

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи,
проведення практичних занять
з навчальної дисципліни

«СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ»

*(для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи, проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: М. І. Шпіка, С. О. Закурдай, В. А. Герасименко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 38 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. М. І. Шпіка
канд. техн. наук, доц. С. О. Закурдай
ст. викладач В. А. Герасименко

Рецензент

Ю. П. Колонтаєвський, кандидат технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 1
від 28 серпня 2018 р.*

ЗМІСТ

1 Мета та завдання навчальної дисципліни	4
2 Організація самостійної роботи з навчальної дисципліни	
«Системи керування електроприводами».....	5
2.1 Теми змістових модулів та запитання для самоперевірки.....	5
2.2 Завдання для самоперевірки за темами змістових модулів дисципліни...	30
3 Організація проведення практичних занять з навчальної дисципліни	
«Системи керування електроприводами».....	30
4 Організація виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами».....	34
Список використаної літератури.....	37

1 Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами» є формування знань з систем керування електроприводами різних машин та механізмів на електричному транспорті.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Системи керування електроприводами» є вивчення принципів автоматичного керування, вивчення характеристик автоматичних систем керування, ознайомлення з якістю процесів регулювання в автоматичних системах і їх специфічними особливостями, вивчення перспективних систем керування електроприводами, у тому числі багаторівневих і мікропроцесорних.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати: принципи автоматичного керування, характеристики автоматичних систем, багаторівневі системи керування, мікропроцесорні системи керування.

вміти: визначити основні принципи автоматичного керування, виконати класифікацію автоматичних систем керування, запроектувати функціональну схему автоматичної системи, дати оцінку статичних та динамічних властивостей автоматичної системи, запроектувати структуру багаторівневої системи керування, визначити складові багаторівневої системи керування, запроектувати структуру мікропроцесорної системи керування, налагоджувати цифрові канали зв'язку, протоколи обміну даними мікропроцесорної системи керування.

мати компетентності: здатність роботи інформаційно–керуючої системи на базі ПК, здатність досліджувати роботу мікропроцесорної системи керування без зворотного зв'язку по обертам, дослідження параметрів П–регулятора мікропроцесорної системи керування, дослідження параметрів ПП–регулятора мікропроцесорної системи керування, дослідження параметрів ППД–регулятора мікропроцесорної системи керування, здатністю до тестування, дослідження, перевірок, корекціям параметрів мікропроцесорної системи

керування асинхронним електроприводом в режимі пуску, готовністю до проектування параметрів мікропроцесорної системи керування асинхронним електроприводом для забезпечення оптимальних динамічних властивостей, здатністю до дослідження, перевіркам, корекціям параметрів мікропроцесорної системи керування асинхронним електроприводом в режимі гальмування.

2 Організація самостійної роботи з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами»

Самостійна робота полягає у вивченні теоретичного матеріалу конспекту лекцій та необхідної додаткової літератури, яка вказана у переліку використаних джерел. Засвоївши матеріал, необхідно відповісти на запитання самоперевірки та виконати індивідуальне контрольне завдання до самостійної роботи з метою оцінки рівня опанування матеріалу.

2.1 Теми змістових модулів та запитання для самоперевірки

Тема 1 Основні принципи автоматичного керування

Різноманітність технічних рішень при побудові автоматичних систем ґрунтується на загальних принципах керування, основні з яких:

- принцип керування по збуренню;
- принцип керування по відхиленню;
- принцип керування по принцип комбінованого керування;
- принцип адаптації.

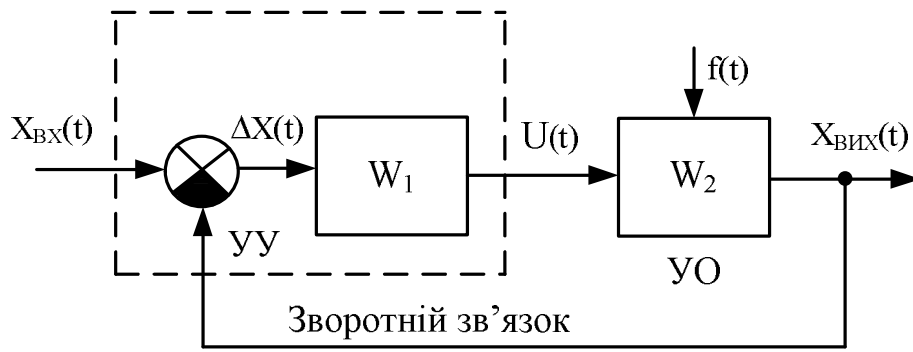


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматичної системи із зворотним зв'язком

