

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра енергетики аграрного виробництва

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Методичні рекомендації
для виконання курсового проекту
здобувачами ступеня вищої освіти «спеціаліст» та «магістр»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» денної та заочної форм навчання**

МИКОЛАЇВ

2016

УДК 681.5.01

ББК 40.7

A22

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету МНАУ, протокол № 8 від «21» квітня 2016 р.

Укладач:

О. В. Хвощан – канд. техн. наук, старший викладач кафедри енергетики аграрного виробництва Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти:

С. В. Петриченко – канд. техн. наук, заст. директора з наукової роботи Інституту імпульсних процесів і технологій (ІПТ) Національної академії наук України;

О. О. Плахтир – канд. техн. наук, доцент кафедри енергетики аграрного виробництва Миколаївського національного аграрного університету.

© Миколаївський національний аграрний
університет, 2016

Зміст

Вступ	4
1. Завдання на курсовий проект	5
2. Зміст розрахунково-пояснювальної записки	5
3. Вимоги до оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини курсового проекту	6
4. Загальні відомості про об'єкт автоматизації	8
5. Розрахунок потужності електроприводу автоматизованого конвеєру	9
6. Розробка функціональної схеми автоматизованого електроприводу	10
7. Розробка структурної схеми автоматизованої системи керування	13
8. Розрахунок параметрів елементів автоматизованої системи .	19
8.1. Складання рівняння тиристорного перетворювача	19
8.2. Складання рівняння двигуна постійного струму з незалежним збудженням	22
8.3. Розрахунок датчиків струму і частоти обертання ДПС	26
8.4. Розрахунок параметрів регуляторів струму та швидкості	27
9. Розробка принципової схеми автоматизованого електроприводу .	28
10. Аналіз динаміки розробленої системи керування	30
10.1. Створення моделі Simulink	31
10.2. Моделювання системи	35
11. Приклад розрахунку автоматизованої САК	37
Література	44
Додаток А	45
Додаток Б	47
Додаток В	48
Додаток Г	50
Додаток Д	51

Вступ

Основна мета даних методичних рекомендацій полягає у наданні допомоги студентам у курсовому проектуванні з дисципліни “Автоматизація технологічних процесів”. Матеріал, наведений у рекомендаціях, узгоджений з навчальним планом ступеня вищої освіти «спеціаліст» та «магістр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання, затвердженим Департаментом вищої освіти Міністерства освіти і науки України та робочою навчальною програмою дисципліни, розробленою на кафедрі енергетики аграрного виробництва та затвердженою методичною комісією Миколаївського національного аграрного університету. Виконання курсового проектування з дисципліни передбачає вивчення теоретичного матеріалу, використання сучасного програмного забезпечення.

Курсовий проект з дисципліни "Автоматизація технологічних процесів" виконується з метою придбання студентами навичок проектування автоматичних систем керування технологічних установок і умінням застосовувати на практиці отримані теоретичні знання. Завданням передбачається проектування системи автоматичного керування електроприводу зерноперевантажувального конвеєра з метою забезпечення необхідних технологічних показників.

1. Завдання на курсовий проект

Тема проекту: Розробка автоматизованої системи керування електроприводом зерноперевантажувального конвеєра.

Завдання: Розрахувати та спроектувати автоматизовану систему керування електроприводу зерноперевантажувального конвеєра.

Технологічні показники конвеєра та вимоги до показників якості перехідних процесів системи керування обрати з таблиць 1Д, 2Д, згідно з варіантом, вказаним викладачем.

2. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Розрахунково-пояснювальна записка має містити наступні розділи та підрозділи:

1. Опис зерноперевантажувального конвеєра.
2. Розрахунок потужності електроприводу (ЕП) автоматизованого конвеєру.
3. Розробка функціональної схеми автоматизованого електроприводу.
4. Розробка структурної схеми автоматизованої системи керування.
5. Розрахунок параметрів елементів автоматизованої системи.
 - 5.1. Складання рівняння тиристорного перетворювача та розрахунок його параметрів.

5.2. Складання рівняння двигуна постійного струму (ДПС) з незалежним збудженням та розрахунок його параметрів.

5.3. Розрахунок датчиків струму і частоти обертання ДПС.

5.5. Розрахунок контуру регулювання струму в якірному ланцюзі ДПС.

5.6. Розрахунок контуру регулювання швидкості.

5.7. Розрахунок параметрів регуляторів струму та швидкості.

6. Розробка принципової схеми автоматизованого електроприводу.

7. Аналіз динаміки розробленої системи керування.

8. Індивідуальне питання.

Висновки.

Література.

3. Вимоги до оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини курсового проекту

Матеріали, що представляються до захисту, повинні бути оформлені у вигляді розрахунково-пояснювальної записки на листах формату А4 (210x297мм).

Всі малюнки повинні бути пронумеровані, мати пояснювальний підпис і посилання в тексті пояснювальної записки.

Курсовий проект містить завдання і пояснювальну записку. Завдання на курсовий проект відповідно до теми складається

керівником проекту по установленій формі.

Записка повинна містити обкладинку, на якій поміщають найменування «Курсовий проект з автоматизації технологічних процесів», завдання на курсове проектування, реферат, список літератури, додатки з указівкою номера сторінок, на яких вони розміщені.

Пояснювальна записка може бути надрукована або пишеться від руки синіми чи фіолетовими чорнилами або пастою на одному боці листа. Всі сторінки записки нумеруються арабськими цифрами. Малюнки, таблиці, розташовані на окремих листах, список літератури і додатки включають у загальну нумерацію сторінок.

Перед виконанням розділів рекомендується ознайомитися з методичними вказівками до кожного з них. Розрахунки необхідно виконувати з застосуванням розмірностей міжнародної системи одиниць СІ.

Зміст основної частини пояснювальної записки складається у вигляді розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів. Розділи повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами з точкою в межах розділу.

Графічна частина курсового проекту виконується у відповідності зі стандартами ЄСКД на листах формату А1 і повинна містити:

1. Складальне креслення об'єкта автоматизації (зерноперевантажувального конвеєра).
2. Функціональну схему автоматизованої системи керування.
3. Структурну схему автоматизованої системи керування.

4. Принципову схему автоматизованого ЕП.

5. Модель MATLAB і графіки перехідних процесів спроектованої системи.

4. Загальні відомості про об'єкт автоматизації

Конвеєр – машина безперервної дії для переміщення сипких, шматкових або штучних вантажів. Основна класифікаційна ознака конвеєра - тип тягового і перевантажувального органу. Розрізняють конвеєри із стрічковим, ланцюговим, канатним і іншими тяговими органами і конвеєри без тягового органу (гвинтові конвеєри, інерційні конвеєри, вібраційні конвеєри, роликові конвеєри). За типом перевантажувального органу конвеєри можуть бути стрічковими, пластинчастими, скребковими та ін.

Конвеєри призначені як для горизонтального, так і для вертикального переміщення вантажів.

Горизонтальні зерноперевантажувальні конвеєри транспортують зерно на магістральні конвеєри. Конвеєри горизонтальні можуть бути завдовжки від 10 до 50 і більше метрів.

Норії зернові (елеватори) застосовуються як підйомно-транспортне устаткування для транспортування зерна і інших дрібних сухих матеріалів у вертикальному напрямі. Матеріал, що транспортується, поступає через завантажувальний носок в ковші та переміщається до верхньої частини конвеєра, де відбувається

розвантаження ковшів в розвантажувальний патрубок. Норії виготовляються як в одинарному, так і зведеному виконанні. Норії забезпечені автоматично діючим гальмівним пристроєм, що оберігає стрічку від зворотного ходу і датчиками підпору і контролю швидкості.

Обидва типи конвеєрів широко застосовується на підприємствах по переробці зерна і його продуктів. Приводами, що забезпечують рух тягових органів конвеєрів, є двигуни постійного та змінного струмів. Основною вимогою до систем автоматичного керування ЕП конвеєрів є плавне регулювання швидкості, з метою запобігання розпорошення зерна.

5. Розрахунок потужності електроприводу автоматизованого конвеєру

Потужність ЕП горизонтального зерноперевантажувального конвеєру розраховується за формулою:

$$P = \frac{k_{зг} \times Q \times (c \cdot l + H)}{1000 \eta_{зг}} \text{ (кВт)}, \quad (5.1)$$

де $k_{зг}$ - коефіцієнт запасу потужності двигуна горизонтального конвеєру (1,1...1,25);

Q – продуктивність конвеєру, Н/с;

c – коефіцієнт, що залежить від типу перевантажувального

органу (0,15...0,2);

l – відстань між осями кінцевих барабанів конвеєра, м;

H – висота підйому вантажу, м;

$\eta_{зг}$ – коефіцієнт корисної дії горизонтального конвеєра (0,7...0,85).

Потужність ЕП вертикального зерноперевантажувального конвеєру розраховується за формулою:

$$P = \frac{k_{зв} \times Q \times H}{1000 \eta_{зв}} \text{ (кВт)}, \quad (5.2)$$

де $k_{зв}$ - коефіцієнт запасу потужності двигуна вертикального конвеєру (1,2...1,5);

$\eta_{зв}$ – коефіцієнт корисної дії горизонтального конвеєра (0,3...0,45).

