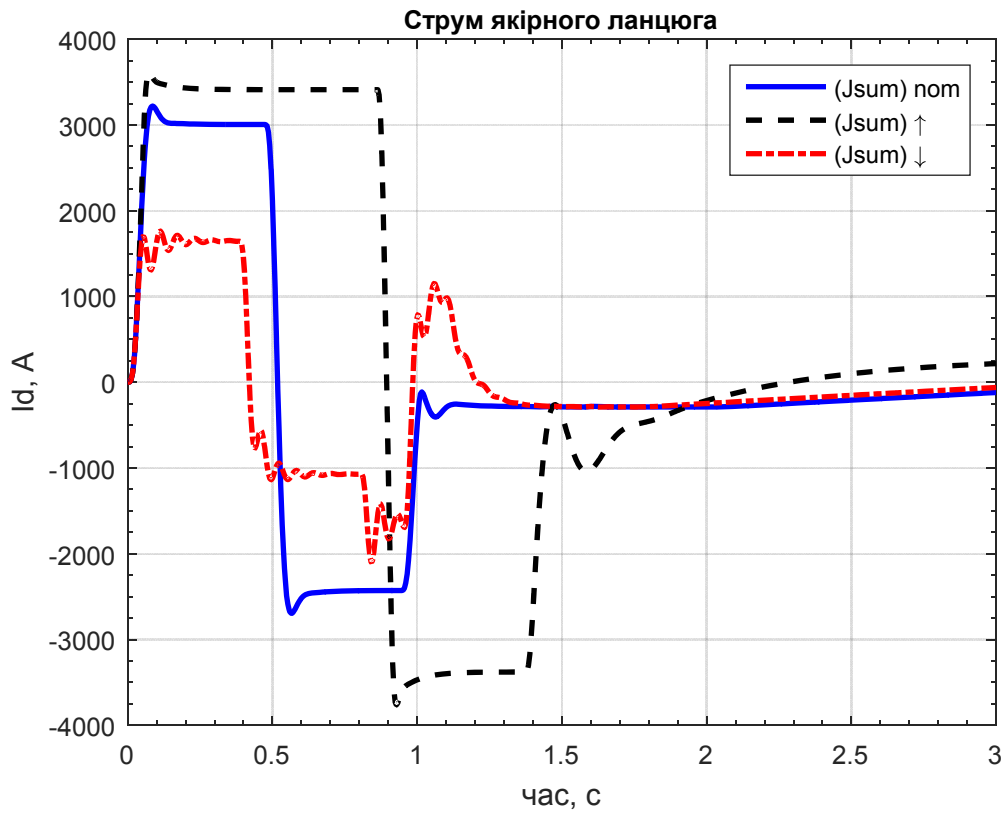


Рисунок 5.26 - Графік перехідного процесу струму якоря двигуна при зміні  $J'_\Sigma$  в 2 рази,  $S = S_{кр}$ ;  $I_c = 0,2I_n$

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1 Аналіз умов експлуатації проектного електроустаткування

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

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

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

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

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

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

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

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

На робочому місці для обслуговуючого персоналу виконуються оптимальні норми температури й вологості повітря, швидкості руху повітря, що забезпечують збереження нормального функціонального й теплового стану організму без напруги реакції терморегуляції. Дані оптимальні норми наведено в таблицях 6.1 і 6.2.

Таблиця 6.1 – Оптимальні норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

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

Таблиця 6.2 – Припустимі норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень у холодний і перехідний період року

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

## 6.2 Заходи щодо охорони праці

Сучасне металургійне підприємство забезпечене комплексом заходів, що забезпечують безпечні умови праці і працездатності людини в процесі виробництва. Ці заходи базуються на чинному законодавстві, проголошеному Законом України «Про охорону праці», яка має на увазі систему планових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів.

З цією метою на підприємстві забезпечується функціонування системи правління охорони праці створенням відповідних служб, розробкою заходів за участю профспілок і їх реалізація.