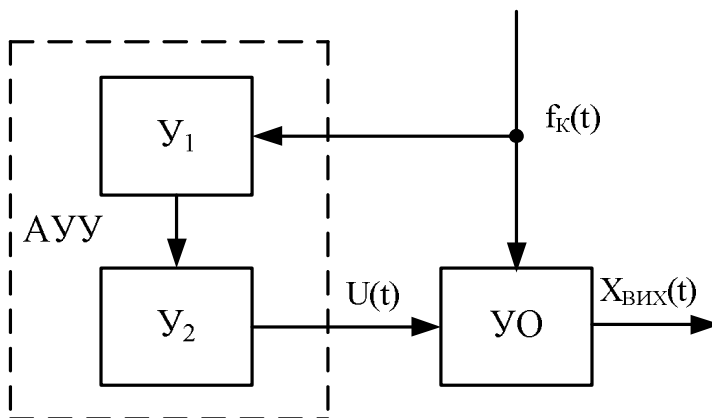


Рисунок 2.2 – Структурна схема автоматичної системи компенсації

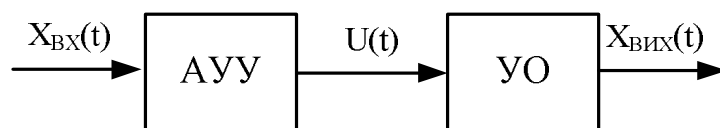


Рисунок 2.3 – Структурна схема автоматичної системи програмного керування

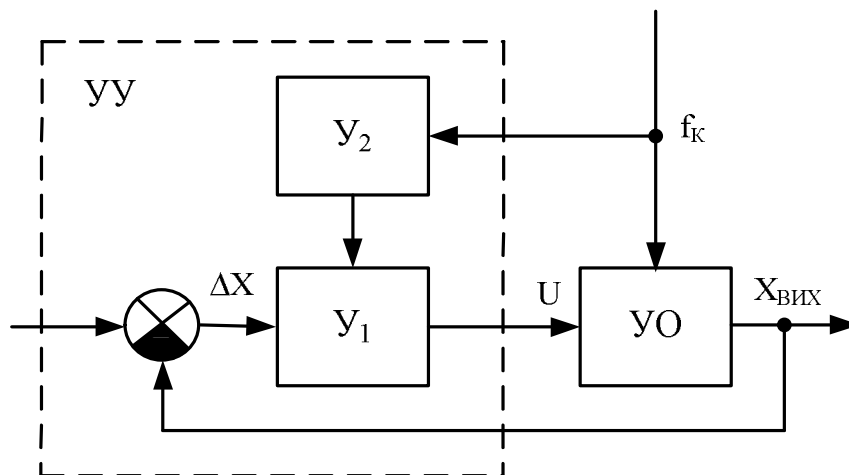


Рисунок 2.4 – Структурна схема автоматичної системи комбінованого керування з ланцюгом компенсації основного збурюючого впливу

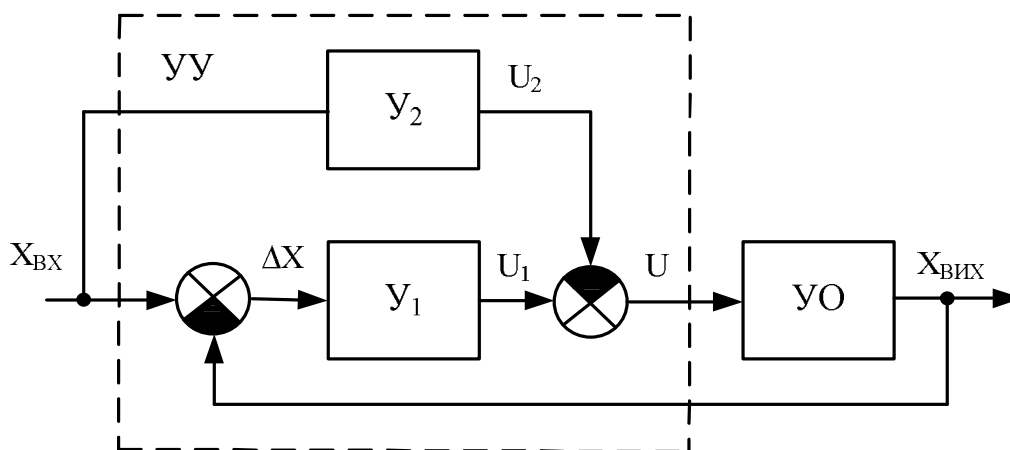


Рисунок 2.5 – Структурна схема автоматичної системи комбінованого керування з ланцюгом компенсації похибок від задаючого впливу

Контрольні запитання до теми 1

1. Які основні принципи автоматичного керування?
2. Що визначає принцип автоматичного керування?
3. Що таке зворотний зв'язок?
4. Який знак має зворотний зв'язок?
5. Які системи називаються системами програмного керування?
6. Де застосовується принцип керування за збуренням?

Тема 3 Функціональна схема автоматичної системи

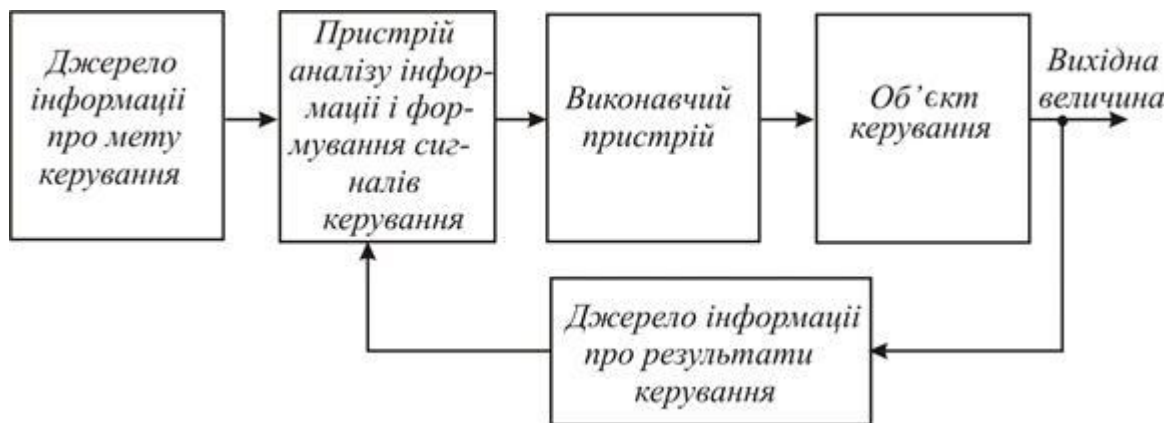


Рисунок 2.7 – Функціональна схема системи автоматичного керування

Контрольні запитання до теми 3

1. Для чого призначені функціональні схеми?
2. Що таке вимірювальний пристрій?
3. Для чого призначений підсилювальний пристрій?
4. Для чого призначений виконавчий пристрій?
5. Для чого призначений задаючий пристрій?
6. Що таке корегуючий пристрій?
7. Для чого призначений головний зворотній зв'язок?