6. Розробка функціональної схеми автоматизованого електроприводу

Для систем автоматичного керування швидкістю ЕП зерноперевантажувальних конвеєрів широко застосовують комплектні ЕП постійного струму. Функціональна схема такого ЕП наведена на рис. 6.1.

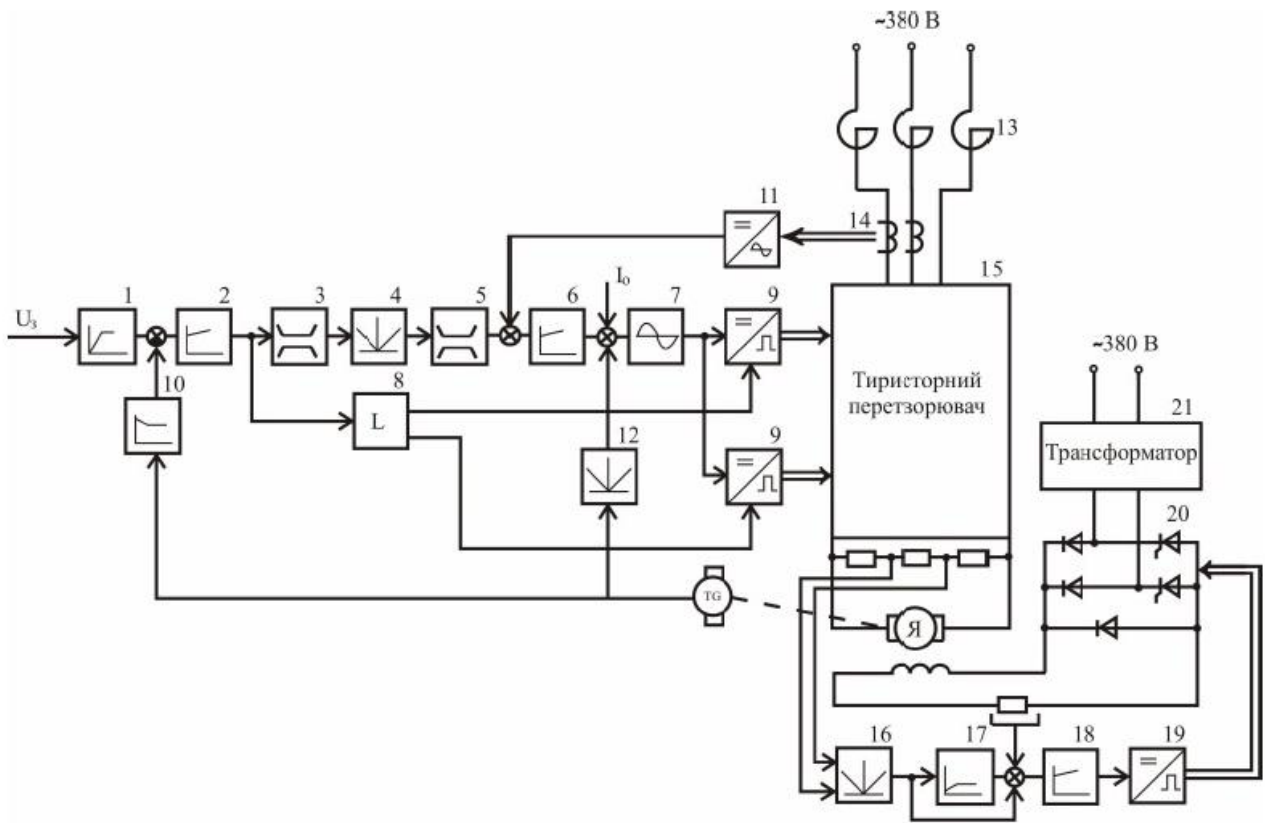


Рис. 6.1. Функціональна схема автоматизованого електроприводу

Електропривод являє собою систему автоматичного регулювання швидкості обертання високомоментного двигуна, що виконана за двоконтурною схемою з підлеглим регулюванням. На рис. 6.1 позначені: 1 – задатчик інтенсивності розгону та зупинки; 2 - регулятор швидкості; 3 – блок струмообмеження; 4 – блок модуля завдання струму; 5 - блок обмеження моменту; 6 – регулятор струму; 7 – блок завдання току при нульовій швидкості; 8 – блок логіки; 9 – система імпульсно-фазового керування (СІФК) якоря; 10 – коригуючий ланцюг якоря; 11 – датчик струму якоря; 12 – блок модуля напруги тахогенератора; 13 – дросель мережевий; 14 – трансформатор струму; 15 – реверсивний випрямляч якірної напруги;

16 – блок модуля якірної напруги; 17 – коригуючий ланцюг; 18 – регулятор струму збудження; 19 – СІФК збудження; 20 – нереверсивний випрямляч живлення ланцюгу збудження; 21 – трансформатор живлення кола збудження.

Регулятори швидкості і струму мають незалежне настроювання пропорційного і інтегрального коефіцієнта, а так само постійної часу регулятора.

Передбачено можливість плавної зміни параметрів регулятора з метою полегшення налагодження приводу.

Зворотний зв'язок по швидкості здійснюється тахогенератором (TG).

Призначення коригувальної ланки 10 - поліпшення динамічних параметрів приводу.

Датчиком зворотного зв'язку по струму служить серієсний опір у ланцюзі якоря, розміщений усередині перетворювача, силові кінці якого виведені на силовий блок.

Статичне обмеження струму здійснюється на виході регулятора швидкості за принципом обмеження його напруги, що є функцією струму.

Динамічне струмообмеження – функція частоти обертання, здійснюється функціональним перетворювачем відповідно до комутаційної кривої електродвигуна.

Вихідний сигнал регулятора струму подається на вхід блоку "Фазове керування", виконаного за вертикальним принципом з джерелом опорної напруги, і складається з трьох ідентичних каналів,

що мають у своєму складі блок синхронізації 11 і блок формування керуючих імпульсів 10, одночасно служить і для їхнього розподілу.

Призначення блоку логіки полягає в тому, щоб стежити за правильною роботою електропривода і запобігати можливості для аварії. Спрацьовування захистів і нормальний стан приводу реєструється світловою індикацією.

Пуск електропривода після спрацьовування одного з захистів і відновлення нормального стану можливі тільки після повторної подачі сигналу, що допускає до роботи.

Живлення здійснюється з плати "Живлення", що забезпечує напругу ± 24 В, ± 15 В і -30 В. Для стабілізації напруги ± 15 В використовуються універсальні інтегральні стабілізатори типу МАА723.

Перетворювач захищений від перевантаження по струму і від короткого замикання за допомогою автоматичного вимикача А ТОО/16 А.

Для синхронізації фаз використовуються синхронізуючі трансформатори, а для керування тиристорами - імпульсні трансформатори.

7. Розробка структурної схеми автоматизованої системи керування

Для управління складними технологічними комплексами та

електроприводами промислових установок широко використовують багатоконтурні системи з декількома зворотними зв'язками з проміжними змінними. Найбільш поширені в сучасному регульованому електроприводі так звані системи підпорядкованого регулювання.

Система підпорядкованого регулювання являє собою багатоконтурну систему з каскадним включенням регуляторів. Число регуляторів та контурів регулювання в такій системі дорівнює числу величин, які підлягають регулюванню. Назва системи пояснюється тим, що вихідний сигнал регулятора, який включено до зовнішнього контуру, є задаючим для регулятора, що включений до внутрішнього контуру, тобто один регулятор підпорядкований другому.

Важливою перевагою системи є те, що настройка контурів проводиться незалежно і послідовно від внутрішнього контуру до зовнішнього.

Принципова схема електропривода, виконаного за системою підпорядкованого регулювання, наведена на рис. 7.1, а. Двигун постійного струму Д з незалежним збудженням одержує живлення від тиристорного перетворювача ТП. У схемі використано два регулятори: регулятор струму РСТ та регулятор швидкості РШ. Сигнал зворотного зв'язку за струмом знімається з резистора шунта $R_{ш}$, який включено в ланцюг якоря двигуна. Зворотний зв'язок за швидкістю здійснюється за допомогою тахогенератора ТГ, напруга якого подається до входу регулятора швидкості РШ.

Ланцюг зворотного зв'язку за швидкістю є головним у приводі, і

від його роботи та динамічних властивостей у значній мірі залежать характеристики привода.

