

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Опис технологічного процесу обтискного стану та технічні дані механізму ...	7
1.1 Характеристика обтискного стану	7
1.2 Опис роботи механізму зіштовхувача	14
1.2.1 Особливості електроприводу зіштовхувача слябів обтискного стану 1250	14
1.2.2 Вимоги, які висуваються до електроприводу зіштовхувача стану.....	16
1.3 Технічні характеристики зіштовхувача стану 1250.....	17
2.1 Вибір типу електродвигуна зіштовхувача.....	19
2.2 Розрахунок моментів статичних опорів.....	20
2.3 Розрахунок моментів інерції.....	21
2.4 Розрахунок тахограми	23
3 Вибір силової й перетворювальної техніки зіштовхувача обтискного стану..	28
3.1 Вибір і обґрунтування силової частини системи електроприводу	28
3.2 Вибір і обґрунтування системи керування	30
3.3 Вибір комплектного тиристорного електроприводу (КТЕ).....	32
3.4 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя.....	39
3.5 Принципова схема перетворювача.....	40
3.6 Електромагнітна сумісність комплектного електроприводу	42
4 Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом зіштовхувача обтискного стану	48
4.1 Математичний опис об'єкта керування.....	48
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу.....	49
4.3 Синтез регулятора струму.....	53
4.4 Синтез регулятора швидкості	55
4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості.....	56
5 Моделювання системи підпорядкованого керування електроприводом зіштовхувача у середовищі MATLAB/SIMULINK.....	60
6 Охорона праці	70

	5
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	70
6.2 Інструкція з охорони праці для електрослюсарів	72
6.3 Протипожежна безпека.....	75
Висновок	77
Перелік джерел посилання	78
Додаток А	80

ВСТУП

У головних напрямках економічного і соціального розвитку перед металургами поставлена мета: підняти технічний рівень промисловості, підвищити якість металу. Для цього необхідно активніше відновлювати застарілі основні фонди, впроваджувати нові технології та обладнання.

Необхідність в прокатному обладнанні продовжує підвищуватися. Це пояснюється тим, що прокатка серед всіх способів обробки металів користується найбільшим поширенням завдяки безперервності процесу, високою продуктивністю і можливістю отримання продукції різної форми і високої якості.

Успіхи в розвитку напівпровідникової техніки дозволили широко використовувати в металургії регульовані джерела живлення на базі тиристорів з безконтактними системами автоматичного керування. Широко використовуються тиристорні перетворювачі постійного і змінного струму, безконтактні комутаційні пристрої. Більша гнучкість керування і широкі можливості щодо повноти автоматизації забезпечуються завдяки застосуванню аналогових і дискретних пристроїв, обчислювальної техніки.

Метою даного диплома є розробка і дослідження статичних і динамічних характеристик електроприводу зіштовхувача слябів обтискного цеху 1250. Особливістю механізму зіштовхувача сучасного стану є високі вимоги, що пред'являються до динаміки системи, надійності, що забезпечить високу продуктивність стану.

У той же час найсучасніші технічні рішення можуть виявитися недоцільними без економічних обґрунтувань використовуваних в проекті рішень.

Тому, даний дипломний проект присвячений модернізації існуючого електроприводу зіштовхувача слябів, обґрунтуванням доцільності економічного впровадження, розробці заходів з охорони праці при реалізації спроектованої системи.

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБТИСКНОГО СТАНУ ТА ТЕХНІЧНІ ДАНІ МЕХАНІЗМУ

1.1 Характеристика обтискного стану

Основними цехами металургійного заводу з повним циклом є доменний, конвертерний (мартенівський) і прокатні цехи. Технологічний процес виробництва блюмів і слябів є попереднім етапом перед виробництвом готового прокату.

На обтискному стані прокочуються блюми, осьова і ковальська заготовки з перетином від 200x200 мм до 400x400 мм і сляби шириною від 590 до 1250 мм при товщині від 110 до 320 мм, довжиною від 1200 до 6000 мм. Максимальну вагу сляба 11,2 т. Вихідним матеріалом для прокатки блюмів і слябів служать заготовки, виготовлені на мартенівському цеху. Готовий прокат використовується наступним чином: сляби транспортуються в товстолистові цехи, а блюми приймає сортопрокатний цех.

Будівля цеху складається з прольоту нагрівальних колодязів, станового прольоту, машинного залу і чотирьох прольотів для складу слябів. Робота цеху починається зі стриперного відділення, де за допомогою спеціального крана виливниці знімаються зі злитків, які прийшли з мартенівського цеху. Потім злитки зважуються на залізничних вагах і подаються в проліт нагрівальних колодязів. У цьому прольоті розташовано 14 груп колодязів рекуперативного типу, опалювальних сумішшю коксового і доменного газу, періодично застосовують природний газ. Для безперебійної роботи блюмінга служить склад злитків біля колодязів. В прольоті нагрівальних колодязів прокладено два ж/д шляху, і один шлях у нагрівальних колодязів.

Подача нагрітих злитків до лінії рольгангів проводиться за допомогою злитковоза. У приймального рольганга злитковоз автоматично уповільнює свою швидкість і зупиняється. Зіштовхувачі злитків зіштовхують злитки на приймальний рольганг. Пересування злитків у стана і їх кантування здійснюється за допомогою робочих рольгангів, станини роликів і

маніпуляторів з кантувачами. Кантовка злитків проводиться перекиданням злитків безпосередньо на цільноковані ролики робочого рольганга.

Робоча кліть блюмінга є основною частиною стана, оскільки в ній здійснюється процес прокатки. Вона складається з двох станин закритого типу, валків з подушками і пристроїв для їх установки, станини роликів і пристроїв для зміни валків. Після прокатки розкат надходить до ножиць, на яких проводиться різання його на мірні довжини. Потім по транспортному рольгангу сляби передаються до клеймовочної машини, яка виробляє їх клеймовку, після клеймовки сляби надходять до збиральних пристроїв, змонтованих в трьох прольотах складу. Розрізані сляби рухаються по рольгангу і навпроти штабелюючого столу зупиняються зникаючим упором. Сляби з рольганга стикаються зіштовхувачем слябів на штабелюючий стіл, який після кожного зіштовхування опускається на величину, рівну ширині слябів, потім стіл піднімається, і стопка слябів зіштовхується зі столу на приймальний стіл, звідки вони направляються краном на склад слябів.

Поряд з широким застосуванням виробництва напівпродукту на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), частка якого по відношенню до всього випуску сталі, в технічно розвинених країнах досягла 60-80%, процес виробництва прокату на великих металургійних заводах ґрунтується на використанні блюмінгів, слябінгів і заготівельних станів. В даний час обтискні та заготівельні стани є основними виробниками напівпродукту, на яких прокочується, більше половини всього обсягу виробленої сталі. Крім того, навіть в умовах застосування безперервно литої сортової заготовки широко застосовуються, так звані, малі блюмінги, які використовуються в якості обтискних клітей сортових станів.

Блюм називають отримані шляхом обтиску злитків гуркіт квадратного або прямокутного (близького до квадратному) перетину з закругленими кутами з розмірами від 140x140 до 450x450 мм. Блюм є напівпродуктом прокатного виробництва і використовуються в якості вихідної заготовки при виробництві сортових профілів.

Блюмінг називають стан для виробництва блюмів.

Блюмінги розрізняють:

Одноклітьові реверсивні блюмінги дуо. Ці стани підрозділяють на малі блюмінги з валками діаметром 800-1050 мм, середні блюмінги з валками діаметром 1100-1190 мм і великі блюмінги з діаметром валків 1200-1500 мм. На сучасних металургійних заводах встановлюють великі блюмінги продуктивністю 4,5-6 млн. т. на рік. При меншому обсязі виробництва використовують середні і малі блюмінги. Малі блюмінги часто встановлюють в якості обтискних клітей в складі рейкобалкового, великосортних та трубних станів для обтиску блюмів, що надходять на ці стани з великого блюмінга або з МНЛЗ. Малі блюмінги використовують для обтиску злитків якісних сталей масою 3-5 т.

Двоклітьові блюмінги (тандем), що складаються з двох розташованих послідовно одноклітьових реверсивних блюмінгів (великого і малого або середнього та малого). Двоклітьові блюмінги володіють значно більшою продуктивністю, ніж одноклітьові, за рахунок скорочення числа проходів в кожній кліті.

Безперервний блюмінг - агрегат, що складається з ряду послідовно розташованих нереверсивними клітей «Дуо». У перших клітях злиток прокочується окремо в кожній кліті, а в останніх можлива безперервна прокатка. Завдяки відсутності реверсування спрощується обладнання клітей і електропривод. Застосування безперервного блюмінга доцільно при обсязі виробництва не менше 6-8 млн. т в рік.

Схема розташування обладнання одноклітьового реверсивного блюмінга приведена на рис. 1.1.

В прольоті нагрівальних колодязів *I* розташовані групи колодязів *I* для нагріву злитків перед прокаткою. Уздовж фронту нагрівальних колодязів по кільцевому рейковому шляху рухаються візки - злитковози *2*, що доставляють нагріті злитки до приймального рольгангу *3* блюмінга. На малих і середніх блюмінгах доставка нагрітих злитків до приймального рольгангу забезпечується одним злитковозом, що здійснює човниковий рух по прямому рейковому шляху від колодязів до приймального рольгангу.

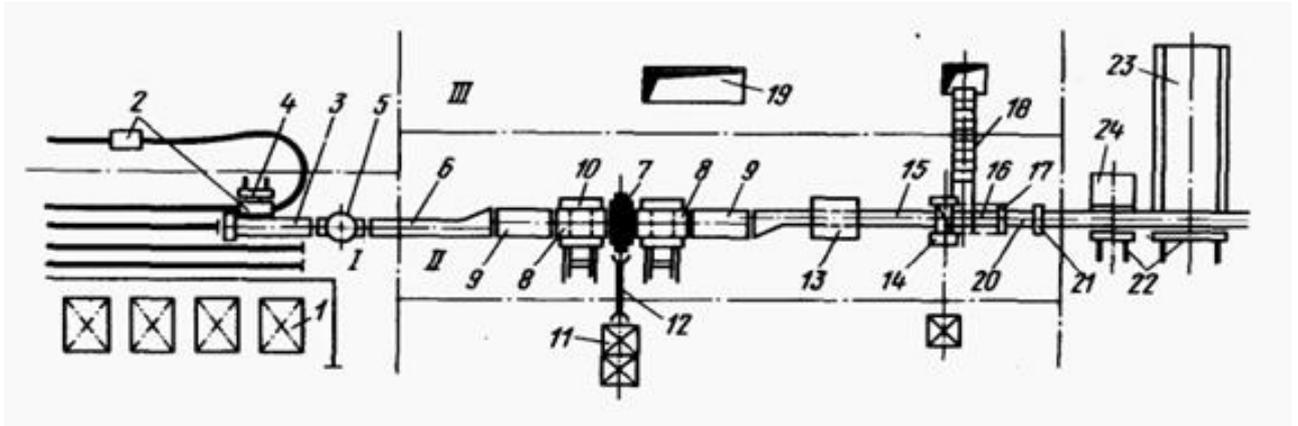


Рисунок 1.1 - Схема розташування обладнання одноклітьового реверсивного блюмінга

З візка злитковоза злиток передається на приймальний рольганг за допомогою бокового зіштовхувач 4 або перекладається на рольганг при нахилі люльки злитковоза. Приймальний рольганг обладнується вбудованою стаціонарним перекидачем злитків, який використовується при доставці нагрітих злитків до рольгангу безпосередньо кліщовими кранами. З приймального рольганга злиток передається на рольганг баштових ваг 5. При необхідності механізм ваг розгортає злитки в горизонтальній площині на 180° для подачі до стану тонкої частиною вперед. На станах старої конструкції для цієї мети використовується поворотний стіл. За підводящому рольгангу 6 злиток надходить в стає проліт II, що примикає до прольоту нагрівальних колодязів. Тут розміщується робоча кліть блюмінга 7, обладнана робочими 8 і розкатними 9 рольгангами з передньої і задньої сторони стану, механізмами маніпуляторів з кантувачами 10, пристроями для збирання великого скрапу з-під кліті, пристроєм для перевалки валків.

З числа наявних блюмінгів близько 60% становлять сучасні блюмінги з діаметром валків 1250-1300 мм, прокочується злитки масою 8-15,2 т. Двохвалкова реверсивна кліть типового блюмінга 1250 конструкції УЗТМ має робочі валки діаметром 1250 мм і довжиною бочки 2800 мм, які наводяться в обертання від індивідуальних електродвигунів 11 потужністю по 4600 кВт з частотою обертання 0-50-120 об/хв через універсальні шпинделі 12. Натискний пристрій забезпечує переміщення верхнього валка зі швидкістю до 220 мм/с. На

блюмінгу 1300 для приводу валків використовуються два електродвигуни По 6800 кВт з частотою обертання 0-60-90 об / хв. Швидкість переміщення верхнього валка - до 250 мм / с. На малих і середніх блюмінгах для приводу валків використовують один електродвигун потужністю до 10000 кВт. В цьому випадку в лінії приводу робочої кліті існує додатково шестернева кліть.

На сучасних блюмінгах за гуркоту рольгангом встановлена машина вогневої зачистки (МОЗ) 13, призначена для видалення поверхневих дефектів на розкаті за допомогою газокисневих пальників. Для обрізу дефектних кінців розкату, відповідних головний і донної частини злитка, а також для розрізання розкату на мірні довжини при виробництві товарних блюмів призначені ножиці 14. Ножиці обслуговуються рольгангом перед ножицями 15, зіштовхувачем обрізків, рольгангом за ножицями 16, пересувним упором 17и конвеєром прибирання обрізу 18, за яким обрізки передаються в скрапний проліт III, де охолоджуються в ямах і вантажаться на залізничні платформи. У скрапному прольоті є також яма-відстійник 19 окалини, обсипається зі зливка, незмивною водою з-під робочої кліті і рольгангів. За ножицями є автоматичні ваги 20, тавровна машина 21, штовхувачі 22, холодильники для блюмів 23 і підйомні столи-укладальники 24для слябів. Середня річна продуктивність складає: малих блюмінгів - 1,2 млн. т/рік; середніх - 3,5 млн. т/рік великих - 4,8 млн. т/рік. Залежно від сортаменту кожного табору ці показники можуть змінюватися в значних межах. Найпотужнішим і високопродуктивним обтискним прокатним станом в нашій країні є блюмінг 1300. Його продуктивність, досягла 6,5 млн. т/рік по злитках. Блюмінг 1300 прокатує із злитків масою 8 - 15,2 т блюми перетином 300×300-410×430 мм і сляби товщиною 150-200 мм і шириною до 1470 мм.

Злитки, що надходять з сталеплавильного цеху, завантажують в рекуперативні або регенеративні нагрівальні колодязі для підігріву до 1260 - 1300 °С перед прокаткою. Завантаження злитків в колодязі проводиться кранами з кліщовим захопленням поплавочно в вертикальному положенні необхідною частиною вгору. При посаді холодних злиwkів середньовуглецевих, високовуглецевих і легованої сталі температура в камері колодязя не повинна

перевищувати 600-700 °С через небезпеку утворення тріщин на зливку. Температуру в колодязі повільно підвищують, поки поверхня злитка не досягне температури 800 °С. Потім швидкість нагріву може бути збільшена. Загальна тривалість нагрівання при цьому досягає 11- 6 год. Якщо посад злитків в нагрівальні колодязі проводиться при температурі 400-1000 °С (гарячий посад), значно скорочується тривалість їх нагрівання до температури прокатки, знижується витрата палива, поліпшуються економічні показники роботи нагрівальних колодязів. На сучасних заводах понад 90% злитків надходить в колодязі при 800-900 ° С, в зв'язку з чим строго регламентують час доставки злитка до криниць після розливання. При гарячому посаді час нагрівання зливка становить 2,5 - 3 год.

Нагріті злитки витягуються з колодязя кліщовими кранами і доставляються безпосередньо до стаціонарного перекидання блок на приймальний рольганг (з ближніх груп нагрівальних колодязів) або укладаються на візок злитковоза (з далеких груп нагрівальних колодязів). Для забезпечення високої продуктивності стану в прольоті нагрівальних колодязів встановлюють 12-16 груп нагрівальних колодязів, при цьому довжина прольоту становить 300-350 мм. Доставка злитків з далеких груп колодязів займає багато часу. Навіть при високій швидкості руху злитковоза (до 6 м/с) виникають труднощі в забезпеченні стану злитками. Щоб вдвічі скоротити пробіг злитковоза і забезпечити високий ритм подачі злиwkів до стану, проліт нагрівальних колодязів розташовують перпендикулярно становому прольоту, але це ускладнює доставку злитків з сталеплавильного цеху. Питання забезпечення ритмічної доставки нагрітих злитків до приймального рольгангу повністю вирішуються при застосуванні кільцевої зливкоподачі, коли кілька злитковозних візків рухаються уздовж фронту нагрівальних колодязів по замкнутому кільцевому шляху (рис. 1.1).

На приймальному рольгангу злиток автоматично зважується. При прокатці злитків спокійних сталей, розширених догори і мають велику прибуткову частину, доцільно провести розворот злитка на 180° в горизонтальній площині і прокатувати злиток донною частиною вперед, що

поліпшує умови захоплення злитка валками і, крім того, сприяє зменшенню обрізу гуркоту на ножицях. Прокатка злитків на заданий кінцевий розмір проводиться відповідно до встановлених режимами обтиснень і швидкостями обертання валків, кількістю проходів і порядком кантовок. Загальна кількість проходів в залежності від початкових розмірів злитка і кінцевих розмірів перетину блюма зазвичай становить 9-17. Цикл прокатки одного зливка становить 40-70 секунд. Температура кінця прокатки - 1100-1150 °С. Після прокатки гуркіт піддають обробці на машині вогневої зачистки. На ходу зі швидкістю 0,25-1,0 м/с зі всіх чотирьох сторін гуркоту газокисневий пальника спалюють поверхневий шар металу на глибину 0,8 - 3,0 мм, видаляючи разом з ним поверхневі тріщини і інші дефекти на гуркоті. Передній і задній кінцеві ділянки розкату, відповідні прибутковою і донної частин злитка, є дефектними і обрізаються на ножицях. При цьому на гуркоті з киплячою і напівспокійної сталі від переднього кінця відрізають усадкову рихлість, складову 4-6 % довжини розкату, а від заднього кінця, що містить неметалеві включення, ліквацію елементів, відрізають 2-3 % металу. На розкатах злитків спокійної сталі, що мають велику прибуткову частину і глибоку усадкову раковину, обріз з боку головної частини зливка (задній кінець розкату) становить 10-14 % і 2-3 % від донної частини злитка. Обрізки скидаються на конвеєр і передаються в скрапний проліт, де після охолодження вантажаться магнітними кранами на залізничні платформи і відправляються на переплавку. Крім обрізки кінців, на ножицях проводиться різання гуркоту на мірні довжини, якщо блюми відправляють на склад або в підігрівальні печі. За ножицями є таврувальна машина, на якій проводиться автоматичне нанесення клейма на передній торець блюма. Вогнева зачистка гуркоту на МОЗ дозволяє отримати досить хорошу якість поверхні напівпродукту для того, щоб, використовуючи високу температуру металу, передати гуркіт транзитом без проміжного підігріву на наступні безперервно-заготівельний, рейкобалковий або сортовий стан або використовувати підігрівальні печі при високій початковій температурі металу. Якщо ж якість поверхні напівпродукту незадовільний, він передається на проміжний склад для охолодження і ремонту.

На блюмінгах в даний час багато основні і допоміжні операції автоматизовані. Особливо високий ступінь автоматизації на блюмінгу 1300. Автоматизоване управління головним приводом, натискними пристроями, подача злитків від нагрівальних колодязів до приймального рольгангу, рольганги, маніпулятори, ножиці, штовхачі. Впроваджені автоматичні системи виявлення та контролю пробуксовки металу в валках зі зниженням швидкості обертання валків при зриві процесу прокатки, система управління підштамповки кінців розкату в процесі прокатки за допомогою натискного пристрою. Для точної оцінки і переробки поточної інформації про хід виробництва напівпродукту застосовують інформаційно-радіальні системи. У диспетчерській і на головному посту управління блюмінг на цифрових табло виводиться інформація з технологічного процесу і темпу роботи стану, що дає можливість своєчасно впливати на процес і забезпечувати ритмічність роботи блюмінга. Система інформаційно-технологічного супроводу та обліку продукції сприяє підвищенню точності обліку та зменшення браку.

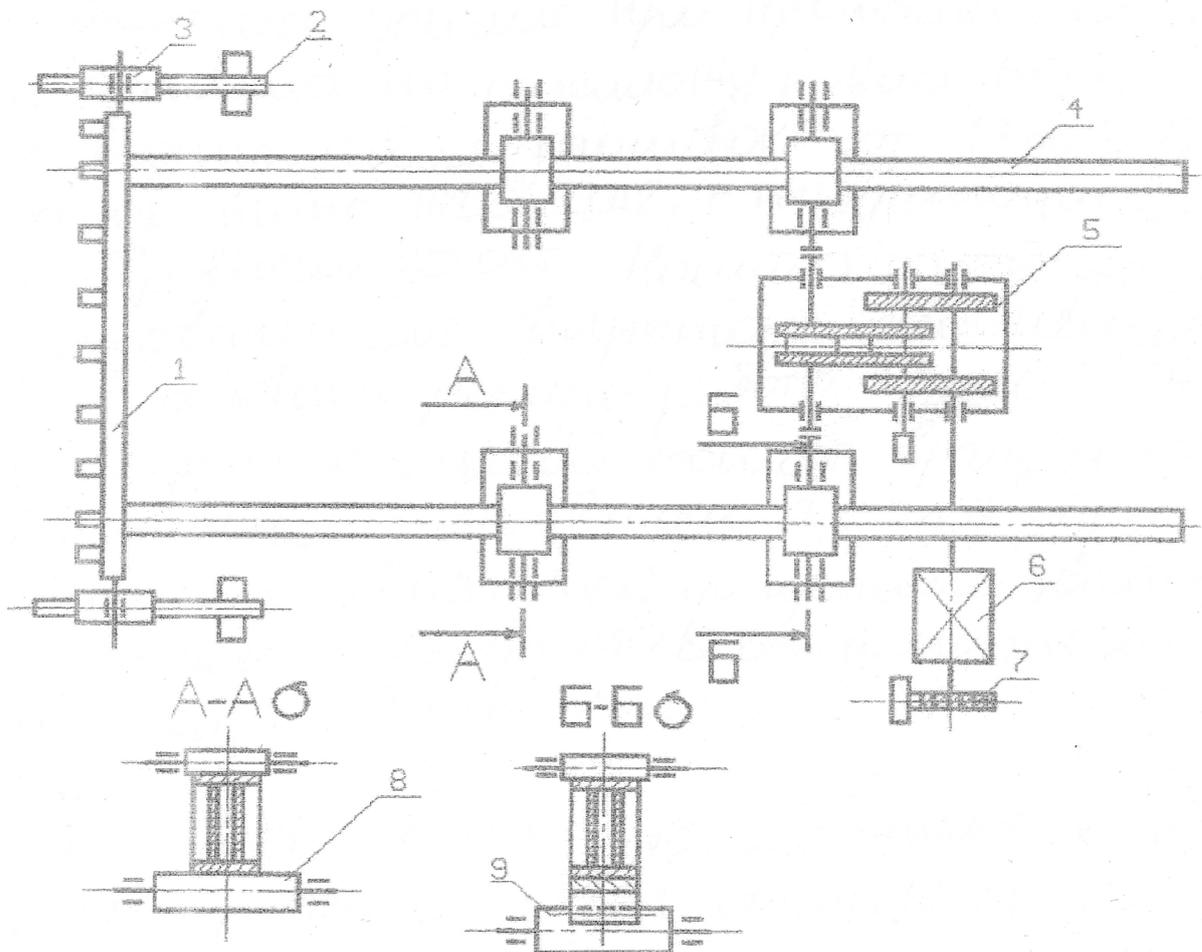
Автоматична система управління технологічним процесом впроваджена на блюмінгу 1500. Система, що використовує чотири ЕОМ, управляє нагрівом злитків в колодязях, злиткоподача, режимами обтиснень, раціональним розкриємо і без упорною зупинкою металу на ножицях. Автоматично контролюються технологічні параметри нагріву злитків, режими обтиснень і швидкості прокатки, енергосилові параметри прокатки, визначається продуктивність блюмінга.