Тема 4 Автоматичні системи стабілізації

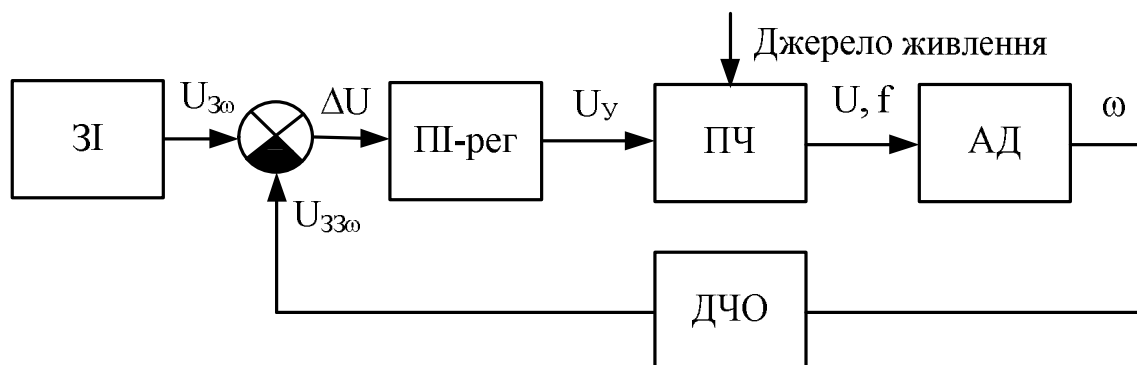


Рисунок 2.8 – Система стабілізації швидкості обертання електродвигуна

Контрольні запитання до теми 4

1. Які типові автоматичні системи ви знаєте?
2. Які автоматичні системи стабілізації ви знаєте?
3. Який вид мають статичні характеристики системи стабілізації з ДПС НЗ на основі принципу по відхиленню?
4. Який вид мають статичні характеристики системи стабілізації з ДПС НЗ на основі принципу керування по збуренню?
5. Який вид мають статичні характеристики астатичної системи стабілізації швидкості?

Тема 5 Автоматичні програмні системи

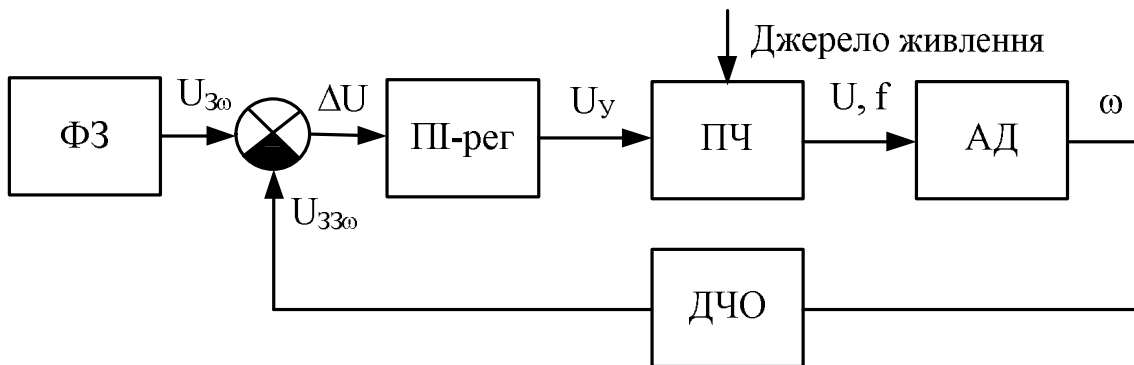


Рисунок 2.9 – Структурна схема системи програмного керування

Контрольні запитання до теми 5

1. Де використовуються автоматичні програмні системи?
2. Які типові автоматичні системи ви знаєте?
3. Які характеристики формують автоматичні програмні системи?

Тема 6 Способи опису роботи автоматичної системи

Контрольні запитання до теми 6

1. Яким чином можна описати роботу автоматичної системи?
2. При вирішенні яких задач необхідний словесний опис?

3. Чи може словесний опис повною мірою характеризувати систему?
4. Яким вимогам повинні задовольняти способи опису автоматичних систем?
5. Який режим можна прийняти за сталий?
6. Який рух в теорії автоматичного керування називається перехідним процесом?

Тема 7 Оцінка статичних властивостей автоматичної системи

Статичні властивості автоматичної системи оцінюють по статичній характеристиці, якою називається залежність сталого значення керованої величини від збурення. Якщо стале значення помилки в системі залежить від сталого значення збурення, то система називається статичною (див. рис. 2.10), а якщо не залежить – то астатичною (див. рис. 2.11).