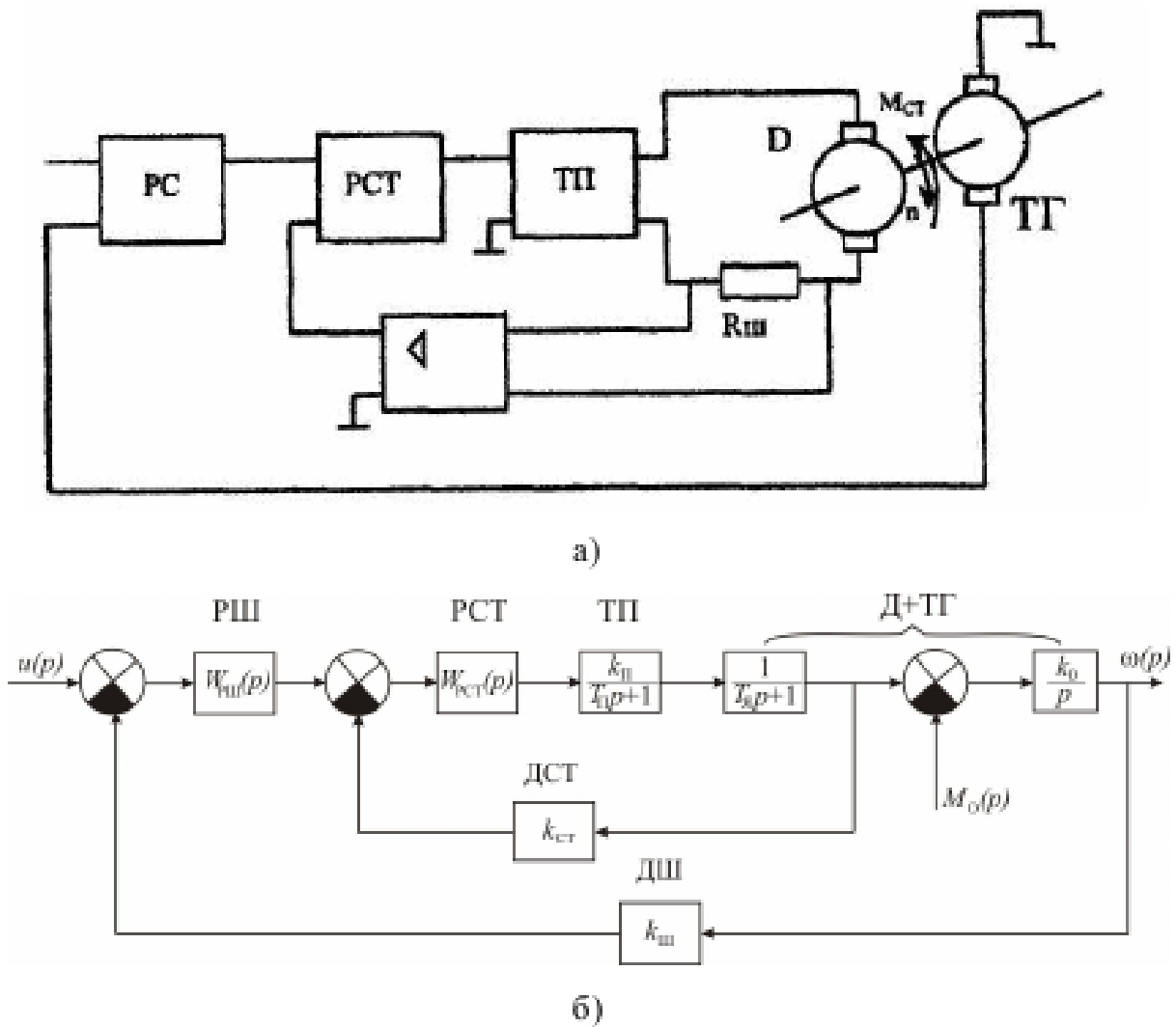


Рис. 7.1. Принципова (а) та структурна (б) схеми двоконтурної системи підпорядкованого регулювання:

РШ – регулятор швидкості; РСТ – регулятор струму; ТП – тиристорний перетворювач; Д – двигун; ТГ – тахогенератор; ДСТ – датчик струму; ДШ – датчик швидкості

Структурна схема системи підпорядкованого регулювання

наведена на рис. 7.1, б, де показані два контури регулювання, замкнені за допомогою незалежних зворотних зв'язків. Контур струму складається з об'єкту регулювання – ланцюга якоря двигуна, силового перетворювача та регулятора струму. Контур замикає зворотний зв'язок за напругою, що знімається з шунта в ланцюзі якоря. Коефіцієнт перетворення зворотного зв'язку за струмом дорівнює $k_{ст}$.

Об'єктом регулювання зовнішнього контуру швидкості є замкнений контур струму та ланка, яка визначає механічний опір двигуна. Контур замикається за допомогою зворотного зв'язку за швидкістю з коефіцієнтом перетворення $k_{ш}$.

В якості регуляторів струму та швидкості в таких системах підпорядкованого регулювання використовують регулятори, які реалізують типові P, PI та PID - закони управління.

В системі підпорядкованого регулювання використовують не тільки стандартні регулятори, але й стандартні настройки цих регуляторів. В основу стандартної настройки покладено ідею синтезу максимально плоских амплітудних характеристик замкнутого контуру регулювання, що відповідають фільтрам Баттерворта другого або третього порядку.

Під час розрахунку систем підпорядкованого регулювання користуються двома критеріями для оптимізації амплітудної частотної характеристики – модульний (технічний) оптимум та симетричний оптимум.

Критерій модульного оптимуму потребує, щоб розрахована

система наближалась за своїми частотними властивостями до ідеального фільтру низької частоти, який повинен мати прямокутну частотну характеристику. У цьому випадку система буде найкраще відтворювати заданий вплив та подавляти збурення. Налаштування системи за критерієм модульного оптимуму забезпечує мале перерегулювання та достатньо високу швидкодію.

Амплітудну характеристику, що близька за формою до прямокутної характеристики ідеального фільтру мають фільтри Баттерворта.

Розрахунок системи підпорядкованого регулювання починається з внутрішнього контуру (контур струму). Внутрішній контур завжди розраховують за умовою технічного оптимуму. Для цього використовують в контурі струму РІ- регулятор з передаточною функцією:

$$W_{\text{РСТ}}(p) = \frac{k_{\text{РСТ}}(T_{\text{я}}p + 1)}{T_{\text{я}}p}, \quad (7.1)$$

де $T_{\text{я}}$ – постійна часу якоря двигуна.

Потрібне значення коефіцієнта підсилення регулятора струму $k_{\text{РСТ}}$:

$$k_{\text{РСТ}} = \frac{T_{\text{я}}}{2 \cdot T_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{ДС}}}, \quad (7.2)$$

де $T_{\text{ТП}}$ – постійна часу, $k_{\text{ТП}}$ - коефіцієнт підсилення тиристорного

перетворювача.

Структурна схема двоконтурної системи регулювання з оптимізованим контуром струму наведена на рис. 7.1, б. Щоб позбавитися від швидкісної статичної помилки контур швидкості повинен бути настроєним на симетричний оптимум. В основі цієї настройки лежить частотна характеристика фільтра Баттерворта третього порядку.

Під час настройки двоконтурної системи на симетричний оптимум використовують ПІ-регулятор швидкості з передаточною функцією:

$$W_{PI}(p) = \frac{k_{PI} \cdot (T_{ш} \cdot p + 1)}{T_{ш} \cdot p}, \quad (7.3)$$

де $T_{ш}$ – постійна часу регулятора швидкості.

Постійну часу регулятора швидкості розраховують за формулою:

$$T_{ш} = 4T_T = 8T_{ТП}, \quad (7.4)$$

де $T_T = 2T_{ТП}$ – постійна часу аперіодичної ланки контуру струму.

Потрібне значення коефіцієнта підсилення регулятора швидкості:

$$k_{PI} = \frac{k_{ДС}}{2T_T k_{ДШ} k_0}. \quad (7.5)$$

Системи з ПІ-регулятором швидкості називають дворазово

інтегруючими. Вони забезпечують широкий діапазон регулювання і практично нульову статичну помилку при збурюванні по моменту опору. При настроюванні регулятора на симетричний оптимум перехідний процес характеризується перерегулюванням до 43 %. Зменшити перерегулювання можна шляхом включення на вхід системи керування фільтра (аперіодичної ланки) з передаточною функцією:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p + 1}, \quad (7.6)$$

де T_{ϕ} - постійна часу фільтра.

Постійну часу фільтра можна наближено обчислити за формулою:

$$T_{\phi} = 8 \cdot T_{\text{ТП}}. \quad (7.7)$$

8. Розрахунок параметрів елементів автоматизованої системи

8.1. Складання рівняння тиристорного перетворювача

Неперервний сигнал керування $U_{\text{вх}}$, що надходить до тиристорного перетворювача (ТП), подають насамперед до системи імпульсно-фазового керування (СІФК), яка є частиною ТП. За її

допомоги сигнал перетворюється на послідовність керуючих імпульсів, які формуються генератором імпульсів і мають відповідне відхилення по фазі щодо моменту відкриття тиристора. Змінюючи величину відхилення фази керуючих імпульсів, тиристорний перетворювач виконує зворотне перетворення дискретних сигналів у кусково-неперервний сигнал вихідної величини $u_{\text{вих}}$ або $I_{\text{вих}}$, який подається в якрне коло двигуна М.