Окрім цього в колективному договорі сторони (працівники і власники) передбачають забезпечення працівникам соціальних гарантій в області охорони праці, але не нижче, ніж передбачені законодавством рівні; їх обов'язки, а також комплексні заходи щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці і виробничого середовища.

Вищеперелічене розв'язується з урахуванням конкретних вимог виробництва: шляхом механізації і автоматизації важких робіт і процесів з небезпечними умовами праці; поліпшення санітарно-гігієнічного стану мікросередовища, за допомогою вентиляції, примусове кондиціонування повітря, промислова естетика для послаблення впливу на робочих небезпечних і шкідливих виробничих чинників: механічних, метеорологічних, хімічних, енергетичних. Розробка і введення технічних заходів захисту робочих: сигналізації, блокування, екранування, перекриття, огорожа, дистанційне керування, поліпшення засобів захисту робочих (спецодяг, спецвзуття, каски, респіратори, окуляри). Впровадження нових більш довершених засобів безпеки і промислової санітарії; періодичної паспортизації встановленої техніки безпеки; навчання робочих правилам безпеки; підвищення кваліфікації тих, що працюють; планомірне вивільнення жінок від важких і шкідливих робіт на виробництві; поліпшення проектування цехів, вдосконалення конструкції агрегатів та інші. В прокатному цеху до таких технічних засобів відносяться:

захищаючі, блокуючі пристрої і інші види засобів навколо небезпечних зон і частин устаткування, що обертаються. Всі робочі місця стану обладнані звуковою і світловою сигналізацією, для безпечного пересування трудящих передбачені пішохідні тротуари і тунелі.

У проєктованій електроустановці застосовуються наступні технічні захисні заходи:

- режим контролю живильної мережі;
- електричні розділення мереж;
- контроль і профілактика пошкодженої ізоляції;
- компенсація місткостей складової струму замикання на землю;
- забезпечення недоступності струмоведучих частин;
- захисне заземлення;
- сигналізація;
- захисне відключення.

Застосування цих захисних заходів регламентується ПУЕ.

Електропривода серії КТЕ оснащені приладами для виміру випрямленого струму, напруги й струму збудження, а також мають захист, що спрацьовує при зникненні й неприпустимому зниженні напруги живильної мережі. Захист від випадкового дотику до струмоведучих частин здійснюється за допомогою постачання дверей шаф замками, що заціпаються на ключ.

Для забезпечення електробезпечності встаткування застосовують блокування в автоматичних вимикачах і пускачах. Цим забезпечується захист від мимовільного включення електроустановки після аварійної ситуації при відновленні нормальних умов роботи.

Організаційними заходами щодо забезпечення безпеки роботи в електроустановках є:

- оформлення роботи нарядом або розпорядженням;
- оформлення у наряді допуску робітників до роботи;
- нагляд під час роботи;
- оформлення у наряді переходів бригади на інше місце роботи;

- оформлення у наряді закінчення робіт;
- закриття наряду.

Також, здійснюється нагляд під час роботи й забезпечується проведення системи інструктажів (попередній, первинний, повторний, позаплановий).

При експлуатації діючих електроустановок важливу роль у забезпеченні безпеки електротехнічного персоналу відіграють електротехнічні засоби захисту, що ізолюють персонал від землі. До основних засобам відносять: діелектричні рукавички й слюсарно-монтажний інструмент із ізольованими рукоятками. До додаткових засобів захисту відносять: діелектричні гумові килимки й ізолюючі підставки.

### 6.3 Розрахунок захисного заземлення

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою.

Корпуси електричних машин, трансформаторів, світильників, апаратів і інші металеві неструмоведучі частини можуть опинитися під напругою при замиканні їх неструмоведучих частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього так саме небезпечний, як і дотик до фази.

Вихідні дані. Підстанція понижувальна, має два трансформатори 6/1.05 кВ із заземленими нейтраліями на стороні 1,05 кВ; розміри якого в плані зазначені на рис. 6.1.

