

INFORMATION

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ТА ЕНЕРГОТЕХНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ТА ЕНЕРГОТЕХНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

*Методичні вказівки
до виконання курсової роботи з галузі знань
17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальності: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма: «Автоматизоване управління
технологічними об'єктами та комплексами»*

Рекомендовано Методичною радою НУК

УКЛАДАЧ:

О. М. Філіпчук, ст. викладач кафедри автоматики
та електроустаткування Херсонського
навчально-наукового інституту НУК

РЕЦЕНЗЕНТ:

В. А. Надточій, к.т.н., доцент кафедри
автоматики та електроустаткування

Рекомендовано Методичною радою НУК

Системи керування технологічними об'єктами і енерготехнічними процесами : методичні вказівки до виконання курсової роботи здобувачами вищої освіти денної та заочної форм навчання з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» / укл. : О. М. Філіпчук. – Миколаїв : НУК, 2024. – 50 с.

У представлених методичних вказівках до курсового проектування викладено основні положення щодо виконання курсової роботи, тематика якої обіймає розділи курсу по вивченню роботи систем автоматизованого електроприводу постійного струму на основі тиристорних перетворювачів. Також здійснюється розрахунки електродвигунів із редукторами, гальмами і датчиками зворотного зв'язку за струмом та швидкістю, моделювання роботи системи керування електроприводом на ПК. У вказівках висвітлені матеріали, які необхідні для розрахунку відповідних характеристик, стислий опис і порядок виконання роботи, рекомендації по складанню пояснювальної записки та графічної частини.

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня бакалавр за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» за освітньо-професійною програмою: «Автоматизоване управління технологічними об'єктами та комплексами». Методичні вказівки можуть використовуватися здобувачами інших електромеханічних спеціальностей.

УДК 629.12.05-52(075)

© О. М. Філіпчук, 2024
© НУК ім. адмірала Макарова, 2024

Вступ

Курсова робота є завершальним етапом у вивченні «Системи керування технологічними об'єктами і енерготехнічними процесами». Мета курсової роботи – є придбання навичок проектування електроприводів технологічних установок і уміння застосовувати на практиці отримані теоретичні знання, а також закріплення і систематизація знань шляхом самостійного та під керівництвом викладача, розрахунку системи підлеглого регулювання координат двигуна постійного струму з незалежним збудженням (ДПС НЗ).

Сучасний електропривод представляє собою автоматизовану систему, що складається з електродвигуна, силового перетворювача і, як правило, системи керування. Він забезпечує перетворення електричної енергії в механічну відповідно до заданого алгоритму. В даний час більше 60% всієї виробленої у світі електричної енергії споживають електричні двигуни. Звідси й можна зробити висновок, що ефективність енергозберігаючих технологій значною мірою визначають ефективністю електропривода.

Керування будь-яким об'єктом по суті складається з вибору мети (критерію) керування та подачі на об'єкт спеціальних організованих керуючих впливів, необхідних для досягнення цієї мети.

Спосіб формування керуючих впливів істотно залежить від ступеня детермінізму об'єкта: якщо його поведінка для кожного моменту часу може бути досить точно передбачено, керуючі впливи можуть змінюватися за заданими жорсткими програмами; якщо ж об'єкт працює в непередбачено змінюваних умовах або непередбачено змінюються властивості самого об'єкта, пристрій, що керує, відповідним чином коригувати керуючі впливи. У останньому випадку системи керування, зазвичай, доводиться будувати за принципом зворотного зв'язку. Це означає, що вхідні керуючі впливи на об'єкт формуються з інформації про поточні змінні на його виході – показника мети керування.

Синтез системи автоматичного регулювання – це лише один із етапів її проектування, йому передують:

- дослідження об'єкта регулювання визначення його динамічних властивостей і умов, у яких його використовують. Динамічні властивості визначають або теоретично, або експериментально, а часто використовують обидва шляхи одночасно. Модель об'єкта представляють у вигляді диференціального рівняння (рівнянь) чи передавальної функції, часових чи частотних характеристик. При аналізі умов експлуатації виявляють керуючі впливи на об'єкт, обурення та їх характеристики, стабільність його параметрів або можливу їхню залежність від якихось факторів.

- упорядкування вимог до якості регулювання. Вимоги визначаються призначенням об'єкта, а також досвідом проектування та експлуатації систем автоматичного регулювання (САР) такого класу. Верхня межа оптимальних показників якості, яка не завжди досягається, визначається теоретично. При складанні вимог необхідно враховувати обмеження, що накладаються на динамічні характеристики системи допустимими навантаженнями елементів, потужністю, що підводиться і т.д.

- вибір основних елементів системи (датчика регульованої величини, задатчика, елемента порівнянь, регулятора та виконавчого елемента) та визначення їх динамічних властивостей. В результаті синтезу САР визначається структура регулятора (розташування та тип коригувального пристрою або пристроїв, підсилювальних елементів та додаткових зв'язків) та значення параметрів усіх елементів.

На наступних етапах проектування вибирають технічні засоби для реалізації обраної структури регулятора, проводять узгодження елементів системи та енергетичний розрахунок.

Заключний етап проектування – визначення динамічних властивостей системи та уточнення параметрів регулятора. При цьому досліджують модель системи, з об'єкта та макета регулятора. Великі можливості при цьому дає використання цифрової ПЕОМ.

Практичний досвід побудови систем регулювання промислових об'єктів показує, що задача синтезу по суті зводиться до вибору регуляторів з числа приладобудівних заводів, що серійно випускаються, – оптимальних у сенсі обраного критерію якості та настроювальних його параметрів. У цьому структурі системи автоматичного регулювання передбачається відомою.

Для вибору найбільш ефективного методу синтезу необхідно оцінити всі існуючі методи та визначити їхню придатність для інженерного розрахунку за найбільш поширеними якісними показниками.

У цих методичних вказівках всі розділи курсової роботи рівноцінні і взаємопов'язані між собою, отже вивчення кожного наступного розділу можливе лише після засвоєння основних положень попередніх розділів. Це безпосередньо впливає зі специфічних особливостей об'єкту, що розглядається. Важливо врахувати, що з аналізу систем керування потрібно опанувати навичками досить швидкого переходу від абстрактної моделі до конкретної системи і навпаки; вміти математично формулювати математично завдання та правильно оцінювати результати математичного дослідження абстрактних моделей систем керування.

Фізичні величини, що використовуються в методичних вказівках

Позначення	Найменування	Одиниця виміру	
		Латинська	Українська
m	маса	kg	кг
F	сила	N	Н
J	момент інерції	kgm ²	кгм ²
M	момент сил	Nm	Нм
l, x	лінійне переміщення	m	м
φ	кутове переміщення	rad	рад
v	лінійна швидкість	m/s	м/с
ω	кутова швидкість	1/s	1/с
a	лінійне прискорення	m/s ²	м/с ²
ξ	кутове прискорення	1/s ²	1/с ²
R', ρ'	ривок	m/s ³ , 1/s ³	м/с ³ , 1/с ³
S	повна потужність	VA	В
P	активна потужність	W	А
Q	реактивна потужність	VAr	ВАр
E	електрорушійна сила	V	В
U	електрична напруга	V	В
I	сила електричного струму	A	А
R	електричний активний опір	Ohm	Ом
X	електричний реактивний опір	Ohm	Ом
Z	електричний повний опір	Ohm	Ом
ρ	питомий електричний опір	Ohm·mm ² /m	Ом·мм ² /м
j	припустима густина електричного струму	A/m ²	А/м ²
L	індуктивність	H	Гн
f	частота електричного струму	Hz	Гц
ω	кутова частота електричного струму	rad/s	рад/с
Φ	магнітний потік	Vbr	Вб
η	ККД	-, (%)	-, (%)
s	ковзання	-, (%)	-, (%)
n	частота обертання	r.p.m	Об/хв
$\cos \varphi$	коефіцієнт потужності	-, (%)	-, (%)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕП	– автоматизований електропривод
ДПС НЗ	– двигуна постійного струму з незалежним збудженням
САР	– система автоматичного регулювання
ПЕОМ	– персональна електронно-обчислювальна машина (комп'ютер)
ДМ	– датчик моменту
ДС	– датчик струму
ДШ	– датчик швидкості
ДП	– датчик положення
КМ	– контур моменту
КС	– контур струму
КШ	– контур швидкості
КП	– контур положення
РМ	– регулятор моменту
РС	– регулятор струму
РШ	– регулятор швидкості
РП	– регулятор положення
ОП	– операційний підсилювач
СІФК	– система імпульсно-фазового керування
ТП	– тиристорний перетворювач
ЕП	– електропривод
ЕРС	– електрорушійна сила
ВП	– вимірювальний перетворювач (датчик)
ППС	– підсилювач постійного струму
САК	– система автоматичного керування
АЧХ	– амплітудно-частотна характеристика
ФЧХ	– фазо-частотна характеристика
ЛАЧХ	– логарифмічна амплітудно-частотна характеристика
ЛФЧХ	– логарифмічна фазо-частотна характеристика

1 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Мета курсової роботи – привити здобувачам вищої освіти навички системного підходу при проектуванні сучасної системи керування електроприводу постійного струму з кількома контурами регулювання та електродвигуном постійного струму незалежного збудження. Тому перед студентами ставиться завдання не просто освоїти методику розрахунку тих чи інших схемних рішень або ланцюгів керування, (наприклад, керованого випрямляча), а на основі технічних вимог та вихідних даних вибрати структуру електроприводу, зробити розрахунок його статичних характеристик та вибрати закони керування, розробити структуру системи керування та здійснити вибір її елементів, провести розрахунок параметрів зворотних зв'язків та вибір регуляторів, , зробити опис роботи системи керування. Причому, здобувачі вищої освіти повинні обґрунтовувати свій вибір технічних рішень.

Виконання курсової роботи дозволить здобувачам вищої освіти суттєво розширити свій технічний кругозір та підготуватися до виконання випускної кваліфікаційної роботи.

В якості об'єкту керування можна використати, наприклад, електроприводи підйомних механізмів або механізмів транспортних машин.

До курсової роботи входить:

1. Загальна частина

- на основі технічних вимог та вихідних даних зробити вибір структури системи керування електропривода (наприклад, системи керування підлеглого типу);

- розробити структуру системи керування та здійснити вибір її елементів;
- зробити опис роботи системи керування.

2. Розрахункова частина

- провести розрахунок параметрів та обрати елементи силової частини керованого тиристорного випрямляча;

- провести розрахунок параметрів зворотних зв'язків та вибір регулятора струму;

- розрахувати та зобразити швидкісні та механічні характеристики електропривода;

- провести розрахунок параметрів зворотних зв'язків та вибір регулятора швидкості;

- побудувати математичну модель системи управління;

- виконати розрахунок електромеханічних характеристик двигуна постійного струму:

- провести моделювання та проаналізувати динамічні властивості системи керування за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення та прикладних пакетів програм (MathCAD, SamSim, MathLab з додатком Simulink), враховуючи існуючі розширення;

Вихідні технічні дані для проектування приводяться в п. 11 і повідомляються викладачем кожному здобовачу вищої освіти індивідуально відповідно до теми завдання та номера варіанту. Виконання курсової роботи за завданням, не узгодженому з викладачем, забороняється.

Зміст пояснювальної записки

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити:

1. Титульний аркуш за затвердженою в ХНННІ НУК формою (додаток 1).
2. Завдання на проектування.
3. Зміст з указаними сторінками (додаток 2).
4. Вступ (додаток 3).
5. Загальна частина, відповідно до пунктів.
6. Розрахункова частина, відповідно до пунктів.
7. Висновки.
8. Список використаної літератури.

Вступ має містити оцінку сучасного стану вирішуваної проблеми.

У висновках необхідно дати коротку оцінку одержаних результатів.

В загальній та розрахунковій частині необхідно навести: структуру системи керування, схеми регуляторів та зворотних зв'язків, опис роботи системи керування.

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки складає 50 – 60 сторінок.

Графічна частина

В графічній частині необхідно навести: функціональну схему системи автоматичного регулювання заданих параметрів, структурну схему системи керування електроприводом, статичні характеристики електроприводу, дослідження динаміки системи автоматичного керування електроприводом.

Вимоги до оформлення курсової роботи

Оформлення курсової роботи проводять відповідно до вимог ЄСКД і нормативних документів з оформлення.

2 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Система керування призначена для роботи в складі електроприводу постійного струму.

Система керування повинна виконуватись на основі аналогових регуляторів побудованих на основі операційних підсилювачів і забезпечувати наступні режими роботи електроприводу:

- рух;
- гальмування;
- вибіг.

Система керування електроприводом повинна формувати наступні характеристики електроприводу:

- постійної сили (моменту);
- постійної потужності;
- постійної швидкості (частоти обертання).

Система керування електроприводом повинна забезпечити діапазон регулювання:

- швидкості від нульової до $v_{ном}$;
- прискорення від нульового до a_{max} .

Система керування електроприводом повинна забезпечувати:

- високу надійність роботи електроприводу;
- діагностику роботи електроприводу;
- відображення на пульті керування основних параметрів електроприводу та систем його захисту.

3. ФУНКЦОНАЛЬНІ ТА СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Найбільше розповсюдження серед систем керування швидкістю двигуна постійного струму отримали системи, в яких швидкість регулюється зміною напруги на якорі двигуна за рахунок керованого електричного перетворювача при підпорядкованому контурі регулювання струму двигуна. На рис.1 приведена функціональна схема електропривода з подібною системою регулювання. Двигун Д з незалежним збудженням (обмотка збудження ОЗД) отримує живлення від керованого перетворювача КП - реверсивного тиристорного перетворювача з двома випрямляючими групами з зустрічно-паралельною схемою ввімкнення та з розділеним керуванням.