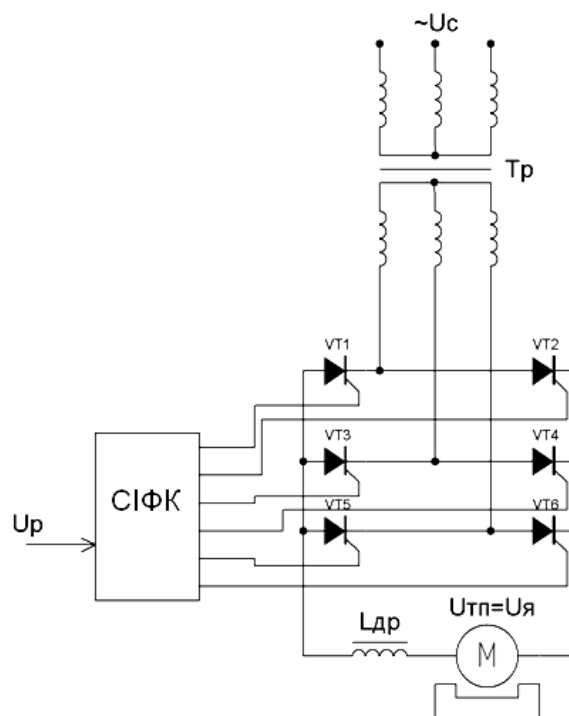


Рис. 8.1. Схема тиристорного перетворювача

Згідно з теоремою Котельникова, тиристорний перетворювач без втрат інформації пропускає сигнали, частоти яких менші за граничну частоту

$$\omega_{\text{гр}} = \frac{m \cdot \omega_m}{2},$$

де m – кількість фаз перетворювача; $\omega_m = 2\pi f$ – частота напруги мережі; f – частота в герцах.

Щоб зменшити негативний вплив можливих автоколивань, обмежують швидкість зміни вхідного сигналу керування $u_{\text{вх}}(t)$, який визначає швидкість зміни кута керування (t) . Для цього на вході СІФК ТП підключають аперіодичну ланку. Ця ланка в реверсивному електроприводі повинна обмежувати динамічний зрівнювальний струм, що виникає між випрямляючою та інвертуючою групами вентилів і може в багато разів перевищувати статичний зрівняльний струм. Внаслідок цього обмежувальні реактори, які розраховані на статичний зрівняльний струм, можуть бути насичені його динамічною складовою, і зрівняльний струм досягне свого аварійного значення. Щоб уникнути такої небезпеки, стала аперіодичної обмежувальної ланки на вході СІФК повинна знаходитись в інтервалі 0,006 – 0,01 с при промисловій частоті 50 Гц.

Орієнтуючись на роботу ТП в режимі безперервного струму, розглянемо ТП як елемент, що складається з двох послідовно з'єднаних ланок: лінійної безінерційної з коефіцієнтом підсилення $k_{\text{ТП}}$ і ланки чистого запізнення з запізненням ϕ .

Рівняння динаміки згідно з викладеним вище матиме вигляд

$$u_{\text{вих}} = k_{\text{ТП}} u_{\text{вх}} e^{-\phi}.$$

Розклавши функцію $e^{-\Phi}$ в степеневий ряд і обмежившись двома першими членами, дістанемо рівняння підсилювача у вигляді

$$u_{\text{вих}} = k_{\text{ТП}} u_{\text{вх}} \frac{1}{1 + \Phi}.$$

Звідси отримаємо передаточну функцію ТП:

$$W_{\text{ТП}}(p) = \frac{k_{\text{ТП}}}{T_{\text{ТП}} p + 1}.$$

8.2. Складання рівняння двигуна постійного струму з незалежним збудженням

Вихідною величиною в даному разі буде швидкість обертання ω , яка регулюється зміною напруги u , що подається в якірне коло двигуна. Таким чином, треба встановити в динаміці залежність $\omega = f(u)$. Запишемо рівняння електричної рівноваги для якірного кола двигуна, маючи на увазі, що в режимі двигуна напруга живлення обчислюється за формулою

$$u = L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + R_{\text{я}} i_{\text{я}} + e,$$

де $L_{\text{я}}$, $R_{\text{я}}$ - індуктивність і активний опір кола якоря; e - проти-ЕРС (електрорушійна сила) двигуна.

Для режиму розгону двигуна можна записати рівняння динаміки у вигляді

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{дв}} - M_{\text{ст}},$$

де $M_{\text{дин}}$, $M_{\text{дв}}$, $M_{\text{ст}}$ - відповідно динамічний, двигунів і статичний моменти двигуна.

Коли статичний момент невеликий, тобто $M_{\text{ст}} \approx 0$, то можна записати

$$J \frac{d\omega}{dt} = k i_{\text{я}},$$

звідки

$$i_{\text{я}} = \frac{J}{k} \frac{d\omega}{dt},$$

де J - момент інерції двигуна; k - стала струму.

Підставляючи знайдене значення $i_{\text{я}}$ в рівняння електричної рівноваги кола якоря двигуна, після деяких перетворень дістанемо

$$\frac{R_{\text{я}} L_{\text{я}} J}{R_{\text{я}} c} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{R_{\text{я}} J}{k} \frac{d\omega}{dt} + c_e \omega = u.$$

Введемо позначення:

$$\frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} = T_{\text{я}}; \quad JR_{\text{я}} k_{\text{д}}^2 = T_{\text{М}}; \quad \frac{1}{k_e} = k_{\text{Д}}. \quad (8.1)$$

Коефіцієнт двигуна $k_{\text{Д}}$ визначимо за паспортними даними для номінального режиму у статиці:

$$k_e \omega = u - i_{\text{я}} R_{\text{я}},$$

звідки

$$k_e = \frac{u - i_{\text{я}} R_{\text{я}}}{\omega},$$

$$k_{\text{Д}} = \frac{\omega_{\text{н}}}{U_{\text{ян}} - I_{\text{ян}} R_{\text{я}}}. \quad (8.2)$$

При цьому рівняння динаміки двигуна постійного струму в операторній формі матиме вигляд

$$(T_{\text{я}} T_{\text{М}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1) \omega = k_{\text{Д}} u.$$

Остаточною передатною функцією двигуна буде

$$W(p) = \frac{k_D}{T_{\text{я}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{я}} p + 1}$$

Аналіз передаточної функції двигуна постійного струму з незалежним збудженням показав, що вона може бути представлена послідовним з'єднанням аперіодичної ланки першого порядку і інтегруючої ланки, охопленої від'ємним зворотнім зв'язком по частоті обертання.

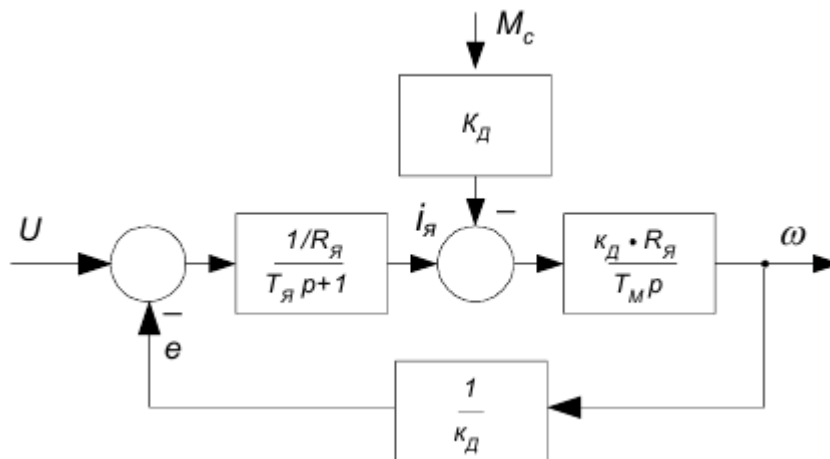


Рис. 8.2. Структурна схема двигуна постійного струму

З урахуванням наведеної структурної схеми двигуна отримуємо повний вираз для передаточної функції в залежності від обох зовнішніх впливів:

$$\omega = U_{\text{я}} \frac{k_{\text{д}}}{T_{\text{м}} T_{\text{я}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1} - M_{\text{с}} \frac{R_{\text{я}} k_{\text{д}} (T_{\text{я}} p + 1)}{T_{\text{м}} T_{\text{я}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1}.$$

8.3. Розрахунок датчиків струму і частоти обертання ДПС

Функціями датчиків є перетворення вимірювальних величин в електричний уніфікований сигнал. При цьому максимальне значення вимірювальної величини повинно відповідати так званій напрузі схеми $U_{\text{сх}}$, під якою розуміють номінальне значення сигналів у схемі управління. Сучасні схеми побудовані на основі транзисторів, операційних підсилювачів та інтегральних мікросхем, в яких величини сигналів складають 5 – 10 В.

Чутливим елементом для датчика струму є шунт. Шунт являє собою прецизійний опір стійкий до температурних коливань. Значення опору підбирається таким, що при номінальному струмі, який проходить через нього, падіння напруги на ньому складало 75 мВ. Тому коефіцієнт передачі датчика струму

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{дс}}}{i_{\text{я}}}.$$

Датчик частоти обертання ДПС будується на основі тахогенератору, який перетворює механічне обертання вала в електричний сигнал. Отже, коефіцієнт передачі датчика частоти

обертання буде

$$k_{\text{дш}} = \frac{U_{\text{дш}}}{\omega_{\text{н}}}.$$

В обох випадках напруга датчиків дорівнюється напрузі схеми $U_{\text{сх}}$.