Визначаємо норму опору заземлення  $R_n$  виходячи з умови  $125/I_3 \geq R_n \leq 10$  Ом:

де  $I_3$  - струм короткого замикання

$$I_3 = \frac{U_L(35I_K + I_{II})}{350} = \frac{6(35 \cdot 3 + 1)}{350} = 1.8 \text{ А} \quad (6.1)$$

де  $U_L = 6$ кВ - лінійна напруга мережі;



$l_K=3\text{ км}$  - загальна довжина підключених до мережі кабельних ліній;

$l_{II}=1\text{ км}$  - загальна довжина підключених до мережі повітряних ліній.

Виходячи з того що:

$$125/I_3 = 125/1,8 = 69 \text{ Ом}$$

то ухвалюємо нормований параметр опору  $R_n = 10 \text{ Ом}$ .

Розрахунковий питомий опір ґрунту (суглинок), з урахуванням кліматичного коефіцієнта [25]:

$$\rho_{розр} = \rho_{вим} \psi = 150 \cdot 1,4 = 210 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (6.2)$$

де  $\rho_{вим}$  - питомий опір ґрунту, одержаний з довідкової літератури [25];

$\psi$  - кліматичний коефіцієнт опору ґрунту [25].

Опір одиночного вертикального заземлювача, з урахуванням розрахункового питомого опору ґрунту:

$$R_{ст.од} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot 3} \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{210}{2 \cdot \pi \cdot 3} \ln \frac{4 \cdot 3}{0.05} = 61 \text{ Ом} \quad (6.3)$$

де  $l=3\text{ м}$  - довжина стрижня (сталева труба);

$d=0.05\text{ м}$  - діаметр вертикального електроду.

Ухвалюємо контурний тип заземлителя, розміщений по периметру підстанції. Попередню схему заземлителя наносимо на план підстанції з її основними розмірами (рис. 6.1). При цьому вертикальні електроди розміщаємо на відстані  $a=5 \text{ м}$  один від іншого.

Уточнюємо параметри заземлителя шляхом перевірного розрахунку. З попередньої схеми видно, що в прийнятому нами заземлителе сумарна довжина горизонтального електрода  $l_r = 50 \text{ м}$ , а кількість вертикальних електродів  $n = 10$  шт.

Розрахункова кількість паралельно сполучених вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R_{\text{ст.од}} \cdot \eta_{\text{ст}}} = \frac{61}{61 \cdot 0.7} = 1.5 \approx 2 \text{ шт.} \quad (8.4)$$

де:  $\eta_{\text{ст}} = 0.7$  - коефіцієнт використання заземлювачів із труб без урахування впливу смуги зв'язку.

Опір струму розтікання горизонтальних електродів (сталеві смуга  $b = 0,05 \text{ м}$ ,  $t = 0,5 \text{ м}$  - у ґрунті) :

$$R_{\text{гор}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{\pi \cdot l} \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} = \frac{210}{\pi \cdot 50} \ln \frac{4 \cdot 50}{0.05 \cdot 0.5} = 12 \text{ Ом.} \quad (8.5)$$

Еквівалентний опір струму розтікання штучних заземлювачів:

$$R_{\text{екв.ш}} = \frac{R_{\text{ст.од}} \cdot R_{\text{гор}}}{(R_{\text{ст.од}} \cdot \eta_c + R_{\text{гор}} \cdot n \cdot \eta_{\text{ст}})} = \frac{61 \cdot 12}{(61 \cdot 0.4 + 12 \cdot 10 \cdot 0.7)} = 6.7 \text{ Ом.} \quad (8.6)$$

де  $\eta_c = 0.4$  - коефіцієнт використання сполучної смуги.

Таким чином, загальний опір заземлення не перевищує допустимий  $R_{\text{екв.ш}} = 6.7 \text{ Ом} \leq R_{\text{н}} = 10 \text{ Ом}$ .