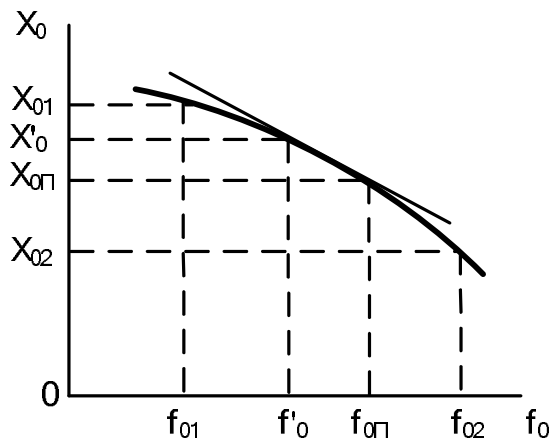


Рисунок 2.10 – Статична характеристика статичної системи

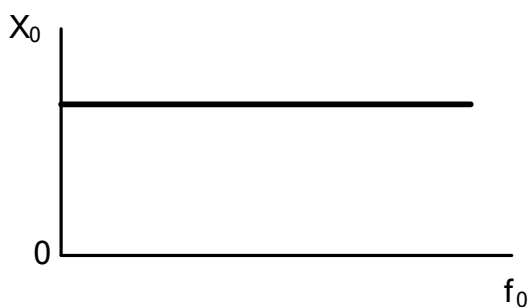


Рисунок 2.11 – Статична характеристика астатичної системи

Контрольні запитання до теми 7

1. Як оцінюють статичні властивості автоматичної системи?
2. Яка автоматична система називається астатичною?
3. Яка автоматична система називається статичною?
4. Що таке абсолютне значення статичної похибки?
5. Що таке відносна статична похибка?
6. Що таке коефіцієнт статизму?
7. Чому дорівнює коефіцієнт статизму астатичної системи?
8. Яка ступінь точності астатичної системи?

Тема 8 Оцінка динамічних властивостей автоматичної системи

Для того, щоб оцінити динамічні властивості автоматичної системи, слід порішати диференціальне рівняння системи і проаналізувати знайдене рішення. Рішення одного і того ж рівняння буде різним при різних формах вхідного збурення. Тому спочатку необхідно вирішити, яку форму вхідного збурення доцільно вибрати. Ця дія повинна відповідати найбільш важкому режиму роботи системи з числа тих, що зустрічаються при її експлуатації. В той же час, вона повинна бути достатньо простою, щоб не утрудняти рішення диференціального рівняння. Цим умовам задовольняють дії двох форм: одинична ступінчаста функція і одиничний імпульс. Тому для оцінки динаміки систем застосовують перехідну функцію, як реакцію системи на одиничний стрибок і імпульсну перехідну функцію, як реакцію системи на одиничний імпульс. Перехідну і імпульсну перехідну функції одержують, вирішуючи диференціальне рівняння з нульовими початковими умовами для випадків, коли вхідна величина є одиничним стрибком і одиничним імпульсом.

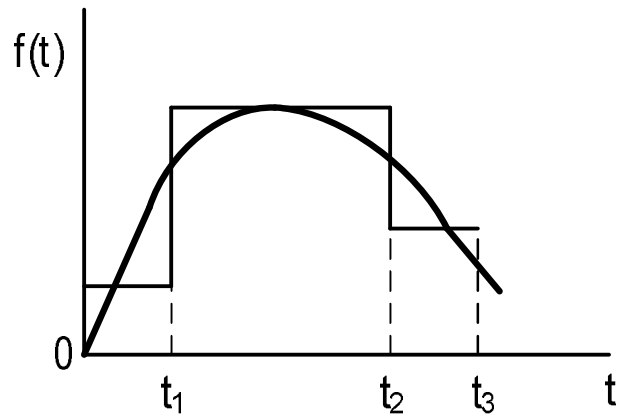


Рисунок 2.12 – Часова діаграма розкладання сигналу $f(t)$ довільної форми на скачки

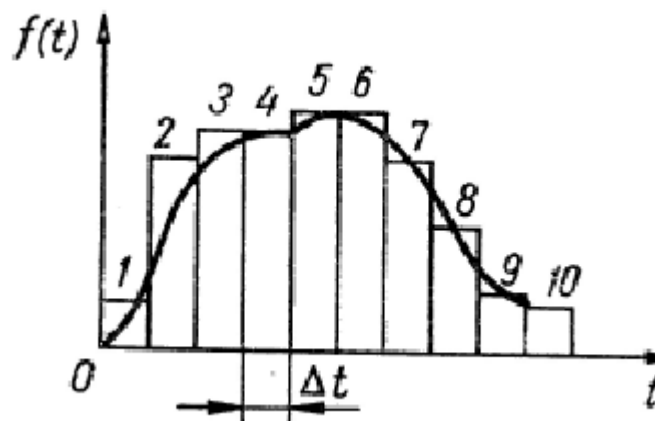


Рисунок 2.13 – Часова діаграма розкладання сигналу $f(t)$ довільної форми на імпульси

Контрольні запитання до теми 8

1. Яким чином можна оцінити динамічні властивості автоматичної системи?
2. Яку форму вхідного збурення доцільно вибрати при оцінці динамічних властивостей автоматичної системи?
3. Що таке одинична ступінчаста функція?
4. Для чого використовується одиничний імпульс?
5. Для чого використовується перехідна функція?
6. Де використовують імпульсну перехідну функцію?

Тема 9 Типові вузли автоматичних систем та їх класифікація

Тема 10 Аналіз типових вузлів автоматичних систем

Динамічною ланкою, або просто ланкою, називається елемент або вузол автоматичної системи, який має певні динамічні властивості.