Узгодження номінальних значень напруги живлення КП мережі U_M , його

вихідної напруги та струму якоря двигуна забезпечується трансформатором Т. Застосування трансформатора Т дозволяє: забезпечити номінальну напругу на виході перетворювача при мінімальному куті керування його тиристорами та при максимальному коефіцієнті потужності електропривода; обмежити швидкість зміни струму через тиристори при їх комутації та коротких замиканнях у випадку можливих аварійних режимах в силовому ланцюзі КП; потенціально розділити високовольтні ланцюги живлення КП та якірний ланцюг двигуна, що збільшує експлуатаційну надійність і безпеку їх обслуговування. При необхідності покращення умов комутації струму якоря двигуна за рахунок обмеження швидкості його зміни в ланцюзі якоря двигуна встановлюється дросель. Згладжування пульсацій струму якоря сприяє також зменшенню вібрацій та шуму в двигуні.

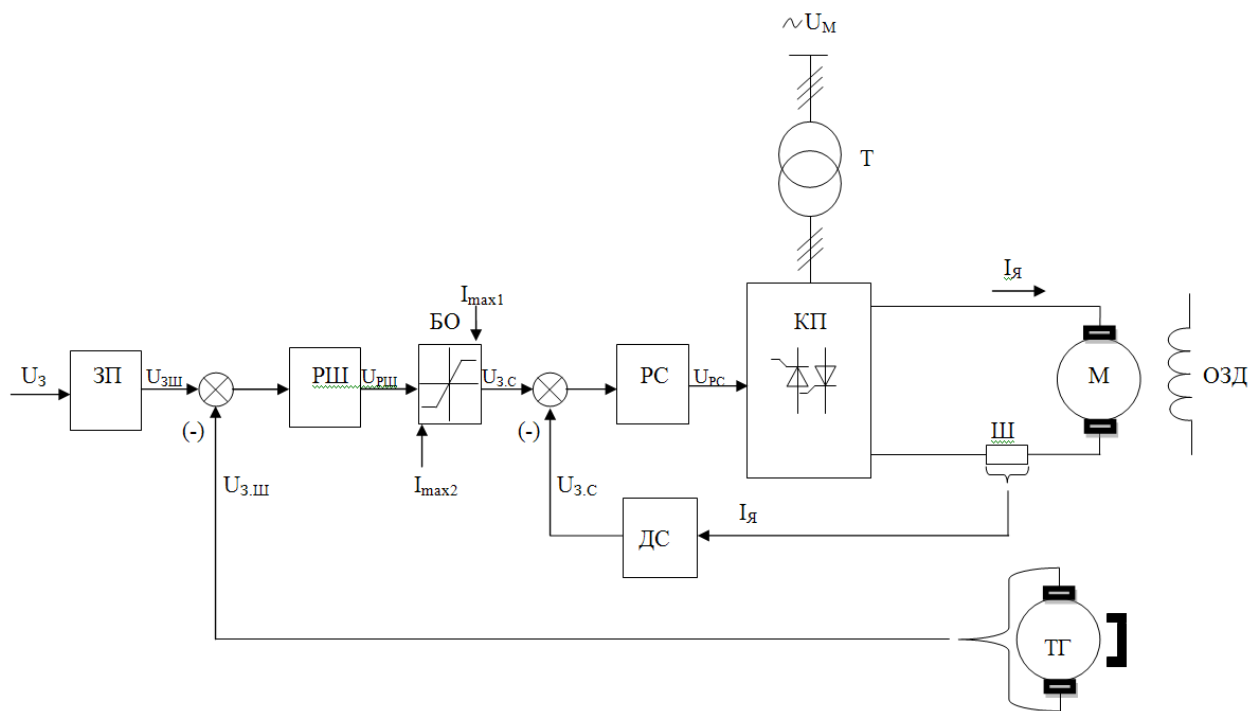


Рисунок 1 - Функціональна схема електропривода з підпорядкованим регулюванням струму та швидкості.

Система керування електропривода містить два контури регулювання: внутрішній контур струму якоря (КС) та зовнішній контур швидкості (КШ). Контур струму включає в себе силову частину електропривода з виходом по струму якоря $I_{\text{я}}$, ланцюг негативного зворотного зв'язку по струму якоря та регулятор струму якоря РС. На вході РС порівнюються напруги задавання струму якоря $U_{\text{з.с}}$, та напруги зворотного зв'язку $U_{\text{з.с}}$, що надходить з датчика струму ДС. На вхід ДС подається напруга з шунта Ш, пропорційна струму

якірного ланцюга двигуна. Блок БО обмежує вихідну напругу $U_{РШ}$, регулятора швидкості РШ.

Контур швидкості двигуна включає в себе замкнутий контур швидкості КШ, ланцюг негативного зворотного зв'язку по швидкості двигуна та регулятор швидкості. На вході РШ порівнюються напруга задавання швидкості $U_{з.ш}$, що подається з виходу задавального пристрою ЗП, та напруги зворотного зв'язку $U_{зз.ш}$ по швидкості двигуна, що надходить від тахогенератора ТГ. Регулятор швидкості може бути як пропорційним (при невисоких вимогах до точності регулювання швидкості), так і пропорційно-інтегральним (при необхідності абсолютної статичної точності регулювання).

Задавальний пристрій формує бажаний закон зміни швидкості електропривода, наприклад, лінійний з заданим постійним прискоренням (за датчик інтенсивності), експоненціальний (інерційна ланка на вході) або синусоїдальний (як тестовий сигнал для отримання частотних характеристик електропривода).

Блок БО обмежує вихідну напругу РШ і тим самим максимальну напругу задавання $U_{з.с}$ струму якоря двигуна, забезпечуючи у замкнутому КС якоря двигуна обмеження цього струму на рівні максимально допустимого значення $I_{МАХ}$. Рівень обмеження статичної характеристики БО незалежно регулюється сигналами $I_{МАХ1}$, $I_{МАХ2}$.

Структурна схема електропривода представлена на рис.2. Вона відповідає наступним допущенням: регульовальна характеристика керованого перетворювача лінійна; струм якірного ланцюга двигуна непереривний; відсутня реакція якоря двигуна; момент інерції, приведений до валу двигуна, постійний; інерційність датчиків струму та швидкості не враховується в зв'язку з їх малим значенням. Позначення прийняті на схемі:

T_E – електромагнітна постійна часу якірного ланцюга, с;

$R_{я}$ – опір якірного ланцюга, Ом;

J – сумарний момент інерції електропривода, приведений до валу двигуна, кг·м²;

$K_{п}$ – коефіцієнт підсилення КП;

$T_{п}$ – постійна часу ланцюга керування перетворювачем, що враховує комутаційне запізнення та наявність фільтрів, с (для напівпровідникових КП $T_{п} < 10$ мс і може бути прийнято за не компенсуючу постійну часу T_{μ});

$K_{д}$ – передаточний коефіцієнт двигуна, рад/(В с);

$K_{з.с}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по струму, Ом;

$K_{з.ш}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості двигуна, (В с)/рад;

$W_{PC}(p)$ та $W_{РШ}(p)$ – передаточні функції регуляторів відповідно струму та швидкості.

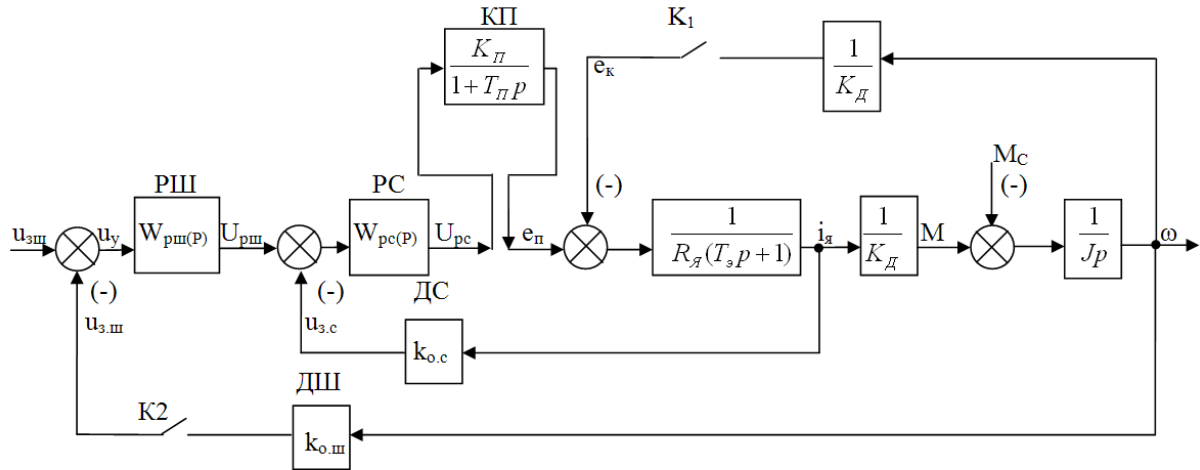


Рисунок 2. –Структурна схема електропривода з підпорядкованим регулюванням струму та швидкості.

При постійному потоці збудження $\Phi = const$ для двигуна постійного струму з незалежним збудженням, момент обертання, розвинутий двигуном, прямо пропорційний струму якоря

$$M = C \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}},$$

де C - коефіцієнт пропорційності і дорівнює

$$C = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{я}}}{\omega},$$

тому для регулювання моменту використовується жорсткий негативний зворотній зв'язок по струму якоря.

4. ВИБІР ДВИГУНА І КЕРОВАНОГО ВИПРЯМЛЯЧА ЕЛЕКТРОПРИВОДА.

Початковим етапом розрахунку приводу є вибір виконавчого двигуна.

Від правильного вибору двигуна залежать забезпечення всіх технологічних режимів і необхідних динамічних характеристик, а також конструкція механічної частини приводу.

Вибір силового редуктора обумовило зниження загального моменту інерції механізму і збільшення припустимого для приводу за умовами механічної тривалості прискорення. Це забезпечило скорочення часу перехідних процесів,

збільшення продуктивності механізмів, поліпшення якості руху внаслідок підвищення швидкодії всієї електромеханічної системи приводу як по керуючому впливу, так і по навантаженню.

Основними вихідними даними для вибору двигуна служать:

- циклограма навантаження двигуна при роботі механізму, на підставі якої визначається еквівалентний момент на валі двигуна;
- передатне відношення механічних ланок приводу (коробки передач, барабану, колеса і т.д.);
- швидкості швидкої ходи і діапазон робочих рухів;
- сила тертя в опорах, що спрямовують, і передача;
- маса що переміщається органа приводу разом із гаковою підвіскою або вантажем;
- моменти інерції механічних ланок;
- ККД механічних передач;
- швидкості швидкої ходи і настановних переміщень і діапазон робочих швидкостей;
- припустимі для механізмів прискорення і необхідний час перехідних процесів.

Крім того, для правильного вибору двигуна необхідно знати закони його регулювання і керування в перехідних режимах. Як правило, у механізмах регулювання швидкості двигуна здійснюється при постійному моменті зміною напруги на якорі. Закон управління при розгоні і гальмуванні реалізується системою керування електроприводом. Найбільше поширеними законами керування є стрибкоподібний і лінійно-змінний, проте можливі й інші форми сигналів, що задають.

Частота обертання двигуна визначається по швидкості переміщення робочих органів електропривода і передатного відношення механічної передачі.

До розрахункових параметрів тиристорного перетворювача відносяться:

$R_{\text{еп}}$ – еквівалентний внутрішній опір ТП;

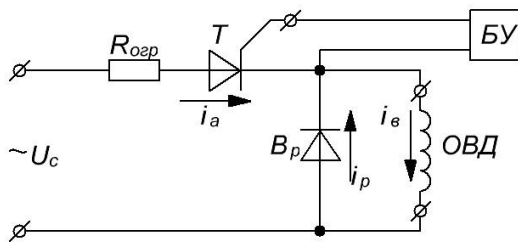
$L_{\text{еп}}$ – еквівалентна індуктивність ТП;

$E_{\text{оп}}$ – ЕРС ТП при цілком відкритих тиристорах ($\alpha=0$).

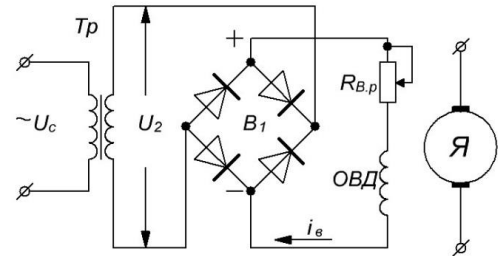
У таблиці 1 приведені значення випрямленої ЕРС $E_{\text{оп}}$ стосовно фазного ЕРС $E_{2\phi}$, найбільшого значення зворотної напруги, прикладеного до одного вентиля $U_{\text{зв max}}$, середнього струму, що протікає через тиристори (вентилі) I_d , лінійного струму вторинного ланцюга I_2 , типової потужності трансформатора S_T стосовно потужності P_n у ланцюзі випрямленого струму для різноманітних схем включення вентилів. Схеми використання тиристорних перетворювачів у електроприводах постійного струму показано на рис. 3, 4.