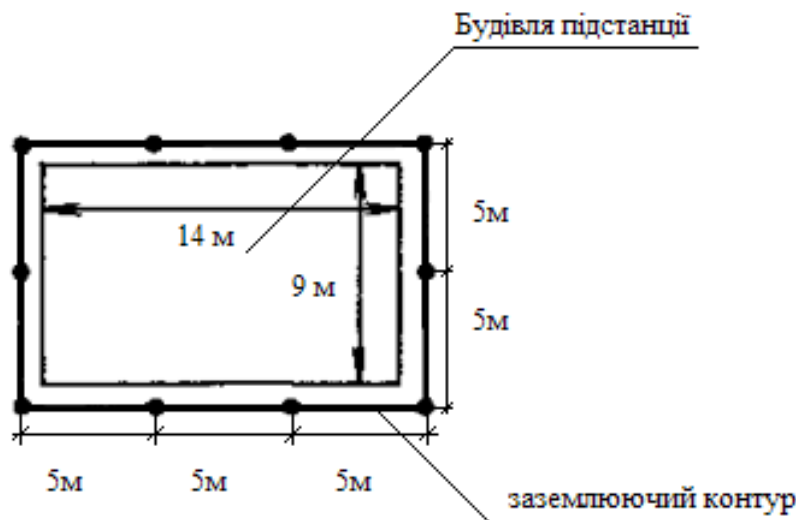


Рисунок 6.1 - Схему заземлювача нанесена на план підстанції

## ВИСНОВОК

В результаті виконання дипломного проекту був спроектований автоматизований електропривод натискного пристрою обтискної кліті 950 рейкобалочного стану.

У пояснювальній записці до дипломного проекту розглядаються технологія роботи, призначення, основні характеристики механізму й вимоги до спроектованого електропривода. Була розрахована потрібна потужність двигуна, динамічні і статичні моменти навантаження. В результаті розрахунку було обрано два електродвигуни постійного струму концерну Siemens типу 1GH7. В ході розрахунку були знайдені необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електроприводу, що забезпечують необхідну динаміку механізму. Побудовані тахограми і навантажувальні діаграми роботи електроприводу натискного пристрою за цикл роботи прокатного стану.

Аргументовано обрані силова частина і система керування електроприводом. Для живлення якоря і обмотки збудження двигуна обраний цифровий комплектний тиристорний електропривод концерну Siemens типу SIMOREG DC Master 6RM70 шафового виконання, призначений для управління електродвигунами постійного струму. Для узгодження тиристорного перетворювача з мережею живлення обраний силовий трансформатор ТСЗП.

Представлений детальний розрахунок системи підпорядкованого керування. У проекті розраховані параметри позиційної системи підпорядкованого керування, з зовнішнім контуром положення, та внутрішнім контуром струму та контуром швидкості.

На основі структурної схеми електропривода була розроблена математична модель. Проведене моделювання роботи ЕП у середовищі Matlab/Simulink, з номінальними параметрами, а також при варіації опору якірного ланцюга й сумарного моменту інерції, тим самим отримана оцінка якості перехідних процесів при зміні її динамічних процесів. Отримані

перехідні процеси свідчать про правильність налагодження системи. Досліджуваний електропривод із синтезованою системою керування повністю задовольняє технологічні вимоги.

Спроектована система забезпечує стовідсоткове резервування, тобто в аварійних режимах, або при проведенні ремонтів може працювати від резервної перетворювальної техніки. Розроблені узагальнена функціональна та структурна схеми позиційної системи підпорядкованого керування електроприводу. Впроваджувана система побудована на найсучаснішому обладнанні з урахуванням нових досягнень техніки й промисловості.