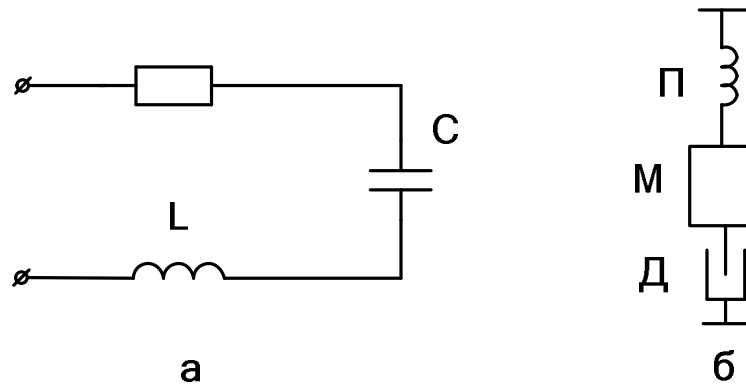


Рисунок 2.14 – Схеми електричного ланцюга (а) і механічної системи (б)

Електричний ланцюг складається з резистора R, конденсатора C і індуктивності L. За наявності зовнішньої напруги динамічні процеси в електричному ланцюзі описуються диференціальним рівнянням другого порядку:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = U, \quad (2.1)$$

де q – заряд конденсатора C.

Механічна система складається з твердого тіла M, пружини П та демпфера Д і при наявності зовнішньої сили f диференціальне рівняння динаміки механічної системи має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \lambda \frac{dx}{dt} + cx = f, \quad (2.2)$$

де x – переміщення тіла M;

m – маса тіла M;

λ – коефіцієнт сили демпфера Д;

c – коефіцієнт жорсткості пружини П.

Існують всього декілька типових ланок: пропорційні (підсилювальні), аперіодичні (інерційні), коливальні, інтегруючі, диференціюючі і форсуючі.

Контрольні запитання до тем 9, 10

1. Що називається динамічною ланкою?
2. Що таке пропорційної ланки?
3. Що таке аперіодична ланка?
4. Які характеристики у коливальної ланки?
5. Яка ланка називається інтегруючою?
6. Що таке форсуючі ланки?
7. Як отримати форсуючі ланки?

Тема 11 Показники якості перехідних процесів

Якість перехідних процесів оцінюють по перехідній функції $h(t)$, яка є реакцію системи на зовнішню дію типу одиничної ступінчастої функції $1(t)$. Для систем стеження і систем керування розглядають перехідну функцію по відношенню до задаючої дії, а для систем стабілізації – по відношенню до збурення.

Основні показниками якості перехідного процесу:

- час регулювання;
- перерегулювання;
- основна частота коливань;
- кількістю коливань;
- максимальна швидкість регульованої величини;
- максимальне прискорення регульованої величини.

Прямі показники якості перехідних процесів визначаються по кривій перехідній характеристиці САК.

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{\Phi(p)}{p} \right\}$$

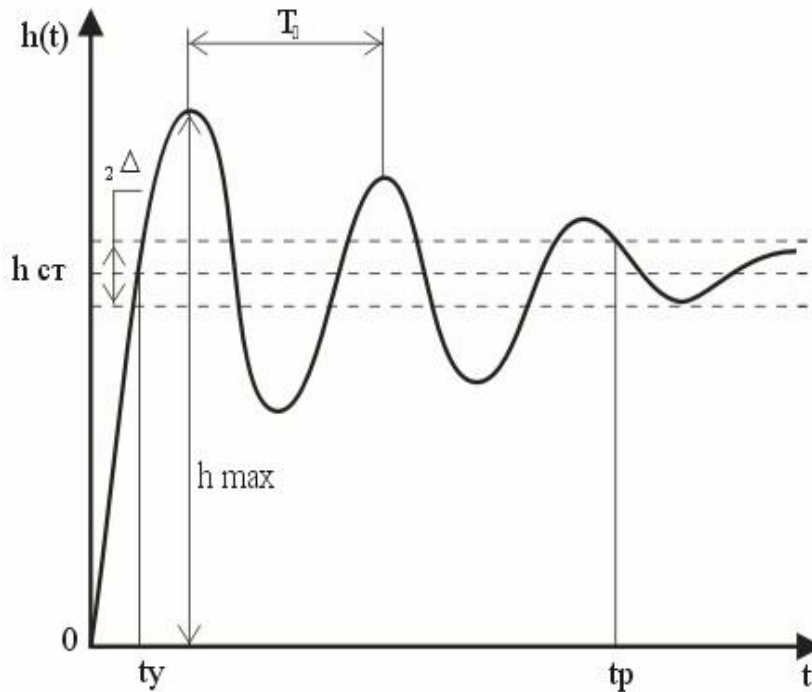


Рисунок 2.15 – Перехідна характеристика системи автоматичного керування

У формулу для $h(t)$ підставляємо час і будуємо графік, за графіком визначаємо прямі показники якості:

t_p – час регулювання – час, по закінченні якого відхилення $h(t)$ перехідної характеристики від сталого значення $y_{уст}$ стає й залишається менше заданої величини $\Delta=0.05$ від $y_{уст}$. Визначає швидкодію САК.

t_y – час установлення – це час, за який $h(t)$ уперше досягає сталого значення $y_{уст}$. Визначає швидкість відпрацювання вхідного впливу.

σ – перерегулювання, визначається за виразом:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} 100\% \quad (2.3)$$

ω_0 – частота коливань (для коливальних процесів)

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad (2.4)$$

n – кількість коливань за час регулювання (для коливальних процесів)

$$n = \frac{t_p}{T_0} \quad (2.5)$$

Контрольні запитання до теми 11

1. Що називається похибкою по положенню?
2. Що називається статичною похибкою?
3. Яка похибка є характерною властивістю статичних систем?
4. Зі збільшенням коефіцієнта передачі розімкненої системи сталі похибки зменшуються чи збільшуються?
5. Що погіршує стійкість автоматичних систем?
6. Точність суперечить вимозі до стійкості системи чи ні?
7. Чи мають астатичні системи статичну похибку?