Таблиця 1 – Характеристика схем тиристорних перетворювачів

Назва схеми	$E_{оп}$	$U_{зв.макс}$	I_d	I_{2H}	S_T
1-ф, симетрична мостова	$0,9 \cdot E_{2\phi}$	$1,57 \cdot E_{оп}$	$0,5 \cdot I_{нп}$	$I_{нп}$	$1,1 \cdot P_{оп}$
3-ф, симетрична мостова	$2,34 \cdot E_{2\phi}$	$1,05 \cdot E_{оп}$	$0,33 \cdot I_{нп}$	$0,82 \cdot I_{нп}$	$1,04 \cdot P_{оп}$
1-ф, 2-х, півперіодна із середньою крапкою	$0,9 \cdot E_{2\phi}$	$3,14 \cdot E_{оп}$	$0,5 \cdot I_{нп}$	$0,71 \cdot I_{нп}$	$1,34 \cdot P_{оп}$
3-ф, нульова	$1,17 \cdot E_{2\phi}$	$2,09 \cdot E_{оп}$	$0,33 \cdot I_{нп}$	$0,58 \cdot I_{нп}$	$1,46 \cdot P_{оп}$



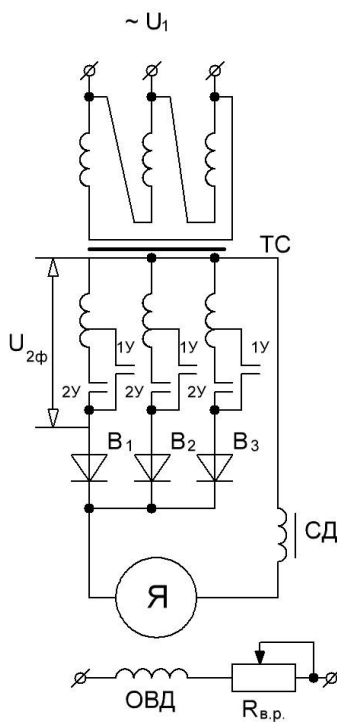
а)



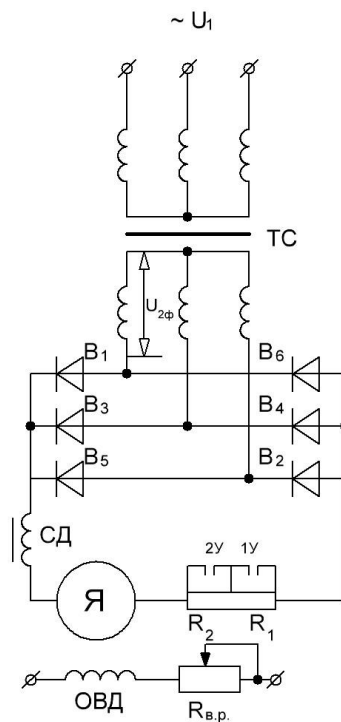
б)

Рисунок 3 - Схеми живлення обмоток збудження двигунів постійного струму:

а) – однофазна; б) – симетрична мостова



а)



б)

Рисунок 4 - Схеми живлення якоря двигунів постійного струму:

а) – трифазна нульова; б) – трифазна мостова:

Відповідно до формули для зовнішньої характеристики ТП

$$E_{\text{оп}} = U_{\text{нп}} + U_B + R_{\text{еп}} I_{\text{нп}},$$

де $U_{\text{нп}}$ – номінальна напруга комплектного ЕП.

U_B – падіння напруги на тиристорах, що складають для різноманітних типів тиристорів 0,...1,5 В. При інженерних розрахунках їм іноді зневажають.

$$R_{\text{еп}} = [m/2\pi] X_A + R_\phi,$$

де $R_{\text{еп}}$ – еквівалентний внутрішній опір тиристорного перетворювача.

$I_{\text{нп}}$ – номінальний струм комплектного ЕП.

X_A – індуктивний опір що харчує ВП мережі;

для нульової

$$X_A = X_{A\phi},$$

для мостової схеми

$$X_A = 2X_{A\phi},$$

де $X_{a\phi}$ – індуктивний опір фази трансформатора.

Величина $[m/2\pi] X_A$ обумовлена явищем комутації і еквівалентна активному опоріві перетворювача.

m – число фаз вторинної обмотки трансформатора;

R_ϕ – активний опір фаз трансформатора.

Для нульової схеми:

$$R_\phi = R'_\phi,$$

Для мостової схеми:

$$R_\phi = 2R'_\phi,$$

де R'_ϕ – активний опір одної фази трансформатора.

$X_{a\phi}$ и R'_ϕ – визначити з паспортних даних трансформатора.

При відсутності даних, активне опір фази трансформатора і $X_{a\phi}$ можна визначити з досліду короткого замикання, якщо відомі $U_{\text{кз}}$ и $P_{\text{кз}}$ – напруга і потужність утрат короткого замикання, по розрахункових співвідношеннях :

$$R'_\phi = R / 2q^2$$

$$R = P_{\text{кз}} / 3I_{2\text{н}}^2$$

$$q = E_{1\phi} / E_{2\phi}$$

$$I_{1\text{н}} = S_T / 3E_{1\phi}$$

$$I_{2\text{н}} = S_T / 3E_{2\phi}$$

$$X_{\text{АФ}} = X / 2q^2,$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2},$$

$$Z = U / I_{1\text{H}},$$

$$U = U_{\text{КЗ}} (\%) \cdot E_{1\Phi} / 100,$$

де $U_{\text{КЗ}} (\%)$ – напруга короткого замикання трансформатора,

$P_{\text{КЗ}}$ – утрати к.з. (Вт),

$I_{1\text{H}}$ і $I_{2\text{H}}$ – номінальні струми первинної і вторинної обмоток трансформатора.

При відсутності даних конкретного трансформатора, параметри $U_{\text{КЗ}}$ і $P_{\text{КЗ}}$ можна визначити приблизно з [9-11] для трансформатора такої ж потужності як і в комплектному ЕП.

5. РОЗРАХУНОК ІНДУКТИВНОСТІ РЕАКТОРІВ

У вентильному електроприводі реактори виконують наступні основні функції: зменшують зону переривистих струмів, згладжують пульсації випрямного струму, обмежують струм через вентилі в перший півперіод напруги, що живить, при короткому замиканні на стороні випрямного току. У реверсивному вентильному ЕП на реактори покладаються додаткові задачі: обмеження зрівняльних струмів при спільному керуванні вентильними групами, обмеження швидкості наростання аварійного струму при перекиданні інвертора. Індуктивність реактора залежить від його призначення, силової схеми перетворювача і розташування реактора в схемі.

Обмеження зрівняльних токів. Зрівняльні реактори застосовуються для обмеження зрівняльних токів при спільному керуванні вентильними групами. У тирсторному перетворювачі може бути застосоване спільне керування, або роздільне. При узгодженому спільному керуванні індуктивність реакторів, щодо струмообмеження, визначається по формулі:

$$L_{\text{ЗР}} = K_{\text{Д}} (E_{\text{ФМ}} / (\omega_{\text{с}} I_{\text{ЕН}})) - L_{\text{ЕП}},$$

де $E_{\text{ФМ}}$ – амплітуда фазної ЕРС ;

$$\omega_{\text{с}} = 2\pi f_{\text{с}};$$

для нульових схем:

$$E_{\text{ФМ}} = \sqrt{2} E_{2\Phi},$$

для трифазної мостової схеми:

$$E_{\phi M} = \sqrt{6}E_{2\phi},$$

де K_d – коефіцієнт діючого значення зрівняльного току, визначальний по кривим [9-11] у залежності від кута керування тиристорами α ;

$$I_{3p} \approx [0,1-0,2]I_H - \text{діюче значення зрівняльного струму.}$$

Величину L_{3p} визначимо для максимального значення K_d при відомому діапазоні зміни α . Тому що перетворювач використовується для широко регульованого ЕП, α від 0° до 90° , для трифазної зустрічно-рівнобіжної схеми найбільше значення $K_d = 0,62$ при $\alpha = 60^\circ$.

Для трифазної нульової схеми $K_d = 0,2$ при $\alpha = 60^\circ$.

Обмеження струму при однофазному перекиданні інвертора.

Розрахувати $L_{\Sigma}^{оп}$ тільки для мостової схеми. Для нульової силової схеми випрямувача зробити тільки вибір тиристорів із визначенням $I_{33 \text{ удр}}$, при необхідності розрахувати параметри двигуна ($C_{дв}$, $L_{я}$).

При однофазному перекиданні інвертора в мостовій схемі якір двигуна закортити через вентилі. Індуктивність, необхідна для обмеження аварійного струму на час спрацьовування захисту, визначається по наближеній формулі:

$$L_{\Sigma}^{оп} \approx 0,01R_{оп} / (I_H ((E_{нач} / R_{оп} - I_{нач}) / (E_{нач} / R_{оп} - I_{доп}))),$$

де $E_{нач}$ – ЕРС двигуна в момент перекидання;

$$E_{нач} = C_{дв} \omega_{VMAX},$$

тут $C_{дв}$ - постійна двигуна;

$$C_{дв} = [U_n - I_H R_{я} \beta_T] / \omega_H,$$

де $I_{нач}$ – струм двигуна перед перекиданням $I_{нач} = I_H$;

$I_{доп}$ – допустимий струм тиристора протягом одного півперіода;

$I_{доп} = I_{ох.удр}$ – з паспортних даних тиристора.

З довідника вибираємо низько частотні тиристори по граничних значеннях параметрів режиму [9-11]:

- по максимальному значенню середнього струму у відкритому стані I_{33} (А); I_{33} повинен бути не менше I_B визначеного по формулі (таблиця 1) для $I_H = I_{мп}$;

- по повторюваній імпульсній напрузі в закритому стані $U_{3пс}$ визначеного по формулі (таблиця 1):

$$U_{3пс} \geq U_{ОБР.МАХ}.$$

Для обраного тиристора знаходимо струм, що ударно не повторюється у відкритому стані $I_{зз.удр}$;

$R_{оп}$ – опір якірного ланцюга при току перекидання:

$$R_{оп} = \beta_T (R_{я} + R_{дп}) 1,5,$$

тут коефіцієнт 1,5 враховує опір єднальних проводів, контактів, дроселя в силовому ланцюзі.

$\beta_T = 1,24$ - температурний коефіцієнт ;

$R_{я}$ – опір якоря двигуна;

$R_{дп}$ – опір додаткових полюсів (при наявності).

Індуктивність реактора, що струмообмежує, (дроселя):

$$L_{др} = L_{\Sigma}^{оп} - (L_{я} + L_{зр})$$

де $L_{я}$ - індуктивність якоря двигуна, визначається з довідкових даних двигуна або по формулі :

$$L_{я} = K(30U_H / (\pi I_H n_H P_m)),$$

де $K = 0,5 \dots 0,6$ – для некомпенсованих машин постійного струму;

P_H – число пар полюсів двигуна;

n_H – номінальна частота обертання двигуна (1/хв);

U_H, I_H – номінальне значення напруги і струму двигуна.

$K/P_H \approx 0,04 \div 0,05$ - для електродвигунів типу ДК - 1.

Обмеження струму через тиристори при короткому замиканні на стороні постійного струму. При короткому замиканні на стороні постійного струму реактор, що струмообмежує, повинен обмежити швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для тиристорів значення в плинні власного часу спрацьовування захисних пристроїв. Обмеження струму через вентилі може бути отримане за рахунок індуктивності розсіювання обмоток трансформатора і індуктивності в ланцюзі постійного струму.

Необхідна величина спільної індуктивності для мостової схеми:

$$L_{\Sigma}^{КЗ} \approx 3,64 U_{2\phi} / (\omega_c (I_{доп} - I_{нач})),$$

де $\omega_c = 2\pi f_c$;

для нульової схеми: $L_{\Sigma}^{КЗ} \approx 2,1 U_{2\phi} / (\omega_c (I_{доп} - I_{нач})),$

де $I_{\text{нач}}$ – початковий струм у момент короткого замикання $I_{\text{нач}} = I_{\text{в}}$ при максимальному навантаженні ЕП (таблиця 1);

$I_{\text{доп}}$ - максимально допустимий у спливанні півперіода струм вентиля;

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{зз.удр.}}$$

Індуктивність додаткового реактора:

$$L_{\text{др}} = L_{\Sigma}^{K3} - (L_{\text{зр}} + L_{\text{ЕП}}),$$

де $L_{\text{ЕП}} = X_A / \omega_c$.

Обмеження зони переривистих струмів. Переривистий струм можливий при роздільному керуванні вентиляльними групами.

Для одержання зони граничного-безупинного режиму при заданому значенні кута регулювання ланцюг випрямленого струму повинний мати індуктивність

$$L_{\Sigma}^{\text{HP}} = K_{\text{ГР}} E_{\text{оп}} / (\omega_c I_{\text{н.ГР}}),$$

де $K_{\text{ГР}} = \left(1 - \frac{\pi}{p} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{p}\right) \sin \alpha$:

p - число пульсацій за період.

Число пульсацій за період залежить від числа фаз m вторинної обмотки трансформатора і схеми з'єднання вентилів.

Для простих нульових схем $p = m$;

Для простих симетричних мостових схем $p = 2m$.

Величина граничного-безупинного струму $I_{\text{гпр}}$ для забезпечення гарних динамічних характеристик приводу повинна бути не більш величини струму двигуна при мінімальному моменті опору на валі.

При установці високомоментного двигуна на ходовому валі

$$M_{\text{схх}} = (0,2 - 0,3) M_{\text{н}}, \text{ тому } I_{\text{н.ГР}} \leq (0,2 - 0,3) I_{\text{н}}.$$

Значення $K_{\text{ГР}} = f(\alpha)$ для даної схеми випрямувача (при відповідному P) також можна визначити з графіка [9-11].

Для широко регульованого приводу визначимо максимальне $K_{\text{ГР}}$ при $\alpha = \alpha_{\text{мах}}$ ($K_{\text{ГР}}$ пропорційно $\sin \alpha$)/

Кут регулювання $\alpha_{\text{мах}}$ визначити для $E_{\text{п}}$, відповідного W_{min} електропривода з рівняння:

$$\omega_{MIN} = (E_{OP} \cos \alpha_{MA} - I_H R_E) / C_{DB}.$$

де R_3 – еквівалентний опір якірного ланцюга ЕП.

$$R_3 = R_{ЭП} + \beta_T (R_J + R_{ДТ}) 1,5.$$

Індуктивність додаткового реактора:

$$L_{ДР} = L_{\Sigma}^{HP} - (L_J + L_{УР} + L_{ЭП}).$$

Сгладжування пульсацій спрямованого струму. Пульсації спрямованої напруги призводять до пульсацій випрямленого струму, що погіршують комутацію двигуна і збільшують його нагрівання. У симетричних мостових і в нульових схемах найбільшу амплітуду мають основні гармоніки ($\kappa = 1$).

Амплітуди гармонік більш високої кратності ($\kappa = 2, 3$) значно менше, а дія реакторів на них більш ефективніше, тому розрахунки індуктивності дроселя для цих схем ведеться тільки по основній гармоніці, тобто при $\kappa = 1$.

Амплітудні значення гармонійних складових спрямованої напруги E_{nm} пов'язано з його середнім значення E_{OP} і кутом регулювання перетворювача виразом:

$$\frac{E_{nm}}{E_{OP}} = \frac{2 \cos \alpha}{k^2 p^2 - 1} \sqrt{1 + k^2 p^2 \tan^2 \alpha},$$

де p - число пульсацій за період;

$\kappa = 1$ – основна гармоніка.