8.4. Розрахунок параметрів регуляторів струму та швидкості

В автоматизованих електромеханічних системах ІІІ-регулятори виконуються на базі операційного підсилювача та мають наступну схему:

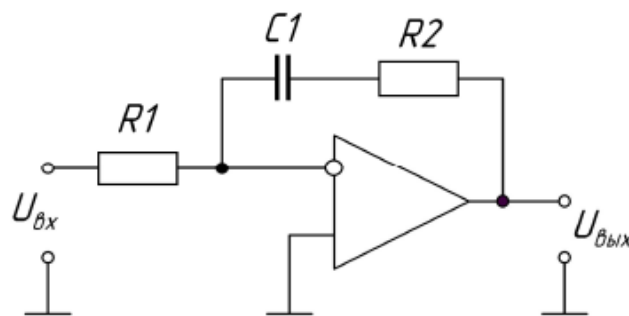


Рис. 8.3. Принципова схема ІІІ –регулятора на базі операційного підсилювача

Коефіцієнт передачі та постійна часу регулятора:

$$k_p = \frac{R_2}{R_1}; T_p = R_2 C_1. \quad (8.3)$$

9. Розробка принципової схеми автоматизованого електроприводу

Принципова схема автоматизованого ЕП зображена на рис. 9.1. На ній тиристорний перетворювач живлення обмотки якоря двигуна виконаний на двох зустрічно з'єднаних трифазних мостових випрямлячах. Живлення перетворювачів від мережі здійснюється через трифазний анодний реактор, що захищає від комутаційних струмів і коротких замикань. Керування реверсивного перетворювача – роздільне. При роботі однієї групи пристрій логіки забороняє подачу імпульсів керування на іншу групу і навпаки.

Живлення обмотки збудження здійснюється неререверсивним напівкеруваним однофазним випрямлячем. Величина струму збудження регулюється залежно від напруги якоря.

Розгалужений ланцюг електронних захистів і робочої діагностики практично виключає виходи з ладу елементів перетворювача у випадку аварії.

Розглянемо окремо керування якірним ланцюгом. Силова схема перетворювача якоря виконана за реверсивною трансформаторною трифазною зустрічно з'єднаною мостовою схемою. Захист керованого випрямляча від комутаційних перенапруг виконаний

трифазним анодним реактором у ланцюзі живлення ~ 380 В та шунтування тиристорів RC-ланцюгами.

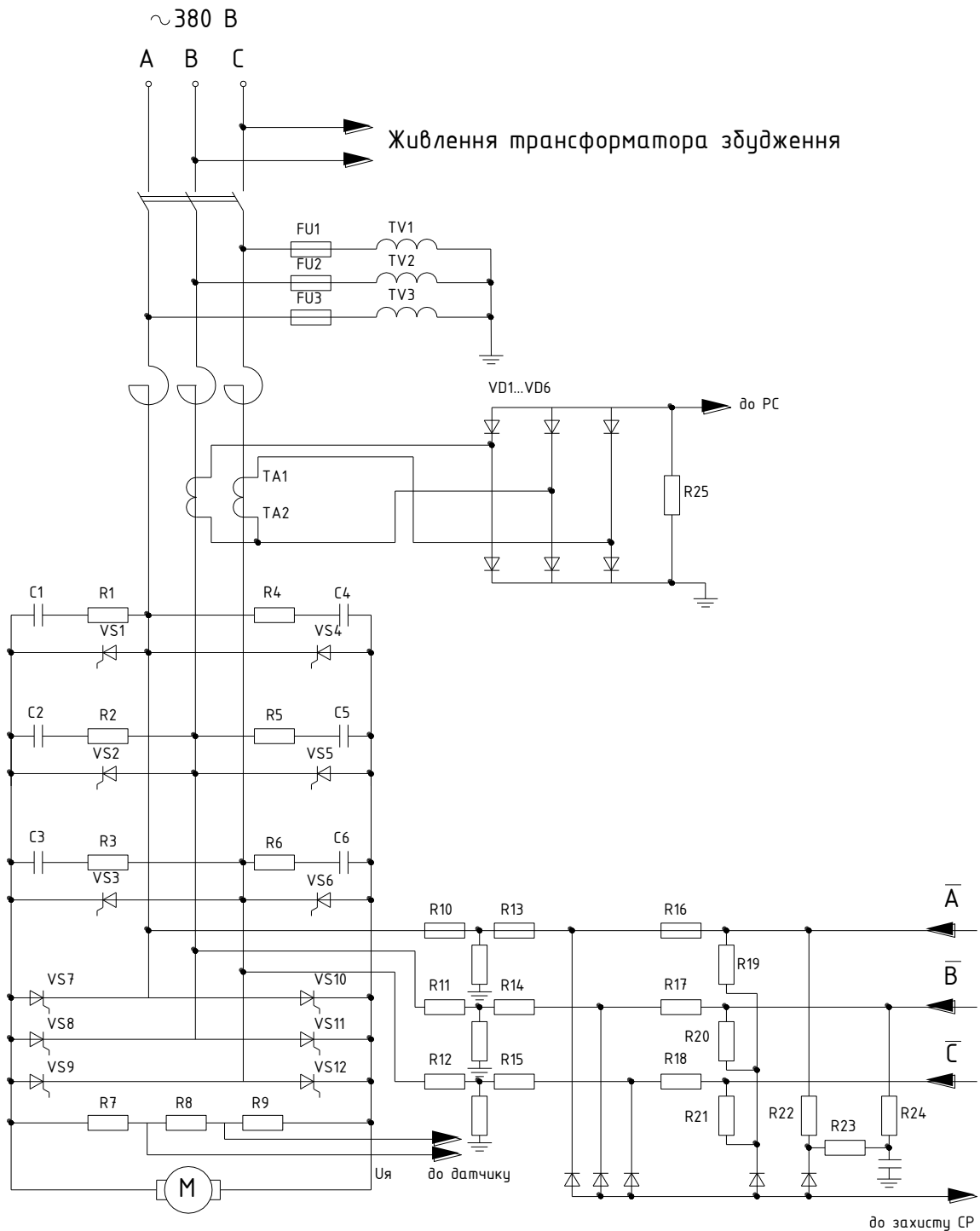


Рис.9.1. Принципова схема автоматизованого ЕП

Силова схема керування ланцюгом збудження виконана за мостовою однофазною нереверсивною напівкерованою схемою випрямлення з нульовим вентилем. Для захисту від комутаційних перенапруг тиристри зашунтовані RC-ланцюгами. Вторинна напруга силового трансформатора становить 160 В.

10. Аналіз динаміки розробленої системи керування

Для рішення завдання використовується програма Simulink. Програма Simulink є додатком до пакета Matlab. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а досить загальних знань, потрібних при роботі на комп'ютері та, природно, знань тієї предметної області, в якій він працює.

Simulink є досить самостійним інструментом Matlab, і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам Matlab і інші його додатки. Він містить додаткові бібліотеки блоків для різних областей застосування (наприклад, LTI-Viewer інструментарію Control System Toolbox – пакета для розробки систем керування; Power System Blockset –


моделювання електротехнічних пристроїв; Digital Signal Processing Blockset – набір блоків для розробки цифрових пристроїв і т.ін).

При роботі з Simulink користувач має можливість модернізувати бібліотечні блоки, створювати свої власні, вибирати метод рішення диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком).

У ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць.

10.1. Створення моделі Simulink

Для створення моделі в середовищі Simulink необхідно послідовно виконати ряд дій:

10.1.1. Створити новий файл моделі за допомогою команди команди File/New/Model, або використовуючи кнопку  на панелі інструментів (тут і далі, за допомогою символу “/”, зазначені пункти меню програми, які необхідно послідовно вибрати для виконання зазначеної дії).

10.1.2. Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (Наприклад, Sources - Джерела). Далі, указавши курсором на необхідний блок і натиснувши

на ліву клавiшу “миші” - “перетягнути” блок у створене вікно. *Клавiшу миші потрібно тримати натиснутою.* На рис 10.1 показане вікно моделі, що містить блоки.

Для видалення блоку необхідно вибрати блок (указати курсором на його зображення і натиснути ліву клавiшу “миші”), а потім натиснути клавiшу Delete на клавiатурі.

Для зміни розмірів блоку потрібно вибрати блок, встановити курсор в один з кутів блоку і, натиснувши ліву клавiшу “миші”, змінити розмір блоку (курсор при цьому перетвориться у двосторонню стрілку).