Тема 12 Оцінки якості перехідних процесів



Рисунок 2.16 – Структурна схема методів оцінки якості перехідних процесів

Контрольні запитання до теми 12

1. Що називається перерегулюванням?
2. Які основні показники якості перехідного процесу?
3. За яким показником оцінюють якість перехідних процесів?
4. Що таке час регулювання?
5. Що є достатньою умовою якості процесів регулювання?
6. Чому стійкість є необхідною, але недостатньою умовою «працездатності» автоматичних систем?
7. До чого приводить прагнення зменшити час регулювання?

Тема 13 Обчислення похибок автоматичної системи

Тема 14 Похибки від органів керування

При розгляді автоматичних систем з точки зору передачі і перетворення сигналів виникає питання про точність передачі цих сигналів. Зокрема, цікавить точність відтворення задаючої дії, а саме, з яким ступенем точності виконується основна умова:

$$x_{вих}(t) = x_{вх}(t). \quad (2.6)$$

Крім того, необхідно визначити помилки, викликані збуренням $f(t)$.

Похибка системи по задаючій дії:

$$\Delta x(t) = x_{вх}(t) - x_{вих}(t), \quad (2.7)$$

а по збуренню:

$$\Delta x(t) = -x_{вих}(t), \quad (2.8)$$

тобто похибка системи від збурення чисельно рівна зміні регульованої величини під впливом цього збурення (за відсутності задаючої дії).

Статичні системи при ступінчастій дії мають сталу похибку, яка називається статичною, або похибкою по положенню:

$$\Delta x_{ycm} = \frac{x_0}{1+k}, \quad (2.9)$$

Вона пропорційна величині задаючої дії і зменшується із збільшенням коефіцієнта передачі розімкненої системи k . При діях, що змінюються в часі, похибка безперервно зростає. Наявність статичної похибки є характерною властивістю статичних систем.

Астатичні системи 1-го порядку точно відпрацьовують ступінчасту дію, але мають постійну похибку при відпрацюванні лінійно зростаючого сигналу. Ця похибка пропорційна швидкості зміни вхідного сигналу:

$$\Delta x_{ycm} = \frac{v}{k} \quad (2.10)$$

Зважаючи на це, її називають швидкісною помилкою, а коефіцієнт передачі розімкненої системи k – добротністю системи за швидкістю. Відсутність статичної помилки пояснюється наявністю в структурній схемі системи інтегруючої ланки.

Астатичні системи 2-го порядку точно відпрацьовують як ступінчастий, так і лінійно зростаючий сигнал. При відпрацюванні квадратичного сигналу має місце похибка, яка пропорційна прискоренню a вхідного сигналу і обернено пропорційна коефіцієнту посилення розімкненої системи k , який називається добротністю системи по прискоренню, а сама похибка – похибкою системи по прискоренню:

$$\Delta x_{ycm} = \frac{a}{k} \quad (2.11)$$

Отже, із збільшенням коефіцієнта передачі розімкненої системи сталі похибки зменшуються, але погіршується стійкість автоматичних систем. Таким чином, вимога до точності суперечить вимозі до стійкості. При виборі величини k повинно бути ухвалено компромісне рішення.

Контрольні запитання до тем 13 та 14

1. Що називається похибкою за положенням?
2. Що називається статичною похибкою?
3. Яка похибка є характерною властивістю статичних систем?
4. Із збільшенням коефіцієнта передачі розімкненої системи сталі похибки зменшуються чи збільшуються?
5. Що погіршує стійкість автоматичних систем?
6. Точність суперечить вимогі до стійкості системи чи ні?
7. Чи мають астатичні системи статичну похибку?

Тема 15 Корекція автоматичних систем

Теоретичний синтез містить у собі наступні часткові завдання:

- забезпечення стійкості й підвищення запасу стійкості;
- підвищення точності в сталих режимах;
- поліпшення перехідних процесів.

Стабілізація й корекція являють собою процедуру поліпшення динамічних властивостей автоматичної системи шляхом включення в її контур додаткових конструктивних елементів, що мають заздалегідь обрані характеристики.

Під стабілізацією розуміють процедуру, здійснювану з метою додання системі стійкості або підвищення запасу стійкості.

Під корекцією розуміють процедуру, здійснювану для зменшення тривалості й коливальності перехідного процесу в системі.

Стабілізацію й корекцію здійснюють включенням в основний контур системи різних коригувальних пристроїв.

Коригувальний пристрій – це функціональний елемент системи автоматичного регулювання, що забезпечує необхідні динамічні властивості цієї системи. Іноді коригувальний пристрій змінює потрібним образом і статичні властивості системи.

Контрольні запитання до теми 15

1. Що буде, якщо система реагує тільки на сигнал розузгодження?
2. Що необхідно для зменшення похибки в установленому режимі?
3. Що необхідно для зменшення похибки керування та збереження стійкості?
4. Із збільшенням коефіцієнта підсилення системи збільшується її частота зрізу чи ні?
5. Який фізичний смисл введення похідної в закон регулювання?
6. Як реагує виконавчий орган при наявності похідної від сигналу розузгодження?

Тема 16 Складові багаторівневої системи керування

Прикладом багаторівневої системи керування є транспортних засіб, наприклад вагон метроплітену.