1.2 Опис роботи механізму зіштовхувача

1.2.1 Особливості електроприводу зіштовхувача слябів обтискного стану 1250

Зіштовхувач слябів обтискного стану 1250 призначений для зіштовхування блюмів і слябів з рольгангів на штабелюючий стіл і стелаж. Принцип роботи полягає в наступному: сляб по транспортувальним рольгангам доставляється в зону зіштовхувача. Зіштовхувач здійснює переміщення

заготовок на штабелюючий стіл. Швидкість переміщення однієї заготовки становить 0,51 м/с. Після того, як сляб займе своє місце на столі, заштовхувач на підвищеній швидкості повертається на вихідне положення для подальшого переміщення заготовки. В цей час штабелюючий стіл опускається на величину, рівну товщині заготовки. Процес повторюється ще 3 рази, але на 4-й раз не повертається назад, а чекає повного підйому столу. Для переміщення стопи з 4-х слябів на стелаж. При цьому швидкість становить 0,255 м/с. Потім повернення на вихідне положення. Кінематична схема зіштовхувача приведена на рис. 1.2.



- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1 - лінійка; | 6 - електричний двигун; |
| 2 - опорна балка; | 7 - гальмо; |
| 3 - опорний каток; | 8 - опорний вал; |
| 4 - штанга; | 9 - приводний вал; |
| 5 - редуктор; | |

Рисунок 1.2 - Кінематична схема зіштовхувача слябів

Найбільше зусилля при проштовхуванні стоп металу по стелажу дорівнює 60тс. Цикл надходження заготовок від 17 до 30 с. Редуктор типу 1630-ЦД2, з передавальним числом рівним 20,025. Номінальний режим роботи двигуна закрито закритого виконання 60 хв, основний режим роботи ПВ = 40%. Відношення максимальної частоти обертання до номінальної становить 3,8 - 4,9. При регулюванні двигунів допустимо збільшення напруження до 440 В, щодо номінального 220 В [1].

1.2.2 Вимоги, які висуваються до електроприводу зіштовхувача стану

Зіштовхувач повинен забезпечувати цикл роботи з надходженням слябів через 17 с. Це найважчий режим роботи через велику кількість включень. При недотриманні циклу в 17 з відбуватиметься накопичення слябів на рольгангі, що врешті-решт призведе до затримки в роботі стану.

Також слід сказати про те, що бездоганна робота зіштовхувача залежить від багатьох факторів, але найголовнішим залишається людський фактор. Тільки при наявності кваліфікованого персоналу можлива оптимальна робота. Таким чином, єдино можлива вимога - це підтримка швидкості при роботі зіштовхувача.

Також пред'являються наступні вимоги:

- висока частота включень в годину;
- висока динаміка;
- реверсивний режим роботи;
- надійність;
- автоматизована робота механізму;
- можливість резервування.

1.3 Технічні характеристики зіштовхувача стану 1250

Технічні дані зіштовхувача слябів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні дані зіштовхувача

Найменування параметру	Значення
Найбільша маса сляба, т	10
Середня маса сляба, т	8
Робочий хід штанг, м (Н)	3,1
Повний хід штанг, м (Н)	5,1
Швидкість переміщення при зіштовхуванні стопи металу, м/с	0,255
Швидкість переміщення при зіштовхуванні одного сляба, м/с	0,51
Зворотний холостий хід штанги, м/с	1,02
Маса штанги, кг	5990
Маса рейки, кг	690
Маса лінійки, кг	210
Діаметр напрямних роликів, м	0,35
Передавальне число редуктора	20,075

На рис. 1.3 приведена тахограма роботи електроприводу зіштовхувача.

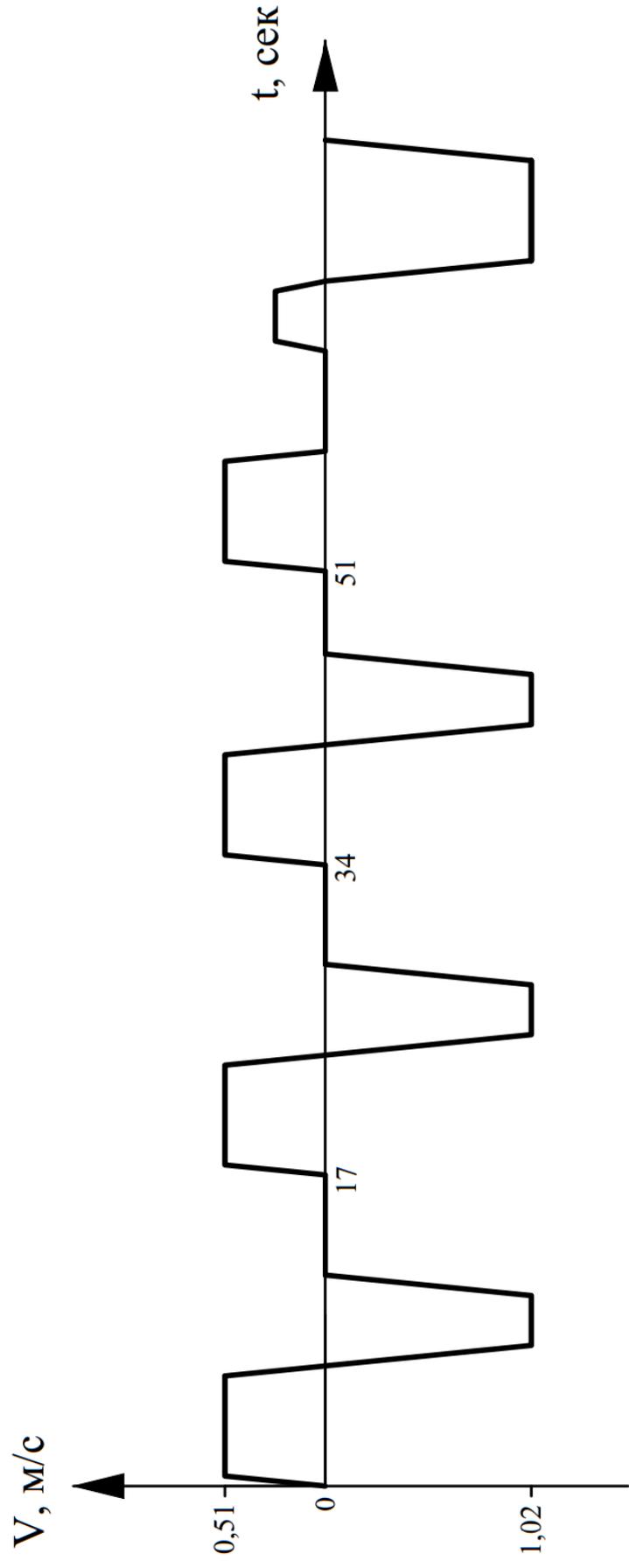


Рисунок 1.3 – Тахограма роботи електроприводу зіштовхувача стану 1250

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗІШТОВХУВАЧА ОБТИСКНОГО СТАНУ

2.1 Вибір типу електродвигуна зіштовхувача

Вимогам до електроприводу зіштовхувача найбільш повно задовольняє привід постійного струму. Двигуни постійного струму допускають широкий діапазон регулювання швидкості, мають велику перевантажувальну здатність. Тому в даний час для приводу механізму встановлений електродвигун типу Д818 ($P = 185$ кВт, $n = 450$ об/хв, $J = 27,5$ кг·м², $U = 220$ В).

Двигуни серії Д незалежного збудження, реверсивні призначені для спеціалізованих кранів і допоміжних металургійних механізмів з повторно-короткочасним режимом роботи, великим числом включень і широким діапазоном регулювання швидкості обертання. Двигуни (краново-металургійні) характеризуються високою кратністю крутного моменту, виконуються під напругою 220 і 440 В, мають тихохідне і швидкохідне виконання. Двигуни допускають збільшення швидкості в 2-2,5 рази ослабленням їх потоку збудження, причому в цьому режимі максимальний крутний момент не повинен перевершувати $0,8 M_{\text{ном}}$ для двигунів 220 В і $0,64 M_{\text{ном}}$ для двигунів 440 В. Двигуни з номінальною напругою 220 В допускають збільшення частоти обертання в 2 рази з підвищенням напруги до 440 в, максимальний крутний момент при цьому не повинен перевищувати $1,5 M_{\text{ном}}$. При живленні двигунів від тиристорних перетворювачів з мостовою схемою випрямлення вони допускають роботу без згладжувальних реакторів.

З метою зниження втрат вартості електропривода розглянемо встановлення для приводу механізму зіштовхування двигун серії Д типу Д816 (тихохідний, обмотка збудження паралельна із стабілізуючою обмоткою). Двигун вибираємо на номінальну напругу 220 В з метою зниження вартості силової частини ТП, оскільки регулювання частоти обертання здійснюється підвищенням напруги в 2 рази. Відповідно до [3; таблиця 2-23] номінальні дані двигуна Д 816, які представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Номінальні дані двигуна Д816

Найменування	Величина
1	2
Номінальна потужність P_n , кВт	150
Номінальна напруга U_n , В	220
Номінальна частота обертання n , об/хв	470
Номінальний струм I_n , А	745
Опір обмотки якоря $R_{я}$, Ом	0,0059
Опір обмотки додаткових полюсів $R_{дп}$, Ом	0,0032
Опір паралельної обмотки $R_{в}$, Ом	26,4
Опір стабілізуючої обмотки $R_{ст}$, Ом	0,0011
Момент інерції двигуна J , кг·м ²	16,25

2.2 Розрахунок моментів статичних опорів

Статичний момент при холостому ході [2]:

$$M_x = \frac{9,81(2m_{ш} + 2m_p + m_l) \cdot \left(f + \frac{D_y \cdot \mu_y}{2} \right)}{i \cdot h_x} = \quad (2.1)$$

$$= \frac{9,81 \cdot (2 \cdot 5990 + 2 \cdot 690 + 210) \cdot \left(0,0015 + \frac{0,35 \cdot 0,03}{2} \right)}{20,075 \cdot 0,4} = 33,571 \text{ Нм}$$

де $m_{ш}, m_p, m_l$ - маса штанги, рейки, лінійки відповідно (табл. 2.1);

D_y - діаметр направляючих роликів (табл. 2.1)

μ_y - коефіцієнт тертя осей напрямних роликів в підшипниках кочення;

i - передавальне число редуктора;

h_x - ККД холостого ходу;

f - коефіцієнт тертя кочення штанги про ролики.

Статичний момент при зіштовхуванні даного сляба (блюмів):

$$\begin{aligned}
 M_{c1} &= M_x + \frac{9,81 \cdot m_{1сл} \cdot D \cdot \mu}{2 \cdot i \cdot \eta} = \\
 &= 33,571 + \frac{9,81 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,432}{2 \cdot 20,075 \cdot 0,775} = 142,528 \text{ Нм}
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

де $m_{1сл}$ - маса сляба;

η - ККД механізму при повному навантаженні.

Статичний момент при зіштовхуванні стопи:

$$\begin{aligned}
 M_{c\Sigma} &= M_x + \frac{9,81 \cdot \Sigma m_{ст} \cdot D \cdot \mu}{2 \cdot i \cdot \eta} = \\
 &= 33,571 + \frac{9,81 \cdot 32000 \cdot 0,2 \cdot 0,432}{2 \cdot 20,075 \cdot 0,775} = 469,399 \text{ Нм}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

де $\Sigma m_{ст}$ – маса столу (4 сляба), кг.

2.3 Розрахунок моментів інерції

Номінальна частота обертання двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 470}{30} = 49,218 \text{ рад/с}
 \tag{2.4}$$

Оскільки повернення штанги здійснюється на підвищеній швидкості, то частота обертання двигуна при зворотному ході дорівнює $\omega_{обр} = 2\omega_n = 2 \cdot 49,218 = 98,437 \text{ рад/с}$

Визначимо лінійну швидкість переміщення слябів (блюмів):

$$V_n = \frac{D \cdot \omega_n}{2i} = \frac{0,432 \cdot 49,218}{2 \cdot 20,075} = 0,53 \text{ м/с}
 \tag{2.5}$$

Лінійна швидкість повернення штанги $V_{обр} = 2V_n = 2 \cdot 0,53 = 1,059 \text{ м/с}$

Номінальний момент, що розвивається електродвигуном:

$$M_H = \frac{P_H \cdot 1000}{\omega_H} = \frac{150 \cdot 1000}{49,218} = 3,048 \text{ кНм} \quad (2.6)$$

Сумарний момент інерції механізму зіштовхувача, приведений до валу електродвигуна (без інерції моменту переміщуються злитків):

$$\begin{aligned} J_x &= J_{\text{дв}} + J_p + (2m_{\text{ш}} + 2m_p + m_{\text{л}}) \left(\frac{V_H}{\omega_H} \right)^2 = \\ &= 16,25 + 4,125 + (2 \cdot 5990 + 2 \cdot 690 + 210) \left(\frac{0,53}{49,218} \right)^2 = \\ &= 21,946 \text{ Нмс}^2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

де $J_p = 4,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент інерції редуктора.

Сумарний момент інерції механізму та злитка, приведений до валу електродвигуна:

$$\begin{aligned} J_{1\text{сл}} &= J_{\text{дв}} + J_p + (2m_{\text{ш}} + 2m_p + m_{\text{л}} + m_{\text{сл1}}) \left(\frac{V_H}{\omega_H} \right)^2 = \\ &= 16,25 + 4,125 + (2 \cdot 5990 + 2 \cdot 690 + 210 + 8000) \left(\frac{0,53}{49,218} \right)^2 = \\ &= 22,872 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Сумарний момент інерції механізму і стопи, приведений до валу електродвигуна:

$$\begin{aligned} J_{\Sigma} &= J_{\text{дв}} + J_p + (2m_{\text{ш}} + 2m_p + m_{\text{л}} + \Sigma m_{\text{сл}}) \left(\frac{V_H}{\omega_H} \right)^2 = \\ &= 16,25 + 4,125 + (2 \cdot 5990 + 2 \cdot 690 + 210 + 32000) \left(\frac{0,53}{49,218} \right)^2 = \\ &= 25,651 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.4 Розрахунок тахограми

Тахограма роботи електроприводу зіштовхувача наведена на рис. 1.2.

У таблиці 2.2 наведено порівняльний розрахунок часу роботи електроприводу (при частоті надходжень слябів (блюмів) $N = 17$ і $N = 30$), а також перевірка двигунів по нагріванню. Розрахунок проводився за допомогою програми Mathcad.

Зіставивши дані таблиці 2.2 можна зробити висновок, що встановлений двигун Д818 перевантажений за моментом на 1,4%, що пояснюється деякою завищеністю даних в наведеному розрахунку в порівнянні з розрахунком організації, яка проектувала електропривод зіштовхувача

Двигун Д816 має завантаження 94,3%, отже, приймаємо його до установки. Такий варіант забезпечує найкращі показники (менші габаритні розміри, вартість, меншу потужність і втрати).

Таблиця 2.2 - Порівняльний розрахунок часу роботи електроприводу, перевірка двигунів по нагріванню

Розрахункова величина і формула	Тип двигуна	
	Д816	Д818
1	2	3
1 Номінальна потужність P_H , кВт	150	185
2 Номінальна частота обертання n , об/хв	470	450
3 Момент інерції якоря $J_{дв}$, кг·м ²	16,25	27,5
4 Момент інерції редуктора J_p , кг·м ²	4,125	4,125
5 Номінальна частота обертання двигуна ω_H , рад/с	49,218	47,124
6 Частота обертання зворотн. ходу штанги $\omega_{обр} = 2\omega_H$, 1/с	98,437	94,248
7 Лінійна швидкість при номінальній частоті обертання $V_H = \frac{D \cdot \omega_H}{2i}, \text{ м/с}$	0,53	0,507
8 Лінійна швидкість при зворотному ході штанги $V_{обр} = 2V_H, \text{ м/с}$	1,059	1,014
9 Сумарний момент інерції, приведений до валу двигуна: а) без інерції моменту переміщуваних слябів (блємів) $J_x = J_{дв} + J_p + (2m_{ш} + 2m_p + m_l) \left(\frac{V_H}{\omega_H} \right)^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	21,946	33,196
б) з урахуванням моменту інерції сляба (блємів) $J_{1сл} = J_{дв} + J_p + (2m_{ш} + 2m_p + m_l + m_{1сл}) \left(\frac{V_H}{\omega_H} \right)^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	22,872	34,122
в) з урахуванням моменту інерції стопи слябів (блємів) $J_{\Sigma} = J_{дв} + J_p + (2m_{ш} + 2m_p + m_l + \Sigma m_{сл}) \left(\frac{V_H}{\omega_H} \right)^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	25,651	36,901
10 Номінальний момент двигуна: $M_H = \frac{P_H \cdot 1000}{\omega_H}, \text{ кН}$	3,048	3,926

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
11 Гальмівний і пусковий момент двигуна $M_{II} = M_T = 1,5M_H, \text{ кН}$	4,571	5,889
12 Зіштовхування 1-го сляба а) час пуску $t_{II1} = \frac{J_{1сл} \cdot \omega_n}{M_{II} - M_{c1}}, \text{ с}$ б) час гальмування $t_{T1} = \frac{J_{1сл} \cdot \omega_n}{M_{II} + M_{c2}}, \text{ с}$ в) час усталеного руху $t_{y1} = \frac{H_1 - V_n(t_{II1} + t_{T1})}{V_n}, \text{ с}$	0,254	0,28
13 Зворотний хід: а) час пуску $t_{II2} = \frac{J_x \cdot \omega_{обр}}{M_T - M_X}, \text{ с}$ б) час гальмування $t_{T2} = \frac{J_x \cdot \omega_{обр}}{M_T + M_X}, \text{ с}$ в) час усталеного руху $t_{y2} = \frac{H_1 - V_{обр}(t_{II2} + t_{T2})}{V_{обр}}, \text{ с}$	0,476	0,534
14 Зіштовхування стопи на стелаж: а) час пуску $t_{II8} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_n}{M_{II} + M_{C\Sigma}}, \text{ с}$ б) час гальмування $t_{T8} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_n}{M_{T8} + M_{C\Sigma}}, \text{ с}$	0,308	0,321
	0,25	0,273

Продовження таблиці 2.2

в) час усталеного руху $t_{y8} = \frac{H_2 - H_1 - V_n(t_{П8} + t_{T8})}{V_n}, c$	3,218	3,35
15 Зворотний хід а) час пуску $t_{П9} = \frac{J_x \cdot \omega_{обр}}{M_{II} - M_X}, c$	0,476	0,534
б) час гальмування $t_{T9} = \frac{J_x \cdot \omega_{обр}}{M_T + M_X}, c$	0,469	0,528
в) час усталеного руху $t_{y9} = \frac{H_2 - V_{обр}(t_{П9} + t_{T9})}{V_{обр}}, c$	3,87	3,967
16 Час підняття столу t_{09}, c	2	2
17 Сума часів зупинки t_{08} и t_{09}, c		
а) при $N=17$	0,554	
б) при $N=30$	13,554	12,912
18 Сума часів зупинки t_{01} и t_{02}, c		
а) при $N=17$	8,219	7,829
б) при $N=30$	21,219	20,829
19 Час включення $t_{вкл}, c$	40,788	42,6
20 Час циклу $t_{ц}, c$		
а) при $N=17$	68	68
б) при $N=30$	120	120
21 Відносна тривалість включення ε :		
а) при $N=17$	0,6	0,626
б) при $N=30$	0,34	0,355
22 Сума часів пуску $t_{П\Sigma}, c$	3,229	3,578

Продовження таблиці 2.2

23 Сума часів гальмування $t_{T\Sigma}$	3,082	3,453
24 Сума часів усталеного руху $t_{y\Sigma}$	34,477	35,57
25 Сума часів зупинки $t_{O\Sigma}$		
а) при $N=17$	27,212	25,4
б) при $N=30$	79,212	77,4
26 Еквівалентний момент двигуна, віднесений до фактичної тривалості включення (при $\beta = 1$)		
а) при $N=17$	1403	1902
б) при $N=30$	1056	1431
27 Коефіцієнт завантаження двигуна по струму при відхиленні температури навколишнього середовища від стандартної		
$\chi = \sqrt{1 - \frac{\Delta\tau}{\tau} * (a + 1)};$ $\Delta\tau = V_c - 40 = 70 - 40 = 30^0\text{C};$ $\tau_{\text{don}} = T_{\text{don}} - 40 = 110 - 40 = 70^0\text{C}$ $a = 1$	0,378	0,378
28 Еквівалентний момент двигуна, віднесений до ПВ = 100%		
$M_{\Sigma K} = M_{\Sigma} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{100}}}, \text{Нм}$		
а) при $N=17$	1087	1505
б) при $N=30$	615,824	1484
29 Коефіцієнт завантаження по моменту		
$k = \frac{M_{\Sigma K}}{M_{HK}}$		
а) при $N=17$	0,943	1,014
б) при $N=30$	0,535	0,575

3 ВИБІР СИЛОВОЇ Й ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗІШТОВХУВАЧА ОБТИСКНОГО СТАНУ

3.1 Вибір і обґрунтування силової частини системи електроприводу

Для живлення якірних ланцюгів електродвигунів і обмоток збудження електричних машин постійного струму застосовуються, головним чином електромашинні генератори (Г), широтно-імпульсні перетворювачі (ШПІ) 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, ШПІ-Д або ТП-Д.

Система Г-Д має гарні регульовальні властивості, порівняно невисоку питому вартість і більший термін служби. Основною перевагою цієї системи є високий коефіцієнт потужності, крім того, при роботі системи Г-Д не спотворюється форма напруги мережі живлення змінного струму.

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

У даний 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 деяких прокатних станах (наприклад, обтискних).

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

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

– широкий діапазон регулювання вихідної напруги (до $1: 10^5$);

– високий ККД, 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 за струмом через велику частоту комутації й малі пульсації струму якоря;
- низький вихідний опір перетворювача і тому більш жорсткі 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 теперішній 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 ККД (ККД системи ТП-Д становить 0,96 ... 0,98, системи Г-Д – 0,76 ... 0,84);
- більш висока точність регулювання завдяки відсутності інерції, що часто забезпечує 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 мережі живлення в результаті комутаційних процесів у ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, які одержують живлення від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко напруга мережі використовується в якості опорної.

Особливо відзначимо, що перераховані недоліки системи ТП-Д стають вагомими тільки при великій потужності привода.

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 [4].

3.2 Вибір і обґрунтування системи керування

Для підтримки системою заданих параметрів на необхідному рівні вони, зазвичай, будуються замкненими, а підвищення якісних показників їх роботи досягається введенням спеціальних коригувальних ланок (системи з послідовною, паралельною й змішаною корекцією) або організацією модального керування. 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 коригувальній 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 настроювання. 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 керування електроприводом. Такі системи вводять в експлуатацію методом послідовного настроювання окремих контурів системи керування (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 безінерційних тиристорних і транзисторних перетворювачів з малою потужністю керування й операційних підсилювачів постійного струму, застосовуваних у якості активних коригувальних ланок, забезпечило широке впровадження систем з послідовною корекцією для керування практично всіма видами металургійного електропривода постійного струму.

САУ з послідовною корекцією розбивається на ряд контурів, число яких дорівнює числу регульованих параметрів системи. Параметрами регулювання

можуть бути: напруга перетворювача, сила струму в головному ланцюзі, швидкість електродвигуна, кутове або лінійне положення робочого механізму, натяг металу, що прокочується, й 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).

3.3 Вибір комплектного тиристорного електроприводу (КТЕ)

На базі уніфікованих блоків пристроїв керування і регулювання створені і серійно випускаються електротехнічною промисловістю комплектні тиристорні пристрої та комплектні тиристорні електроприводи.

Комплектні тиристорні пристрої являють собою сукупність тиристорного перетворювача, комплектного пристрою регулювання і необхідної апаратури захисту і керування. КТЕ містить, крім перерахованих елементів, один або декілька електродвигунів з датчиками швидкості і джерело струму збудження (керований або некерований).