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

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 376 с.
2. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
3. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учебное пособие / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
4. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.С. Коцюбинский. – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – 205 с.
5. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 384 с.
6. Полилов Е.В. Уточненный метод предельно допустимого времени работы механизма, предназначенный для расчета мощности двигателей позиционных электроприводов / Е.В. Полилов, А.Б. Зеленов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2005.
7. Полилов Е.В. Алгоритм расчета мощности двигателей позиционных электроприводов. Верификация уточненного метода предельно-допустимого времени работы механизма // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2008.
8. Catalog DA 12 - 2004. DC motors Sizes 0,45 kW to 1610 kW.
9. Гарнов В.К. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии / В.К. Гарнов, В.Б. Рабинович, Л.М. Вишневецкий ; Под ред. Д.С. Ямпольского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1977. – 191 с.

10. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода: Учебник для вузов. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
11. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко. – Минск: Высшая шк., 1986. – 143 с.
12. Решмин Б.И. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования / Б.И. Решмин, Д.С. Ямпольский. М.: Энергия, 1975. – 184 с.
13. SIEMENS: SIMOREG DC MASTER 6RM70: Преобразователи шкафного исполнения: Каталог. – DA 22, 2002 – 50 с.
14. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC MASTER серия 6RA70. Микропроцессорные преобразователи на мощность 6 кВт - 1900 кВт для проводов постоянного тока с регулируемой скоростью.
15. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.: ил.
16. Башарин А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода / А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.
17. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
18. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов / Р.Т. Шрейнер. Екатеринбург: Изд-во: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. – 279 с.
19. Зимин Е.Н. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин., В.Л. Кацевич, С.К. Козырев. – М: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
20. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
21. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.

22. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
23. Чорний О.П. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 410 с.
24. Шевченко І.С. Динаміка складних електромеханічних систем: Навч. посібн. – І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.
25. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
26. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1982. – 800 с.