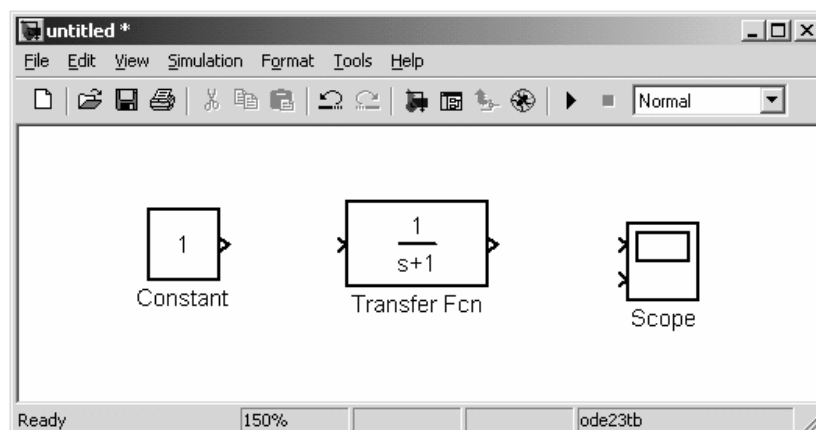


Рис 10.1. Вікно моделі з блоками

10.1.3. Далі, при необхідності, потрібно змінити параметри блоку, установлені програмою “за замовчуванням”. Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавiшею “миші”, вказавши курсором на зображення блоку. Відкриється вікно редагування параметрів даного блоку. При завданні чисельних параметрів варто мати на увазі, що в якості десяткового роздільника повинна використовуватися крапка, а

не кома. Після внесення змін потрібно закрити вікно кнопкою ОК. На рис.10.2 показаний блок, що моделює передавальну функцію і вікно редагування параметрів даного блоку.

10.1.4. Після установки на схемі всіх блоків з необхідних бібліотек потрібно виконати з'єднання елементів схеми. Для з'єднання блоків необхідно вказати курсором на “вихід” блоку, а потім натиснути і, не відпускаючи ліву клавішу “миші”, провести лінію до входу іншого блоку. Після чого відпустити клавішу. У випадку правильного з'єднання зображення стрілки на вході блоку змінює колір. Для створення точки розгалуження в сполучній лінії потрібно підвести курсор до передбачуваного вузла і, натиснувши *праву* клавішу “миші”, простягнути лінію. Для видалення лінії потрібно вибрати лінію (так само, як це виконується для блоку), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі. Схема моделі, в якій виконані з'єднання між блоками, показана на рис. 10.3.

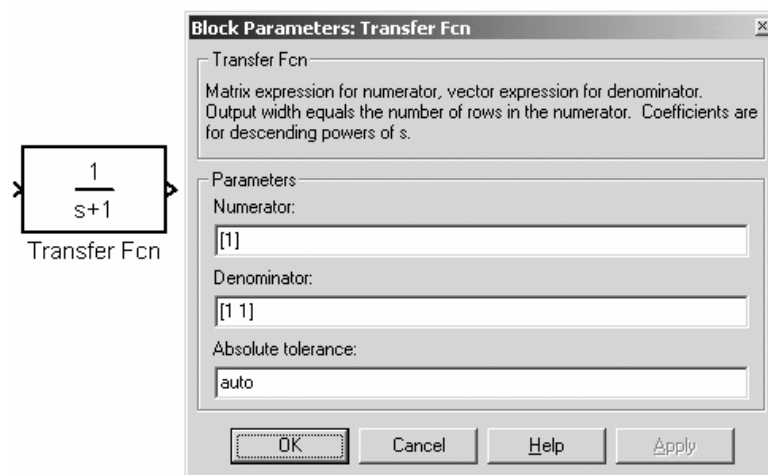


Рис. 10.2. Блок моделювання передавальної функції

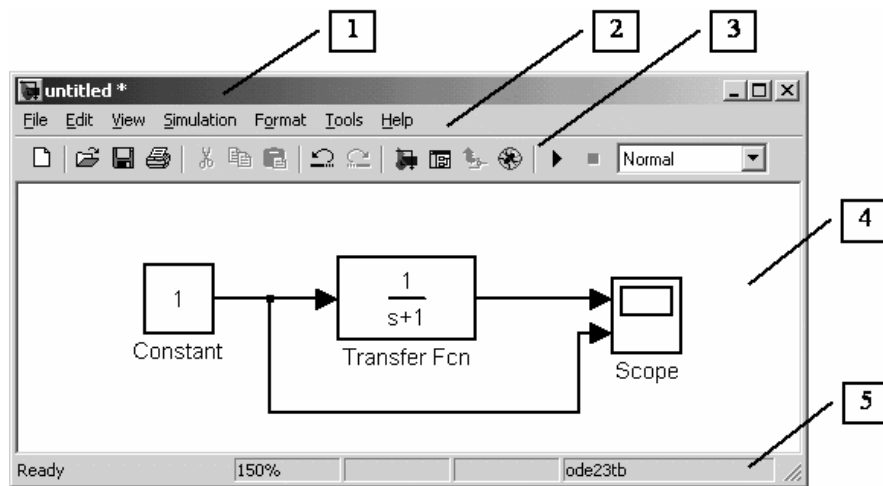


Рис. 10.3. Схема моделі зі з'єднаннями



Вікно моделі містить наступні елементи (див. рис. 10.3):

1. Заголовок, з назвою вікна. Знову створеному вікну привласнюється ім'я Untitled з відповідним номером.
2. Меню з командами File, Edit, View і т.д.
3. Панель інструментів.
4. Вікно для створення схеми моделі.
5. Рядок стану, що містить інформацію про поточний стан моделі, та процесу моделювання.

10.1.5. Після складання розрахункової схеми необхідно зберегти її у вигляді файлу на диску, вибравши пункт меню File/Save As... у вікні схеми й указавши папку та ім'я файлу. Варто мати на увазі, що ім'я файлу не повинне перевищувати 32 символів, повинне починатися з букви і не може містити символи кирилиці та спеціальні символи. Ця ж вимога ставиться і до шляху файлу (до тих папок, у яких зберігається файл). При наступному редагуванні схеми можна користуватися пунктом меню File/Save. При повторних запусках

програми SIMULINK завантаження схеми здійснюється за допомогою меню File/Open... у вікні оглядача бібліотеки або з основного вікна MATLAB.

10.1.6. Виконання розрахунку

Запуск розрахунку виконується за допомогою вибору пункту меню Simulation/Start. або натиснення кнопки  на панелі інструментів. Процес розрахунку можна завершити достроково, вибравши пункт меню Simulation/Stop або натиснувши кнопку . Розрахунок також можна зупинити (Simulation/Pause) і потім продовжити (Simulation/Continue).

10.2. Моделювання системи

Здійснимо моделювання за допомогою Simulink системи яка описується передавальною функцією

$$W(p) = \frac{88,35p + 251}{1,87 \cdot 10^{-5} p^5 + 0,00492 p^4 + 0,341 p^3 + 7,14 p^2 + p}$$

Блок передавальної характеристики Transfer Fcn задає передавальну функцію у вигляді відношення поліномів:

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{num(s)}{den(s)},$$

де s – оператор Лапласа; num – вектор або матриця коефіцієнтів чисельника, den – вектор коефіцієнтів знаменника.

Порядок чисельника не повинен перевищувати порядок знаменника.

Для завдання параметрів модельованої системи необхідно ввести наступні поліноми:

Numerator=[88.35 251];

Denominator=[1.87e-5 0.00492 0.341 7.14 1 0].

Одиничний східчастий вплив використовується як вхідний сигнал. На рис. 10.4 показаний приклад моделювання перехідної характеристики системи.

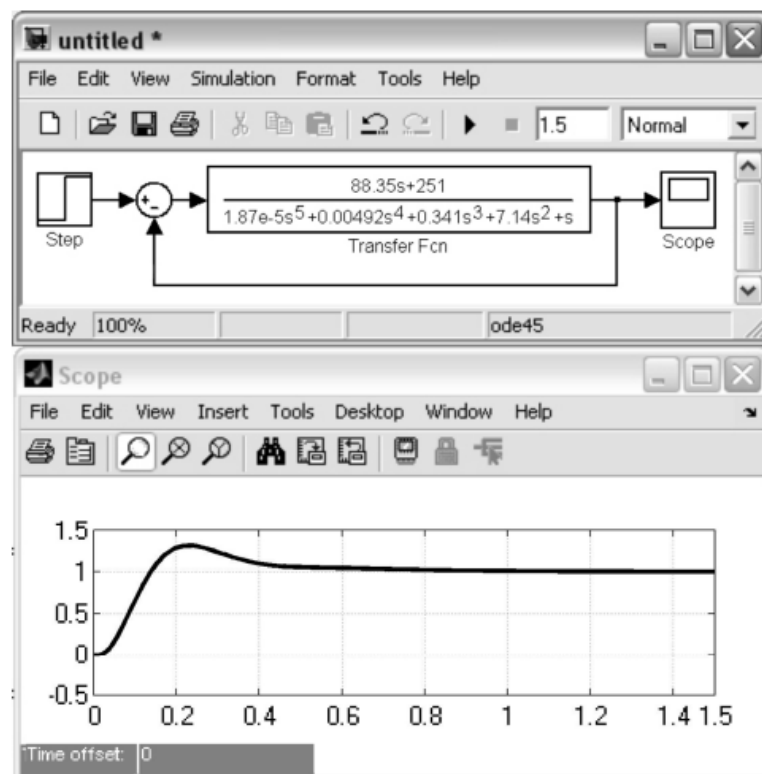


Рис. 10.4. Приклад моделювання перехідної характеристики

11. Приклад розрахунку автоматизованої САК

Завдання: спроектувати автоматизовану систему керування електроприводу зерноперевантажувального конвеєра, для переміщення вантажу у вертикальному напрямі. Коефіцієнт запасу за потужністю двигуна $k_3 = 1,2$; ККД конвеєра $\eta = 0,4$. Продуктивність конвеєра $Q=500$ Н/с; висота підйому вантажу $H = 4$ м.