В даний час для керування механізмом зіштовхувача використовується КТЕ II-го покоління. У проекті пропонується замінити морально застарілий КТЕ II-го покоління на більш сучасний 5 покоління.

Нова серія комплектних тиристорних електроприводів постійного струму розроблена на базі виробів III-го покоління (КТЕ) з повною заміною систем керування. Нова система керування виконана у вигляді малогабаритного моноблока, вбудованого в силові шафи перетворювачів на струмі до 1000 А і в шафи керування для перетворювачів на струмі 1600 ... 12500 А. Застосована елементарна база провідних світових виробників.

Серія КТЕ Запорізького виробничого об'єднання «Перетворювач» з легкістю замінює серії АТ, АТР, АТВ потужністю до 1000 кВт. Відрізняються поліпшеними динамічними якостями, точністю в статичних режимах, а також меншими габаритами. Як вже було описано, особливістю серії є широке застосування інтегральних мікросхем для систем регулювання, захисту і сигналізації. Серія включає електроприводи з роздільним і спільним керуванням групами ТП в залежності від вимог, що пред'являються до механізму, КТЕ випускають в реверсивному і нереверсивному виконанні з номінальною випрямленою напругою 220 і 930 В при силі струму від 10 до 12500 А, живлення здійснюється від мережі 0,4 ; 6; 10 кВ.

Основними технічними даними комплектних тиристорних електроприводів є номінальний струм $I_{н\ тп}$ і напруга $U_{н\ тп}$. Для багатодвигунових електроприводів при послідовному живленні якірних ланцюгів, за номінальний струм перетворювача приймається сумарний струм двигунів, через що зростає його потужність, а отже і його ціна. При роздільному живленні якірних ланцюгів номінальний струм перетворювача повинен бути більше ніж номінальний струм якоря обраного електродвигуна $I_{н\ дв} = 745\ А$.

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

Для встановленого електродвигуна, з каталогу вибираємо реверсивний комплектний тиристорний електропривод серії КТЕ типу КТЕ5-АС-800/440-ЕТ2937-С33-УХЛ4, з трансформатором ТСЗП 630/10УЗ.

Структура умовного позначення комплектних тиристорних перетворювачів 5-го покоління:

- призначення: А - для якірного ланцюга двигуна постійного струму;
- конструктивне виконання: С - шафове виконання;
- номінальний вихідний струм: 800 А;

- номінальна вихідна напруга: 440 В;
- вид охолодження: Е - природне повітряне;
- спосіб підключення до силової мережі живлення: Т - трансформаторне;
- виконання силової схеми: 2 - 6-пульсна реверсивна схема.

На рис. 3.1 наведена схема підключення перетворювача до двигуна.

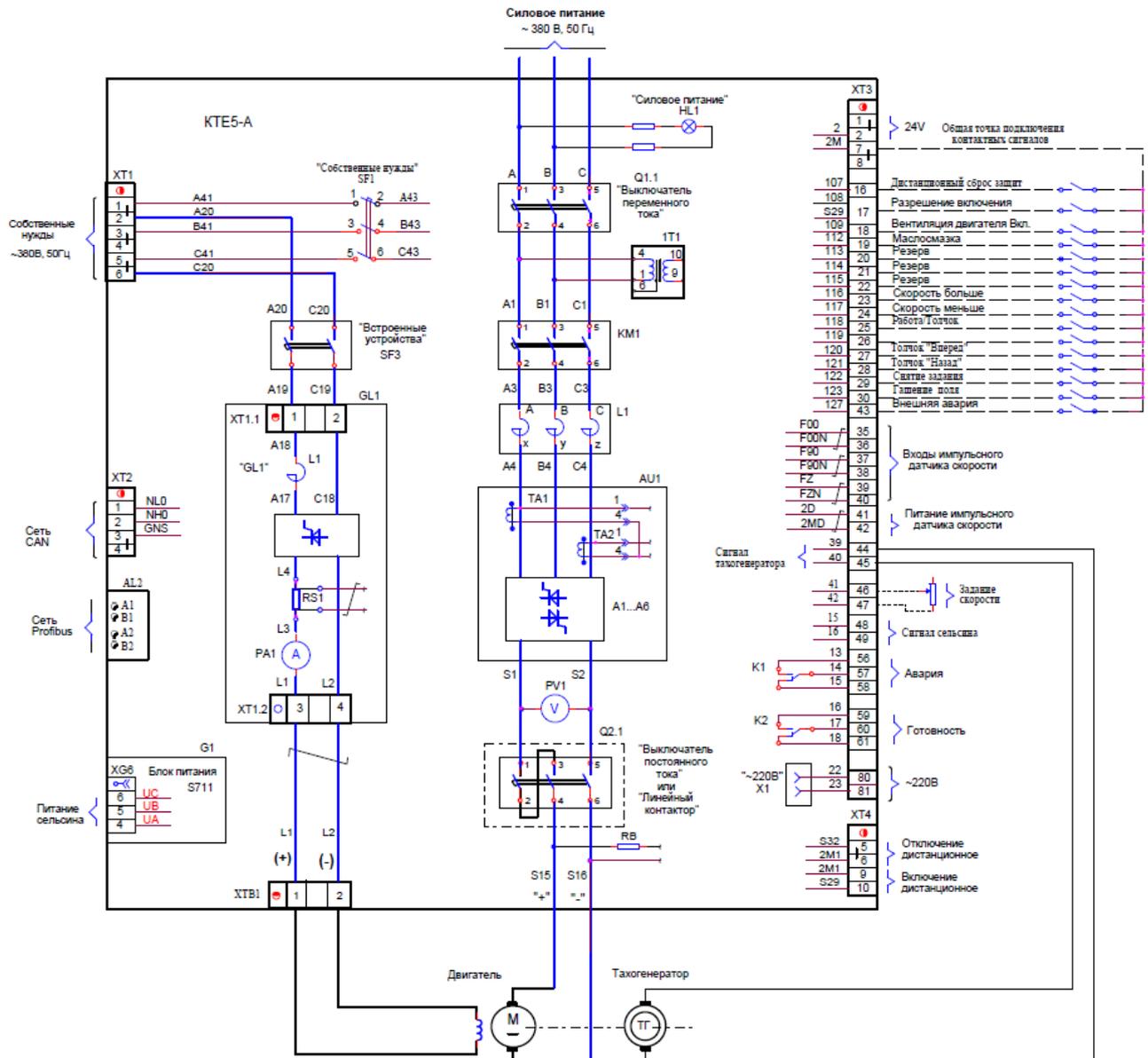


Рисунок 3.1 – Схема підключення комплектного перетворювача до двигуна

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

Крім того, виріб має систему допоміжних пристроїв (пристрій живлення обмотки збудження, пристрій керування електромагнітним гальмом, пристрій

живлення обмотки збудження тахогенератора), систему автоматичного регулювання струму, напруги, ЕРС, частоти обертання, натягу, положення, системи захисту і сигналізації перетворювача і електроприводу.

Комплектний пристрій, повністю готовий до підключення, що складається з одного або декількох шаф, в яких скомпоновано необхідне обладнання. Шафи, що входять до складу електроприводу, являють собою металеву конструкцію каркасного типу. Зовнішній вигляд шафи представлений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд перетворювача шафового виконання

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Склад КТЕ наведено на рисунку 3.3. Детальна система курування КТЕ наведена у додатку А.

- Q1 - трьохполюсний автоматичний вимикач;
- Q2 - двополюсний автоматичний вимикач
- КМ - лінійний контактор
- В - пристрій живлення обмотки збудження
- М - пристрій живлення електромагнітного гальма;
- Д - динамічний гальмо;
- Т1 - трансформатор (за вказівкою в замовленні - поставка високовольтного трансформатора і шафи високовольтного введення);
- Т - блок живлення тахогенератора;
- ZZ - селсін датчик кута повороту

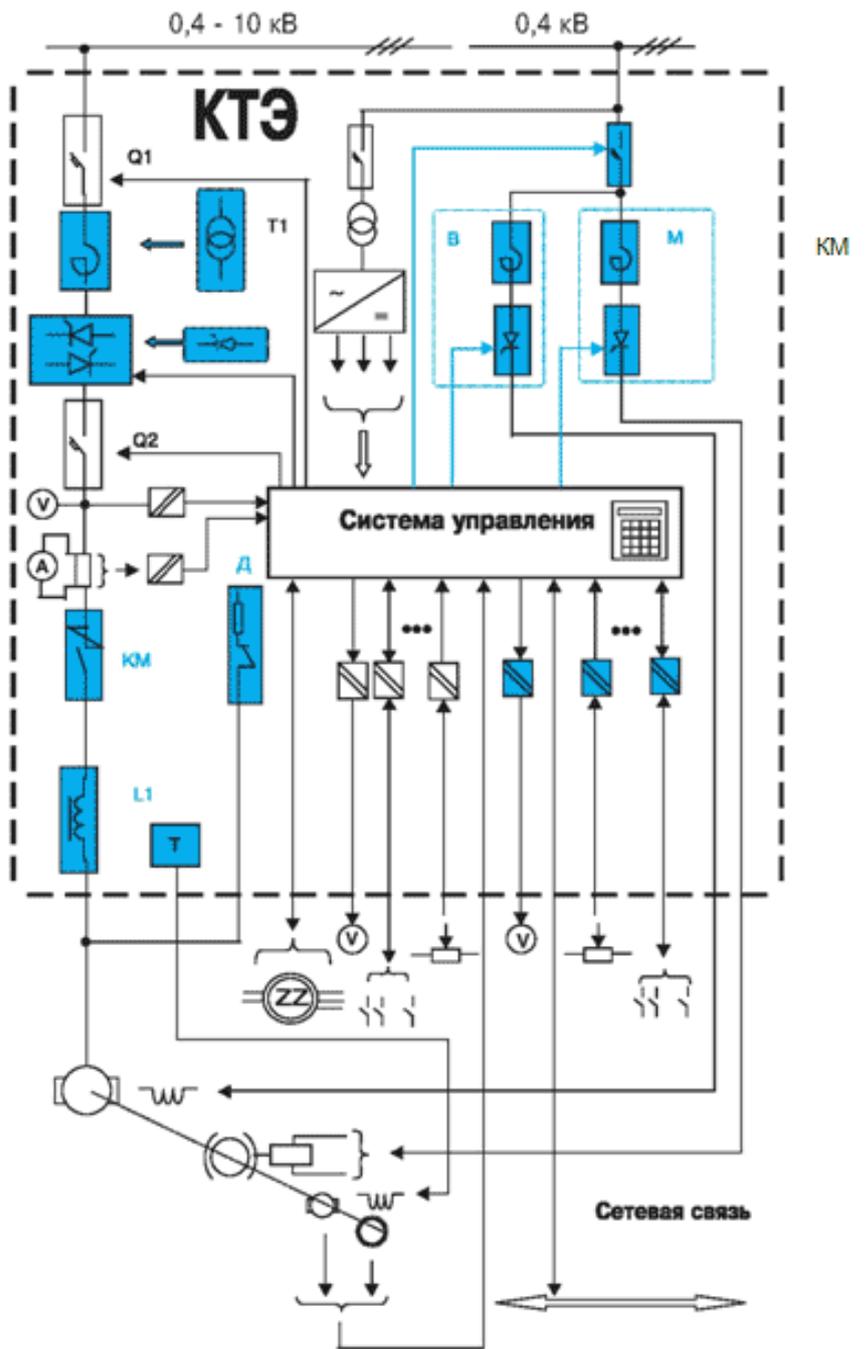


Рисунок 3.3 - Склад перетворювача шафового виконання

3.4 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя

Силовий трансформатор в схемі керованого випрямляча застосовується для узгодження стандартної напруги мережі і напруги навантаження. Зменшення напруги на виході ТП постійного струму за рахунок зміни кута керування в більшості практичних випадків неприпустимо, оскільки це веде до недовикористання по потужності перетворювальної установки і зниження її енергетичних показників (коефіцієнта потужності). Крім того, трансформатор обмежує струм в режимі короткого замикання, а також швидкість наростання струму як в робочих, так і в аварійних режимах роботи перетворювача.

Для узгодження тиристорного перетворювача з мережею живлення вибираємо силовий трансформатор ТСЗП-630/10УЗ, технічні дані якого наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні дані силового трансформатора ТСЗП-630/10УЗ виконання 2 для живлення тиристорного перетворювача

Найменування параметру	Позначення та чисельне значення
Потужність, кВ А	$P_{\text{тр тп}} = 580$
Номінальна первинна напруга, В	$U_{1 \text{ тр тп}} = 6000$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2 \text{ тр тп}} = 410$
Чинне значення струму вторинної обмотки, А	$I_{2 \text{ тр тп}} = 816$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{\text{хх тп}} = 2100$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{\text{кз тп}} = 6000$
Напруга короткого замикання, %	$U_{\text{кз\% тп}} = 5,9$
Струм холостого ходу, %	$I_{\text{хх\% тп}} = 2$
Маса, кг	$m_{\text{тр тп}} = 2450$

3.5 Принципова схема перетворювача

Принципова схема силовий частини КТЕ приведена на рис. 3.4.

Перевагу у виборі перетворювача даного типу віддано наступним причинам:

1. Вартість КТЕ5 в порівнянні з перетворювачами іноземних фірм (Siemens, Lenze, ABB і т.п.) набагато нижче через відсутність посередників при купівлі обладнання і необхідності сплати митних платежів.

2. Якість регулювання, що забезпечується перетворювачами КТЕ5, достатньо для виконаного завдання, тоді як перетворювачі вищезгаданих фірм мають більшу функціональність і більш високі якісні параметри. Відповідно, віддаючи їм перевагу, ми платимо за ті функції, які не будуть затребувані.

3. Сервісне обслуговування перетворювача обходиться дешевше.

4. Інтерфейс КТЕ5 російськомовний, а значить може бути освоєний обслуговуючим персоналом у більш короткий термін.

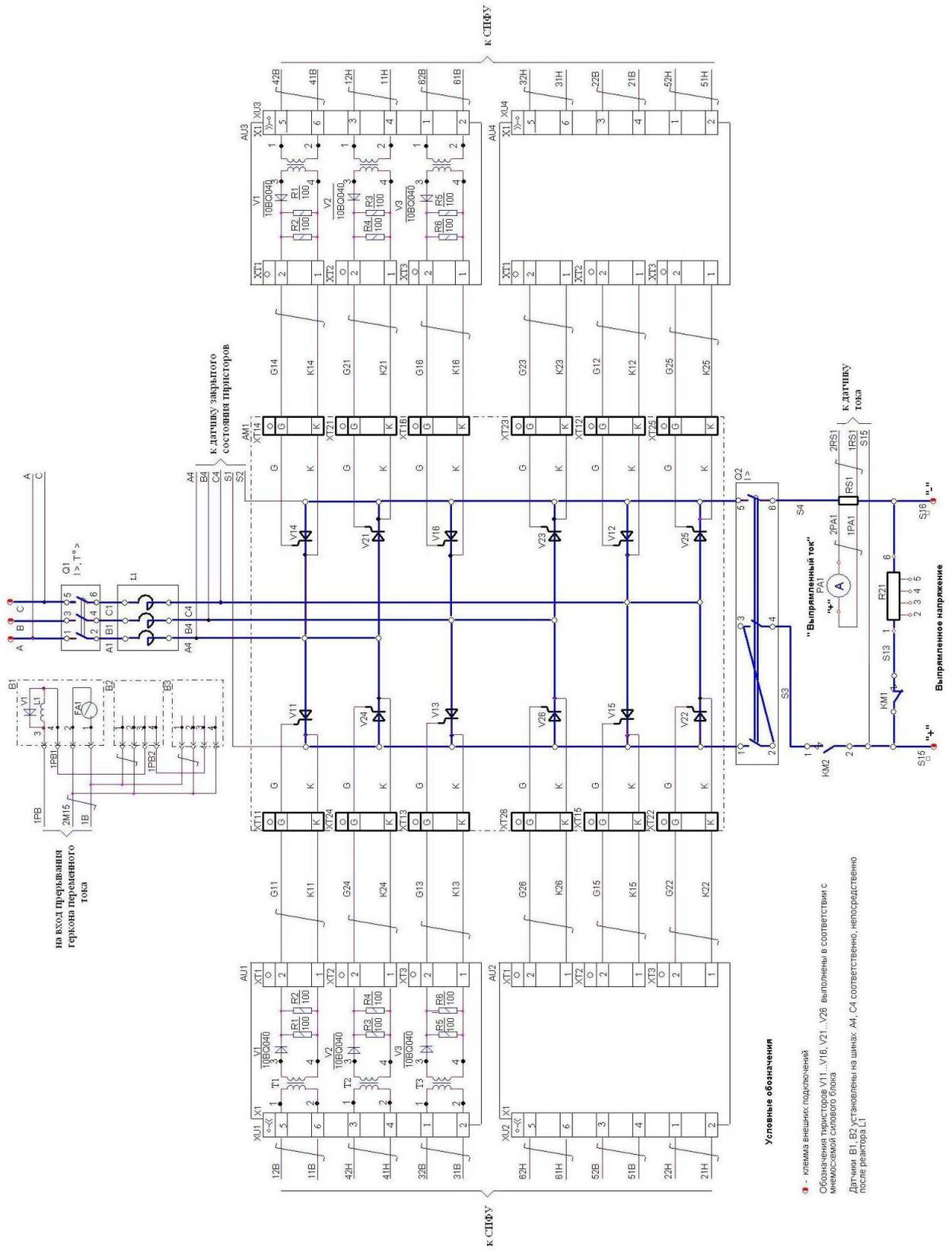


Рисунок 3.2 – Принципова схема силовой части переотворювача КТЕ5

3.6 Електромагнітна сумісність комплектного електроприводу

В умовах постійного розвитку сучасної техніки і електроніки, в процесі експлуатації обладнання, виникає все більша необхідність в надійності роботи обладнання. Необхідність в безперебійному транслявання і ретрансляванні сигналів. Чутливе обладнання може піддаватися спотворюючому впливу електромагнітних полів, випромінюваних потужною силовою перетворювальною технікою. А як наслідок цього - виникає велика ймовірність збоїв і помилок в роботі електроніки. Щоб уникнути подібних негативних наслідків, пропонується не просто встановлювати обладнання в загальні збірки, а перевіряти його на предмет електромагнітної сумісності (ЕМС) з усіма вузлами і елементами.

Загальне поняття ЕМС

ЕМС означає "електромагнітна сумісність" і визначає здатність частин обладнання задовільно працювати в електромагнітному оточенні без власних електромагнітних завад, які можуть несприятливо діяти на інше устаткування, що знаходиться поблизу.

Таким чином, різні частини обладнання не повинні несприятливо діяти один на одного.

Випромінювання шуму і стійкості до шуму

ЕМС залежить від двох характеристик застосованого обладнання/блоків, тобто від випромінюваного шуму і стійкості до шуму. Частини електрообладнання можуть бути як джерелами перешкод (передавачами) так і приймачами шуму.

Електромагнітна сумісність існує, якщо джерела перешкод несприятливо впливають на функції приймачів шуму.

Частини обладнання можуть бути як джерелом, так і приймачем перешкод. Наприклад, силова частина перетворювача повинна бути розцінена як джерело перешкод, а керуюча частина, як приймач перешкод.

Граничні значення

Немає необхідності здійснювати всі заходи ЕМС для промислових мереж живлення. Замість цього може бути застосоване рішення, спеціально

приспосовуюче до потрібного оточення. Відповідно, може бути економічно виправданим збільшення завадостійкості чутливого пристрою, ніж здійснення заходів шумозаглушення для перетворювача. Таким чином, рішення вибираються в залежності від економічної доцільності. Перетворювачі КТЕ5 розроблені спеціально для промислових застосувань (промислові низьковольтні системи живлення, тобто системи, які не призначені для застосування в будинках).

Стійкість до шуму визначає поведінку частин обладнання при впливі електромагнітних завад. Стандарт на виробу регулює потреби і критерії оцінки поведінки обладнання в індустріальному оточенні.

Перетворювачі КТЕ5 в промислових застосуваннях

У промисловому оточенні, обладнання повинно мати високий рівень завадостійкості, беручи до уваги низькі вимоги до джерел шуму. Перетворювачі КТЕ5 є компонентами електричної приводної системи, також як контактори і вимикачі. Належним чином підготовлений персонал повинен збирати приводну систему, що складається, принаймні, з перетворювача, кабелів двигуна і двигуна. У більшості випадків також потрібні комутаційні дроселі та плавкі запобіжники. Граничні значення можуть підтримуватися, тільки якщо компоненти встановлені і змонтовані правильно. Щоб обмежити випромінюється шум у відповідності з граничним значенням, безпосередньо до перетворювача потрібно додати відповідний фільтр придушення радіоперешкод і комутаційний дросель. Без фільтра придушення, шум, випромінений перетворювачем КТЕ5, перевищує граничне значення.

Якщо привод складає частину комплекту обладнання, то він спочатку, не повинен задовольняти вимоги щодо випромінювання шуму. Однак правила ЕМС вимагають, щоб установка в цілому була електромагнітно сумісною з її оточенням.

Незаземлені системи живлення

Не заземлені системи живлення використовуються в ряді галузей промисловості, щоб збільшити придатність установки. У разі замикання на землю аварійний струм не тече, так що установка може все ще працювати.

Однак коли встановлено фільтр придушення радіоперешкод, замикання на землю змушує протікати аварійні струми, що призводять до відключення приводів, і в деяких випадках, до псування фільтра придушення. З цієї причини, якщо потрібно придушення радіоперешкод, воно повинно бути вбудовано на заземленій первинній стороні трансформатора живлення.

Планування ЕМС

Якщо два блоки не мають електромагнітної сумісності, то можливо або зменшити шум, що випромінюється джерелом шуму, або збільшувати стійкість приймача шуму. Джерелами шуму є в основному блоки силової електроніки з високим енергоспоживанням. Щоб зменшувати випромінюваний шум від цих блоків потрібні складні, дорогі фільтри. Приймачами шуму переважно є обладнання керування та датчики, включаючи схему оцінки. Збільшення завадостійкості менш потужного устаткування в загальному легше і дешевше завдання. Тому в промисловому оточенні, часто вигідніше збільшити стійкість, ніж зменшувати випромінюваний шум. Наприклад, для того щоб дотримуватися граничного значення, напруга пригнічуючого шуму на головному вводі не може перевищувати 79 дБ (мВ) між 150 кГц і 500 кГц і максимум 73 дБ (мВ) (9 мВ або 4.5 мВ) між 500 кГц і 30 МГц. У промисловому оточенні, ЕМС використовуваного обладнання повинна бути заснована на добре збалансованій суміші випромінювання шуму і завадостійкості. Найбільш економічно-обґрунтованою мірою придушення є фізичне розділення джерел шуму і приймачів шуму, приймаючи, що це вже було взято до уваги при проектуванні машини /обладнання. Перший крок повинен визначити, чи є блок потенційним джерелом шуму (джерело шуму або приймач шуму). Джерелами шуму є, наприклад, приймачі і датчики. Якщо необхідно, компоненти в шафі керування (джерела і приймачі шуму) повинні бути фізично розділені за допомогою металевих перегородок або металевих корпусів для окремих компонентів.

Умови використання ЕМС сумісності

Оскільки приводи можуть використовуватися в широкому діапазоні різних оточень і використовуваних електричних компонентів (контролерів, імпульсних джерел живлення, і т.д.), то стійкість і випромінювання можуть

значно відрізняться по відношенню до них, тому будь-яка інструкція по монтажу/установці практично може представляти тільки компроміс. З цієї причини, ЕМС інструкції не повинні здійснюватися буквально, за умови, що заходи перевірені на практиці.

Щоб гарантувати електромагнітну сумісність в шафах в поганому електромагнітному оточенні і задовольняти стандартам, визначеним відповідними органами регулювання, повинні дотримуватися такі ЕМС інструкції при проектуванні і монтажі шаф.

В основному застосовуються правила з 1 по 10. Правил з 11 по 15 необхідно слідувати, щоб задовольняти стандартам, регулюючим випромінений шум.