## Додаток А

### Технічні данні електродвигуна типу 1GH7 404-5NJ40-1WV1

**1GG7, 1GH7, 1HS7**  
Size 400

| Rated speed<br>$n_N$<br>rpm | at rated armature voltage |                                     |       |       |       |       | Rated output<br>$P_N$<br>kW | Rated torque<br>$M_N$<br>Nm | Maximum field weakening speed<br>$n_{Fmax}$<br>rpm | Order No.         | Rated current<br>$I_N$<br>A | Efficiency<br>$\eta$<br>% | Armature Resistance at 120 °C<br>$R_a$<br>mΩ | circuit inductance<br>$L_a$<br>mH |  |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|-----------------------------|--|-------------------|-----------------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|--|
|                             | 420 V                     | 470 V                               | 520 V | 600 V | 720 V | 810 V |                             |                             |  |                   |                             |                           |  |                                   |  |
| 375                         |                           |                                     |       |       |       |       | 384                         | 9780                        | 1130   | 1 7 404-5NE -1VV1 | 1010                        | 90                        | 32.3   | 0.5                               |  |
|                             | 424                       |                                     |       |       |       |       | 432                         | 9740                        | 1170   | -1WV1             | 1000                        | 91                        |  |                                   |  |
|                             |                           | 474                                 |       |       |       |       | 475                         | 9570                        | 1180   | -7MV1             | 985                         | 91                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     | 550   |       |       |       | 555                         | 9640                        | 1180   | -7NV1             | 990                         | 92                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     |       | 670   |       |       | 640                         | 9120                        | 1230   | -2XV1             | 940                         | 93                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     |       |       | 755   |       | 725                         | 9170                        | 1220   | -2YV1             | 945                         | 94                        |  |                                   |  |
| 424                         |                           |                                     |       |       |       |       | 445                         | 10030                       | 1140   | 1 7 404-5NF -1VV1 | 1150                        | 91                        | 25   | 0.38                              |  |
|                             | 478                       |                                     |       |       |       |       | 500                         | 9990                        | 1150   | -1WV1             | 1150                        | 91                        |  |                                   |  |
|                             |                           | 535                                 |       |       |       |       | 560                         | 10000                       | 1140   | -7MV1             | 1150                        | 92                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     | 620   |       |       |       | 650                         | 10010                       | 1150   | -7NV1             | 1150                        | 93                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     |       | 755   |       |       | 760                         | 9620                        | 1170   | -2XV1             | 1120                        | 94                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     |       |       | 850   |       | 860                         | 9670                        | 1170   | -2YV1             | 1120                        | 94                        |  |                                   |  |
| 485                         |                           |                                     |       |       |       |       | 498                         | 9810                        | 1170   | 1 7 404-5NG -1VV1 | 1280                        | 92                        | 18.8   | 0.44                              |  |
|                             | 545                       |                                     |       |       |       |       | 560                         | 9820                        | 1170   | -1WV1             | 1280                        | 92                        |  |                                   |  |
|                             |                           | 610                                 |       |       |       |       | 625                         | 9790                        | 1160   | -7MV1             | 1280                        | 93                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     | 710   |       |       |       | 720                         | 9690                        | 1170   | -7NV1             | 1270                        | 94                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     |       | 855   |       |       | 830                         | 9280                        | 1210   | -2XV1             | 1210                        | 95                        |  |                                   |  |
| 545                         |                           |                                     |       |       |       |       | 565                         | 9910                        | 1120   | 1 7 404-5NH -1VV1 | 1440                        | 92                        | 15   | 0.27                              |  |
|                             | 615                       |                                     |       |       |       |       | 635                         | 9870                        | 1110   | -1WV1             | 1440                        | 93                        |  |                                   |  |
|                             |                           | 685                                 |       |       |       |       | 710                         | 9900                        | 1110   | -7MV1             | 1450                        | 94                        |  |                                   |  |
|                             |                           |                                     | 795   |       |       |       | 820                         | 9850                        | 1110   | -7NV1             | 1440                        | 94                        |  |                                   |  |
| 670                         |                           |                                     |       |       |       |       | 675                         | 9620                        | 1270   | 1 7 404-5NJ -1VV1 | 1710                        | 93                        | 10.9   | 0.17                              |  |
|                             | 750                       |                                     |       |       |       |       | 760                         | 9680                        | 1270   | -1WV1             | 1710                        | 94                        |  |                                   |  |
|                             |                           | 835                                 |       |       |       |       | 810                         | 9270                        | 1310   | 1 7 404-5NJ -7MV1 | 1640                        | 94                        |  |                                   |  |
| <b>Separate ventilation</b> |                           | Fan unit, radially mounted          |       | GG    |       |       |                             |                             |  |                   |                             |                           |  |                                   |  |
|                             |                           | Fan unit, separately-mounted        |       | GH    |       |       |                             |                             |  |                   |                             |                           |  |                                   |  |
|                             |                           | Mounted air-to-water heat exchanger |       | HS    |       |       |                             |                             |  |                   |                             |                           |  |                                   |  |
| <b>Rated field voltage</b>  |                           | 310 V                               |       | 4     |       |       |                             |                             |  |                   |                             |                           |  |                                   |  |
| <b>Type of construction</b> |                           | IM B 3                              |       | 0     |       |       |                             |                             |  |                   |                             |                           |  |                                   |  |



## Продовження додатку А

| Motor type | Field power approx.<br>$P_{\text{field}}$<br>kW | Moment of inertia<br>$J$<br>kgm <sup>2</sup> | Mechanical limit speed<br>$n_{\text{mech}}$<br>rpm | Weight, net approx.<br>kg |
|------------|---|--|--|---------------------------|
| 1GG7 401   | 4.3   | 23   | 2000   | 3000                      |
| 1GH7 401   | 4.3   | 23   | 2000   | 2800                      |
| 1HS7 401   | 4.3   | 23   | 2000   | 3300                      |
| 1GG7 402   | 4.8   | 26   | 2000   | 3300                      |
| 1GH7 402   | 4.8   | 26   | 2000   | 3100                      |
| 1HS7 402   | 4.8   | 26   | 2000   | 3600                      |
| 1GG7 403   | 5.2   | 30   | 2000   | 3700                      |
| 1GH7 403   | 5.2   | 30   | 2000   | 3500                      |
| 1HS7 403   | 5.2   | 30   | 2000   | 4000                      |
| 1GG7 404   | 6.1   | 34   | 2000   | 4100                      |
| 1GH7 404   | 6.1   | 34   | 2000   | 3900                      |
| 1HS7 404   | 6.1   | 34   | 2000   | 4400                      |
| 1GG7 405   | 6.6   | 41   | 2000   | 4800                      |
| 1GH7 405   | 6.6   | 41   | 2000   | 4600                      |
| 1HS7 405   | 6.6   | 41   | 2000   | 5100                      |