Визначемо максимально можливу величину E_{nm} , що відповідає $\alpha = 80^\circ$. При відомій амплітуді основної гармоніки E_{nm} і припустимому діючому значенню основної гармоніки струму $P_{(1)} \%$ необхідна величина індуктивності ланцюга випрямленого струму може бути визначена за формою

$$L_{\Sigma}^{\Pi} = \frac{E_{nm} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot k \cdot p \cdot \omega_c \cdot P_{(1)} \cdot I_H},$$

де $\omega_c = 2\pi f_c$.

$P_{(1)}$ повинно бути в межах від 2% до 15% номінального струму в залежності від потужності, діапазону регулювання і величини іскріння під щітками. Прийняти $P_{(1)} = 10\%$.

Індуктивність додаткового реактора:

$$L_{ДР} = L_{\Sigma}^{\Pi} - (L_J + L_{ЗР} + L_{ЕП}).$$

Остаточна величина додаткового реактора в ланцюзі якорі двигуна визначається по найбільшому значенню $L_{др}$. Тоді еквівалентна індуктивність якірного ланцюга двигуна:

$$L_{яе} = L_{др} + L_{я} + L_{зр} + L_{еп}.$$

6. КОЕФІЦІЄНТ ПЕРЕДАЧІ ТИРИСТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА.

Вибираємо СІФК з арккосінусної характеристикою $\alpha = \arccos(U_y)$.

Статична характеристика такого ТП лінійна,

$$K_{\pi} = \frac{E_{оп}}{U_{y_{max}}},$$

де $U_{к max} = 10$ В - напруга керування на вході ТП, що відповідає максимальній ЕРС на $E_{оп}$.

T_{π} – постійна часу ТП.

Для практичних розрахунків передатну функцію ТП можна уявити у виді інерційної ланки:

$$W_{\pi}(p) = \frac{K_{\pi}}{T_{\pi} p + 1}$$

де $T_{\pi} = \frac{1}{pf_c};$

p – число пульсацій за період;

f_c – частота мережі.

Якщо ж ТП розглядати, як джерело середнього значення випрямленої напруги, то його можна описати ланкою з передаточною функцією

$$W_n(p) = \frac{E_d(p)}{U_k(p)} = \frac{K_n e^{-\tau p}}{T_n p + 1},$$

де K_n — коефіцієнт підсилення перетворювача за напругою, який визначається за характеристикою «вхід—вихід» ТП поблизу робочої точки (орієнтовно може бути прийнятий $K_n = E_{d0}/U_{к.max}$); τ — середньо-статистичне запізнення перетворювача; T_n — стала часу СІФК.

Вираз можна спростити, врахувавши, що $e^{-\tau p} \approx 1/(\tau p + 1)$. Тоді

$$W_n(p) = \frac{K_n}{(T_n p + 1)(\tau p + 1)} \approx \frac{K_n}{T_\mu p + 1},$$

де $T_\mu = T_n + \tau$ — некомпенсована стала часу ТП (для реальних перетворювачів $T_\mu = 0,01$ с).

Передаточні функції не враховують нелінійність характеристики «вхід—вихід» ТП і обмеження його напруги величиною E_{d0} . Для уточненого моделювання ТП з урахуванням указаних нелінійностей можна застосовувати моделі, зображені на рис. 5. Спрощена модель (див. рис. 5,а) враховує лише обмеження напруги ТП: $-E_{d0} \leq E_d \leq +E_{d0}$ для реверсивного ТП, $0 \leq E_d \leq +E_{d0}$ — для нереверсивного. В уточненій структурній схемі (див. рис. 5,б) безпосередньо закладена характеристика силового блока $E_d = E_{d0} \cos \alpha$, тому вона враховує як нелінійність характеристики «вхід—вихід», так і обмеження вихідної напруги ТП. Коефіцієнт передачі СІФК, дорівнює $\pi/20$.

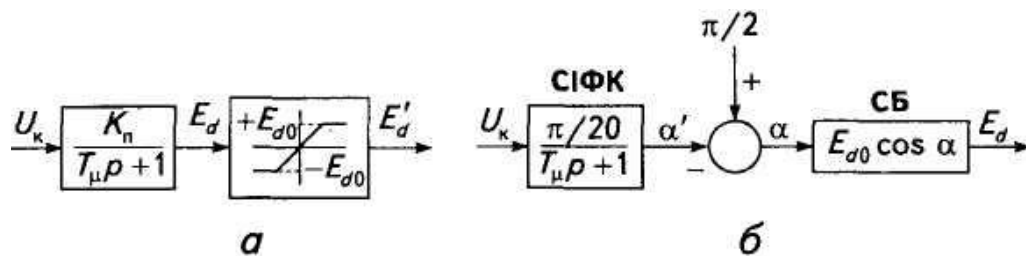


Рисунок 5 - Структурні схеми СІФК

Структурна схема силової частини електропривода з підлеглим регулюванням координат наведена на рис. 6.

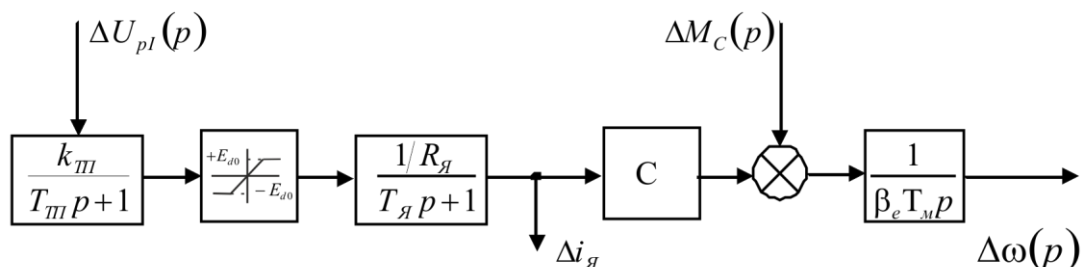


Рисунок 6 - Структурна схема силової частини електроприводу

7. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА І ЕЛЕМЕНТІВ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ ЯКОРЯ У СИСТЕМІ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.

Система підпорядкованого регулювання являє собою багатоконтурну систему з каскадним включенням регуляторів. При цьому число регуляторів і контурів регулювання дорівнює числу регульованих параметрів. У двоконтурній схемі (рис.7) вихідний сигнал регулятора швидкості, включений у зовнішній контур, є заданим для регулятора струму, включеного у внутрішній контур. Налагодження регуляторів відбувається незалежно і послідовно від внутрішнього контуру до зовнішнього.

Функціональна схема контуру струму (рис.8) складається з об'єкта регулювання - ланцюга якоря двигуна, силового перетворювача і регулятора струму. Контур замикається зворотнім зв'язком по величині напруги, що знімається з датчика струму в ланцюзі якорі.

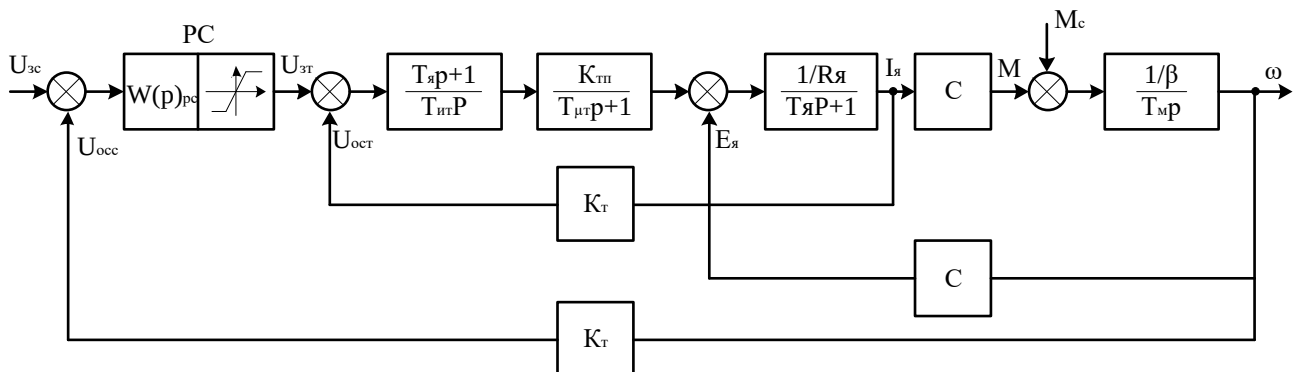


Рисунок 7 - Структурна схема двоконтурної системи підлеглого регулювання швидкості

Передатний коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$K_T = \frac{U_{\text{ост. MAX}}}{I_{\text{ДВ. MAX}}},$$

де $U_{\text{ост}}$ – напруга зворотнього зв'язку по струму, $\text{ост. max} = U_{\text{zt max}} = 10 \text{ В}$;

$U_{\text{zt max}}$ - напруга завдання максимального струму;

$I_{\text{ДВ max}}$ – максимально припустимий струм двигуна в перехідних процесах.

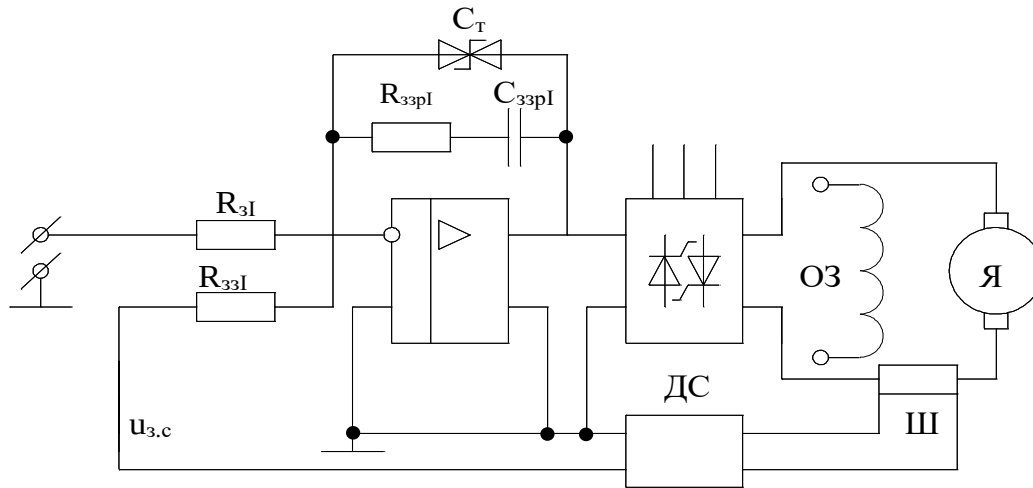


Рисунок 8 - Функціональна схема контуру струму.

Для високомоментного двигуна прийняти $I_{\text{дв max}} = 2 I_n$, що відповідає режиму роботи на номінальних оборотах. При зменшенні оборотів нижче ω_n величина $I_{\text{дв max}}$ буде коректуватися вузлом залежного струмообмеження (убік збільшення)

Налагодження регулятора струму. Тому що об'єкт регулювання в контурі струму поданий аперіодичними ланками, застосовується ПІ-регулятор струму, що настроюється на модульний (технічний) оптимум. При стандартному налагодженні контуру струму звичайно зневажають внутрішнім зворотним зв'язком по ЕРС, що справедливо, якщо електромагнітна (T_E) і електромеханічна (T_M) постійні двигуна значно перевершують постійну часу ТП (T_{Π}), і $T_M \gg T_E$. У випадку невиконання умов, характер перехідного процесу значно відрізняється від оптимального.

Передатна функція об'єкта регулювання контуру струму, приведеного до контуру з одиничним зворотним зв'язком:

$$W_{\text{обт}}(p) = \frac{K_{\Pi} K_T}{T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{1/R_{\text{э}}}{T_{\text{э}} p + 1}.$$

Об'єкт містить велику постійного часу T_E і малу T_{μ} , що називають некомпенсованою малою постійною часу.

$$T_{\mu} = T_{\Pi} + T_T.$$

Передатна функція розімкнутого ланцюга контуру струму:

$$W_{\text{PKI}}(p) = W_{\text{PI}}(p) \cdot W_{\text{обт}}(p) = W_{\text{PI}}(p) \frac{K_T K_{\Pi} / R_E}{(T_E p + 1)(T_{\mu} p + 1)}.$$

Передатна функція оптимізованого контуру при налагодженні на модульний (технічний) оптимум:

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}.$$

Для одержання перехідного процесу в контурі струму, що відповідає налагодженню на МО, визначимо передатну функцію регулятора струму з рівності:

$$W_{PI}(p) \cdot W_{\text{об.л}}(p) = W_{\text{опт}}(p),$$

$$W_{PI}(p) = W_{\text{опт}}(p) / W_{\text{об.л}}(p) = \frac{R_E(T_I p + 1)}{2T_{\mu}pK_TK_{\Pi}} = K_{PI} + \frac{1}{T_{PI}p}.$$

Тобто для відповідності перехідного процесу в контурі регулювання струму перехідному процесу в контурі оптимальної структури, необхідний ПІ-регулятор струму з коефіцієнтом передачі K_{PI} і постійною часу T_{PI} :

$$K_{PI} = \frac{R_E T_E}{2T_{\mu}K_TK_{\Pi}}$$

де $T_{PI} = T_E / K_{PC}$.

Розрахункова структурна схема контуру струму наведена на рис. 9. За умовами високої швидкодії й малого перерегулювання контур струму звичайно настроюється на модульний оптимум (МО).

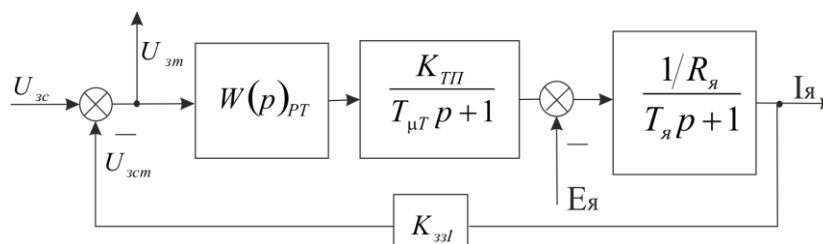


Рисунок 9 – Структурна схема контуру струму

Настроювання на технічний оптимум характеризуються невеликим перерегулюванням 4,3%. Тривалість перехідного процесу визначається тільки малою некомпенсованою постійною часу і складає $4,7 T_{\mu}$.