Правила щодо належної ЕМС установці

Правило 1

Всі металеві частини корпусу повинні бути з'єднані через якомога більшу площу поверхні (чи не від точки до точки). Якщо потрібно, то застосовуються прокладки з зазублинами. Двері шафи повинна бути з'єднані з його корпусом через заземлювальну плетінку, яка повинна бути якомога коротша, (верх, центр, низ).

Правило 2

Контактори, реле, котушки клапанів, електромеханічні операційні лічильники годин, і т. д., повинні бути з приглушувачими елементами, наприклад, RC-елементами, діодами, варисторами. Ці приглушуючі елементи повинні бути безпосередньо підключені до котушки.

Правило 3

По можливості, сигнальні кабелі повинні бути введені в шафу тільки на одному рівні.

Правило 4

Неекрановані жили відносяться до однієї схеми (вхідні та вихідні провідники) повинні бути де можливо свиті, або поверхня між ними витримується якомога меншою, щоб запобігти непотрібний ефект взаємодії.

Правило 5

Можливо підключити додаткові провідники до заземлення шафи (землі) з обох кінців, щоб отримати додатковий екрануючий ефект.

Правило 6

Необхідно уникати будь-яких необґрунтованих довжин кабелю, щоб зменшити ємності і індуктивності зв'язку.

Правило 7

Взаємозв'язок залишається низьким, якщо кабелі прокладені поблизу заземлених поверхонь шафи. З цієї причини, провідники не повинні бути прокладені вільно в шафі, а як можна ближче до конструктивних елементів шафи і монтажним панелям. Ці вимоги застосовні до запасних кабелів.

Правило 8

Сигнальні і силові кабелі повинні бути прокладені окремо один від одного (щоб запобігти шум від взаємного зв'язку). Вони повинні бути змонтовані на відстані мінімум 20 см один від одного. Якщо кабелі датчика швидкості і кабелі двигуна не можуть бути прокладені окремо, то кабелі повинні бути роз'їдені за допомогою металевих перегородок або установкою в металевій трубі або каналі. Перегородки або металеві канали повинні бути заземлені в декількох точках.

Правило 9

Екрани кабелів цифрових сигналів повинні бути підключені до землі з обох кінців (джерело і приймач). Якщо є незначний потенціал зв'язку між підключеннями екрану, додатковий еквіпотенціальний кабель принаймні 10мм² повинен бути підключений в паралель до екрану, щоб зменшити струм по екрану. Взагалі кажучи, екрани можуть бути підключені до корпусу шафи (землі) в декількох точках. Екрани можуть бути також підключені в декількох місцях поза шафи. Екранів з фольги потрібно уникати. Їх ефект екранування більш ніж в 5 разів слабкіше в порівнянні з плетеними екранами.

Правило 10

Екрани кабелів аналогових сигналів можуть бути підключені до землі з обох кінців (через велику поверхню) при хорошому еквіпотенційному з'єднанні. Потенціал зв'язку може бути прийнятий задовільним, якщо все

металеві частини добре пов'язані, і всі електронні використовувані компоненти запитані від одного джерела. Заземлений з одного боку екран запобігає низькою частотою, ємнісний шум зв'язку (наприклад 50 Гц). Тоді підключення екрану має бути здійснене в шафі. В цьому випадку, екран може бути підключений за допомогою екранного проводу.

Правило 11

Фільтр придушення завжди повинен монтуватися поблизу до передбачуваного джерела шуму. Фільтр повинен бути встановлений через якомога більшу поверхню на корпус шафи, монтажну пластину, і т.д. Вхідні і вихідні кабелі повинні бути прокладені окремо.

Правило 12

Щоб гарантувати відповідність граничним значенням, використання фільтрів придушення радіоперешкод обов'язкове.

Додаткові навантаження повинні бути підключені на мережевій стороні фільтру. Використовувана система керування і інший монтаж в шафі визначають, чи повинен бути встановлений додатковий мережевий фільтр.

Правило 13

Комутаційний дросель повинен бути встановлений в ланцюзі збудження для керованого живлення збудження.

Правило 14

Комутаційний дросель повинен бути встановлений в ланцюзі якоря перетворювача.

Правило 15

У приводних системах КТЕ5 можуть використовуватися неекрановані кабелі двигуна.

Живлячий мережевий кабель повинен бути прокладений на відстані, принаймні 20 см від кабелів двигуна (збудження, якоря). При необхідності потрібно використовувати металеві перегородки.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗУШТОВХУВАЧА ОБТИСКНОГО СТАНУ

4.1 Математичний опис об'єкта керування

При синтезі системи керування приймають звичайні для систем електропривода допущення, лінеаризуючі силову частину об'єкта керування – двигун і регульоване джерело живлення ланцюга якоря. При математичному описі не враховується вплив пружних елементів, вплив гістерезису, вихрових струмів і реакції якоря. Коефіцієнти передач і постійні часу структурних елементів електропривода ухвалюються незмінними.

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

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

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

У зв'язку із цим повне дослідження динамічних характеристик тиристорного перетворювача є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення.

Найбільше поширення одержали два види моделей тиристорних перетворювачів: безперервна, у якій перетворювач представляється аперіодичною ланкою з коефіцієнтом $k_{\text{ТП}}$ і постійної часу $\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$ й імпульсна. Надалі, при синтезі САУ буде використана безперервна модель тиристорного перетворювача.

Система регулювання обраного тиристорного перетворювача двохпроцесорна, усі регулятори (струму якоря, швидкості, ЕРС двигуна, струмузбудження 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.

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 ЕРС двигуна.

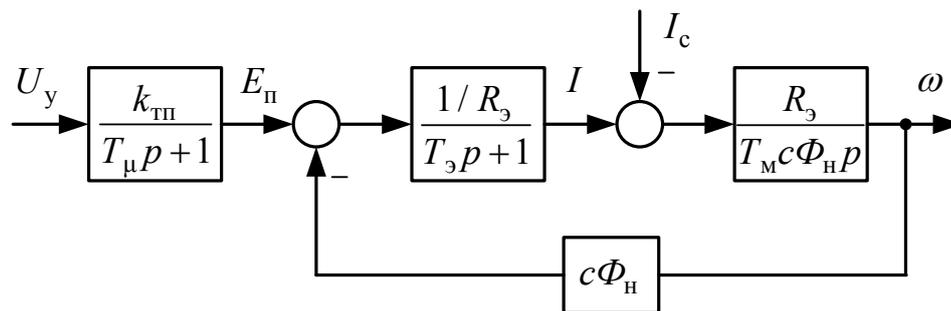


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електропривода

4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу

Значення максимально випрямленою ЕРС (напряга на виході тиристорно перетворювача):

$$E_{d0 \text{ ТП}} = 1,35U_{2 \text{ тр ТП}} = 1,35 \cdot 410 = 553,5 \text{ В} \quad (4.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

$U_{2 \text{ тр ТП}}$ - номінальна напряга на вторинній обмотці силового трансформатора, В (див. табл. 3.2).

Кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги:

$$\omega_1 = 2\pi f_c m_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6 = 1884,956 \text{ Гц} \quad (4.2)$$

де f_c - частота мережі живлення, 50 Гц;

m_ϕ - число фаз випрямлення 6.

Активний, індуктивний і повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр тп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз тп}} U_{2 \text{ тр тп}}^2}{P_{\text{тр тп}}^2} = \frac{6000 \cdot 410^2}{(580 \cdot 10^3)^2} = 2,998 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

$$z_{\text{тр тп}} = \frac{U_{\text{кз\% тп}} U_{2 \text{ тр тп}}}{100 I_{2 \text{ тр тп}} \sqrt{3}} = \frac{5,9 \cdot 410}{100 \cdot 816 \cdot \sqrt{3}} = 17,115 \cdot 10^{-3} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} x_{\text{а тр тп}} &= \sqrt{z_{\text{тр тп}}^2 - r_{\text{тр тп}}^2} = \\ &= \sqrt{(17,115 \cdot 10^{-3})^2 - (2,998 \cdot 10^{-3})^2} = 14,117 \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (4.5)$$

де $\Delta P_{\text{кз тп}}$ - потужність втрат короткого замикання трансформатора, 8000 Вт;

$P_{\text{тр тп}}$ - потужність трансформатора, 580 кВ А;

$U_{\text{кз\% тп}}$ - напруга короткого замикання трансформатора, 5,9%;

$I_{2 \text{ тр тп}}$ - діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора, 816 А.

Індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр тп}} = \frac{x_{\text{а тр тп}}}{2\pi f_c} = \frac{14,117 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 44,96 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (4.6)$$

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

Індуктивність якоря двигуна визначається емпіричною формулою:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{U_{\text{н}}}{2p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}} = 6 \frac{220}{2 \cdot 470 \cdot 745} = 1,885 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (4.7)$$

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

$U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$ - номінальна напруга електродвигуна;

$I_{\text{н}} = 745 \text{ А}$ - номінальний струм електродвигуна;

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

$n_{\text{н}} = 470 \text{ об/хв}$ - номінальна частота обертання електродвигуна.

Сумарний опір якорного ланцюга електродвигуна:

$$r_{\text{я.дв}} = \beta (r_{\text{я}} + r_{\text{дп}} + r_{\text{ст}}) = 1,32 (0,0059 + 0,0032 + 0,0011) = 0,013 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

де $\beta = 1,32$ - температурний коефіцієнт двигуна, що враховує зміну опору при нагріванні машини на 80°C ;

$r_{\text{я}} = 0,0059 \text{ Ом}$ - опір обмотки якоря (холодну) при 20°C ;

$r_{\text{дп}} = 0,0032 \text{ Ом}$ - опір додаткових полюсів (холодний);

$r_{\text{ст}} = 0,0011 \text{ Ом}$ - стабілізуючою обмотки.

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 14,117 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 13,488 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.9)$$

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

$x_{\text{а}} = 14,117 \text{ мОм}$ - повний опір силового трансформатора.

При синусоїдальній опорній напрузі СІФУ перетворювача характеристика вхід-вихід ТП лінійна і коефіцієнт передачі ТП за напругою розраховується за формулою:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{д0}}}{U_{\text{у max}}} = \frac{553,5}{10} = 55,35 \quad (4.10)$$

де $U_{\text{у max}} = 10 \text{ В}$ - максимальна керуюча напруга ТП.

Еквівалентний активний опір якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$R_{\text{э}} = r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ 0,013 + 2 \cdot (2,998 \cdot 10^{-3}) + 13,488 \cdot 10^{-3} + 0,0013 = 0,042 \text{ Ом} \quad (4.11)$$

де $r_{\text{я.дв}} = 0,013 \text{ мОм}$ - активний опір якірного ланцюга двигуна;

$r_{\text{тр}} = 2,998 \text{ мОм}$ - активний опір силового трансформатора;

$r_{\text{к}} = 13,488 \text{ мОм}$ - комутаційний опір;

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 0,013 = 0,0013 \text{ мОм}$ - активний опір шин або кабелю, що з'єднують ТП з якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\text{э}} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 1,885 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 44,96 \cdot 10^{-6} = 1,975 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (4.12)$$

Сумарний момент інерції механізму і стопи, приведений до валу електродвигуна (2.9):

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + (2m_{\text{ш}} + 2m_{\text{р}} + m_{\text{л}} + \Sigma m_{\text{сл}}) \left(\frac{V_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} \right)^2 = \\ = 16,25 + 4,125 + (2 \cdot 5990 + 2 \cdot 690 + 210 + 32000) \left(\frac{0,53}{49,218} \right)^2 = \\ = 25,651 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.13)$$

де $J_{\text{дв}} = 16,25 \text{ кгм}^2$ - момент інерції електродвигуна (див. табл. 2.1);

$J_{\text{р}} = 4,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент інерції ролика;

Коефіцієнт двигуна (стала двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я.дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{220 - 745 \cdot 0,013}{49,218} = 4,271 \text{ Вс} \quad (4.14)$$

де $\omega_H = 49,218 \text{ 1/с}$ - номінальна швидкість електродвигуна.

Електромагнітна стала часу системи ТП-Д:

$$T_э = \frac{L_э}{R_э} = \frac{1,975 \cdot 10^{-3}}{0,042} = 0,047 \text{ с} \quad (4.15)$$

Електромеханічна стала часу електроприводу:

$$T_M = \frac{J'_\Sigma R_э}{c\Phi_H^2} = \frac{25,651 \cdot 0,034}{4,271^2} = 0,06 \text{ с} \quad (4.16)$$

Сталу часу ТП через наявність в ньому і взагалі в системі малих неврахованих інерційностей, приймаємо $T_\mu \approx 5 \text{ мс}$. Оскільки двигуни серії Д допускають роботу без згладжувального реактора, то вибір його не наведено. Таке рішення зменшить вартість та масогабаритні показники електроприводу, та не як не скажеться на його роботі.

4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму будемо вважати, що електромеханічна стала часу набагато більша електромагнітної сталої часу $T_э$. Можна також знехтувати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, вважаючи її збурюючим впливом в контурі струму.

Структурна схема контуру струму представлена на рисунку 4.2.

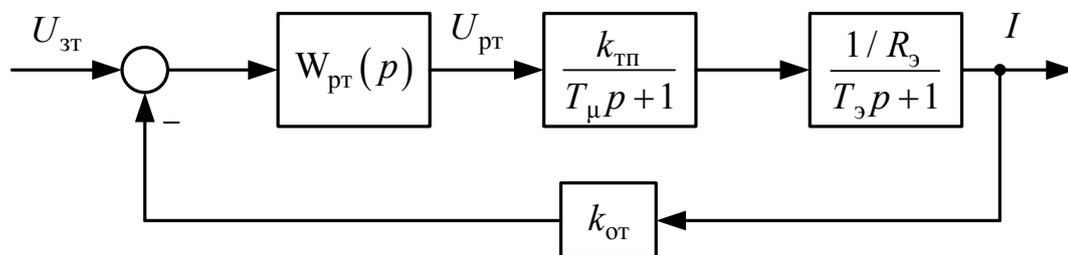


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

В якості малої сталої часу контура струму приймаємо малу сталу ТП $T_\mu = 5 \text{ мс}$. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

Передавальна функція регулятора має вигляд:

$$W_{\text{РТ}}^{\text{М}}(p) = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{\text{ТП}} k_{\text{ОТ}} 2T_{\mu} p} = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{\text{ТП}} k_{\text{ОТ}} T_{\text{ОТ}} p} = k_{\text{РТП}} + \frac{k_{\text{РТИ}}}{p}. \quad (4.17)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора струму:

$$k_{\text{РТП}} = \frac{R_3 T_3}{k_{\text{ТП}} k_{\text{ОТ}} T_{\text{ОТ}}} = \frac{0,042 \cdot 0,047}{55,35 \cdot 0,0054 \cdot 0,01} = 0,66; \quad (4.18)$$

$$k_{\text{РТИ}} = \frac{R_3}{k_{\text{ТП}} k_{\text{ОТ}} T_{\text{ОТ}}} = \frac{0,042}{55,35 \cdot 0,0054 \cdot 0,01} = 14,05 \quad (4.19)$$

де $T_3 = 0,047$ с - електромагнітна стала часу системи ТП-Д;

$k_{\text{ТП}} = 55,35$ - коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$k_{\text{ОТ}} = \frac{U_{\text{зт.мах}}}{I_{\text{мах}}} = \frac{10}{1862,5} = 0,0054$ В/А - коефіцієнт передачі ланцюга

зворотного зв'язку по струму;

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

$I_{\text{мах}} = 2,5 I_{\text{н}} = 2,5 \cdot 745 = 1862,5$ А - максимально допустимий струм якоря двигуна (струм упору);

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

Функціональна схема контуру регулювання струму якоря, реалізована в перетворювачі програмно на базі відповідних блоків. Розраховані величини пропорційної і інтегральної частин регулятора струму при налагодженні електроприводу встановлюються в параметрах блоку.

Для формування сигналу, пропорційного реальному струму якоря двигунів використовується канал аналогового входу, на які подається напруга з датчика напруги, підключеного до вимірювального шунту. Шунт необхідно встановити в яірний ланцюг двигуна.

4.4 Синтез регулятора швидкості

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

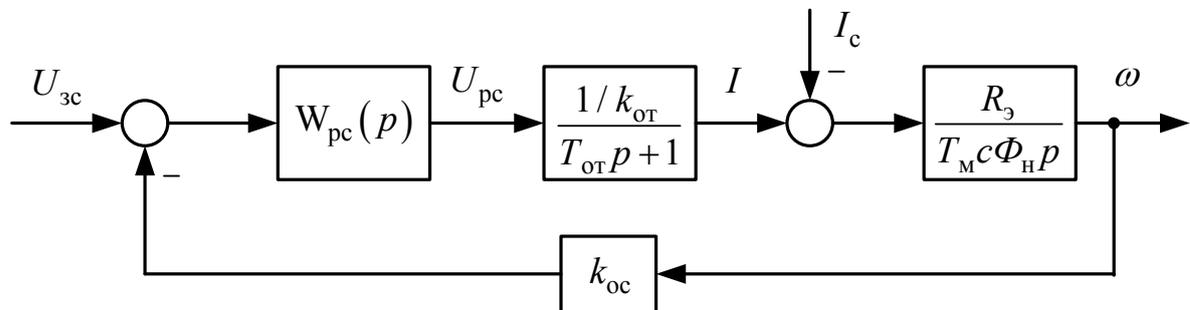


Рисунок 4.3 - Структурна схема контуру швидкості

Регулятор швидкості оптимізований по пропорційному (П) закону керування з налаштуванням на модульний оптимум. Регулятор для забезпечення необхідних динамічних параметрів повинен компенсувати електромеханічну сталу часу системи T_M , а також малу сталу часу контуру швидкості T_{oc} . В цьому випадку передавальна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{pc}^c(p) = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_з k_{oc} 2T_{от}} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_з k_{oc} T_{oc}} = k_{pc\Pi}. \quad (4.20)$$

Пропорційна частина П-регулятора швидкості:

$$k_{pc\Pi} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_з k_{oc} T_{oc}} = \frac{0,06 \cdot 4,271 \cdot 0,0054}{0,042 \cdot 0,102 \cdot 0,02} = 16,151, \quad (4.21)$$

де $T_M = 0,2$ с - електромеханічна стала часу системи ТП-Д;

$$k_{oc} = \frac{U_{зс.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{98,437} = 0,102 \text{ Вс} - \text{коefficient передачі ланки зворотнього}$$

зв'язку за швидкістю;

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

$$\omega_{max} = \omega_{обр} = 2\omega_H = 98,437 \text{ 1/с} - \text{максимальна швидкість електродвигуна};$$

$T_{oc} = 2T_{от} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$ с - стала часу інтегрування контуру швидкості при налаштуванні на симетричний оптимум.

Функціональна схема контуру регулювання швидкості, реалізованого в перетворювачі програмно на базі відповідних блоків. Регулятори координат в КТЕ5 реалізовані програмно на базі мікроконтролера Fujitsu. Коефіцієнти посилення є уставками в каналі обробки завдання.

4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону і гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки струмообмеження ($I_{max} = 2,5I_H$) необхідно на вході регулятора швидкості встановити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІШ). Він перетворює ступінчастий сигнал завдання швидкості в лінійно змінюючийся сигнал в часі. Стале значення напруги виходу ЗІШ, яке подається на вхід регулятора швидкості, так само вхідного сигналу. Структурна схема задатчика інтенсивності приведена на рисунку 4.4.

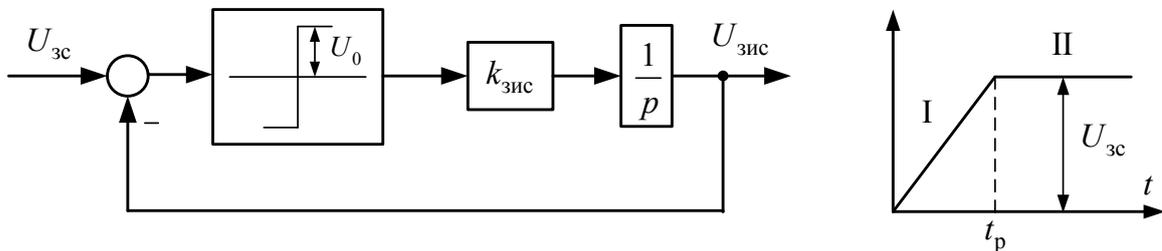


Рисунок 4.4 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідну напругу задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I участок:

$$U_{зис}^I = U_0 k_{зис} t_p = \frac{R_э}{T_M c \Phi_H} \frac{I_{дин} U_{зс}}{\omega_{3,уст}} t_p \quad (4.24)$$

II участок:

$$U_{зис}^{II} = U_{зс} \quad (4.25)$$

де $I_{\text{дин}} = 1,5I_{\text{н}} = 1,5 \cdot 745 = 1117,5 \text{ А}$ - заданий динамічний струм;

$\omega_{\text{з.уст}} = 49,218 \text{ 1/с}$ - стала швидкість, відповідна $U_{\text{зс}}$;

$U_{\text{зс}} = 10 \text{ В}$ - напруга на вході ЗШ (задаюча напруга);

$U_0 = 10 \text{ В}$ - полка релейного елемента.

Зі співвідношення (4.24) визначимо час розгону двигуна до встановивши-шейся швидкості:

$$t_{\text{р}} = \frac{T_{\text{м}} c \Phi_{\text{н}}}{R_{\text{з}}} \cdot \frac{\omega_{\text{з.уст}}}{I_{\text{дин}}} = \frac{0,06 \cdot 4,271}{0,042} \cdot \frac{49,218}{1117,5} = 0,27 \text{ с} \quad (4.26)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{\text{зис}} = \frac{U_{\text{зс}}}{t_{\text{р}}} = \frac{10}{0,27} = 37,03 \text{ В/с} \quad (4.27)$$

Функціональна схема задатчика інтенсивності швидкості, реалізованого в перетворювачі SIMOREG DC Master програмно.

На рисунку 4.5 приведена функціональна схема відкритої структури регуляторів перетворювача серії КТЕ5.

На рисунку 4.6 наведені структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування електроприводу.

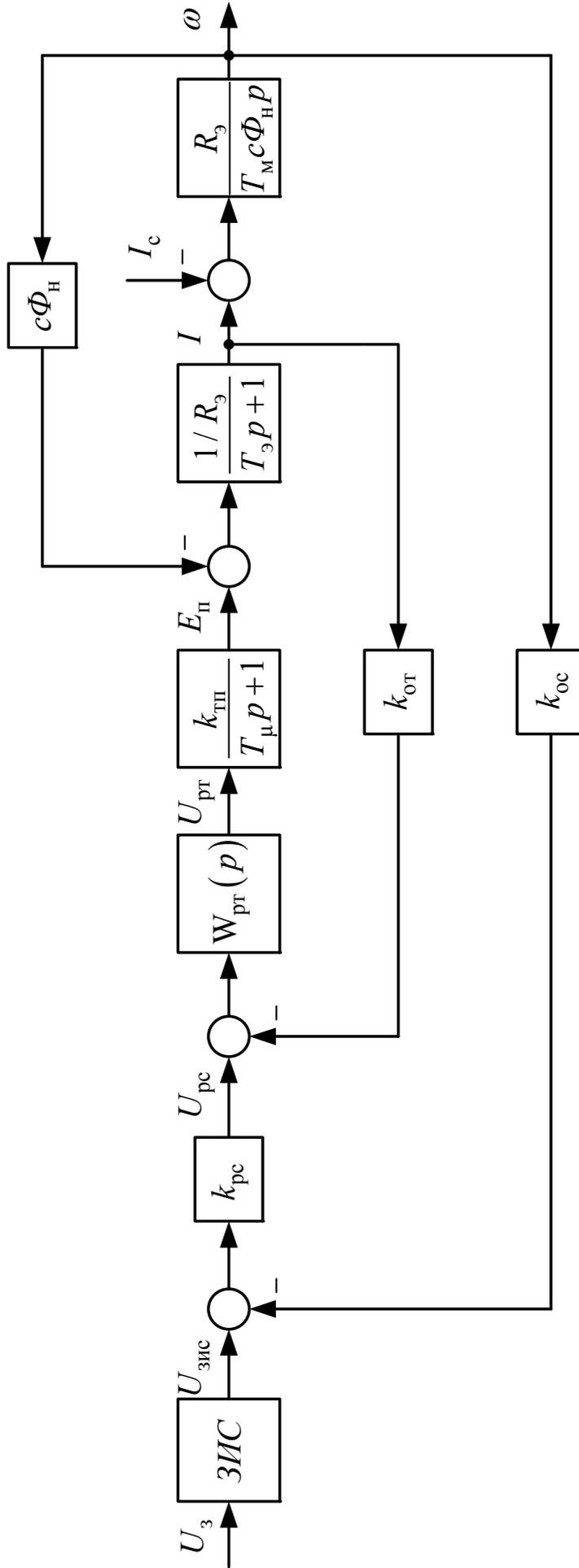


Рисунок 4.6 – Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

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

Цифрове моделювання розрахованої системи здійснюється в середовищі моделювання динамічних систем Matlab/Simulink. Створена Simulink-модель швидкісної системи підпорядкованого керування електроприводом робочого рольганга, що має у своєму складі ПІ-регулятор струму, П-регулятор швидкості й 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 й швидкості в цифровій моделі враховувалося їх насичення. Наприклад, при побудові моделі ПІ-регулятора недостатньо обмежити тільки лише його вихідну напругу за допомогою блоку Saturation, оскільки внутрішня інтегральна складова блоку при цьому може накопичувати в перехідному процесі значення, що перевершують передбачений поріг насичення. Із цієї причини використання стандартного блоку Pid-controller, представленого в бібліотеці Simulink Extras/Additional Lincr неприпустимо. Моделі регуляторів коректно враховують поріг насичення регулятора $U_{y,max} = 10$ В (див. рис. 5.2).