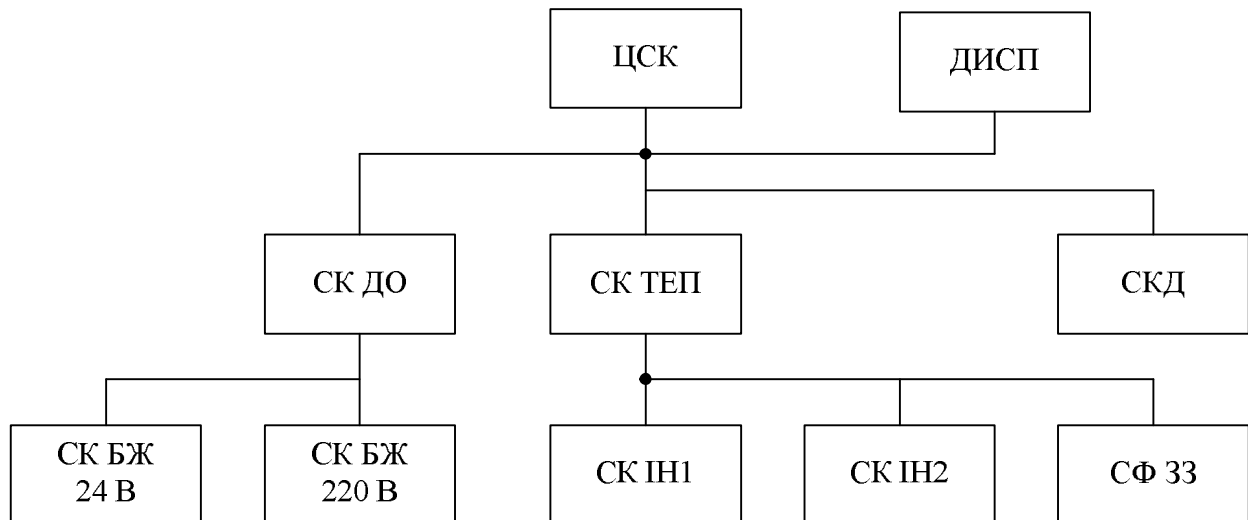


Рисунок 2.17 – Структура багаторівневої системи керування

На рисунку 2.17 прийняті наступні позначення:

ЦСК – центральна система керування;

ДИСП – багатофункціональний дисплей;

СК ТЕП – система керування тягового електроприводу;

СК ІН 1, СК ІН 2 – системи керування відповідно першого та другого інверторів напруги;

СФЗЗ – система формування зворотних зв'язків;

СКД – система контролю та діагностики,

СК ДО – система керування допоміжним обладнанням;

СК БЖ 24В – система керування блока живлення 24 В;

СК БЖ 220В – система керування блока живлення 220 В;

СК ОП – система керування опалення;

СК ВЕН – система керування вентиляції.

Контрольні запитання до теми 16

1. Для чого призначені багаторівневі системи керування?
2. В багаторівневій системі керування системи нижчого рівня підпорядковані системам вищого рівня чи навпаки?
3. Як здійснюється зв'язок між системами різних рівнів?
4. Куди поступає інформація про роботу окремих вузлів, агрегатів і систем ?
5. Які складові входять до системи керування електроприводом ?
6. Як умовно називають системи одного рівня по відношенню до іншого?

Тема 17 Мікропроцесорні системи керування. Структура мікропроцесорної системи: Статичні характеристики електроприводу, які формує система керування. Структура мікропроцесорної системи керування асинхронного електроприводу. Елементи мікропроцесорної системи керування