Розрахунок параметрів регулятора струму. Для розрахунку параметрів регулятора (рис. 10) можна задатися величиною ємності $C_{ззрл}$ (наприклад $(1 \div 10)$ мкФ = $(1 \div 10)10^{-6}$ Ф).

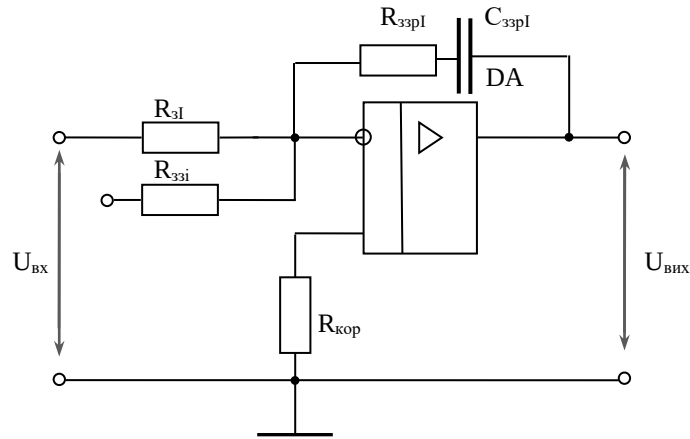


Рисунок 10 - Схема ПІ-регулятора струму

Постійна часу зворотнього зв'язка регулятора:

$$T_{PT}^{\times} = T_E = R_{33PI} C_{33OP},$$

відкіля визначемо R_{33PI} .

Інші параметри:

$$R_{3I} = T_{PI}^{\times} / (K_{PI} C_{33OP}) = T_{PI} / C_{33OP},$$

$$R_T = \frac{K_{шя} K_{дя} R_3}{K_T},$$

де $K_{дя}$ – коефіцієнт передачі датчика струму якоря;

$K_{шя}$ – коефіцієнт передачі шунта.

При протіканні через шунт номінального струму шунта $I_{нш}$, з шунта знімається напруга 75mV, тому:

$$K_{шя} = 75 \cdot 10^{-3} / I_{нш},$$

$$K_{дя} = (10 / 75 \cdot 10^{-3}).$$

Необхідно вибрати номінальний струм шунта $I_{нш}$ з ряду 10, 20, 40, 100, 200, 400 А по номінальному струму тиристорного перетворювача: $I_{нш} \geq I_{нп}$

8. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА КОНТУРУ ШВИДКОСТІ

Налагодження контуру швидкості. Послідовна корекція контуру регулювання швидкості дозволяє створювати уніфіковані електроприводи, які регулюються, з визначними стандартними показниками. Так як з необхідністю

регулювання швидкості потрібне і регулювання моменту двигуна. Розглянемо фізичні властивості системи тиристорний перетворювач – двигун, в якій при регулюванні швидкості працює підпорядкований контур регулювання моменту (струму). З урахуванням передатної функції замкнутого контуру регулювання моменту (струму) структурна схема контуру регулювання швидкості в узагальненій системі ТП - Д представлена на рис. 11.

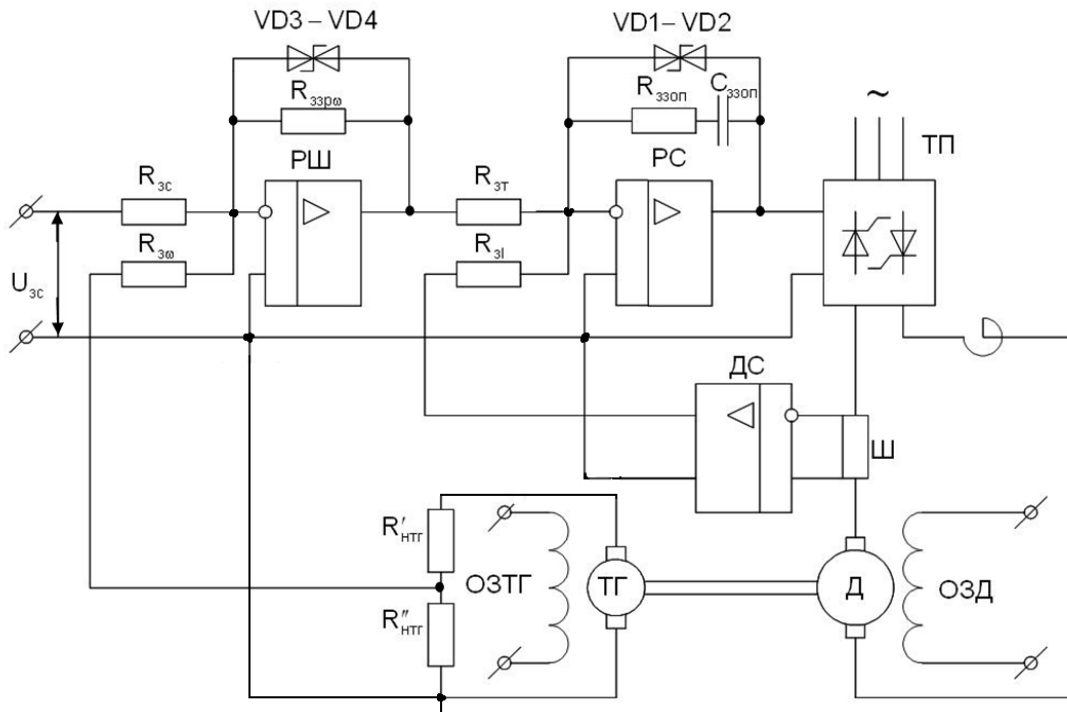


Рисунок 11 - Функціональна схема контуру регулювання швидкості електроприводу.

У відповідності до рисунка (рис. 12) об'єкт регулювання швидкості складається з замкнутого контуру регулювання моменту та механічної ланки електропривода

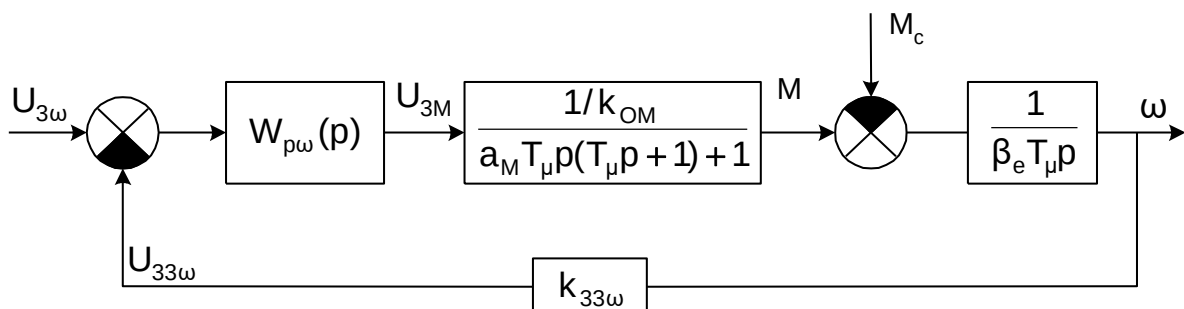


Рисунок 12 - Структурна схема контуру регулювання швидкості в узагальненій системі керування електроприводом.

і має наступну передатну функцію:

$$W_{ор\omega} = \frac{1/k_{ом}}{a_m T_\mu (T_\mu p + 1) + 1} \cdot \frac{1}{\beta_c T_m p}.$$

Якщо ж у виразі передатної функції $W_{замМ}(p)$ не враховувати член, який має p^2 , то наближене значення передатної функції матиме вигляд:

$$W_{ор\omega} = \frac{1/k_{ом}}{a_m T_\mu + 1} \cdot \frac{1}{\beta_c T_m p}.$$

Останнє співвідношення показує, що для контуру швидкості некомпенсована постійна часу дорівнює $T'_{\mu\omega} = a_m T_\mu$, так, як у a_m раз більше, ніж для підпорядкованого контуру регулювання моменту.

Бажана передатна функція для контуру регулювання швидкості:

$$W_{ор\omega} = \frac{1/k_{ом}}{a_\omega a_m T_\mu (a_m T_\mu p + 1) + 1},$$

де $a_\omega = \frac{T_{з\omega}}{T_{\mu\omega}}$ - співвідношення постійних контуру швидкості.

Тоді передатна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{ор\omega}(p) = \frac{W_{раз\omega}(p)}{W_{ар\omega}(p)} = \frac{k_{ом} \beta_c T_m}{k_{з\omega} a_\omega a_m T_\mu} = k_{p\omega}.$$

Таким чином, необхідно використовувати пропорційний регулятор (П – регулятор).

Об'єктом регулювання зовнішнього контуру швидкості є замкнутий контур струму і ланка, що описує механічний опір двигуна. Розрахункова структурна схема контуру швидкості наведена на рис. 13.

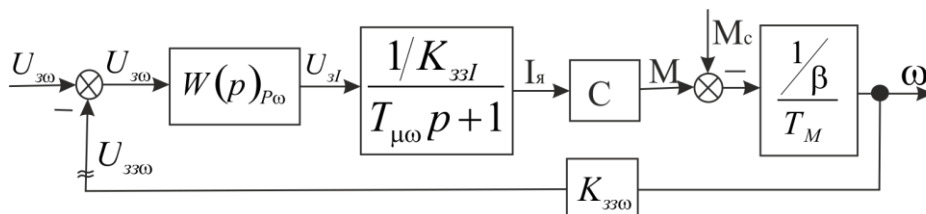


Рисунок 13 - Структурна схема контуру швидкості

Для спрощення рішення завдання синтезу контуру швидкості понизимо порядок передатної функції контуру струму й вважатиме, що контур струму має передатну функцію

$$W(p)_{\kappa Te} = \frac{1/K_{33I}}{a_{\mu T} T_{\mu T} p + 1} = \frac{1/K_{33I}}{T_{\mu \omega} p + 1},$$

тобто $T_{\mu \omega} = a_{\mu T} T_{\mu T}$ - некомпенсована постійна часу контуру швидкості.

Перехідна функція об'єкта регулювання контуру швидкості:

$$W_{Об\omega}(p) = \frac{1/K_T}{2T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{K_M}{T_M p},$$

де $K_M = \frac{R_E}{C}.$

Контур замикається інерційно зворотним зв'язком по швидкості з передатною функцією

$$W_{3\omega}(p) = \frac{K_{\omega}}{T_{\omega} p + 1},$$

$$K_{\omega} = \frac{U_{33.\omega/MAX}}{\omega_{MAX}},$$

де $U_{33\omega \text{ max}}$ – напруга негативного зворотного зв'язка по швидкості,
 $U_{33\omega.MAX} = U_{3II.MAX};$

$U_{3\omega \text{ max}}$ – напруга завдання максимальної швидкості, $U_{3\omega.MAX} = 10B;$

ω_{MAX} – максимальна кутова швидкість двигуна.

Об'єкт регулювання характеризується великою постійною часу T_m , для компенсації якої можна застосувати П- або ПІ-регулятори швидкості. Системи підпорядкованого регулювання з П-регулятором швидкості є інтегрованими однократно. Вони мають достатньо високу швидкодію і мале перерегулювання перехідних процесів, проте мають значний статизм. Такі системи електропривода не спроможні забезпечити великий діапазон регулювання швидкості.

Системи з ПІ-регулятором швидкості називають інтегровані дворазово. Вони забезпечують широкий діапазон регулювання і практично нульову статичну помилку при обуренні по моменту опору. При налагодженню регулятора на симетричний оптимум характеризуються перерегулюванням 43%. Зменшити перерегулювання можна шляхом включення на вхід системи керування фільтра (аперіодична ланка).

Налагодження П-регулятора швидкості. Передатна функція контуру швидкості з П-регулятором:

$$W_{PK\omega}(p) = k_{p\omega} \frac{1/k_T}{T_{\mu\omega}p + 1} \cdot \frac{k_\omega k_M}{T_M p} = k_{PC} \frac{1/k_T}{T_{\mu\omega}p + 1} \frac{Ck_\omega}{Jp},$$

де $T_M = \frac{JR_E}{C^2}$ - електромеханічна постійна часу;

$$k_M = \frac{R_E}{C};$$

$T_{\mu\omega} = 2T_\mu + T_{D\omega}$ - еквівалентна постійна часу контуру швидкості.

Корекція контуру здійснюється за рахунок зміни коефіцієнта підсилення регулятора:

$$k_{p\omega} = k_T T_M / (k_M k_\omega 2T_{\mu\omega}) = \frac{k_T \cdot J}{2T_{\mu\omega} k_\omega C}.$$

Визначення коефіцієнта $K_{p\omega}$ по формулі характеризує налагодження контуру на модульний (технічний) оптимум з коефіцієнтом демпфірування перехідного процесу $\xi = \sqrt{2} / 2$.

Перехідна функція оптимізованого контуру швидкості:

$$W_{PK\omega}(p) = \frac{1}{2T_{\mu\omega}p(T_{\mu\omega}p + 1)},$$

тобто перехідний процес визначається тільки малою постійною часу $T_{\mu\omega}$.

Розрахунок П – регулятора швидкості. Для проектування регулятора швидкості (рис. 14) використовуємо операційний підсилювач для якого визначений бажаний $k_{p\omega}$, $T^\circ C = \pm 40^\circ C$.

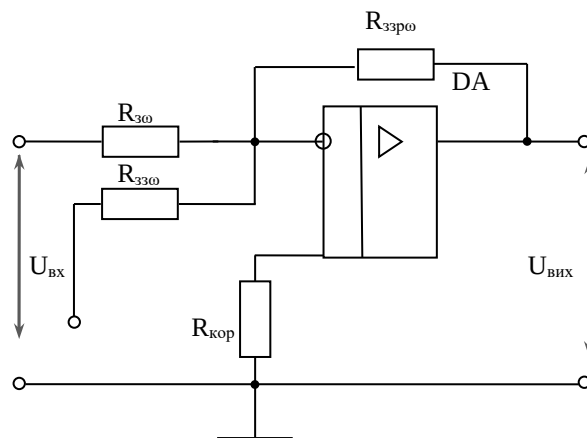


Рисунок 14 - Схема для розрахунку П-регулятора швидкості з обмежувачем рівня.