11.1. Розрахунок потужності електроприводу автоматизованого конвеєра.

Потужність ЕП вертикального зерноперевантажувального конвеєра розраховується за формулою (5.2):

$$P = \frac{1,2 \cdot 500 \cdot 4}{1000 \cdot 0,4} = 6 \text{ (кВт)}.$$

За таблицею 3Д обираємо двигун Д31 з наступними даними: номінальна потужність $P_n = 6,8$ кВт; номінальна частота обертів $n = 880$ об/хв; номінальний струм якоря $I_{ян} = 37$ А; номінальна напруга $U_n = 230$ В; зведений момент інерції $J = 0,3$ кг/м²; опір якірного ланцюга $R_я = 0,42$ Ом; число пар полюсів $a=2$.

Для керування двигуном обираємо тиристорний перетворювач – ТЕР4-63/230 з наступними параметрами $k_{тп} = 22$; $T_{тп} = 0,006$ с (див. табл. 4Д).

11.2. Розрахунок параметрів ДПС з незалежним збудженням.

Кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot p \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 880}{60} = 92,153 \text{ (рад/с)}.$$

Індуктивність якірного ланцюга:

$$L_{я} = \frac{\beta U_n}{a \omega_n I_{ян}} = \frac{0,25 \cdot 230}{2 \cdot 92,153 \cdot 37} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)},$$

де $\beta = 0,6$ – для машин без компенсації, $\beta = 0,25$ – для машин з компенсацією.

Постійну часу якоря, коефіцієнт передачі двигуна та механічну постійну часу двигуна обчислимо за формулами (8.1):

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} = \frac{8,4 \cdot 10^{-3}}{0,42} = 0,02 \text{ (с)};$$

$$k_{д} = \frac{\omega_n}{U_n - I_{ян} R_{я}} = \frac{92,153}{230 - 37 \cdot 0,42} = 0,43 \text{ (В·с/рад)};$$

$$T_{М} = J R_{я} k_{д}^2 = 0,3 \cdot 0,42 \cdot 0,43^2 = 0,023 \text{ (с)}.$$

11.3. Розрахунок датчиків струму і частоти обертання ДПС.

Для спрощення реалізації приймаємо:

$$k_{дс} = k_{дш} = 1.$$

11.4. Розрахунок контуру регулювання струму в якірному ланцюзі ДПС.

Потрібне значення коефіцієнта підсилення регулятора струму k (7.2):

$$k_{\text{рст}} = \frac{T_{\text{я}}}{2T_{\text{тп}} k_{\text{тп}} k_{\text{дс}}} = \frac{0,02}{2 \cdot 0,006 \cdot 22 \cdot 1} = 0,076.$$

Передаточна функція регулятора струму (7.1):

$$W_{\text{рст}}(p) = \frac{k_{\text{рст}}(T_{\text{я}}p + 1)}{T_{\text{я}}p} = \frac{0,076(0,02p + 1)}{0,02p}.$$

11.5. Розрахунок контуру регулювання швидкості.

Коефіцієнт k :

$$k_0 = \frac{k_{\text{д}}}{T_{\text{м}}} = \frac{0,43}{0,023} = 18,47 \text{ (рад/В} \cdot \text{с}^2\text{)}.$$

Потрібне значення коефіцієнта підсилення регулятора швидкості (7.5):

$$k_{\text{рш}} = \frac{k_{\text{дс}}}{2T_{\text{т}} k_{\text{дш}} k_0} = \frac{k_{\text{дс}}}{4T_{\text{тп}} k_{\text{дш}} k_0} = \frac{1}{4 \cdot 0,006 \cdot 1 \cdot 18,47} = 2,256.$$

Постійну часу регулятора швидкості розраховують за формулою (7.4):

$$T_{ш} = 4T_T = 8 \cdot T_{ТП} = 8 \cdot 0,006 = 0,048 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція регулятора швидкості (7.3):

$$W_{рш}(p) = \frac{k_{рш}(T_{ш}p + 1)}{T_{ш}p} = \frac{2,256(0,048p + 1)}{0,048p}.$$

Постійна часу фільтра на вході в автоматичну систему (7.7):

$$T_{\phi} = 8 \cdot T_{ТП} = 8 \cdot 0,006 = 0,048 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція фільтру (7.6):

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p + 1} = \frac{1}{0,048p + 1}.$$

11.6. Розрахунок параметрів регуляторів швидкості та струму.

Приймаємо величину ємності у складі обох регуляторів $C = 1$ мкФ.

Формули для розрахунку опорів отримаємо з (8.3). Для регулятора струму:

$$R_2 = \frac{T_{PC}}{C_1} = \frac{0,02}{10^{-6}} = 20 \text{ (кОм)};$$

$$R_1 = \frac{R_2}{k_{PCT}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{0,076} = 264 \text{ (кОм)}.$$

Остаточно приймаємо наступні параметри регулятора струму: $C = 1$ мкФ; $R_1 = 20$ кОм; $R_2 = 264$ кОм.

Для регулятора швидкості:

$$R_2 = \frac{T_{ш}}{C_1} = \frac{0,048}{10^{-6}} = 48 \text{ (кОм)};$$

$$R_1 = \frac{R_2}{k_{Pш}} = \frac{48 \cdot 10^{-3}}{2,256} = 212,8 \text{ (кОм)}.$$

Остаточно приймаємо наступні параметри регулятора струму: $C = 1$ мкФ; $R_1 = 48$ кОм; $R_2 = 213$ кОм.

11.7. Аналіз динаміки розробленої системи керування.

Модель автоматизованої системи у MATLAB наведено на рис. 11.1:

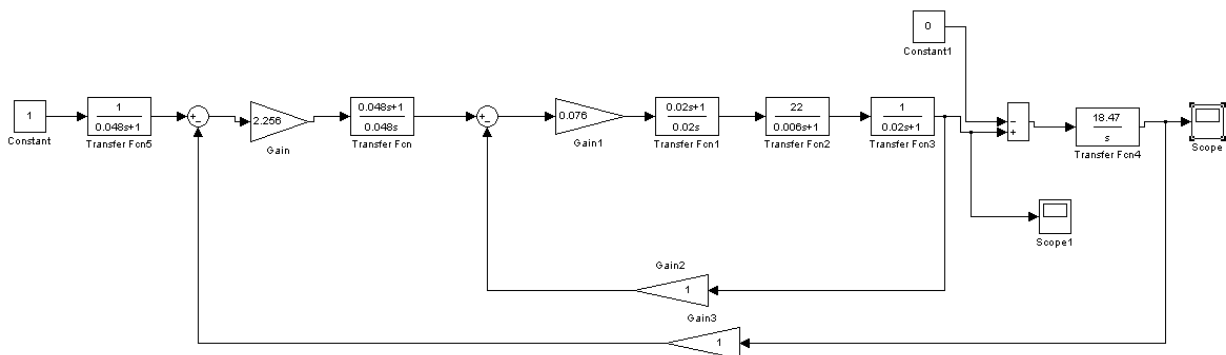


Рис. 11.1 Модель спроектованої системи у MATLAB

Перехідний процес спроектованої САК за керуванням представлено на рис. 11.2.

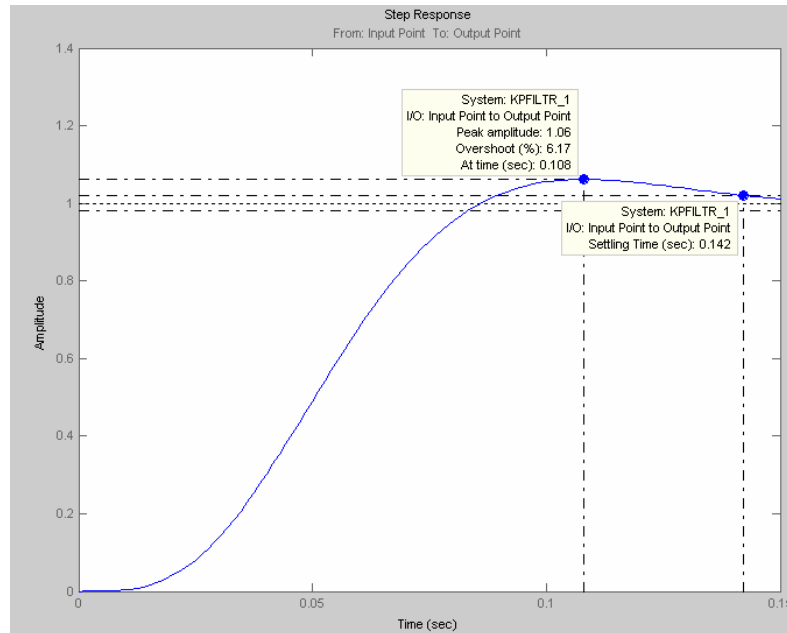


Рис. 11.2. Перехідний процес спроектованої САК за керуючою дією

Аналіз перехідного процесу дозволяє визначити наступні показники якості керування: час регулювання $t_p = 0,142$ с; перерегулювання $\sigma = 6,17$ %.