Графіки перехідних процесів (швидкість обертання двигуна; струм якірного ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задатчика інтенсивності швидкості) отримані як при номінальних параметрах об'єкта керування, так і при їх варіації наведено на рис. 5.6 - 5.17.

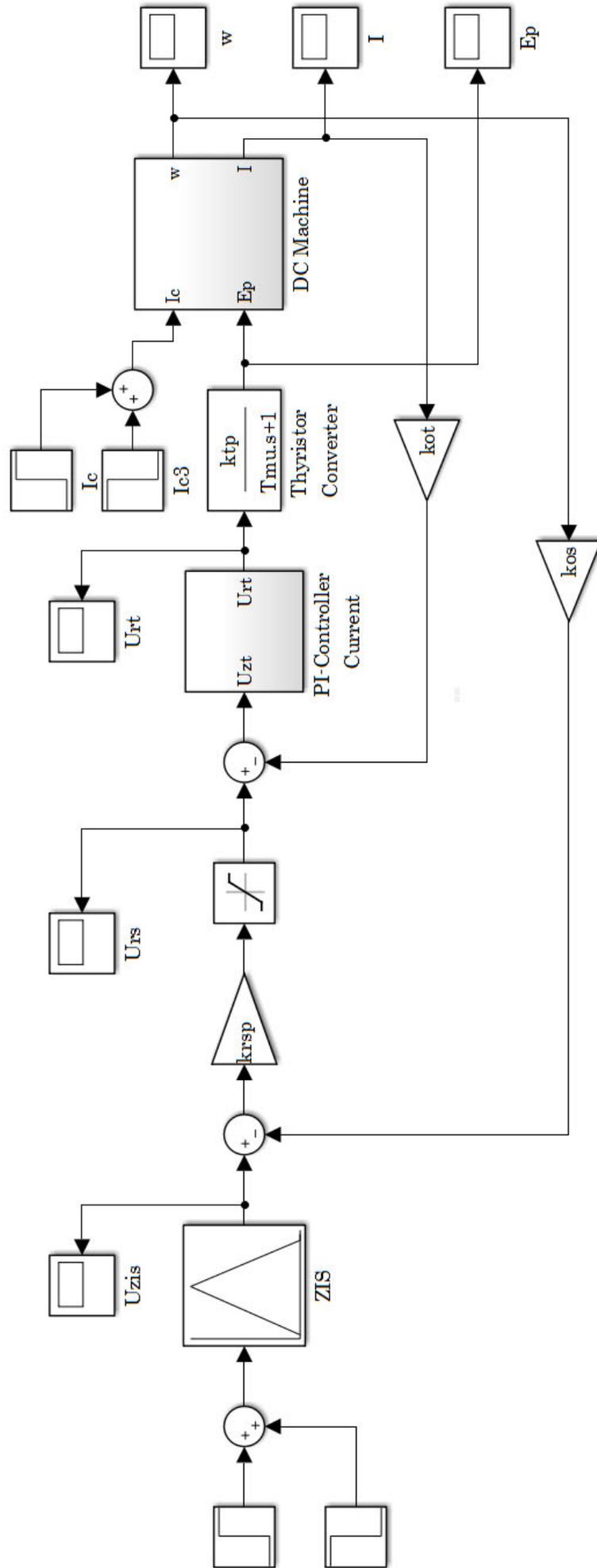


Рисунок 5.1 – Simulink-модель швидкісної системи підпорядкованого керування

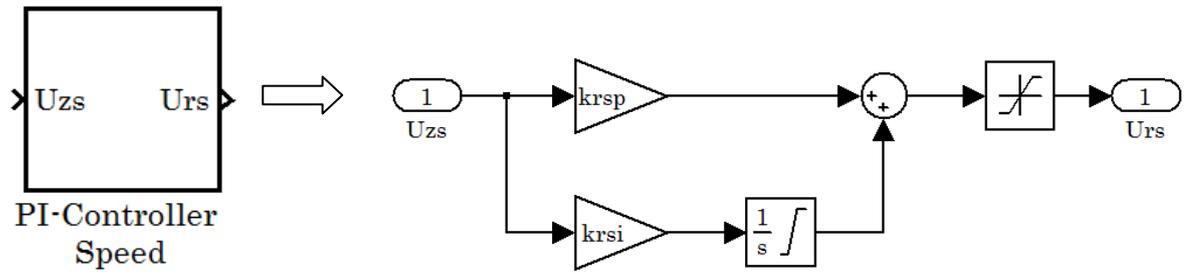


Рисунок 5.2 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (Pi-controller Current), що враховує поріг насичення регулятора

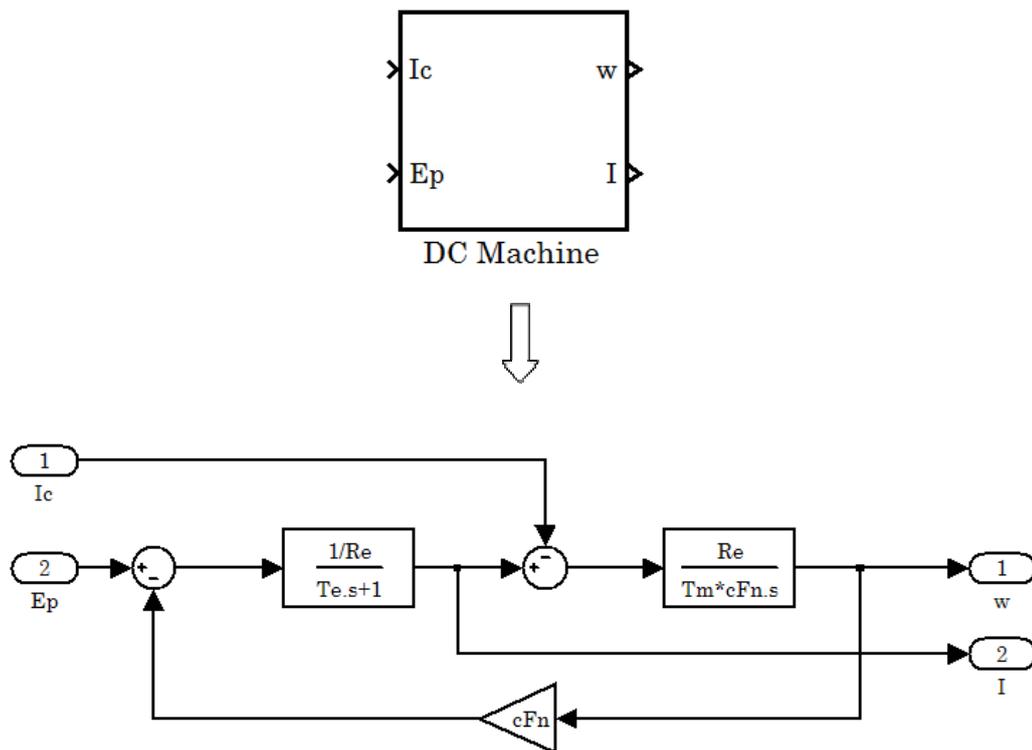


Рисунок 5.3 - Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

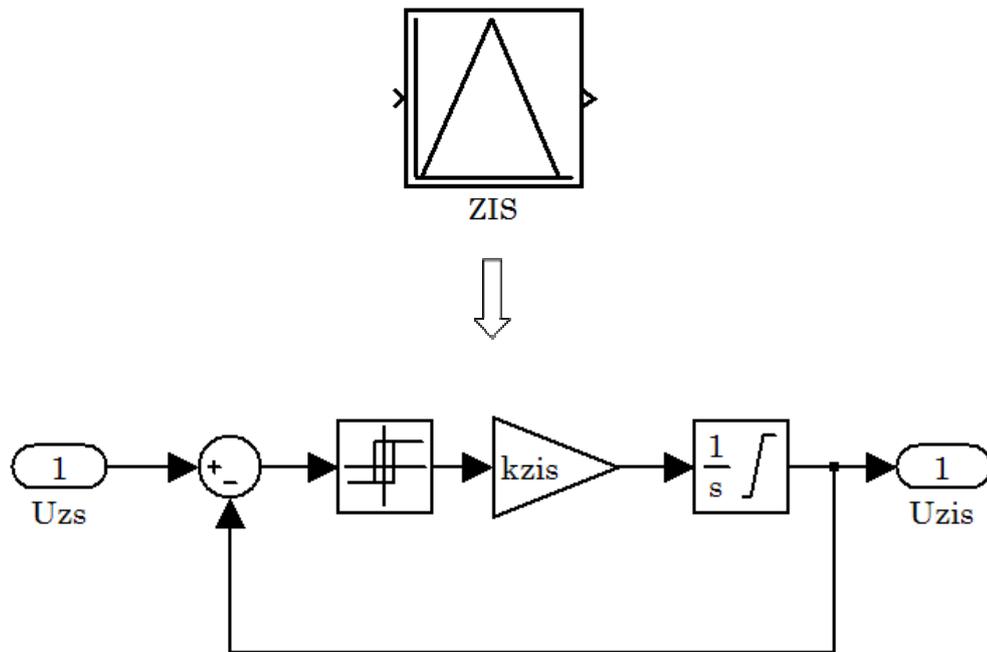


Рисунок 5.4 - Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS),
реалізуюча раціональну динаміку

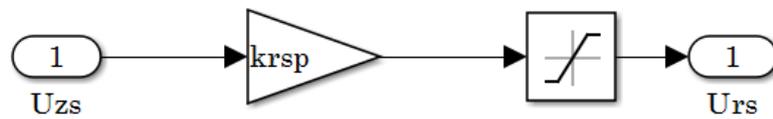


Рисунок 5.5 – Simulink-модель П-регулятора швидкості,
що враховує поріг насичення регулятора

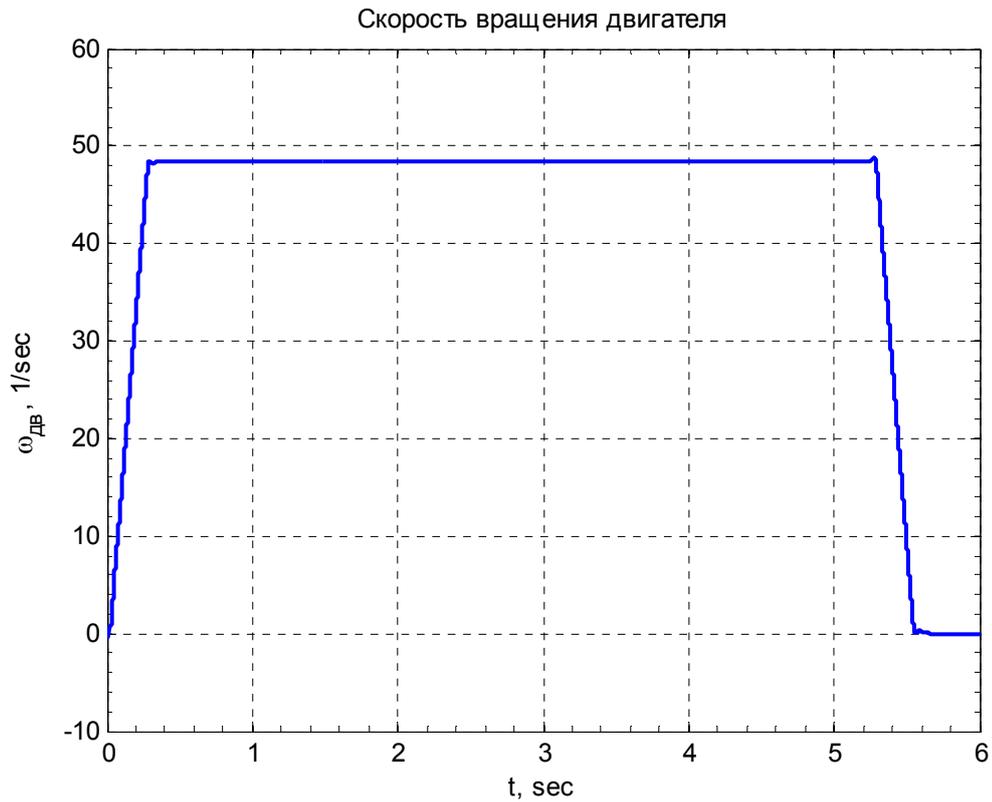


Рисунок 5.6 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна ($I_c = 0,3I_H$)

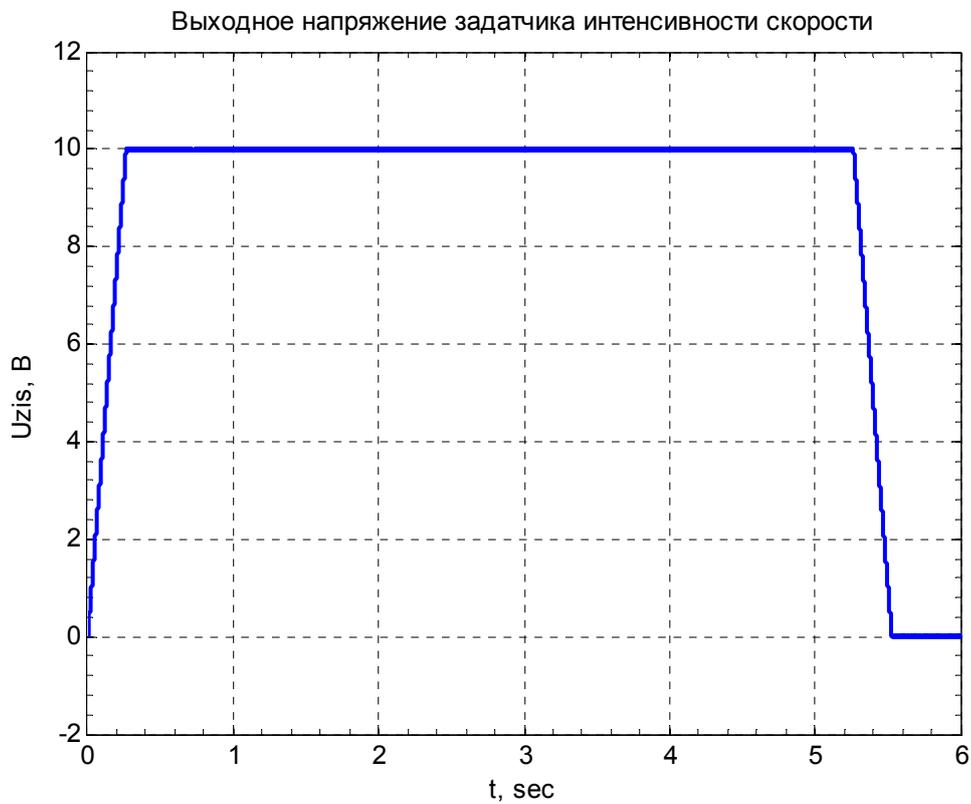


Рисунок 5.7 – Графік перехідного процесу напруги датчика інтенсивності швидкості ($I_c = 0,3I_H$)

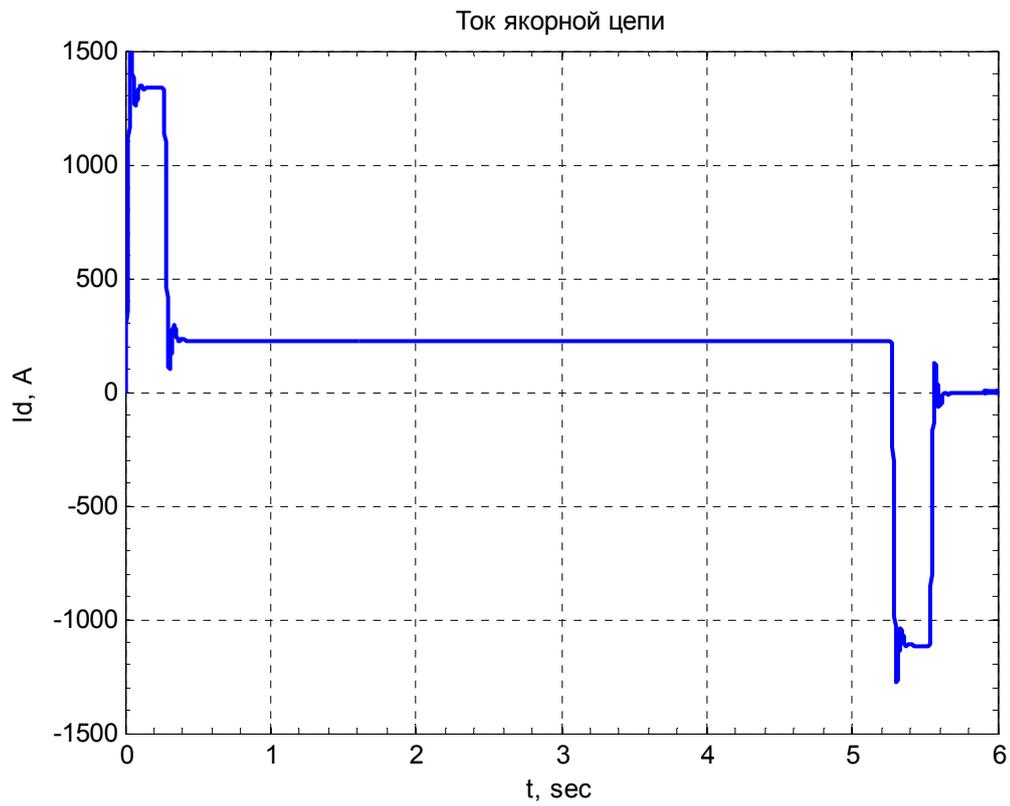


Рисунок 5.8 – Графік перехідного процесу струму якоря ($I_c = 0,3I_H$)

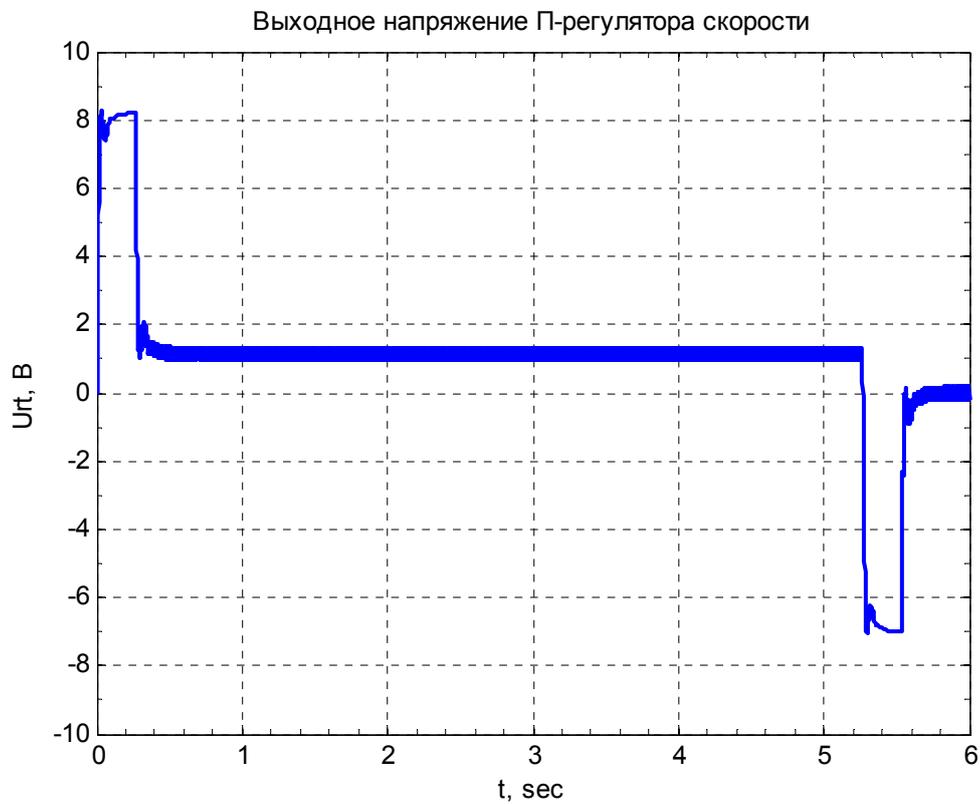


Рисунок 5.9 - Графік перехідного процесу напруги П-регулятора швидкості ($I_c = 0,3I_H$)

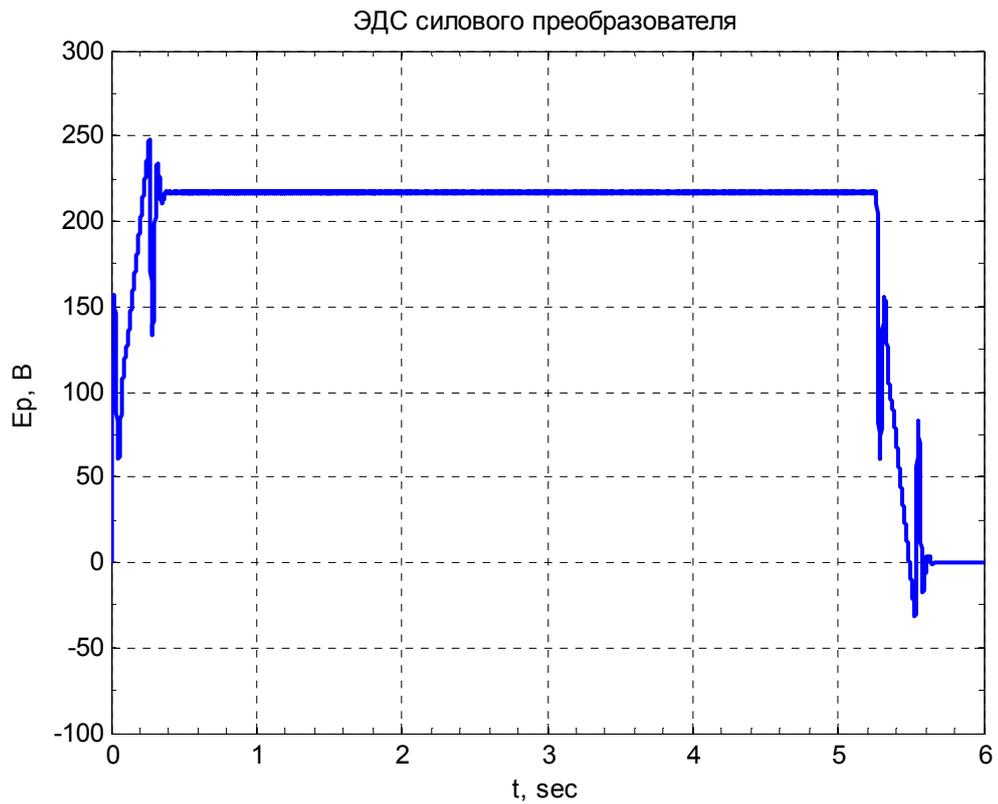


Рисунок 5.10 - Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача ($I_c = 0,3I_H$)