Враховуючи, що $U_{\text{вихрв}} = -U_{\text{вх}} k_{p\omega}$, знайдемо точний вираз для коефіцієнта передачі інвертуючого підсилювача:

$$k_{Up\omega} = \frac{k_{Uoo} R_{ззр\omega} R_{\text{вхон}}}{R_{\text{вхон}} R_{з\omega} (1 + k_{Uoo}) + R_{ззр\omega} (R_{з\omega} + R_{\text{вхон}})}.$$

Повний вхідний опір підсилювача:

$$R_{\text{вхон}} = R_{з\omega} + R_{\text{вхзз}} = \frac{R_{ззр\omega} R_{\text{вхон}} + R_{з\omega} (R_{\text{вхон}} (1 + k_{Uoo}) + R_{ззр\omega})}{R_{ззр\omega} + R_{\text{вхон}} (1 + k_{Uoo})}.$$

Отримане рівняння вирішується відносно $R_{з\omega}$:

$$R_{з\omega} = \frac{R_{ззр\omega} R_{\text{вхон}} (k_{Uoo} - k_{p\omega})}{k_{p\omega} (R_{ззр\omega} + R_{\text{вхон}} (1 + k_{Uoo}))}.$$

Підставимо значення $R_{з\omega}$ в рівняння для $R_{\text{вхон}}$ та вирішив його відносно $R_{ззон}$ отримаємо:

$$R_{ззр\omega} = \frac{R_{\text{вх}} R_{\text{вхон}} k_{p\omega} (1 + k_{Uoo})}{R_{\text{вхон}} (k_{Uoo} + k_{p\omega}) - R_{\text{вх}} k_{p\omega}},$$

де $R_{\text{вх}}$ - вхідний опір регулятора, $R_{\text{вх}} = 1,0 \text{ кОм}$ (прийнято).

Використовуючи отримані вирази, визначаються опори, та уточнюються згідно з ДСТУ. Після чого визначимо точне значення $k_{p\omega}$:

$$k_{p\omega} = \frac{k_{Uoo} R_{ззр\omega} R_{\text{вхон}}}{R_{\text{вхон}} R_{з\omega} (1 + k_{Uoo}) + R_{ззон} (R_{з\omega} + R_{\text{вхон}})}.$$

Налагодження ПІ-регулятора швидкості. Передатна характеристика розімкнутого контуру швидкості з ПІ-регулятором:

$$W_{PK\omega}(p) = k_{PC} \frac{1 + T_{p\omega}^{\times} p}{T_{p\omega}^{\times} p} \cdot \frac{1}{k_T} \cdot \frac{1}{T_{\mu\omega} p + 1} \cdot \frac{k_{\omega} k_M}{T_M p}$$

При стандартному налагодженню на симетричний оптимум визначимо параметри ПІ-регулятора:

$$W_{PK\omega}(p) = k_{p\omega} \frac{1 + T_{p\omega}^{\times} p}{T_{p\omega}^{\times} p} = k_{p\omega} + \frac{1}{T_{p\omega} p},$$

тут $k_{p\omega} = C k_T T_M / (R_E k_{\omega} 2 T_{\mu\omega})$;

$$T_{p\omega}^{\times} = 4 T_{\mu\omega};$$

$$T_{P\omega} = T_{P\omega}^{\times} / k_{P\omega}.$$

Підставимо значення $K_{P\omega}$ і $T_{P\omega}^{\times}$, та одержимо:

$$W_{PK\omega}(p) = (1 + 4T_{\mu\omega}p) / (8T_{\mu\omega}^2 p^2 (1 + T_{\mu\omega}p)),$$

тобто регулятор компенсував постійну часу, що є великою - T_m і динамічні властивості контуру визначається тільки по малою постійною часу $T_{\mu\omega}$.

Перехідна функція фільтра на вході системи керування з ПІ-регулятором швидкості:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{1 + 4T_{\mu c}p}.$$

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора швидкості. Для розрахунку параметрів ПІ-регулятора швидкості (рис.15), задавшись розміром ємності C_{33OP} (наприклад $(1 \div 10) \text{ мкФ} = (1 \div 10) 10^{-6} \text{ Ф}$), визначим R_{33OP} із відношення:

$$T_{P\omega}^{\times} = R_{33OP} C_{33OP}.$$

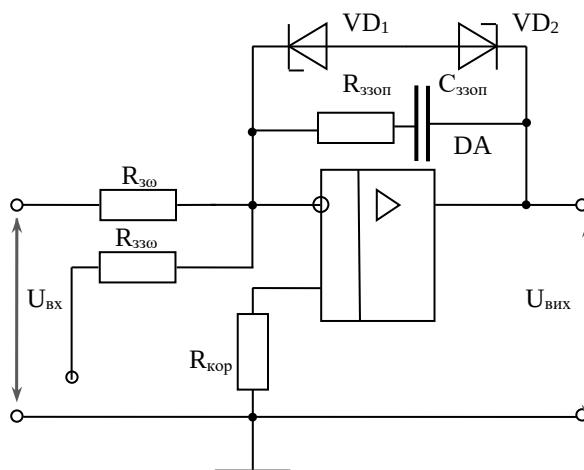


Рисунок 15 - Схема ПІ-регулятора швидкості з обмежувачем рівня.

Інші параметри елементів регулятора:

$$R_{3\omega} = T_{P\omega}^{\times} / (k_{P\omega} C_{33OP}) = T_{P\omega} / C_{33OP},$$

$$R_{\omega} = k_{T\Gamma} R_{3\omega} / k_{33\omega},$$

де $K_{T\Gamma}$ – коефіцієнт передачі тахогенератора, що визначаємо по довіднику [9-11] або по формулі:

$$k_{T\Gamma} = U_{T\Gamma} / \omega_{T\Gamma},$$

тут $K_{зз\omega}$ – передатний коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості.

Для визначення параметрів ПІ-регулятора можна задатися значенням $R_{з\omega}$, і для відомого $K_{р\omega}$ визначити:

$$R_{зз} = k_{р\omega} R_{\omega},$$
$$R_{\omega} = R_{з\omega} k_{ТХГ} / k_{\omega}.$$

9. ПОБУДОВА СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.

Для замкнутої системи відповідно до рівняння:

$$\omega = \frac{U_{з\omega}}{k_{\omega}} - \frac{Ik_{Т}}{k_{\omega} k_{р\omega}} = \omega_0 - \Delta\omega_3,$$

Побудувати три характеристик для $U_{з\omega}$, відповідного до $\omega_{\max}$, ω_n , $\omega_{\min}$, відповідно швидкостям руху, що задаються робочому органу.

Для розімкнутої системи відповідно до рівняння:

$$\omega = \frac{U_K k_{П} - IR_E}{C} = \omega_0 - \Delta\omega_p.$$

Побудувати три характеристики, розрахувавши U_K , щоб обороти ідеальної холостої ходи збігалися з відповідними точками характеристик для замкнутої системи.

Для кожної пари характеристик

$$\omega_0 = \frac{U_{з\omega}}{k_{\omega}} = \frac{U_K k_{П}}{C}$$

відкіля $U_K = \frac{U_{з\omega} C}{k_{\omega} k_{П}}.$

10. МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ КОНТУРІВ СТРУМУ ТА ШВИДКОСТІ НА ПЕВМ

Розрахунок виконано за допомогою програми SamSim v1.1.0. Програма SamSim v1.1.0, 2004 призначена для модулювання лінійних та нелінійних ланцюгів в системах автоматичного керування. За допомогою цієї програми

МОЖЛИВО:

- побудова будь-яких схем моделей з пропонуємих бібліотек елементів;
- завдання параметрів інтегрування і параметрів елементів схеми;
- збереження в файлі та зчитування із файла моделі;
- побудова залежностей від часу в будь-яких точках схеми;
- представлення результатів розрахунку у графічній і табличній формах;
- збереження графіків у bmp- чи jpg-файлі;
- вивід на друк схеми та її параметрів, результатів розрахунку.

Для дослідження перехідних характеристик контуру струму з пропонуємих бібліотек елементів програми SamSim v1.1.0. складається робочу структурну схему рис. 16.

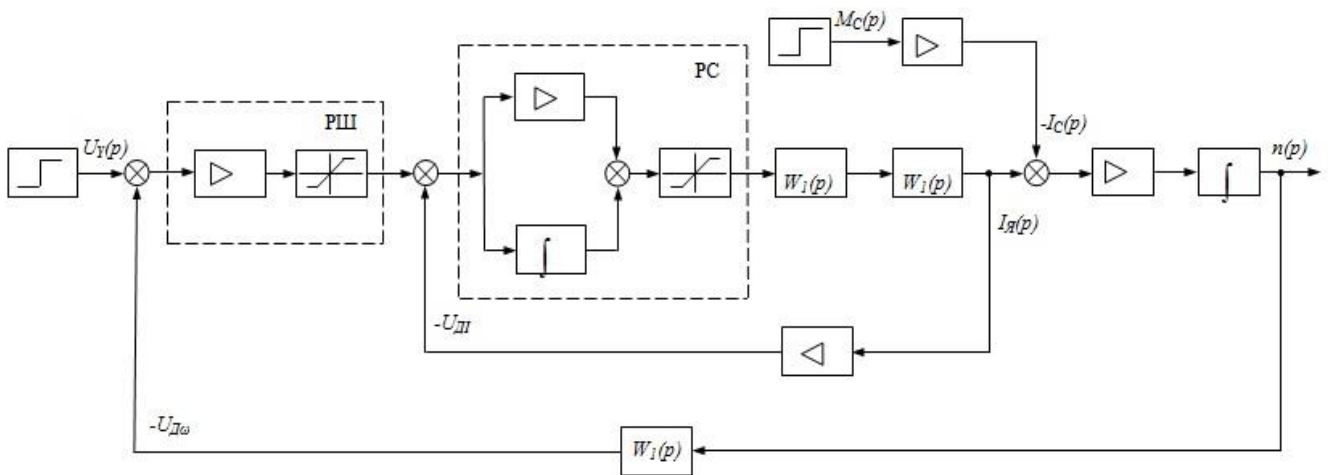


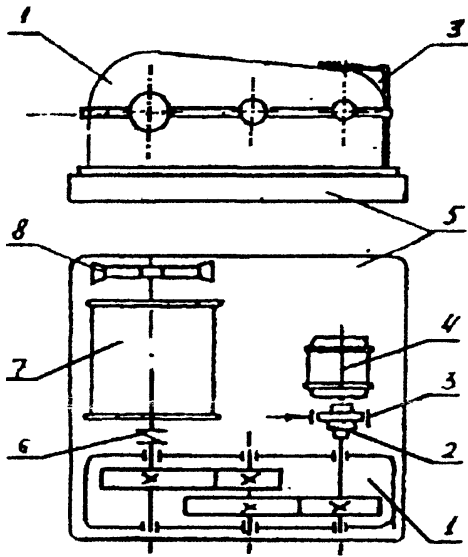
Рисунок 16 - Модель двоконтурної системи керування електроприводом

Відповідно до обраного типу ланки згідно попередніх розрахунків задаємо параметри:

- вхідний ступеневий сигнал ($A_1 = 10$, $T = 10$);
- регулятор струму: пропорційна ланка, інтегруюча ланка, обмежувач рівні вихідної напруги;
- аперіодична (інерційна) ланка 1-го порядку;
- аперіодична (інерційна) ланка 1-го порядку;
- пропорційна ланка у колі зворотного зв'язку за струмом;
- пропорційна ланка у колі зворотного зв'язку за швидкістю;
- вхідний ступеневий сигнал навантаження;
- пропорційна ланка у колі навантаження;
- пропорційна ланка;
- інтегруюча ланка.

11. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Тема курсової роботи: „Система керування електроприводом вантажної лебідки”



- P – тягове зусилля на барабані
 V – швидкість намотування канату
 L – довжина канату, що намотується на барабан
 1 – редуктор
 2 – муфта упруга
 3 – гадьмо
 4 – електродвигун
 5 – фундаментна рама
 6 – муфта
 7 – барабан
 8 – опора барабана

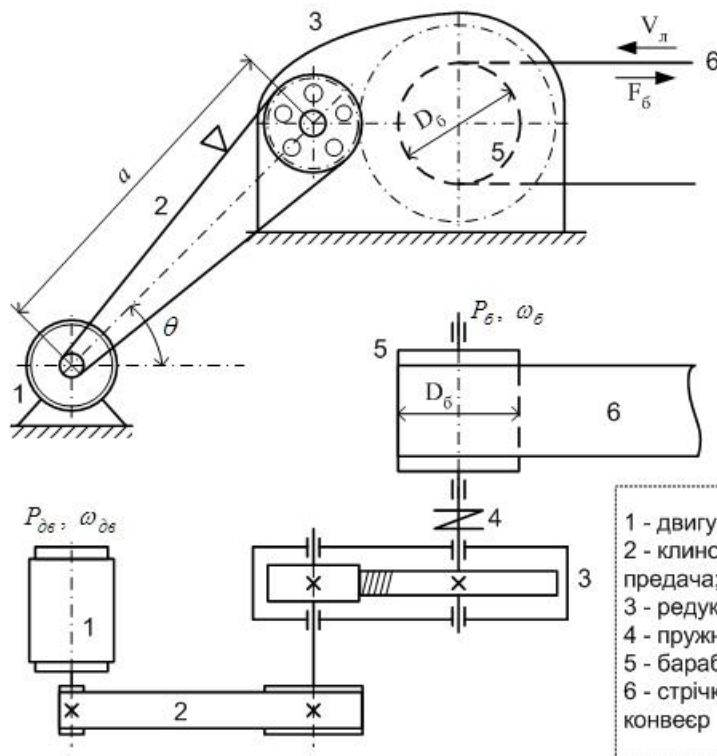
Таблиця 1 – Вихідні дані до курсової роботи