На рис. 11.3 наведено графік перехідного процесу спроектованої САК за збурюючою дією.

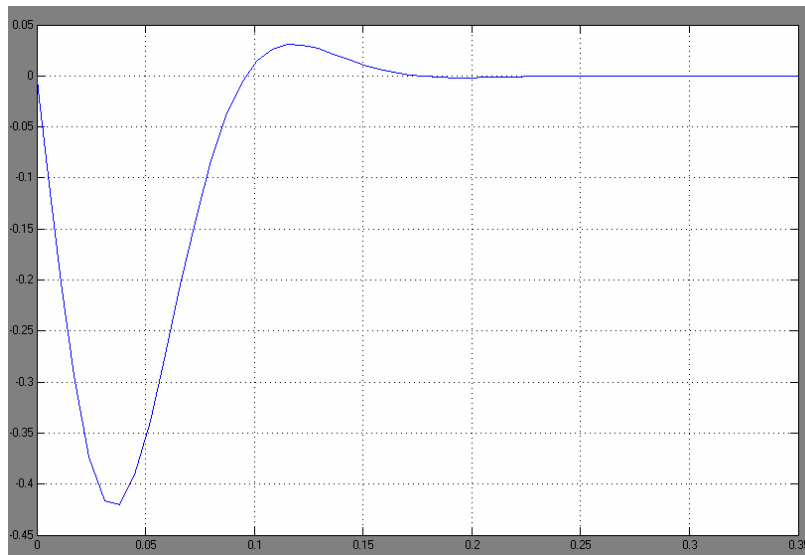


Рис. 11.3. Перехідний процес спроектованої САК за збурюючою дією

Література

1. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М.: Колос, 2007. – 344 с.
2. Мирошник Н. В. Теория автоматического управления. – В 2 т. – Т.1. Линейные системы / Н. В. Мирошник. – Спб.: Питер, 2005. – 336 с.
3. Будзко И. А. Электроснабжение сельського хозяйства / И. А. Будзко, Н. М. Зуль. - М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
4. Терехов В. М. Системы управления электроприводов / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 302 с.
5. Шаруда В. Г. Практикум з теорії автоматичного управління: навч. посіб. / В. Г. Шаруда. – Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002. – 414 с.
6. Черных И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

Варіанти завдань на курсове проектування

Група А

Розрахувати та спроектувати автоматизовану систему електроприводу зерноперевантажувального конвеєра для переміщення вантажу у вертикальному напрямі. Коефіцієнт запасу за потужністю двигуна $k_3 = 1,2$; ККД конвеєру $\eta=0,4$. Продуктивність конвеєра Q та висоту підйому вантажу H обрати з таблиці 1Д згідно з варіантом, вказаним викладачем. У якості двигуна обрати двигун постійного струму серії Д (таблиця 3Д).

Таблиця 1Д

Варіант	H, м	Q, Н/с	Варіант	H, м	Q, Н/с
1	4	1000	11	5,5	1000
2	4	750	12	5,5	750
3	4	900	13	6	900
4	4,5	650	14	6	650
5	4,5	800	15	6	800
6	4,5	950	16	6,5	950
7	5	300	17	6,5	300
8	5	700	18	6,5	700
9	5	1050	19	7	1050
10	5,5	1300	20	7	1300

Група Б

Розрахувати та спроектувати автоматизовану систему електроприводу зерноперевантажувального конвеєра для переміщення вантажу у

горизонтальному напрямі. Коефіцієнт запасу за потужністю двигуна $k_3 = 1,2$; ККД конвеєру $\eta=0,75$, коефіцієнт, що залежить від типу перевантажувального органу $c = 0,15$. Продуктивність конвеєра Q , висоту підйому вантажу H , відстань між осями кінцевих барабанів конвеєра l обрати з таблиці 2Д згідно з варіантом вказаним викладачем. У якості двигуна обрати двигун постійного струму серії Д (таблиця 3Д).

Таблиця 2Д

Варіант	H, м	Q, Н/с	l, м	Варіант	H, м	Q, Н/с	l, м
1	4	1000	60	11	5,5	1000	60
2	4	750	55	12	5,5	750	55
3	4	900	50	13	6	900	50
4	4,5	650	45	14	6	650	45
5	4,5	800	40	15	6	800	40
6	4,5	950	35	16	6,5	950	35
7	5	300	30	17	6,5	300	30
8	5	700	25	18	6,5	700	25
9	5	1050	20	19	7	1050	20
10	5,5	1300	15	20	7	1300	15

Додаток Б

Параметри ДПС серії Д та тиристорних перетворювачів типу УХЛ

Таблиця 3Д

Тип двигуна	P_n , кВт	n_n , об/хв	$I_{ян}$, А	J , кг·м ²	$R_{я}$, Ом	a	Тип ТП
Д12	2,4	1230	14	0,05	1,63	2	ТЕР4-63/230
Д21	3,6	1080	21	0,125	0,94	2	ТЕР4-63/230
Д22	4,8	1150	26	0,15	0,57	2	ТЕР4-63/230
Д31	6,8	880	37	0,3	0,42	2	ТЕР4-63/230
Д32	9,5	800	57	0,425	0,28	2	ТЕР4-63/230
Д41	13	720	70	0,8	0,16	2	ТЕР4-100/230
Д806	17	710	84	1	0,11	2	ТЕР4-100/230
Д808	24	630	112	2	0,054	2	ТЕР4-160/230
Д810	35	600	148	3,65	0,035	2	ТЕР4-160/230
Д812	47	565	192	7	0,023	2	ТЕР4-200/230
Д814	70	560	280	10,2	0,013	8	ТЕР4-320/230
Д816	85	535	350	16,3	0,0091	8	ТЕР4-500/230
Д818	100	470	415	27,5	0,0066	8	ТЕР4-500/230

Таблиця 4Д

Тип ТП	ТЕР4- 63/230	ТЕР4- 100/230	ТЕР4- 160/230	ТЕР4- 200/230	ТЕР4- 320/230	ТЕР4- 500/230
$k_{ТП}$	22	26	34	38	42	46
$T_{ТП}$, с	0,006	0,005	0,005	0,007	0,008	0,008

Параметри мережі живлення: напруга живлення 220 В; частота 50 Гц; випрямлена напруга 230 В.

Перелік індивідуальних питань до курсового проекту

1. Розрахунок заземлення установок
2. Охорона праці при транспортуванні сипучих матеріалів
3. Екологічна безпека при транспортуванні сипучих матеріалів
4. Релейні системи управління транспортуванням сипучих матеріалів
5. Мікропроцесорні системи управління транспортуванням сипучих матеріалів
6. Програмне забезпечення, що використовують в АСУ
7. Системи захисту в пристроях транспортування сипучих матеріалів
8. Системи контролю в пристроях транспортування сипучих матеріалів
9. Основні показники надійності АСУ
10. Аналіз стійкості АСУ
11. Призначення, структура, принцип дії П-регуляторів
12. Призначення, структура, принцип дії ІІ-регуляторів
13. Призначення, структура, принцип дії ІІІ-регуляторів
14. Аналіз датчиків, які використовують в системах транспортування сипучих матеріалів
15. Параметричний синтез в системах автоматизованого проектування
16. Структурний синтез в системах автоматизованого проектування
17. Аналіз мов програмування в системах автоматизованого проектування
18. Аналіз фільтрів верхніх і нижніх частот
19. Аналіз LC-фільтрів та коливальних контурів
20. Характеристика та основні параметри цифро-аналогових перетворювачів
21. Характеристика та основні параметри аналого-цифрових перетворювачів
22. Основні параметри і характеристики посилювачів електричних

сигналів

23. Основні функції алгебри логіки

24. Режими роботи транзисторів

25. Поняття, функціональні схеми та принцип дії розімкнених та замкнених систем управління

26. Механічні характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням

27. Механічні характеристики асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором

28. Механічні характеристики асинхронних двигунів з фазним ротором

29. Механічні характеристики синхронного двигуна

30. Основні принципи автоматичного управління пуском і гальмуванням двигунів

Зразок титульної сторінки курсового проекту

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра енергетики
аграрного виробництва

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів»

на тему:

**«Розробка автоматизованої системи керування
електроприводом зерноперевантажувального конвеєра»**

141 Ен 5М А6 КП

Виконав:

студент групи Ен 5М

Перевірив:

к.т.н., ст. викладач

Хвоцан О.В.

Миколаїв 2016

Шкала оцінювання курсового проекту

Оцінювання знань студентів здійснюється за рейтинговою системою балів.
Оцінка виставляється у відповідності із приведеною шкалою.

Таблиця 5Д

За шкалою ECTS	За національною шкалою	За шкалою навчального закладу
A	5 (відмінно)	90-100
BC	4 (добре)	75-89
DE	3 (задовільно)	60-74
FX	2 (незадовільно) з можливістю повторного складання	35-59
F	2 (незадовільно) з обов'язковим повторним курсом	1-34

Навчальне видання

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Методичні рекомендації

Укладач: Хвоцан Олег Вільямович

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 3.

Тираж ___ прим. Зам. № ___

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Паризької комуни, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.