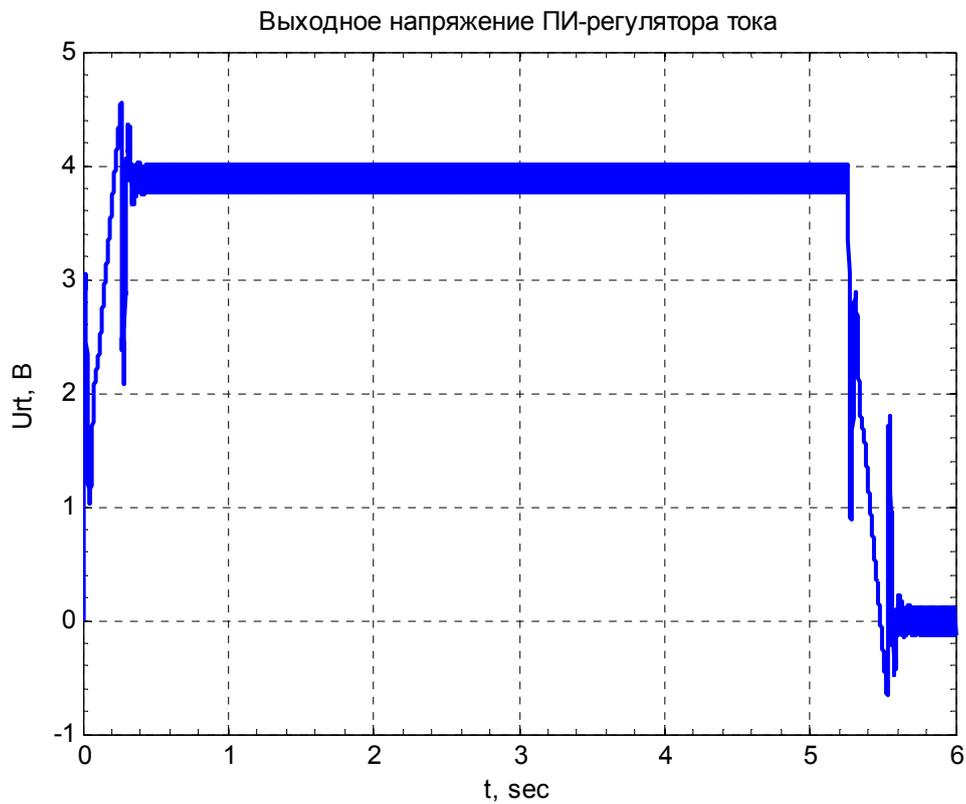


Рисунок 5.11 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму ($I_c = 0,3I_H$)

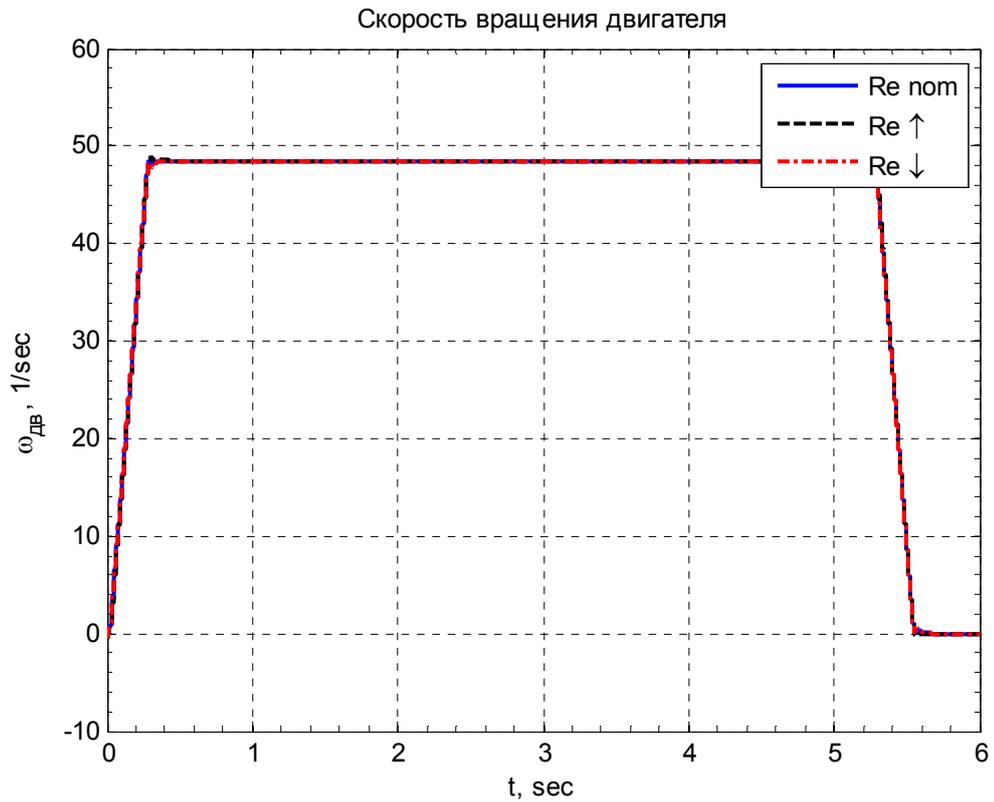


Рисунок 5.12 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при зміні R_s в 2 рази

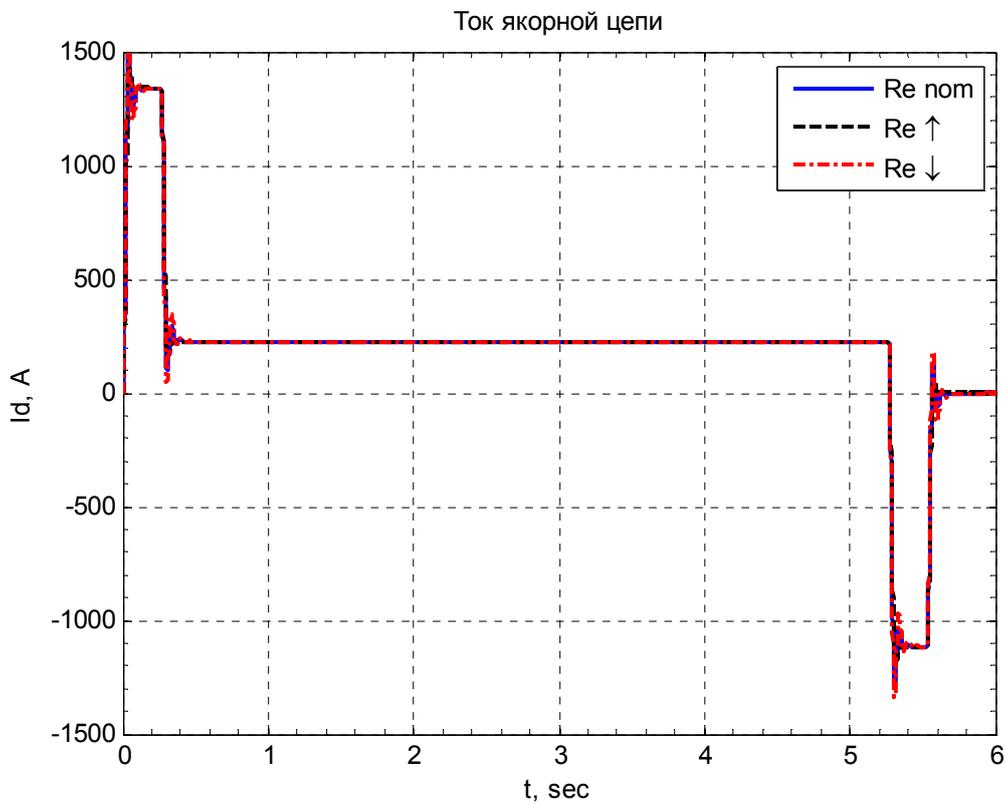


Рисунок 5.13 – Графік переходного процесу струму якоря при зміні R_s в 2 рази

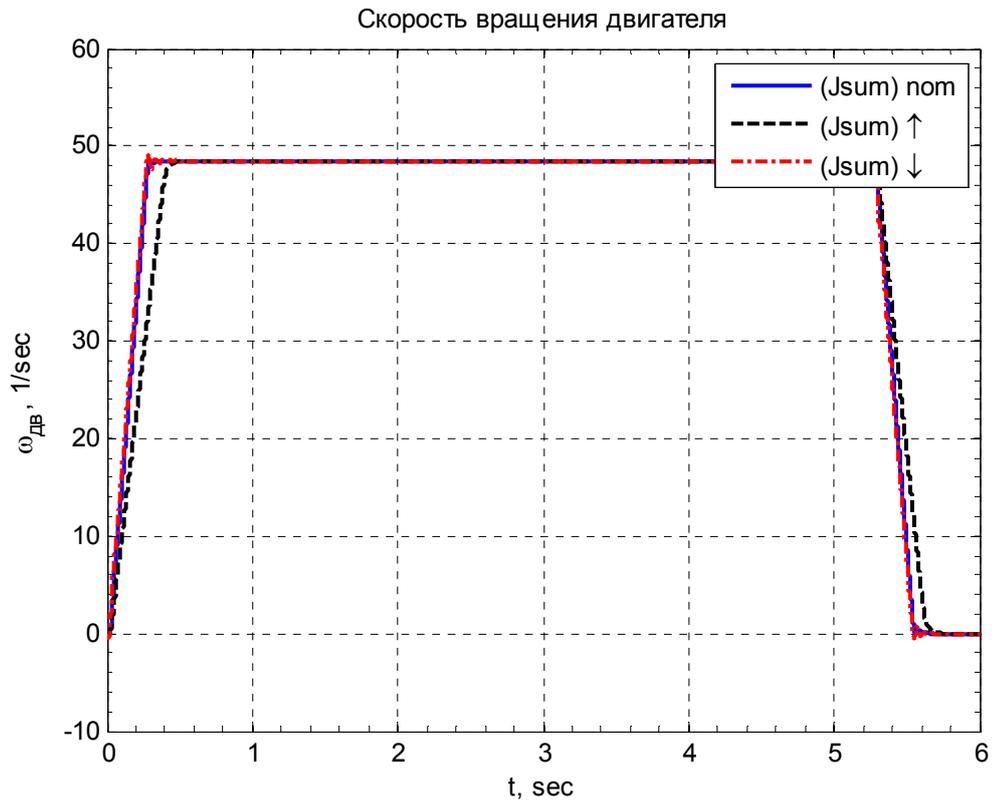


Рисунок 5.14 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при зміні J'_{Σ} в 2 рази

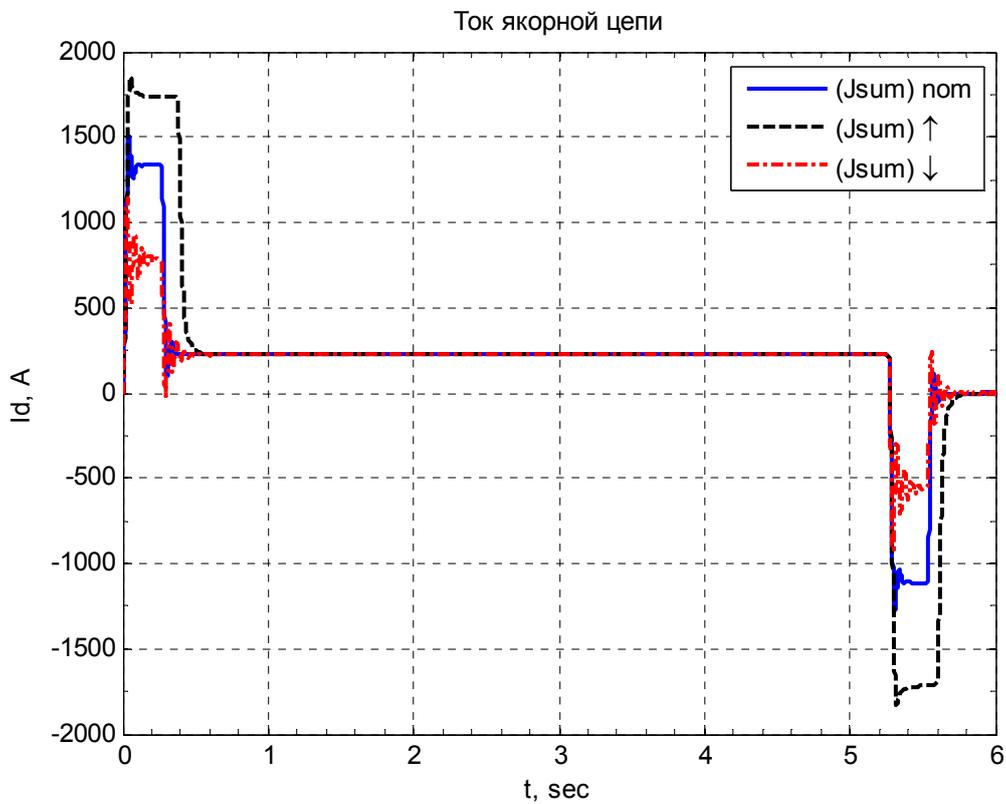


Рисунок 5.15 – Графік переходного процесу струму якоря при зміні J'_{Σ} в 2 рази

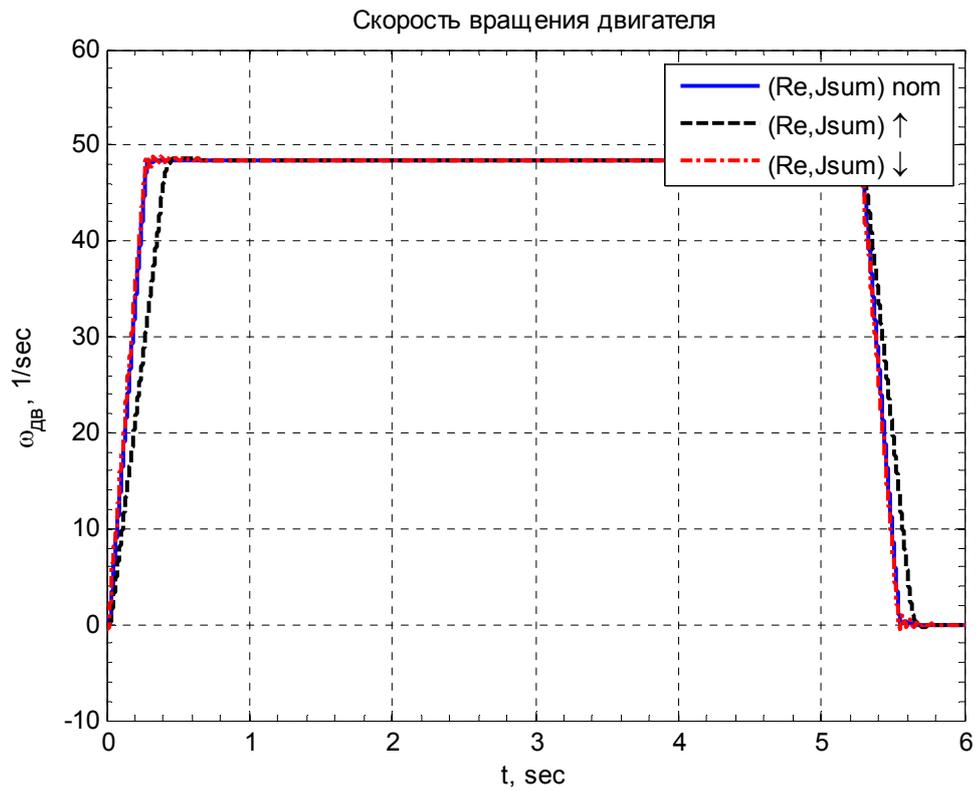


Рисунок 5.16 – Графіки переходного процесу швидкості обертання двигуна при одночасній зміні M_c , R_3 и J'_Σ в 2 рази

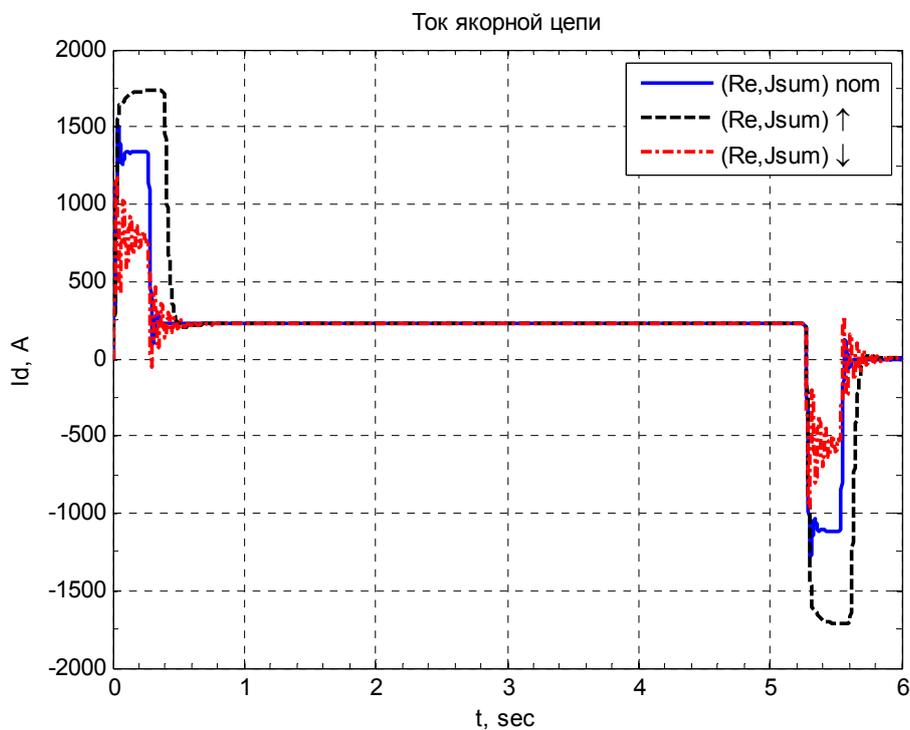


Рисунок 5.17 - Графік переходного процесу струму якоря при одночасній зміні M_c , R_3 и J'_Σ в 2 рази

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Сучасні прокатні цехи є складними виробничими комплексами, оснащеними різноманітним механічним, електричним і підйомно-транспортним устаткуванням, обслуговування якого вимагає чіткого дотримання правил безпеки та норм виробничої санітарії.

Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних операцій, інтенсивністю вантажопотоків і різноманітністю метеорологічних умов на різних ділянках.

Безперервність технологічного процесу вимагає одночасного виконання різних за характером операцій, таких як нагрівання, прокатка, транспортування і складування металу. Виконання цих операцій суворо регламентовано за часом як графіком виконання виробничого плану, так і умовами безпеки. Так, недостатній нагрів заготовки перед прокаткою може привести до поломки валків і аварії на стані.

До аналогічних наслідків може призвести і передчасна подача заготовки до стану, її охолодження на приймальному рольгангу. До травмування обслуговуючого персоналу може привести збільшення швидкості прокатки на одній кліті, оскільки це призведе до обриву розката або утворення петлі.

Висока інтенсивність виробництва обумовлює і високу інтенсивність праці персоналу прокатних цехів. Протягом робочої зміни оператори прокатних станів, ріжучих пристроїв, а також машиністи кранів проводять по декілька тисяч одноманітних рухів, отримуючи при цьому інформацію про роботу кількох виробничих операцій. Це призводить до великого розумового стомлення, що пов'язане з помилками в управлінні механізмами і виникненню небезпечних ситуацій.

Окремі ділянки прокатного цеху різко відрізняються один від одного по метеорологічним умовам. На ділянках нагріву, прокатки і транспортування гарячого металу теплові випромінювання набагато перевищують санітарні

норми, має місце знижена вологість повітря, в той час як на інших ділянках температурні умови відповідають зовнішнім.

Для прокатних цехів характерна також велика протяжність і розкиданість механізмів, що обслуговуються, мають дистанційне керування і розташованих на висоті і в підвальних приміщеннях, що знижує видимість і чутність світлової та звукової сигналізації, ускладнює прийом попереджувальних сигналів.

Згідно міждержавного стандарту ГОСТ 12 ГОСТ 12.0.003-74, небезпечні і шкідливі виробничі фактори за природою дії поділяються на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Стосовно до механізму, електропривод якого розробляється в даній роботі, можна говорити про домінації наступних шкідливих виробничих факторах: фізичних і психофізичних. Для даної установки шкідливі фактори фізичної природи можна розділити на кілька основних груп:

- рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання; вироби, що присуваються, заготовки, матеріали;
- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- відсутність або нестача природного світла.

Говорячи про психофізіологічні небезпечні виробничі фактори, слід згадати про нервово-психічні перевантаження персоналу, які особливо виражені на тлі статичних і динамічних фізичних перевантажень.

6.2 Інструкція з охорони праці для електрослюсарів

Електрослюсарі при провадженні робіт згідно з наявною кваліфікацією зобов'язані виконувати вимоги безпеки, викладені в "Типовій інструкції з охорони праці для працівників металургії, промисловості будівельних матеріалів і машинобудування", справжній типовій інструкції, розробленої з урахуванням будівельних норм і правил України, правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів, а також вимоги інструкцій заводів-виготовлювачів по експлуатації встаткування, що обслуговується, і технологічного оснащення.

Вимоги безпеки перед початком роботи

1. Перед початком роботи електрослюсарі зобов'язані.

а) пред'явити керівникові посвідчення про перевірку знань безпечних методів робіт і пройти інструктаж на робочому місці по специфіці виконуваної роботи;

б) надягти спецодяг, спецвзуття й каску встановленого зразка

2. Після одержання завдання в бригадира або керівника робіт електрослюсарі зобов'язані:

а) підготувати необхідні засоби індивідуального захисту, перевірити їхню справність;

б) перевірити робоче місце й підходи до нього на відповідність вимогам безпеки, при необхідності виконати заходи, зазначені в убранні-допуску;

в) підібрати інструмент, устаткування й технологічне оснащення, необхідні при виконанні робіт, перевірити їхню справність і відповідність вимогам безпеки.

3. Електрослюсарі не повинні приступати до роботи при наступних порушеннях вимог безпеки:

а) несправності технологічного оснащення, пристосувань і інструмента, зазначених в інструкціях заводів - виготовлювачів, при яких не допускається їхнє застосування;

б) несвоєчасному проведенні чергових випробувань засобів захисту або закінченні строку їх експлуатації, встановленого заводом - виготовлювачем;

в) відсутності огорожень небезпечних зон неізольованих частин електроустановок;

г) відсутності або несправності лісів, настилів, риштування або інших засобів підмашування, наявності необгороджених прорізів і перепадів по висоті в зоні провадження робіт;

д) відсутність видимих розривів електричних кіл, по яких може бути подана напруга на місце робіт, і захисного заземлення відключеної частини електроустановки;

е) недостатньої освітленості або при захаращеності робочих місць і підходів до них.

Виявлені порушення вимог безпеки повинні бути усунуті власними силами, а при неможливості зробити це самотійно електрослюсарі зобов'язані повідомити бригадира або керівника робіт.

Вимоги безпеки під час роботи

4. У процесі роботи електрослюсарі зобов'язані дотримуватися наступних вимог безпеки:

а) надягати захисні окуляри при рубанні металу зубилом;

б) запилювати кромки металевих деталей і очищати їх від задирок при обробці;

в) розрізати труби із пластмасу ручними або механізованими різальними інструментами. Не допускається застосування абразивних відрізних кіл для різання труб із пластмаси;

г) проводити заготовку сталевих або пластмасових труб на стендах або підлозі. Забороняється заготовлювати й гнути труби на настилах засобів підмашування;

д) перевіряти металевим стрижнем збіг отворів при стикуванні шин, шаф і вузлів устаткування.

5. Для перенесення й зберігання інструментів і дрібних деталей електрослюсарі зобов'язані використовувати індивідуальні сумки або портативні інвентарні ручні ящики.

6. При застосуванні вантажопідйомних механізмів стропування виробів, конструкцій і матеріалів повинні здійснювати електрослюсарі, що мають посвідчення стропальника.

7. Строп електрошафи, трансформатори й інше встаткування іде за спеціальні піднімальні гаки (рим-болти), передбачені заводом - виготовлювачем.