№ варіанту	Вантажна лебідка					Електродвигун		
	P , т	V , м/хв	L , м	D_6 , м	GD_H^2 , кг·м	$U_{ном}$, В	Род струму	λ_i
1	1,2	50	45	0,30	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,1
2	1,4	45	45	0,32	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,1
3	1,6	50	45	0,35	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,1
4	1,8	45	45	0,40	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,1
5	2,0	50	40	0,42	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,1
6	2,2	45	40	0,45	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,0
7	2,4	50	40	0,30	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,0
8	2,6	45	40	0,32	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,0
9	2,8	35	30	0,35	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,0
10	3,3	45	30	0,40	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,0
11	3,5	35	30	0,42	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,3
12	3,7	45	30	0,45	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,3
13	3,9	35	35	0,30	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,3
14	4,0	47	35	0,32	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,3
15	1,3	35	35	0,35	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,3
16	1,5	47	35	0,40	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
17	1,7	35	42	0,42	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
18	1,9	47	42	0,45	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
19	2,1	35	42	0,30	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4

№ варіанту	Вантажна лебідка					Електродвигун		
	P, т	V, м/хв	L, м	D _б , м	GD_H^2 , кг·м	U _{ном} , В	Род струму	λ_i
20	2,3	47	42	0,32	$4GD_J^2$	220	постійний	2,4
21	2,5	40	45	0,40	$4GD_J^2$	220	постійний	2,2
22	2,7	30	45	0,42	$4GD_J^2$	220	постійний	2,2
23	2,9	40	45	0,45	$4GD_J^2$	220	постійний	2,2
24	3,1	30	30	0,30	$4GD_J^2$	220	постійний	2,2
25	3,3	45	30	0,40	$4GD_J^2$	220	постійний	2,2
Система керування електроприводом								
№ варіанту	U _м , В	U _{су тп} , В	U _{тп} , В	a_i	a_ω	U _{у. пл} , В	U _{у. рω} , В	
1	380	10	230	1 ÷ 4	1 ÷ 4	10	10	
...	380	10	230	1 ÷ 4	1 ÷ 4	10	10	
25	380	10	230	1 ÷ 4	1 ÷ 4	10	10	

Примітка: для всіх варіантів прийняти $\xi_0 = 80$

Тема курсової роботи: „Система керування електроприводом стрічкового конвеєра”



Кінематична схема приводу стрічкового конвеєра:

$F_{л}$ — тягове зусилля на стрічці;

$V_{л}$ — швидкість руху стрічки;

$D_{б}$ - діаметр барабану;

θ - кут нахилу відкритої передачі

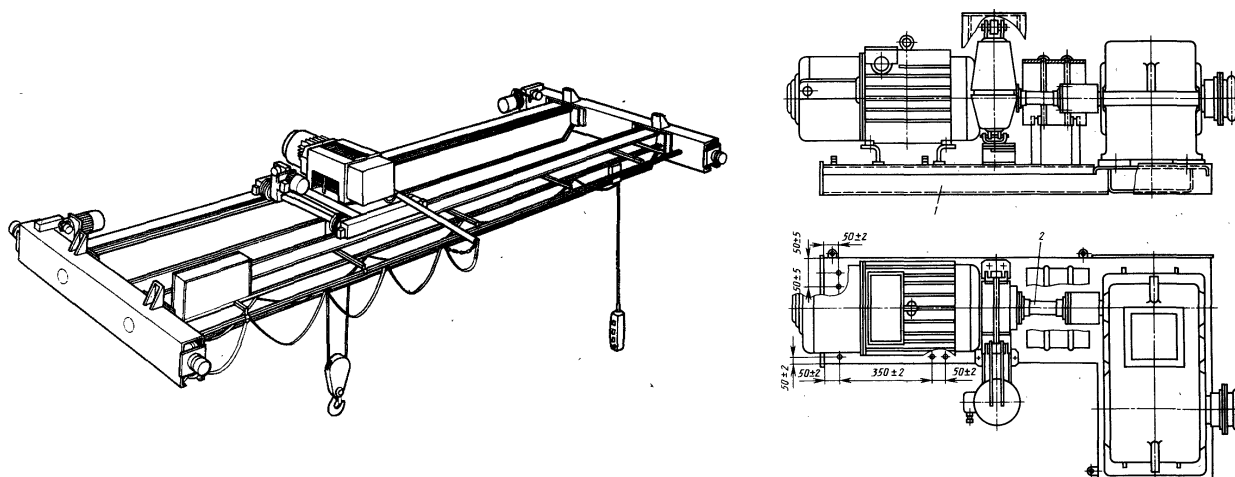
Таблиця 1 – Вихідні дані до курсової роботи

№ варіанту	Стрічковий конвеєр					Електродвигун		
	$F_{л}$, кН	$V_{л}$, м/с	$D_{б}$, м	k_3 ,	GD_H^2 , кг·м	$U_{ном}$, В	Род струму	λ_i
1	5	1,1	0,30	1,11	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,1
2	6	1,1	0,32	1,11	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,1
3	7	1,1	0,35	1,11	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,1
4	8	1,1	0,40	1,13	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,1
5	9	1,1	0,42	1,13	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,1
6	10	1,15	0,45	1,13	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,0
7	5	1,15	0,30	1,15	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,0
8	6	1,15	0,32	1,15	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,0
9	7	1,15	0,35	1,15	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,0
10	8	1,15	0,40	1,18	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,0
11	9	1,2	0,42	1,18	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,3
12	10	1,2	0,45	1,18	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,3
13	5	1,2	0,30	1,20	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,3
14	6	1,2	0,32	1,20	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,3
15	7	1,2	0,35	1,20	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,3
16	8	1,25	0,40	1,19	$4GD_{я}^2$	220	постійний	2,4

№ варіанту	Стрічковий конвеєр					Електродвигун		
	$F_{л}, \text{кН}$	$V_{л}, \text{м/с}$	$D_{б}, \text{м}$	$k_3,$	$GD_H^2, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$U_{ном}, \text{В}$	Род струму	λ_i
17	9	1,25	0,42	1,19	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
18	10	1,25	0,45	1,19	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
19	5	1,25	0,30	1,17	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
20	6	1,25	0,32	1,17	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,4
21	7	1,3	0,35	1,17	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,2
22	8	1,3	0,40	1,14	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,2
23	9	1,3	0,42	1,14	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,2
24	10	1,3	0,45	1,14	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,2
25	5	1,3	0,30	1,12	$4GD_{Я}^2$	220	постійний	2,0
Система керування електроприводом								
№ варіанту	$U_{м}, \text{В}$	$U_{су\ TP}, \text{В}$	$U_{TP}, \text{В}$	a_i	a_{ω}	ξ_0	$U_{y.pI}, \text{В}$	$U_{y.p\omega}, \text{В}$
1	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10
...	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10
25	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10

Примітка: для всіх варіантів прийняти $\xi_0 = 80$

Тема курсової роботи: „Система керування електроприводом механізму руху моста універсального крану”



Кінематична схема механізму руху моста

Таблиця 1 – Вихідні дані до курсової роботи

№ варіанту	Механізм руху моста						Електродвигун		
	Вантажо-підйомність $m_{ном}, т$	$v, м/с$	$a, м/с^2$	Діаметр ходових колес, $D_k, м$	$ПВ_{ном}, \%$	Число вмикань за годину, h	$U_{ном}, В$	Род струму	λ_i
1.	6,3	1,2	0,20	0,5	25	55	220	постійний	2,1
2.	6,3	1,4	0,19	0,5	25	65	220	постійний	2,1
3.	6,3	1,5	0,18	0,5	25	70	220	постійний	2,1
4.	6,3	1,5	0,2	0,5	25	60	220	постійний	2,1
5.	5,0	1,6	0,21	0,5	15	55	220	постійний	2,1
6.	5,0	1,6	0,22	0,5	15	60	220	постійний	2,2
7.	5,0	1,5	0,2	0,5	25	65	220	постійний	2,2
8.	5,0	1,5	0,19	0,5	25	70	220	постійний	2,2
9.	8,0	1,4	0,18	0,56	25	65	220	постійний	2,2
10.	8,0	1,3	0,17	0,56	25	60	220	постійний	2,2
11.	8,0	1,2	0,16	0,56	15	55	220	постійний	2,0
12.	8,0	1,1	0,15	0,56	15	50	220	постійний	2,0
13.	4,0	1,6	0,21	0,4	25	60	220	постійний	2,0
14.	4,0	1,7	0,22	0,4	25	65	220	постійний	2,0
15.	4,0	1,8	0,23	0,4	40	70	220	постійний	2,0
16.	4,0	1,9	0,24	0,4	40	75	220	постійний	2,3
17.	10	1,3	0,15	0,63	15	55	220	постійний	2,3
18.	10	1,2	0,14	0,63	15	50	220	постійний	2,3
19.	10	1,1	0,13	0,63	25	45	220	постійний	2,3
20.	10	1,0	0,12	0,63	25	40	220	постійний	2,3
21.	3,2	2,0	0,24	0,4	40	110	220	постійний	2,4
22.	3,2	1,9	0,22	0,4	40	100	220	постійний	2,4
23.	3,2	1,8	0,23	0,4	40	90	220	постійний	2,4

№ варіанту	Механізм руху моста						Електродвигун		
	Вантажо- підйомність $m_{\text{ном}}, \text{т}$	$v, \text{м/с}$	$a, \text{м/с}^2$	Діаметр ходових колес, $D_k, \text{м}$	$P_{\text{в ном}}, \%$	Число вмикань за годину, h	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Род струму	λ_i
24.	3,2	1,7	0,22	0,4	40	80	220	постійний	2,4
25.	12,5	1,0	0,11	0,71	15	30	220	постійний	2,0
Система керування електроприводом									
	$U_m, \text{В}$	$U_{\text{сч тп}}, \text{В}$	$U_{\text{тп}}, \text{В}$	a_i	a_{ω}	ξ_0	$U_{\text{в. рл}}, \text{В}$	$U_{\text{в. ро}}, \text{В}$	
1.	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10	
....	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10	
25.	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10	

Примітка: для всіх варіантів прийняти: $\xi_0 = 80$;

$$m_M = (2,5 \div 3,0)m_{\text{ном}}, \text{т};$$

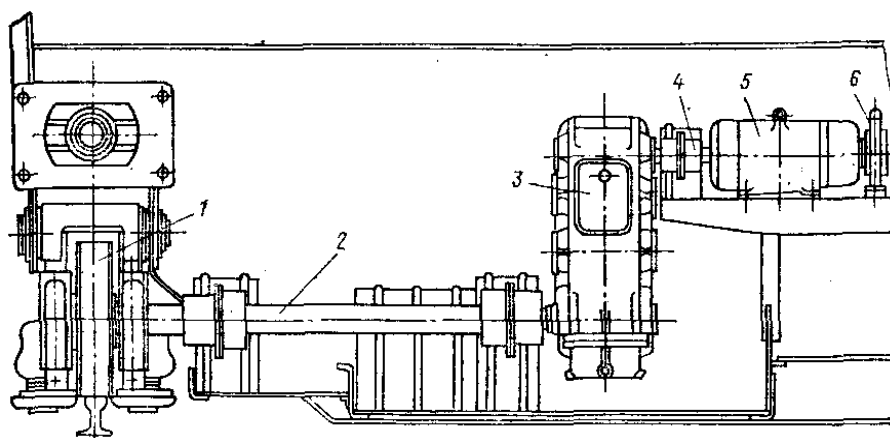
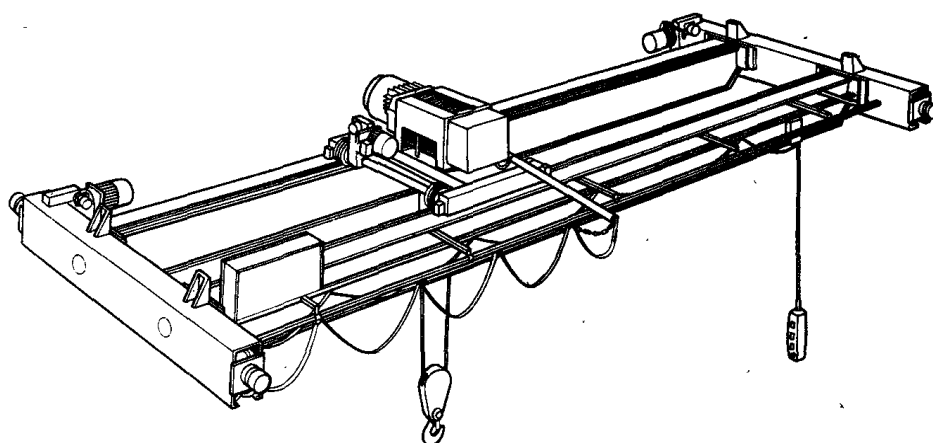
$$m_B = (0,35 \div 0,4)m_{\text{ном}}, \text{т};$$

$k_p = 1,5$ – коефіцієнти тертя реборд ходових коліс;

$\mu = 0,1$; $f = 0,6 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнти тертя;

$\eta_{\text{мех}} = 0,8$ – ККД механізм

Тема курсової роботи: „Система керування електроприводом механізму руху моста універсального крану”



Кінематична схема механізму руху моста:

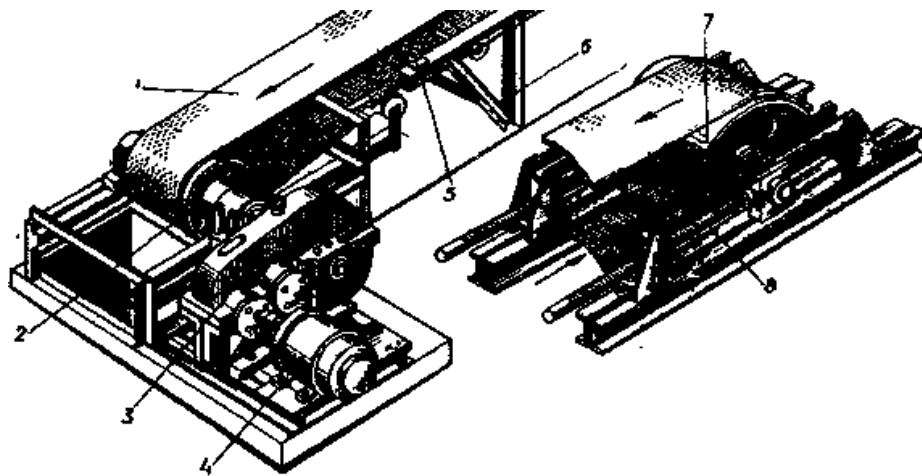
1 – ходове колесо з кутовими буксами; 2 – вал вставка з одно венцовими зубчастими муфтами; 3- вертикальний редуктор; 4 – дво венцова зубчаста муфта; 5 – електродвигун; 6 - гальмо