1GG7, 1GH7, 1HS7  
Size 400

### Armature control

Speed can be coasted down by means of armature control to approx. 10 rpm at constant torque of the motor.

### Field weakening

The order numbers for the motors are valid for field weakening speeds  $n_F$  up to  $1.15 \cdot n_N$ . At higher field weakening speeds supplementary short codes are required: "C05" for  $n_F > 1.15 \cdot n_N$  to  $1.7 \cdot n_N$  and "C06" for  $n_F > 1.7 \cdot n_N$  (short codes: from Page 3/137)

The motors can be operated at rated output  $P_N$  up to the field weakening speed  $n_{Fmax}$ .

For higher speeds, the output must be reduced.

### Rated field voltage

For other rated field voltages and the associated Order No. supplement, see Page 3/6.

## Додаток Б

## Технічні данні перетворювача SIMOREG DC Master 6RM7095-4GS02

SIMOREG DC MASTER 6RM70  
Digital Converter Cabinet Units

## Selection and ordering data

| Three-phase connection  |                             | DC connection,<br>armature circuit |                          | Field current connection |                     | SIMOREG cabinet unit     |               |                     |    |               |     |
|---|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|---------------------|----|---------------|-----|
| Rated input<br>voltage<br>V   | Rated input<br>current<br>A | Rated DC<br>voltage<br>V           | Rated DC<br>current<br>A | Rated output<br>kW       | DC field<br>voltage | DC field<br>current<br>A | Order No.     | Weight<br>ca.<br>kg |    |               |     |
| <b>SIMOREG cabinet units for single-/two-quadrant operation B6C</b> |                             |                                    |                          |                          |                     |                          |               |                     |    |               |     |
| 3-ph. 400   | 25                          | 485                                | 30                       | 14.5                     | 325                 | 5                        | 6RM7018-6DS02 | 120                 |    |               |     |
|   | 50                          |                                    | 60                       | 29                       |                     | 10                       | 6RM7025-6DS02 | 125                 |    |               |     |
|   | 75                          |                                    | 90                       | 44                       |                     | 10                       | 6RM7028-6DS02 | 185                 |    |               |     |
|   | 104                         |                                    | 125                      | 61                       |                     | 10                       | 6RM7031-6DS02 | 200                 |    |               |     |
|   | 175                         |                                    | 210                      | 102                      |                     | 15                       | 6RM7075-6DS02 | 205                 |    |               |     |
|   | 233                         |                                    | 280                      | 136                      |                     | 15                       | 6RM7078-6DS02 | 220                 |    |               |     |
|   | 332                         |                                    | 400                      | 194                      |                     | 25                       | 6RM7081-6DS02 | 270                 |    |               |     |
|   | 498                         |                                    | 600                      | 291                      |                     | 25                       | 6RM7085-6DS02 | 290                 |    |               |     |
|   | 705                         |                                    | 850                      | 412                      |                     | 30                       | 6RM7087-6DS02 | 455                 |    |               |     |
|   | 995                         |                                    | 1200                     | 582                      |                     | 30                       | 6RM7091-6DS02 | 495                 |    |               |     |
|   | 1326                        |                                    | 1600                     | 776                      |                     | 40                       | 6RM7093-4DS02 | 620                 |    |               |     |
| 1658  | 2000                        | 970                                | 40                       | 6RM7095-4DS02            | 685                 |                          |               |                     |    |               |     |
| 3-ph. 460   | 25                          | 550                                | 30                       | 16.5                     | 373                 | 5                        | 6RM7018-6FS02 | 120                 |    |               |     |
|   | 50                          |                                    | 60                       | 33                       |                     | 10                       | 6RM7025-6FS02 | 125                 |    |               |     |
|   | 75                          |                                    | 90                       | 49.5                     |                     | 10                       | 6RM7028-6FS02 | 185                 |    |               |     |