8. Електрослюсарю забороняється проводити які-небудь роботи без зняття напруги або стосовні до експлуатації електроустановок на будівельному майданчику.

До роботи з електроінструментом допускаються електрослюсарі, що мають кваліфікаційну групу по електробезпечності не нижче другої.

9. При роботі з електрифікованим інструментом електрослюсарю забороняється:

- а) передавати його для роботи атестованим особам;
- б) працювати із приставних сходів;
- в) залишати електроінструмент без нагляду включеним в електричну мережу.

10. При роботі на заточувальних верстатах електрослюсарі зобов'язані:

а) перед включенням верстата переконатися в наявності й надійності кріплення огороження абразивного кола, а також у правильності установки зазору між робочою поверхнею кола й упором;

б) користуватися захисними екранами або захисними щитами з оргскла, а також захисними окулярами;

в) підводити заточений інструмент або деталь до кола поступово для запобігання небезпеки заклинювання й розриву кола.

Забороняється проводити обробку деталей на бічних (торцевих) поверхнях абразивного крута.

11. При спільній роботі зі зварником електрослюсарі зобов'язані:

- а) застосовувати захисні окуляри;
- б) оберегати газові балони від ударів, різких поштовхів і падінь, переміщати їх на призначених для цього носилках або візках;

в) не допускати використання відкритого вогню поблизу генератора й контакту масла з кисневим балоном.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

12. При виникненні в зоні роботи небезпечних умов праці (порушення огорожень, несправність заземлення, втрата стійкості конструкцій або засобів підмашування, поява заходу газу й т.п.) електрослюсарі зобов'язані припинити роботи й сповістити про це бригадиrowі або керівникові робіт.

13. При загорянні матеріалів і встаткування електрослюсарі зобов'язані вжити заходів до гасіння пожежі власними силами за допомогою вуглекислотних вогнегасників і інших підручних засобів (піску, повстяної повстини й т.п.). При неможливості ліквідації пожежі власними силами слід викликати пожежну охорону й повідомити бригадира або керівника робіт.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

14. Після закінчення роботи електрослюсарі зобов'язані:

- а) відключити електроустаткування й інструмент від електромережі;
- б) упорядкувати робоче місце;
- в) забрати плакати й інструмент у відведене для цього місце;
- г) забрати засоби індивідуального захисту й спецодяг у місце зберігання;
- д) про всі порушення вимог безпеки, що мали місце в процесі роботи, повідомити бригадира або керівника робіт.

6.3 Протипожежна безпека

У виробничих приміщеннях, на підстанціях і в електромашинах приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння, які застосовує обслуговуючий персонал для ліквідації пожежі до прибуття викличної пожежної частини.

Для гасіння пожеж можна використовувати воду, водяну пару, повітряно-механічну піну і спеціальні хімічні засоби (вуглекислота). Для гасіння пожеж застосовуються: вогнегасник типу УП-1М, вуглекислотні-бромтілові вогнегасники, а також найпростіші засоби такі як пісок, азбестова тканина і т.д. Протипожежні вогнегасники вивішуються на видних місцях.

Пожежною охороною підприємства спільно з інженерно-технічним складом передбачено:

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

ВИСНОВОК

В ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення і особливості роботи електроприводу зіштовхувача обтискного стану 1250.

Була розрахована потужність двигуна, динамічні і статичні моменти навантаження. Проведено порівняльний розрахунок часу роботи електроприводу, перевірка двох двигунів Д816 і Д818 по нагріванню. В результаті розрахунку було обрано двигун типу Д 816 із зниженою частотою обертання. Побудована тахограма роботи електроприводу зіштовхувача блюмінга 1250 за цикл роботи стану.

В ході розрахунку були знайдені необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електроприводу, що забезпечують необхідну динаміку механізму.

Для живлення двигунів обраний цифровий комплектний тиристорний електропривод КТЕ5-АС-800/440-ЕТ2937-С33-УХЛ4, призначений для керування електродвигунами постійного струму.

У проекті розраховані параметри двухконтурної системи підпорядкованого керування, з зовнішнім контуром швидкості і внутрішнім контуром струму.

На основі структурної схеми електропривода була розроблена математична модель. Проведено моделювання роботи ЕП в середовищі Matlab/Simulink, з номінальними параметрами, а також при варіації опору якірного ланцюга і сумарного моменту інерції, тим самим отримана оцінка якості перехідних процесів при зміні її динамічних процесів. Отримані перехідні процеси свідчать про правильність налаштування системи. Досліджуваний електропривод з синтезованою системою керування повністю задовольняє технологічним вимогам.

У розділі «Охорона праці» розглянуто аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, загальні правила техніки безпеки для робітників обтискного стану, які обслуговують прокатне обладнання, а так само для всіх працівників заводу/комбінату.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
2. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие / В.С. Коцюбинский. – Алчесвк: ДГМИ, 2002. – 150 с.
3. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А.А. Королев. – М.: Metallurgiya, 1969. – 464 с.
4. Перельмутр В.И. системы управления тиристорными электроприводами / В.И. Перельмутр, В.А. Сидоренко. – К.: Техника, 1985. – 320 с.
5. Двигатели постоянного тока ряда Д: Паспорт 01.10.09-91.
6. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки / В.А. Переходченко. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 384 с.
7. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутра. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
8. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребник и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1988. – 680 с.
9. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму / В.Т. Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
10. Инструкция по эксплуатации КТЕ5-А для приводов постоянного тока с регулируемой скоростью.
11. А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.

12. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.
13. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
14. 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.
15. Шевченко І.С. Динаміка складних електромеханічних систем: Навч. посібн. – І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.
16. Князевский Б.А., Охрана труда в электроустановках- Учебник для вузов, 3-е изд.,-М.:Энергоатомиздат,1983.-336с.
17. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат. 1982. - 800 с.
18. Основы охраны труда: Учебник для вузов/ В. Ц. Жидецкий, В. С. Джигирей, А. В. Мельников под ред. Поливко В. А. – Л.: Изд-во «Афиша», 2000. – 351 с.

Додаток А
Система керування електропривода КТЕ НПП «Преобразователь-комплекс»

7 СТІЙКІСТЬ, ЯКІСТЬ ТА КОРЕКЦІЯ ІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

7.1 Поняття про імпульсні системи автоматичного керування

Аж до середини ХХ століття теорія автоматичного управління розвивалася, базуючись на трьох фундаментальних принципах побудови автоматичних систем. Це були принцип управління з відхилення, принцип управління з обурення та принцип комбінованого управління. Однак починаючи з другої половини двадцятого століття, з появою кібернетики, починають інтенсивно розроблятися кошти, що ефективно використовують властивість запам'ятовування інформації у своїй роботі та здатні проводити самостійно досить трудомісткі для людини математичні обчислення.

Так з'явилися перші, відносно ефективні електронні обчислювальні машини, що стали технологічною базою для розробки та удосконалення більш потужних і продуктивних комп'ютерів та комп'ютерних систем. З появою комп'ютерів вченим та інженерам стало посильним рішення таких завдань:

- дослідження та аналіз складних нелінійних систем за допомогою обчислювальних методів;
- розробка та реалізація ефективних алгоритмів регулювання, що використовують принцип предикції при формуванні керуючих впливів;
- питання формалізації та дослідження лінійних систем з великою кількістю змінних (багатомірні системи) з допомогою методу змінних станів.

Окремим класом завдань, для яких рівень розв'язання підвищився з появою комп'ютерів, стали завдання ідентифікації об'єктів, які без застосування чисельних методів із використанням «ручних» обчислень вирішувалися, але не завжди з достатньою ефективністю та точністю. Підсумовуючи написане вище, можна сказати, що основними об'єктами вивчення та дослідження для сучасної теорії автоматичного керування стали нелінійні системи зі складними

перехідними процесами та можливістю самоорганізації їх внутрішніх параметрів, дискретні інформаційно-керуючі системи та багатовимірні лінійні системи з великою кількістю вихідних змінних.

Окремим класом у сучасній теорії автоматичного управління йдуть завдання точної та ефективної ідентифікації об'єктів системної інженерії.

Цифрові системи управління (ЦСУ) знаходять широке застосування в управлінні різноманітними технічними пристроями. Область застосування ЦСУ – управління електромеханічними і електромагнітними пристроями, системами телевимірювання і телекерування, багатоканальними системами зв'язку і т. д. В сучасних умовах зберігається стійка тенденція збільшення частки цифрових методів перетворення, обробки, передачі та зберігання інформації у всіх сферах діяльності людини, йде зміна поколінь технічних засобів обробки інформації та інформаційного обміну. Ці засоби можуть безпосередньо не зачіпати традиційні галузі автоматизації: датчики, приводи, регулятори, проте змінюють середовище існування засобів автоматизації в цілому.

У період бурхливого розвитку мікропроцесорної техніки (80-ті роки 20-го століття) було розроблено та впроваджено велику кількість технічних пристроїв для систем автоматичного керування з жорсткою логічною структурою, що мали цілком задовільні характеристики. Разом з тим ставало зрозуміло, що тільки використання спеціалізованих та універсальних програмних пристроїв забезпечить майбутнє технічних засобів автоматики. На цьому етапі відбулося розділення шляхів розвитку систем управління на дві лінії: на основі універсальних ЕОМ і на основі контролерів та більш простих обчислювальних пристроїв, оптимізованих для вирішення задач 4 певного класу. Обидва підходи мають право на життя, а їх розумне поєднання забезпечує високу якість систем автоматичного управління (САУ).

Внаслідок квантування за часом в імпульсних САК інформація між двома або більше елементами передається послідовністю імпульсів. Функцію модуляції в імпульсних САК виконують імпульсні елементи (модулятори), які перетворюють безперервні сигнали у послідовність імпульсів, один з параметрів

яких (модульований параметр) змінюється за законом змінювання вхідного безперервного сигналу (модулюючого сигналу).

Основними параметрами послідовності імпульсів є амплітуда (висота) тривалість, період повторення і положення імпульсу всередині періоду. Залежно від того, який з параметрів послідовності імпульсів змінюється при зміні модулюючого (вхідного) сигналу, розрізняють такі види імпульсної модуляції: амплітудно-імпульсну (АІМ), широтно-імпульсну (ШІМ) і часово-імпульсну (ЧАІМ).

Часово-імпульсна модуляція, в свою чергу, поділяється на два види: фазо-імпульсну (ФІМ) і частотно-імпульсну (ЧІМ). Крім того, розрізняють два роди модуляції залежно від того, як змінюється модульований параметр протягом часу існування імпульсу.

Під час амплітудно-імпульсної модуляції першого роду (АІМ I) вхідний безперервний сигнал (рис.а) перетворюється в послідовність імпульсів (рис.б) з періодом повторення .

Тривалість імпульсів стала, а амплітуда A пропорційна значенню вхідного сигналу в моменти виникнення імпульсів (моменти квантування).

Під час амплітудно-імпульсної модуляції другого роду (АІМ II) амплітуда імпульсів змінюється протягом часу їх існування відповідно до змінювання вхідного сигналу (рис. в).

Під час широтно-імпульсної модуляції першого роду (ШІМ I) амплітуда A і період повторення залишаються незмінними, а ширина імпульсів змінюється пропорційно значенням вхідного сигналу в момент квантування (рис. г).

Під час фазоімпульсної модуляції (ФІМ I) амплітуда і ширина імпульсів залишаються сталими, а змінюється зсув за часом (фаза) відносно моментів квантування відповідно до значення вхідного сигналу в ці моменти.

Імпульсні САК різних типів, особливо амплітудно-імпульсні та широтно-імпульсні, набули досить значного поширення в автоматизованих електроприводах.

Визначення імпульсної системи автоматичного управління пов'язане з поняттям імпульсу та імпульсних сигналів, тому коротко охарактеризуємо ці поняття.

Імпульсом тривалості називається процес, який описується функцією, всюди рівною нулю за винятком деякого інтервалу заданої тривалості. Схему імпульсу зображено на рис. 1.

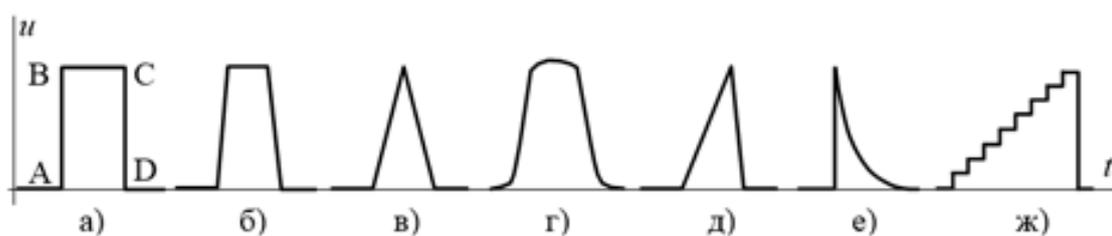


Рис.1 – Форма ідеалізованих імпульсних сигналів:

- а) прямокутний, б) трапецеїдальний, в) трикутний, г) дзвіноподібний, д) пилоподібний, е) експоненціальний, ж) ступеневий

Інформація про вхідний сигнал з виходу імпульсного елемента надходить лише в дискретні моменти часу, тому в імпульсних САК відбувається деяка втрата інформації і їх точність у загальному випадку нижча порівняно з точністю безперервних систем. Проте перервний характер передачі сигналів між деякими елементами системи зумовлює і низку переваг імпульсних САК.

- 1. Можливість багатоточкового керування, тобто використання однієї імпульсної САК для керування процесами в кількох однотипних об'єктах за рахунок того, що ці об'єкти по черзі підключаються до одного керуючого пристрою. Це зумовлено тим, що система керування одним з об'єктів замкнута лише незначну частину періоду квантування, і тому решту часу можна використати для керування іншими об'єктами.
- 2. Можливість використання одного каналу зв'язку для різних САК з об'єктами, віддаленими від імпульсних керуючих пристроїв.

реалізується за рахунок почергового з'єднання об'єктів та керуючих пристроїв за час періоду квантування.

- 3. Підвищена захищеність від перешкод. Вона зумовлена тим, що інформація передається у вигляді коротких імпульсів, більшу частину періоду квантування САК залишається розімкнутою і не сприймає перешкод.

Імпульсну систему можна вважати безперервною, в якій з частотою квантування відбувається розмикання контуру регулювання. Якщо частота квантування значно перевищує смугу пропускання безперервної частини системи, то САК у цілому практично не реагує на кожний окремий імпульс і поводить себе як безперервна система, що сприймає тільки низькочастотний модулюючий сигнал. Для дослідження таких імпульсних САК можна користуватися всіма методами аналізу і синтезу безперервних систем.

Якщо частота квантування не досить висока порівняно із смугою пропускання безперервної частини системи, то система встигає реагувати на кожний окремий імпульс, і наявність квантування істотно впливає на динаміку системи. Для дослідження таких систем вже не можна користуватися методами, розробленими для безперервних систем, тому що виникає потреба враховувати дискретний характер сигналів. Для цього застосовується спеціальний математичний апарат, що оперує з поняттями решітчатих функцій, дискретного перетворення Лапласа та ін.

Імпульсні системи бувають лінійними і нелінійними. Імпульсна система є лінійною, якщо безперервна частина системи та імпульсний елемент описуються лінійними рівняннями. Імпульсний елемент, що здійснює амплітудно-імпульсну модуляцію, звичайно описується лінійними різницевиими рівняннями, тому системи з АІМ можуть бути лінійними. Процес широтно-імпульсної та часово-імпульсної модуляції описується нелінійними рівняннями, що зумовлено незалежністю амплітуди вихідних імпульсів від величини вхідного сигналу, тому системи з ШІМ та ЧАІМ є принципово нелінійними.

7.2 Стійкість імпульсних систем

Подібно до безперервних систем лінійна імпульсна система буде стійкою, якщо всі корені характеристичного рівняння замкнутої системи будуть лівими, тобто знаходитись у лівій півплощині комплексної площини s . Межею стійкості є уявна вісь, рівняння якої має вигляд $s=j\omega$. Оскільки під час дослідження імпульсних систем застосовуються z -перетворення, визначимо межу стійкості на площині z :

$$z = e^{sT_0} = e^{j\omega T_0} = \cos \omega T_0 + j \sin \omega T_0.$$

Це рівняння кола одиничного радіуса, яке і є межею стійкості (рис. 7.2, б). Зона стійкості знаходиться в середині цього кола.

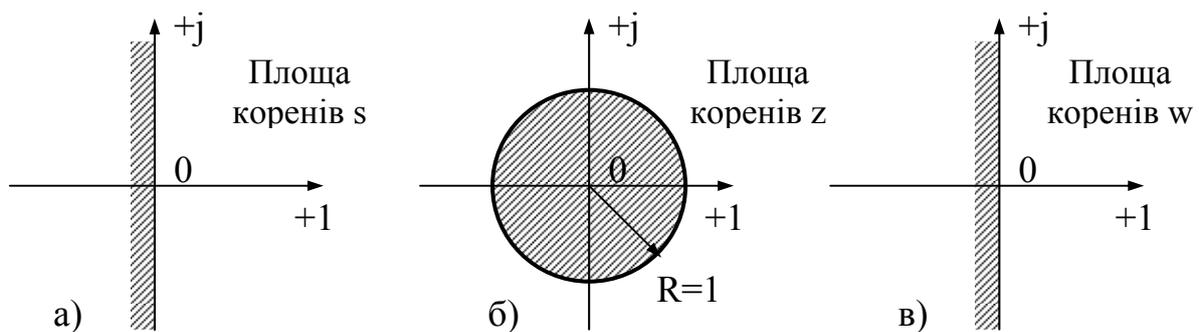


Рис. 7.2 – Зони стійкості імпульсної системи

Отже, стійкість імпульсної системи можна досліджувати за коренями характеристичного рівняння замкнутої системи $D(z)=0$: *імпульсна система стійка, якщо модулі всіх коренів характеристичного рівняння замкнутої системи менші за одиницю. Якщо модуль хоча б одного кореня перевищує одиницю, то система нестійка; при $|z|=1$ система знаходиться на межі стійкості.*

Для дослідження стійкості імпульсних систем використовують критерії стійкості, які дозволяють оцінити стійкість за коефіцієнтами характеристичного рівняння або за частотними характеристиками.

Алгебраїчні критерії стійкості. Ці критерії (критерії Гурвіца, Рауса, Льєнара-Шипара) було розроблено для дослідження стійкості безперервних систем за коефіцієнтами характеристичного рівняння, яке подано у вигляді поліному. Безпосередньо застосувати їх для дослідження імпульсних систем неможливо, оскільки характеристичне рівняння імпульсної системи у вигляді:

$$D^*(s) = a_0 e^{nsT_0} + a_1 e^{(n-1)sT_0} + \dots + a_{n-1} e^{sT_0} + a_n = 0 \quad (1)$$

не є поліномом, а для характеристичного рівняння у вигляді:

$$D(z) = a_0 z^n + a_1 z^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} z + a_n = 0 \quad (2)$$

умовою стійкості є розміщення усіх коренів усередині кола одиничного радіуса у площині коренів z , а не в лівій півплощині.

Тому перед застосуванням алгебраїчних критеріїв стійкості виконують білінійне w -перетворення, внаслідок чого отримують рівняння у вигляді поліному:

$$D(w) = a_0 w^n + a_1 w^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} w + a_n = 0. \quad (3)$$

Зоною стійкості для його коренів є ліва півплощина коренів w (рис. 2,в). і умова стійкості для цього рівняння збігається з умовою стійкості для безперервних систем.

Наприклад, для використання критерію Гурвіца необхідно визначити передавальну функцію замкнутої системи $W_3(z) = Q(z)/D(z)$ і записати характеристичне рівняння $D(z) = 0$. Потім виконати підстановку (8.45) і навести отриманий вираз $D(w) = 0$ до загального знаменника. Чисельник цього виразу, записаний у вигляді поліному

$$D'(w) = a'_0 w^n + a'_1 w^{(n-1)} + \dots + a'_{n-1} w + a'_n = 0 \quad (4)$$

є новим характеристичним рівнянням, за коефіцієнтами якого досліджують стійкість системи.

Згідно з критерієм Гурвіца *для стійкості імпульсної системи необхідно і достатньо, щоб при $a'_0 > 0$ визначник Гурвіца і всі його діагональні мінори були додатними.*

Визначити за критерієм Гурвіца стійкість системи, характеристичне рівняння якої має вигляд: $25z^3 - 5z^2 - 10z - 1 = 0$.

Виконуємо w -перетворення:

$$25\left(\frac{1+w}{1-w}\right)^3 - 5\left(\frac{1+w}{1-w}\right)^2 - 10\left(\frac{1+w}{1-w}\right) - 1 =$$

$$= \frac{25(1+w)^3 - 5(1+w)^2(1-w) - 10(1+w)(1-w)^2 - (1-w)^3}{(1-w)^3} = \frac{21w^3 + 93w^2 + 77w + 9}{(1-w)^3} = 0.$$

Перетворене характеристичне рівняння має вигляд:

$$a'_0 w^3 + a'_1 w^2 + a'_2 w + a'_3 = 21w^3 + 93w^2 + 77w + 9 = 0.$$

Усі коефіцієнти a'_i цього рівняння більше нуля, крім того діагональний

мінор другого порядку $\Delta_2 = \begin{vmatrix} a'_1 & a'_3 \\ a'_0 & a'_2 \end{vmatrix} = a'_1 a'_2 - a'_0 a'_3 = 93 \cdot 77 - 21 \cdot 9 = 6972 > 0$, тому дана система стійка.

Зазначимо, що імпульсні системи другого і першого порядків на відміну від безперервних систем такого самого порядку, можуть бути нестійкими при додатних коефіцієнтах характеристичного рівняння. Це пояснюється тим, що фіксатор, який входить до складу імпульсної системи, вносить додаткове відставання за фазою.

Частотні критерії стійкості. Для дослідження стійкості імпульсних систем застосовують також частотні критерії стійкості, подібні до критеріїв Михайлова і Найквіста для безперервних систем.

Аналог критерію Михайлова. Під час дослідження стійкості за критерієм Михайлова використовують характеристичне рівняння замкнутої системи (8.53), в якому виконують підстановку $z = e^{j\bar{\omega}} = \cos \bar{\omega} + j \sin \bar{\omega}$. Тоді рівняння набуває вигляду:

$$D(e^{j\bar{\omega}}) = a_0 \cos n\bar{\omega} + ja_0 \sin n\bar{\omega} + a_1 \cos(n-1)\bar{\omega} + ja_1 \sin(n-1)\bar{\omega} +$$

$$\dots + a_{n-1} \cos \bar{\omega} + ja_{n-1} \sin \bar{\omega} + a_n = X(\bar{\omega}) + jY(\bar{\omega}), \quad (5)$$

де

$$X(\bar{\omega}) = a_0 \cos n\bar{\omega} + a_1 \cos(n-1)\bar{\omega} + \dots + a_{n-1} \cos \bar{\omega} + a_n;$$

$$Y(\bar{\omega}) = a_0 \sin n\bar{\omega} + a_1 \sin(n-1)\bar{\omega} + \dots + a_{n-1} \sin \bar{\omega}.$$

Змінюючи частоту $\bar{\omega}$ від 0 до π , за формулою (5) на комплексній площині будемо криву – аналог годографа вектора Михайлова. За виглядом цього годографа робимо висновок про стійкість системи:

Імпульсна система автоматичного керування стійка, якщо годограф вектора $D(e^{j\bar{\omega}})$ при змінюванні частоти $\bar{\omega}$ від 0 до π починається на додатній дійсній півосі та обходить у додатному напрямку (проти ходу стрілки годинника) послідовно $2n$ квадрантів, ніде не перетворюючись на нуль; n – порядок характеристичного рівняння.