Таблиця 1 – Вихідні дані до курсової роботи

№ варіанту	Механізм руху моста						Електродвигун		
	Вантажо-підйомність $m_{ном}, т$	$v, м/с$	$a, м/с^2$	Діаметр ходових колес, $D_k, м$	$ПВ_{ном}, \%$	Число вмикань за годину, h	$U_{ном}, В$	Род струму	λ_i
1.	6,3	1,2	0,20	0,5	25	55	220	постійний	2,1
2.	6,3	1,4	0,19	0,5	25	65	220	постійний	2,1
3.	6,3	1,5	0,18	0,5	25	70	220	постійний	2,1
4.	6,3	1,5	0,2	0,5	25	60	220	постійний	2,1
5.	5,0	1,6	0,21	0,5	15	55	220	постійний	2,1
6.	5,0	1,6	0,22	0,5	15	60	220	постійний	2,2
7.	5,0	1,5	0,2	0,5	25	65	220	постійний	2,2
8.	5,0	1,5	0,19	0,5	25	70	220	постійний	2,2
9.	8,0	1,4	0,18	0,56	25	65	220	постійний	2,2

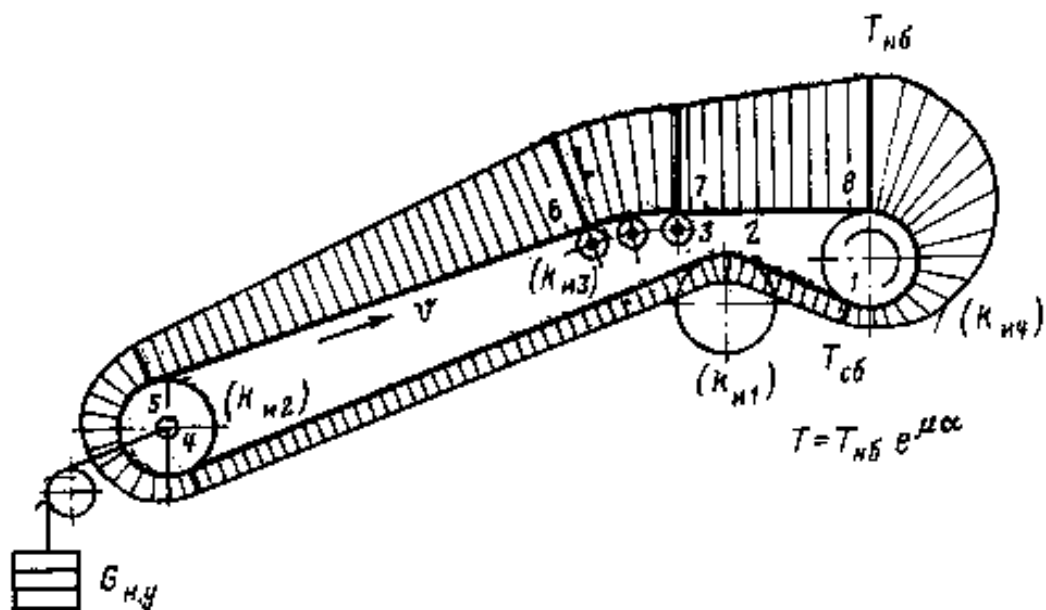
№ варіанту	Механізм руху моста						Електродвигун		
	Вантажо- підйомність $m_{\text{ном}}, \text{т}$	$v, \text{м/с}$	$a, \text{м/с}^2$	Діаметр ходових колес, $D_k, \text{м}$	$PV_{\text{ном}}, \%$	Число вмикань за годину, h	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Род струму	λ_i
10.	8,0	1,3	0,17	0,56	25	60	220	постійний	2,2
11.	8,0	1,2	0,16	0,56	15	55	220	постійний	2,0
12.	8,0	1,1	0,15	0,56	15	50	220	постійний	2,0
13.	4,0	1,6	0,21	0,4	25	60	220	постійний	2,0
14.	4,0	1,7	0,22	0,4	25	65	220	постійний	2,0
15.	4,0	1,8	0,23	0,4	40	70	220	постійний	2,0
16.	4,0	1,9	0,24	0,4	40	75	220	постійний	2,3
17.	10	1,3	0,15	0,63	15	55	220	постійний	2,3
18.	10	1,2	0,14	0,63	15	50	220	постійний	2,3
19.	10	1,1	0,13	0,63	25	45	220	постійний	2,3
20.	10	1,0	0,12	0,63	25	40	220	постійний	2,3
21.	3,2	2,0	0,24	0,4	40	110	220	постійний	2,4
22.	3,2	1,9	0,22	0,4	40	100	220	постійний	2,4
23.	3,2	1,8	0,23	0,4	40	90	220	постійний	2,4
24.	3,2	1,7	0,22	0,4	40	80	220	постійний	2,4
25.	12,5	1,0	0,11	0,71	15	30	220	постійний	2,0
Система керування електроприводом									
	$U_m, \text{В}$	$U_{\text{сч ТП}}, \text{В}$	$U_{\text{ТП}}, \text{В}$	a_i	a_{ω}	ξ_0	$U_{y.p1}, \text{В}$	$U_{y.p\omega}, \text{В}$	
1.	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10	
....	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10	
25.	380	10	230	$1 \div 4$	$1 \div 4$	80	10	10	

Тема курсової роботи: „ Система керування електроприводом приводної станції стрічкового конвеєру ”



Кінематична схема електроприводу приводної станції:

- 1 – стрічка конвеєру; 2 – приводний барабан; 3 – редуктор; 4 - електродвигун;
5 – роликові опори; 7 – опора металоконструкції; 7 – натяжний барабан;
8 – натяжний пристрій



Епюра натягу стрічкового конвеєру

Таблиця 1 – Вихідні дані до курсової роботи

№ варіанту	Стрічковий конвеєр												
	Продуктивність П, кг·год	v, м/с	$a_{прит},$ м/с ²	Маса 1 м стрічки m_0^* , кг/м	Кути обхвату барабанів		Довжини та кути нахилу до горизонту ділянок						
					приводного α_n , град	натяжного α_n , град	L ₁₂ , м	L ₃₄ , м	L ₅₆ , м	L ₇₈ , м	$\beta_{34}=\beta_{56}$, град	β_{12} , град	β_{78} , град
1.	$55 \cdot 10^3$	1,6	0,4	8,0	210	180	0,8	95	93	3,0	9	-30	0
2.	$55 \cdot 10^3$	1,6	0,4	8,0	210	180	0,8	90	88	3,0	12	-30	0
3.	$55 \cdot 10^3$	1,6	0,4	8,2	210	180	0,8	85	83	3,0	15	-30	0
4.	$55 \cdot 10^3$	1,5	0,4	8,2	210	180	0,8	80	78	3,0	18	-30	0
5.	$50 \cdot 10^3$	1,5	0,4	8,4	210	180	0,8	75	73	3,0	12	-30	0
6.	$50 \cdot 10^3$	1,5	0,4	8,4	210	180	0,8	70	68	3,0	15	-30	0
7.	$50 \cdot 10^3$	1,4	0,4	8,6	210	180	0,8	65	63	3,0	18	-30	0
8.	$50 \cdot 10^3$	1,4	0,4	8,6	210	180	0,8	60	58	3,0	21	-30	0
9.	$60 \cdot 10^3$	1,4	0,4	8,8	210	180	0,8	65	63	3,0	9	-30	0
10.	$60 \cdot 10^3$	1,3	0,4	8,8	210	180	0,8	70	68	3,0	12	-30	0
11.	$60 \cdot 10^3$	1,3	0,4	9,0	210	180	0,8	60	58	3,0	15	-30	0
12.	$60 \cdot 10^3$	1,3	0,4	9,0	210	180	0,8	65	63	3,0	18	-30	0
13.	$45 \cdot 10^3$	1,2	0,4	9,2	210	180	0,8	70	68	3,0	12	-30	0
14.	$45 \cdot 10^3$	1,2	0,4	9,2	210	180	0,8	75	73	3,0	15	-30	0
15.	$45 \cdot 10^3$	1,2	0,4	9,4	210	180	0,8	80	78	3,0	18	-30	0
16.	$45 \cdot 10^3$	1,1	0,4	9,4	210	180	0,8	70	68	3,0	21	-30	0
17.	$65 \cdot 10^3$	1,1	0,4	9,6	210	180	0,8	75	73	3,0	3	-30	0
18.	$65 \cdot 10^3$	1,1	0,4	9,6	210	180	0,8	80	78	3,0	6	-30	0
19.	$65 \cdot 10^3$	1,0	0,4	9,8	210	180	0,8	85	83	3,0	9	-30	0
20.	$65 \cdot 10^3$	1,0	0,4	9,8	210	180	0,8	90	88	3,0	12	-30	0
21.	$40 \cdot 10^3$	1,0	0,4	10,2	210	180	0,8	85	83	3,0	15	-30	0
22.	$40 \cdot 10^3$	0,9	0,4	10,2	210	180	0,8	90	88	3,0	18	-30	0
23.	$40 \cdot 10^3$	0,9	0,4	10,4	210	180	0,8	95	93	3,0	21	-30	0
24.	$40 \cdot 10^3$	0,9	0,4	10,4	210	180	0,8	100	98	3,0	24	-30	0
25.	$70 \cdot 10^3$	0,8	0,4	10	210	180	0,8	80	78	3,0	15	-30	0
	Електродвигун			Система керування електроприводом									
	Род струму	U _{ном} , В	λ_i	U _м , В	U _{сy тп} , В	U _{тп} , В	a_i	a_{ω}	ξ_0	U _{y. пл} , В	U _{y. ро} , В		
1.	постійний	220	2,1	380	10	230	1 ÷ 4	1 ÷ 4	80	10	10		
...	постійний	220	2,1	380	10	230	1 ÷ 4	1 ÷ 4	80	10	10		
25	постійний	220	2,1	380	10	230	1 ÷ 4	1 ÷ 4	80	10	10		

Примітка: Для всіх варіантів значення коефіцієнтів тертя та опору руху прийняти наступними:

$$\begin{aligned}\mu &= 0,1; c_n = 0,025; \\ k_{н1} &= 1 + c_{н1} = 1,03; \\ k_{н2} &= 1 + c_{н2} = 1,05; \\ k_{н3} &= 1 + c_{н3} = 1,02; \\ k_{н3} &= 1,05.\end{aligned}$$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.
2. Терехов В.М., Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 304 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. О.Г.Васильєв, А.М.Фоменко. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни „Системи управління електроприводами (Курсовий проект)": Методичні вказівки. – Миколаїв; ІЗДО НУК, 2007. – 43 с.
5. Васильєв О.Г., Фоменко А.М., Віштакалюк А.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу “Системи управління електроприводами”. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 65 с.
6. Аркадьєв В.Ю., Шевченко В.В., Крупица П.А. Проектирование электропривода / Под общей редакцией доктора технических наук, профессора Аркадьева В.Ю. – Херсон: Айлант, 2002. – 120 с.
7. Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам: Учеб. пособие для студ. – М.: Издательский центр “Академия”, 2005. – 480 с.
8. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
9. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
10. Справочник по автоматизированному электроприводу /Под ред. В.А.Елисеева, А.В.Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
11. Довідник по проектуванню автоматизованого електропривода і систем управління технологічними процесами за редакцією Круповича В.И. і ін. М.: Энергоавтомиздат, 1982 р, стор.340.
12. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман А.М. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. - Л.: Энергия, 1971. – 440 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Фізичні величини, що використовуються в методичних вказівках	5
Перелік умовних скорочень	6
1. Завдання на курсову роботу.....	7
2. Технічні вимоги до системи керування	9
3. Функціональні та структурні схеми загальнопромислового електроприводу	9
4. Вибір двигуна і тиристорного перетворювача електропривода	12
5. Розрахунок індуктивності реакторів	16
6. Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача	21
7. Розрахунок параметрів регулятора і елементів контуру регулювання струму якоря у системі підпорядкованого регулювання	23
8. Розрахунок параметрів регулятора контуру швидкості	26
9. Побудова статичних характеристик	33
10. Моделювання перехідних процесів контурів струму та швидкості на ПЕВМ	33
11. Варіанти завдань	35
Список використаних літературних джерел	46
Додатки.....	47

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра автоматики і електроустаткування

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни: **“Системи керування технологічними об’єктами та енерготехнічними процесами”**

на тему: _____

Здобувача IV курсу, групи 4387
галузь знань 17 “Електроніка, автоматизація та
електронні комунікації”
спеціальність 174 “Автоматизація,
комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії	_____	_____
	підпис	(прізвище та ініціали)

	_____	_____
	підпис	(прізвище та ініціали)

	_____	_____
	підпис	(прізвище та ініціали)

Зміст

					174 4387 КР ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.					(Тема курсової роботи)	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.								
						ХННІ НУК		
Н. Контр.								
Затверд.	.							

Додаток 3

					174 4387 КР ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Навчальне видання

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ТА ЕНЕРГОТЕХНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Методичні вказівки

до виконання курсової роботи з галузі знань

17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

*Спеціальності: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»*

*Освітньо-професійна програма: «Автоматизоване управління
технологічними об'єктами та комплексами»*

Укладач: О. М. Філіпчук

Формат 60×84¹/₁₆. Ум. друк. арк. 2,9. Тираж 100 пр. Зам. № 1421.

ВИДАВЕЦЬ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.



PROFIT