|   | 104                         |                                    | 125                      | 68.7                     |                     | 10                       | 6RM7031-6FS02 | 200                 |    |               |     |
|   | 175                         |                                    | 210                      | 115                      |                     | 15                       | 6RM7075-6FS02 | 205                 |    |               |     |
|   | 233                         |                                    | 280                      | 154                      |                     | 15                       | 6RM7078-6FS02 | 220                 |    |               |     |
|   | 375                         |                                    | 450                      | 247                      |                     | 25                       | 6RM7082-6FS02 | 270                 |    |               |     |
|   | 498                         |                                    | 600                      | 330                      |                     | 25                       | 6RM7085-6FS02 | 290                 |    |               |     |
|   | 705                         |                                    | 850                      | 467                      |                     | 30                       | 6RM7087-6FS02 | 455                 |    |               |     |
|   | 995                         |                                    | 1200                     | 660                      |                     | 30                       | 6RM7091-6FS02 | 495                 |    |               |     |
|   | 3-ph. 500 <sup>1)</sup>     |                                    | 50                       | 600                      |                     | 60                       | 36            |                     | 10 | 6RM7025-6GS02 | 185 |
| 104   |                             | 125                                | 75                       |                          | 10                  | 6RM7031-6GS02            | 275           |                     |    |               |     |
| 175   |                             | 210                                | 126                      |                          | 15                  | 6RM7075-6GS02            | 305           |                     |    |               |     |
| 332   |                             | 400                                | 240                      |                          | 25                  | 6RM7081-6GS02            | 415           |                     |    |               |     |
| 498   |                             | 600                                | 360                      |                          | 25                  | 6RM7085-6GS02            | 480           |                     |    |               |     |
| 663   |                             | 800                                | 480                      |                          | 30                  | 6RM7087-6GS02            | 650           |                     |    |               |     |
| 829   |                             | 1000                               | 600                      |                          | 30                  | 6RM7090-6GS02            | 725           |                     |    |               |     |
| 1326  |                             | 1600                               | 960                      |                          | 40                  | 6RM7093-4GS02            | 860           |                     |    |               |     |
| 1658  |                             | 2000                               | 1200                     |                          | 40                  | 6RM7095-4GS02            | 870           |                     |    |               |     |
| 3-ph. 690   |                             | 597                                | 830                      |                          | 720                 | 598                      |               |                     | 30 | 6RM7086-6KS02 | 670 |
|   |                             | 788                                |                          |                          | 950                 | 789                      |               |                     | 30 | 6RM7088-6KS02 | 725 |
|   | 1244                        | 1500                               |                          | 1245                     | 40                  | 6RM7093-4KS02            |               | 855                 |    |               |     |
|   | 1658                        | 2000                               |                          | 1660                     | 40                  | 6RM7095-4KS02            |               | 870                 |    |               |     |
| 3-ph. 830   | 746                         | 1000                               | 900                      | 900                      |                     | 30                       | 6RM7088-6LS02 | 760                 |    |               |     |
|   | 1244                        |                                    | 1500                     | 1500                     |                     | 40                       | 6RM7093-4LS02 | 875                 |    |               |     |
|   | 1575                        |                                    | 1900                     | 1900                     |                     | 40                       | 6RM7095-4LS02 | 900                 |    |               |     |