На відміну від безперервних систем годограф не прямує до нескінченності, а закінчується на дійсній осі, крім того, годограф проходить

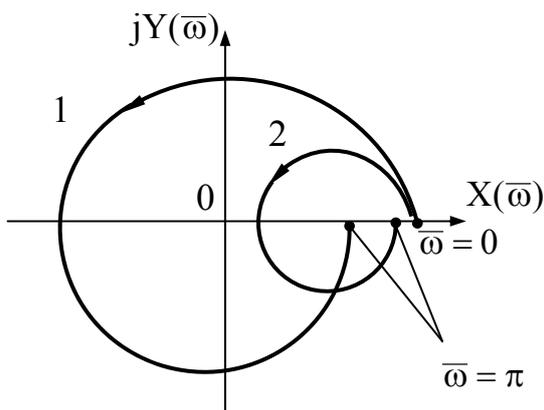


Рис. 7.3– Годографи вектора $D(e^{j\bar{\omega}})$ до критерію Михайлова

удвічі більше квадрантів. Якщо годограф $D(e^{j\bar{\omega}})$ проходить через початок координат, то система знаходиться на межі стійкості.

На рис. 7.3 наведені годографи вектора $D(e^{j\bar{\omega}})$ для стійкої (крива 1) і нестійкої (крива 2) систем другого порядку.

Аналог критерію Найквіста. Подібно до безперервних систем для дослідження стійкості замкнутих імпульсних систем можна використовувати АФХ розімкнутої системи:

1. *Якщо система стійка у розімкнутому стані або нейтральна, тобто має нульові полюси s_i , то для стійкості замкнутої системи необхідно і достатньо, щоб АФХ розімкнутої системи при змінюванні відносної частоти*

$\bar{\omega}$ від 0 до π не охоплювала точку з координатами $(-1;j0)$ і не проходила через неї;

2. Якщо система нестійка у розімкнутому стані, то для стійкості замкненої системи необхідно і достатньо, щоб АФХ розімкнутої системи при змінюванні відносної частоти $\bar{\omega}$ від 0 до π охоплювала точку з координатами $(-1;j0)$ $k/2$ разів, де k – кількість коренів характеристичного рівняння безперервної частини розімкнутої системи, що мають додатну дійсну частину (кількість коренів z_i характеристичного рівняння розімкнутої імпульсної системи, модулі яких більші за одиницю).

Тобто формулювання критерію Найквіста для імпульсних систем залишається таким самим, як і для безперервних. Але АФХ імпульсних систем при $\bar{\omega} = \pi$ закінчуються на дійсній осі, а не у початку координат.

Зазначимо, що зробити висновок про стійкість розімкнутої імпульсної системи можна на підставі перевірки стійкості її безперервної частини, оскільки полюси передавальних функцій безперервної $W(s)$ та імпульсної $W^*(s)$ розімкнутих систем співпадають. Тобто стійкість розімкнутого контуру імпульсної системи визначається стійкістю її безперервної частини. Однак імпульсний елемент суттєво впливає на стійкість і якість замкненої системи: зі збільшенням періоду квантування T_0 імпульсів у більшості систем зменшується граничний коефіцієнт передачі та погіршуються динамічні властивості. Але на деякі структурно-нестійкі безперервні системи і на системи із запізненням, у яких АФХ потрапляє до першого квадранту, імпульсний елемент впливає як стабілізуючий фактор.

Для таких систем пропонується вибирати T_0 із умови:

$$T_0 \geq \pi / \omega_d,$$

де ω_d – частота, при якій АФХ безперервної частини розімкнутої системи перетинає додатну уявну піввісь.

Стійкість замкненої системи можна також визначити за логарифмічними характеристиками – амплітудною $L(\lambda)$ і фазовою $\varphi(\lambda)$. Стосовно логарифмічних характеристик критерій Найквіста формулюється так:

1. Якщо система стійка у розімкненому стані або нейтральна, то для стійкості замкненої системи необхідно і достатньо, щоб на частоті зрізу $\bar{\lambda}_{зр}$, фаза за модулем була менша за π .

2. Якщо система нестійка у розімкненому стані, то для стійкості замкненої системи необхідно і достатньо, щоб при $L(\bar{\lambda}) > 0$ кількість перетинів фазовою характеристикою рівня $-\pi$ знизу вгору була в $k/2$ разів більшою кількості перетинів у протилежному напрямку; k – кількість коренів характеристичного рівняння безперервної частини розімкненої системи, що мають додатну дійсну частину (кількість коренів z_i характеристичного рівняння розімкненої імпульсної системи, модулі яких більші за одиницю).

Визначити за логарифмічними характеристиками стійкість імпульсної системи, передавальна функція якої $25z^3 - 5z^2 - 10z - 1 = 0$:

$$W(z) = \frac{10z(z+0,8)(z+0,1)}{(z-1)(z-0,2)(z-0,5)}$$

Полюси передавальної функції розімкненої системи: $z_1=1$; $z_2=0,2$; $z_3=0,5$. Тому розімкнута система нейтральна ($z_1=1$) і для дослідження стійкості замкненої системи застосуємо перше формулювання критерію Найквіста у логарифмічній формі.

Побудову логарифмічних характеристик за передавальною функцією

$$W(j\bar{\lambda}) = \frac{24,75(1+j\bar{\lambda})(0,11j\bar{\lambda}+1)(0,82j\bar{\lambda}+1)}{j\bar{\lambda}(1,5j\bar{\lambda}+1)(3j\bar{\lambda}+1)}$$

виконаємо за допомогою пакета Matlab (рис. 4).

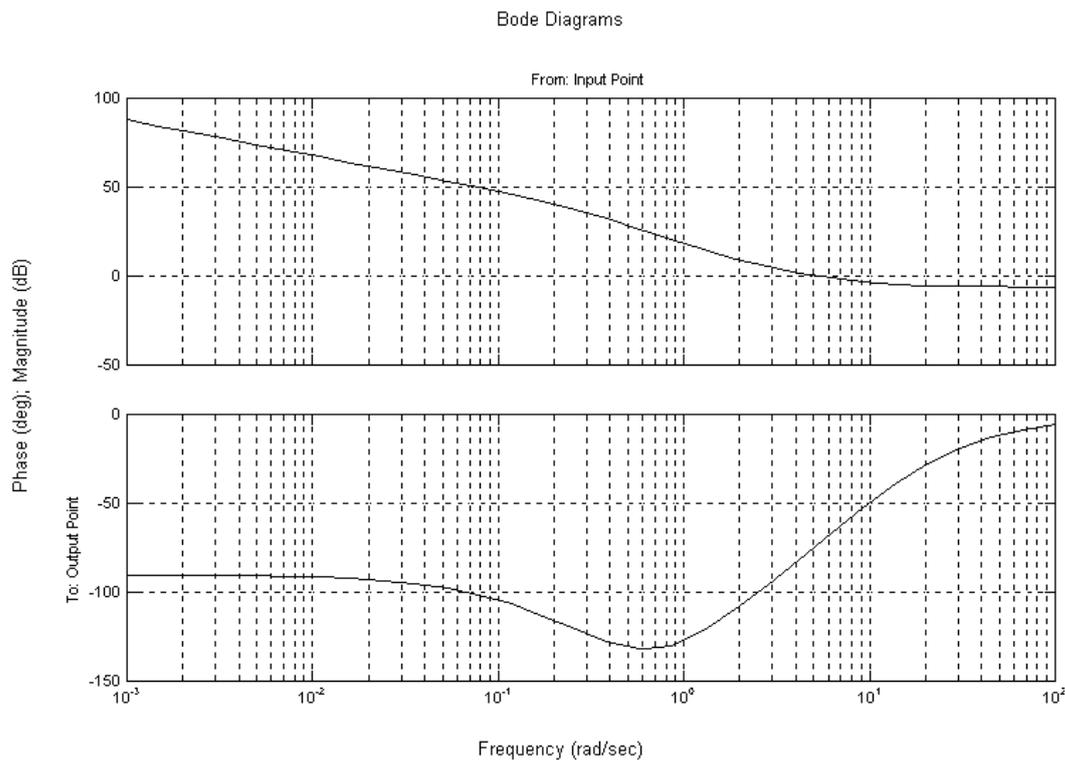


Рис .7.4– Логарифмічні частотні характеристики імпульсної системи

На псевдо частоті зрізу $\bar{\lambda}_{зр}$ фаза за модулем менша за π і дорівнює 75^0 , тобто система стійка і має запас стійкості за фазою $\Delta\varphi = 105^0$, запас за амплітудою $\Delta L = 6\text{дБ}$.

7.3 Якість імпульсних систем

Якість імпульсних систем керування характеризується такими самими показниками, як і якість безперервних систем: точністю регулювання в усталених режимах, тривалістю і перерегулюванням перехідного процесу.

Усталену помилку можна визначити таким самим способом, як і в безперервних системах, тобто знайти зображення помилки з виразу передавальної функції (43) замкнутої системи за помилкою:

$$X(z) = W_x(z)G(z),$$

і перейти до її усталеного значення згідно з формулою (31) для кінцевого значення решітчастої функції:

$$x[\infty] = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} W_x(z)G(z). \quad (6)$$

Цю формулу не можна застосовувати, коли межа у правій частині не існує, наприклад, коли усталена помилка є гармонічною функцією.

Як і безперервні системи, імпульсні системи можуть бути *статичними* чи *астатичними*. Імпульсна система, у якої усталена помилка при будь-якому зовнішньому сигналі дорівнює нулю, називається астатичною по відношенню до цього сигналу. У протилежному разі система називається статичною.

Точність імпульсної системи в усталеному режимі можна оцінювати за коефіцієнтами помилок C_k , які визначаються за формулою:

$$C_k = \frac{1}{k!} \left[\frac{d^k W_x^*(s)}{ds^k} \right]_{s=0}, \quad (7)$$

де

$$W_x^*(s) = W_x(z) \Big|_{z=e^{T_0 s}}.$$

Показники якості перехідних процесів можна визначити розв'язуванням різницевого рівняння, що описує динаміку системи. Для розрахунку перехідної функції (реакції системи на одиничну ступінчасту дію за нульових початкових умов) зручно застосовувати z -перетворення. У цьому разі зображення вхідної величини має вигляд:

$$G(z) = z/(z-1),$$

а зображення вихідної – вигляд:

$$Y(z) = G(z)W_3(z) = W_3(z) \cdot z/(z-1). \quad (8)$$

Оригіналом цієї функції є решітчаста функція $y[n]$. Якість перехідного процесу визначається за графіком безперервної функції $y(t)$, що відповідає цій решітчастій функції.

Побудувати перехідний процес в імпульсній системі автоматичного регулювання, для якої:

$$W(z) = \frac{0,632z}{z^2 - 1,368z + 0,368}; T_0 = 0,1 \text{ с},$$

при дії керуючого сигналу $g(t) = 1(t)$ і визначити основні показники якості.

Згідно з (8) визначимо передавальну функцію замкнутої імпульсної системи:

$$W_3(z) = W(z)/[1+W(z)] = \frac{0,632z}{z^2 - 0,736z + 0,368}$$

Тоді відповідно з (8.59) запишемо:

$$Y(z) = \frac{0,632z}{z^2 - 0,736z + 0,368} \cdot \frac{z}{z-1} = \frac{0,632z^2}{z^3 - 1,736z^2 + 1,104z - 0,368}$$

Перехідний процес у системі у тактові моменти часу і основні показники якості можна визначити різними способами. Згідно з одним із них розкладемо отриманий вираз по степенях z^i , виконавши ділення чисельника на знаменник. У результаті отримаємо:

$$Y(z) = 0,632z^{-1} + 1,097z^{-2} + 1,207z^{-3} + 1,116z^{-4} + 1,009z^{-5} + 0,974z^{-6} + 0,987z^{-7} + \dots$$

Тоді відповідно напишемо:

$$Y[nT_0] = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \delta(t - nT_0) = 0,632\delta(t - T_0) + 1,097\delta(t - 2T_0) + 1,207\delta(t - 3T_0) + \\ + 1,116\delta(t - 4T_0) + 1,009\delta(t - 5T_0) + 0,974\delta(t - 6T_0) + 0,987\delta(t - 7T_0) + \dots$$

За допомогою цього виразу побудуємо перехідний процес в імпульсній системі (рис. 7.5). З графіка видно, що час регулювання складає $4T = 0,4$ с (після цього моменту відхилення перехідної функції від усталеного значення, що дорівнює одиниці, не перевищує $\pm 5\%$). Максимальне перерегулювання $\sigma = 20,7\%$ (у момент часу $3T = 0,3$ с).

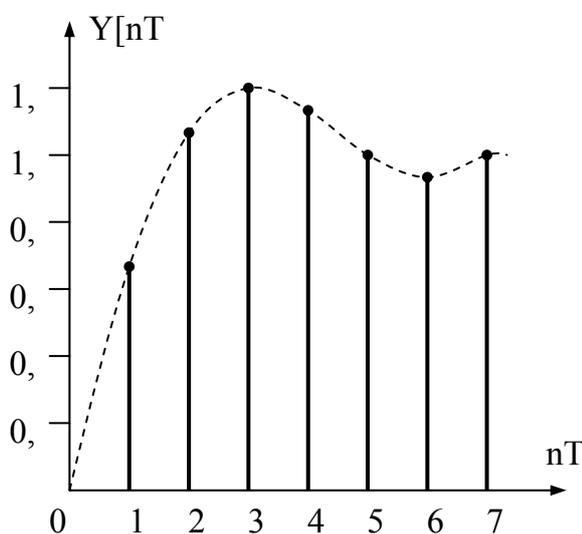


Рис. 7.5 – Перехідний процес в імпульсній

Якість перехідного процесу можна оцінювати також за полюсами і нулями передавальної функції. Якщо нулі відсутні, то полюси (корені характеристичного рівняння) повністю визначають перехідний процес у системі. Доведено, що для стійкої

системи модулі всіх коренів мають бути меншими за одиницю. Коло одиничного радіуса на площині z є відображенням уявної осі на площині s (рис. 5). Найбільш істотно на перехідний процес впливають корені, що розміщені найближче до уявної осі площини s , а значить, до кола одиничного радіуса площини z . Такі корені називаються домінуючими.

Якщо система має пару домінуючих комплексно-спряжених коренів $z_{1,2} = \alpha \pm j\beta$, а решта коренів знаходиться поблизу початку координат, то час досягнення першого максимуму і перерегулювання визначаються за формулами:

$$t_{\max} \approx T_0[\pi/2\theta - (M + 1) + N + b], \quad (9)$$

$$\sigma_{\max} \approx k |z_1|^{1+b+\pi/(2\theta)}, \quad (10)$$

де $\theta = \arctg(\beta T_0)$; M – кількість нулів передавальної функції; N – кількість полюсів; b – додатне число ($b < 1$), при якому вираз у квадратних дужках у формулі (10) дорівнює цілому числу; $k = \cos(b\theta) + [\operatorname{cosec}(\theta/|z_1|) - \operatorname{ctg}\theta]\sin(b\theta)$, $z_1 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ – модуль домінуючого кореня.

Якість імпульсних систем можна характеризувати також оцінками, подібними до оцінок якості безперервних систем: ступінню стійкості η , коливальністю μ , а також інтегральними оцінками якості.

Найпростішою з інтегральних оцінок є *лінійна інтегральна оцінка*:

$$I_1 = \sum_{n=0}^{\infty} (y[\infty] - y[n]) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon[n], \quad (11)$$

де $y[\infty]$ – усталене значення вихідної величини.

Ця оцінка придатна тільки для неколивальних процесів. Ширше застосування знайшла *квадратична оцінка*:

$$I_2 = \sum_{n=0}^{\infty} (y[\infty] - y[n])^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^2[n]. \quad (12)$$

Найкращою є та імпульсна система, для якої інтегральні оцінки мінімальні. Значення параметрів системи, що відповідають мінімальним оцінкам, називаються оптимальними за якістю перехідного процесу.

7.4 Корекція імпульсних систем

Загальна мета корекції імпульсних систем полягає у забезпеченні стійкості, заданої точності роботи в усталеному режимі, задовільної якості перехідних процесів.

Корекцію можна здійснювати за рахунок змінювання параметрів системи без зміни її структури або за рахунок уведення додаткових коректувальних кіл. Причому для корекції імпульсних систем є більш широкі можливості, оскільки коректувальні пристрої можуть бути безперервними або дискретними.

Найпростішим способом корекції є змінювання коефіцієнта підсилення K розімкнутої системи, який впливає практично на всі властивості системи. При цьому необхідно пам'ятати, що коефіцієнт K не повинен перевищувати критичного значення, при якому система знаходиться на межі стійкості.

При яких значеннях коефіцієнта K імпульсна система стійка у замкнутому стані, якщо передавальна функція розімкнутої системи має вигляд:

$$W(z) = \frac{0,5Kz}{z^2 - 1,2z + 0,25}.$$

Запишемо характеристичне рівняння замкнутої системи:

$$D(z) = z^2 - 1,2z + 0,25 + 0,5Kz = z^2 + z(0,5K - 1,2) + 0,25 = 0.$$

Після w -перетворення отримуємо характеристичне рівняння:

$$\left(\frac{1+w}{1-w}\right)^2 + \frac{1+w}{1-w}(0,5K - 1,2) + 0,25 = 0,$$
$$(2,45 - 0,5K)w^2 + 1,5w + 0,5K + 0,05 = 0.$$

Для стійкості системи другого порядку необхідно і достатньо, щоб усі коефіцієнти цього характеристичного рівняння були додатними. При додатних значеннях коефіцієнта K дана система буде стійкою, якщо виконується умова:

$$2,45 - 0,5K > 0, \text{ тобто } K < 4,9.$$

Отже, імпульсна система стійка при $K < 4,9$.

Корекція імпульсної системи за рахунок введення коректувальних пристроїв полягає у змінюванні частотних характеристик системи з метою максимального їх наближення до бажаних.

Як і у безперервних системах, безперервний коректувальний пристрій можна вводити послідовно з ланками незмінюваної частини системи, паралельно деяким з них, а також у вигляді зворотного зв'язку, що охоплює всю систему або частину її ланок.

Визначення параметрів послідовного коректувального пристрою є досить складною задачею. У найпростішому випадку при досить високій частоті квантування і великій інерційності безперервної частини, коли виконується умова теореми Котельникова-Шеннона, імпульсну систему можна замінити безперервною і тоді записати:

$$W_{\text{баж}}(j\bar{\omega}) = k_i W_k(j\bar{\omega}) W_6(j\bar{\omega}), \quad (13)$$

де $W_{\text{баж}}(j\bar{\omega})$, $W_k(j\bar{\omega})$, $W_6(j\bar{\omega})$ - частотні характеристики: бажана, коректувального пристрою, безперервної частини початкової системи; k_i - коефіцієнт передачі імпульсного елемента.

З урахуванням тривалості імпульсів ($\gamma \neq 0$) вираз матиме вигляд:

$$W_{\text{баж}}(j\bar{\omega}) = k_i W_k(j\bar{\omega}) W_6(j\bar{\omega}) e^{-j\bar{\omega}\gamma/2}. \quad (14)$$

Після заміни імпульсної системи безперервною синтез послідовного коректувального пристрою можна виконати методами, що розроблені для безперервних систем, зокрема методом логарифмічних частотних характеристик.

Висновки по розділу

Основними об'єктами вивчення та дослідження для сучасної теорії автоматичного керування стали нелінійні системи зі складними перехідними процесами та можливістю самоорганізації їх внутрішніх параметрів, дискретні інформаційно-керуючі системи та багатовимірні лінійні системи з великою кількістю вихідних змінних.

Окремим класом у сучасній теорії автоматичного управління йдуть завдання точної та ефективною ідентифікації об'єктів системної інженерії.

Цифрові системи управління (ЦСУ) знаходять широке застосування в управлінні різноманітними технічними пристроями. Область застосування ЦСУ – управління електромеханічними і електромагнітними пристроями, системами телевимірювання і телекерування, багатоканальними системами зв'язку і т. д.

В сучасних умовах зберігається стійка тенденція збільшення частки цифрових методів перетворення, обробки, передачі та зберігання інформації у всіх сферах діяльності людини, йде зміна поколінь технічних засобів обробки інформації та інформаційного обміну. Ці засоби можуть безпосередньо не зачіпати традиційні галузі автоматизації: датчики, приводи, регулятори, проте змінюють середовище існування засобів автоматизації в цілому.

Внаслідок квантування за часом в імпульсних САК інформація між двома або більше елементами передається послідовністю імпульсів. Функцію модуляції в імпульсних САК виконують імпульсні елементи (модулятори), які перетворюють безперервні сигнали у послідовність імпульсів, один з параметрів яких (модульований параметр) змінюється за законом змінювання вхідного безперервного сигналу (модулюючого сигналу).

Основними параметрами послідовності імпульсів є амплітуда (висота) тривалість, період повторення і положення імпульсу всередині періоду. Залежно від того, який з параметрів послідовності імпульсів змінюється при зміні модулюючого (вхідного) сигналу, розрізняють такі види імпульсної модуляції: амплітудно-імпульсну (АІМ), широтно-імпульсну (ШІМ) і часово-імпульсну (ЧАІМ).

Часово-імпульсна модуляція, в свою чергу, поділяється на два види: фазо-імпульсну (ФІМ) і частотно-імпульсну (ЧІМ). Крім того, розрізняють два роди модуляції залежно від того, як змінюється модульований параметр протягом часу існування імпульсу.

Лінійна імпульсна система буде стійкою, якщо всі корені характеристичного рівняння замкнутої системи будуть лівими,

Для дослідження стійкості імпульсних систем використовують критерії стійкості, які дозволяють оцінити стійкість за коефіцієнтами характеристичного

рівняння або за частотними характеристиками.

Зазначимо, що імпульсні системи другого і першого порядків на відміну від безперервних систем такого самого порядку, можуть бути нестійкими при додатних коефіцієнтах характеристичного рівняння. Це пояснюється тим, що фіксатор, який входить до складу імпульсної системи, вносить додаткове відставання за фазою.

Алгебраїчні критерії стійкості (критерії Гурвіца, Рауса, Лъенара-Шипара) було розроблено для дослідження стійкості безперервних систем за коефіцієнтами характеристичного рівняння, яке подано у вигляді поліному.

Для дослідження стійкості імпульсних систем застосовують також частотні критерії стійкості,

Можливо зробити висновок про стійкість розімкнутої імпульсної системи можна на підставі перевірки стійкості її безперервної частини, оскільки полюси передавальних функцій безперервної $W(s)$ та імпульсної $W^*(s)$ розімкнутих систем співпадають. Тобто стійкість розімкнутого контуру імпульсної системи визначається стійкістю її безперервної частини. Однак імпульсний елемент суттєво впливає на стійкість і якість замкнутої системи: зі збільшенням періоду квантування T_0 імпульсів у більшості систем зменшується граничний коефіцієнт передачі та погіршуються динамічні властивості. Але на деякі структурно-нестійкі безперервні системи і на системи із запізненням, у яких АФХ потрапляє до першого квадранту, імпульсний елемент впливає як стабілізуючий фактор.

Стійкість замкнутої системи можна також визначити за логарифмічними характеристиками – амплітудною $L(\lambda)$ і фазовою $\varphi(\lambda)$.

Якість імпульсних систем керування характеризується такими самими показниками, як і якість безперервних систем: точністю регулювання в усталених режимах, тривалістю і перерегулюванням перехідного процесу.

Як і безперервні системи, імпульсні системи можуть бути статичними чи астатичними. Якість перехідного процесу можна оцінювати також за полюсами і нулями передавальної функції. Якщо нулі відсутні, то полюси (корені

характеристичного рівняння) повністю визначають перехідний процес у системі. Доведено, що для стійкої системи модулі всіх коренів мають бути меншими за одиницю. У протилежному разі система називається статичною.

Найкращою є та імпульсна система, для якої інтегральні оцінки мінімальні. Значення параметрів системи, що відповідають мінімальним оцінкам, називаються оптимальними за якістю перехідного процесу.

Загальна мета корекції імпульсних систем полягає у забезпеченні стійкості, заданої точності роботи в усталеному режимі, задовільної якості перехідних процесів.

Корекцію можна здійснювати за рахунок змінювання параметрів системи без зміни її структури або за рахунок введення додаткових коректувальних кіл. Причому для корекції імпульсних систем є більш широкі можливості, оскільки коректувальні пристрої можуть бути безперервними або дискретними.

Найпростішим способом корекції є змінювання коефіцієнта підсилення K розімкнутої системи, який впливає практично на всі властивості системи. При цьому необхідно пам'ятати, що коефіцієнт K не повинен перевищувати критичного значення, при якому система знаходиться на межі стійкості.