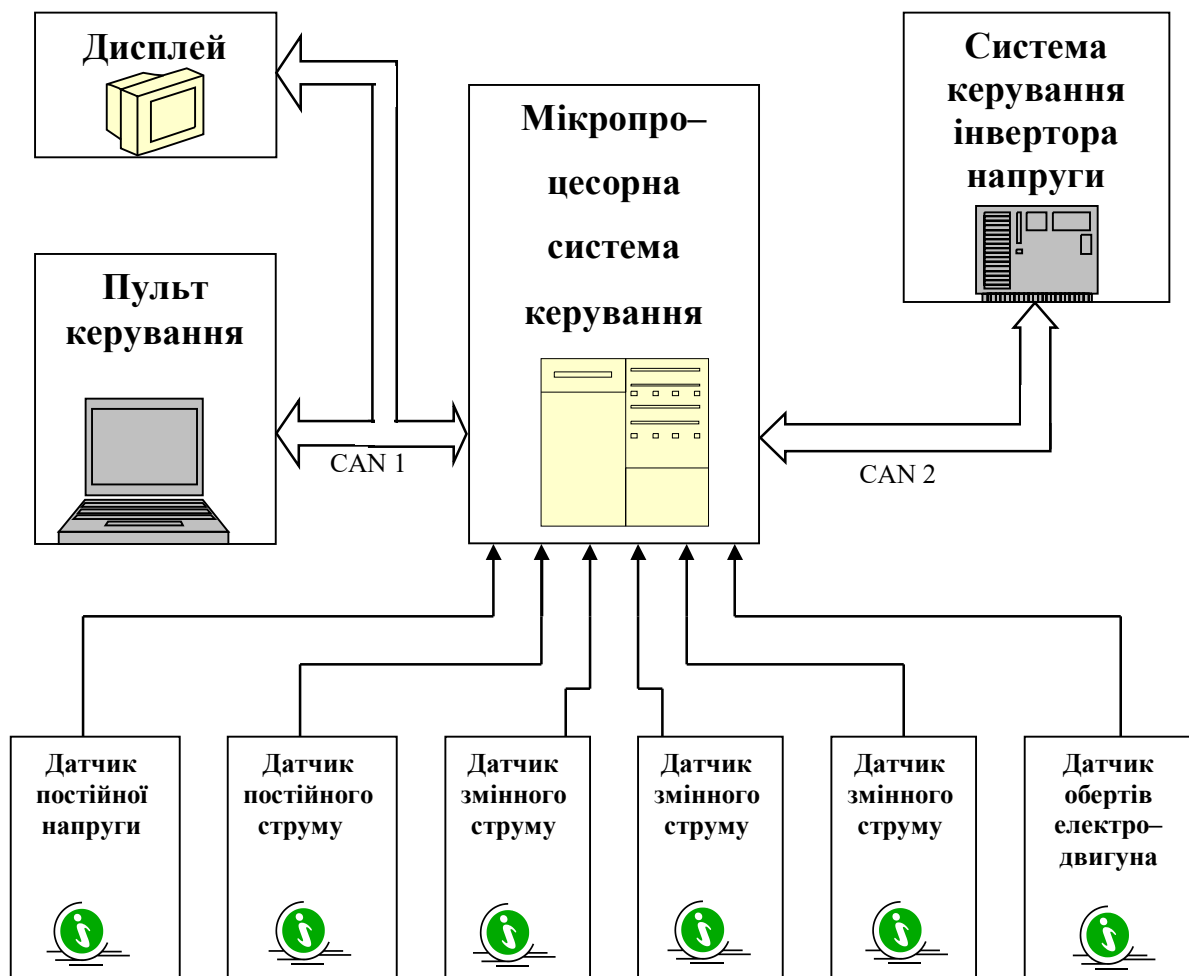


Рисунок 2.18 – Структура системи керування для тягового асинхронного електроприводу

Це умовно позначається таким чином: пульт керування – Master для мікропроцесорної системи керування, а вона для нього – Slave. В свою чергу мікропроцесорна система керування – Master для системи керування інвертора напруги, а остання – Slave для першої.

Зв'язок між пультом керування та мікропроцесорною системою керування здійснюють цифровим каналом зв'язку CAN1, а зв'язок між мікропроцесорною системою керування та системою керування інвертора напруги – цифровим каналом зв'язку CAN2.

Датчики постійної напруги та постійного струму необхідні для формування зворотного зв'язку за потужністю.

Датчики змінного струму необхідні для формування зворотного зв'язку з фазного струму.

Датчик обертів електродвигуна необхідний для частотного каналу.

Дисплей відображає режим роботи електроприводу.

Контрольні запитання до теми 17

1. Що називається задатчиком інтенсивності?
2. Які властивості має задатчик інтенсивності?
3. Яким чином можна регулювати величину вихідного сигналу задатчика інтенсивності?
4. Яке місце займає МПСК у структурі системи керування тягового асинхронного електроприводу?
5. Який канал МПСК забезпечує реалізацію необхідних законів керування електроприводом?
6. Які елементи входять до складу МПСК?
7. Які закони керування забезпечують формування механічної характеристики електроприводу?
8. Які типи регуляторів ви знаєте?

Тема 18 Елементи мікропроцесорної системи

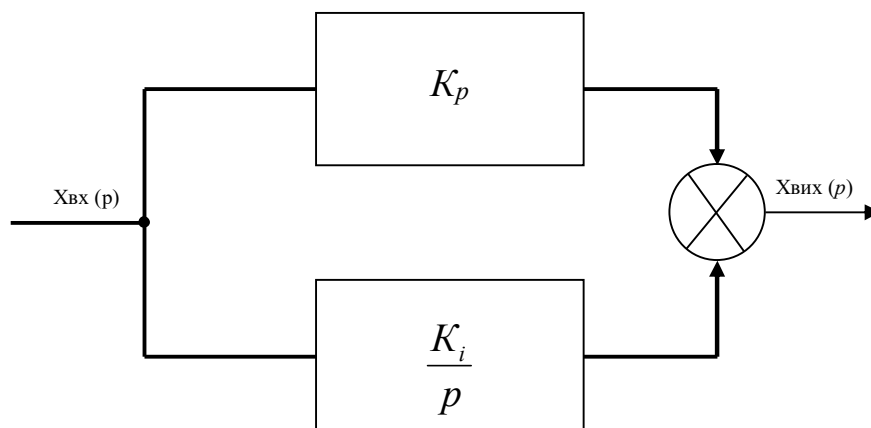


Рисунок 2.19 – Структурна схема ПІ– регулятора: K_p – коефіцієнт посилення регулятора, K_i – постійна часу інтегрування

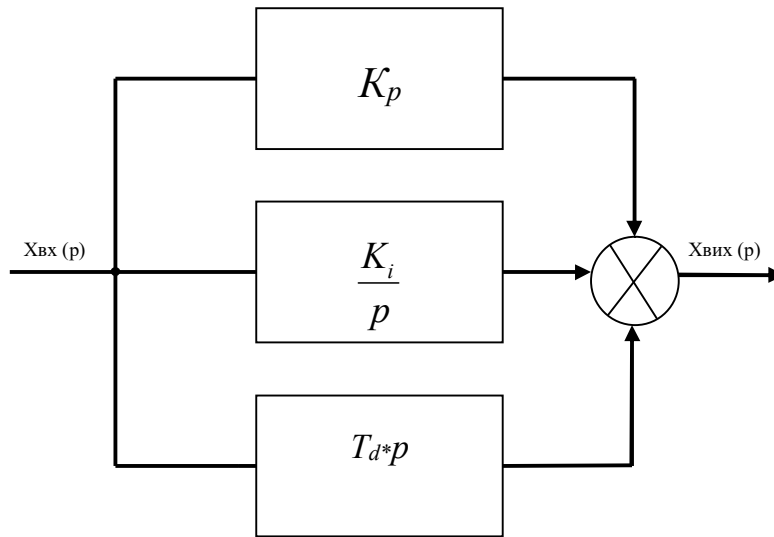


Рисунок 2.20 – Структурна схема ПІД-регулятора

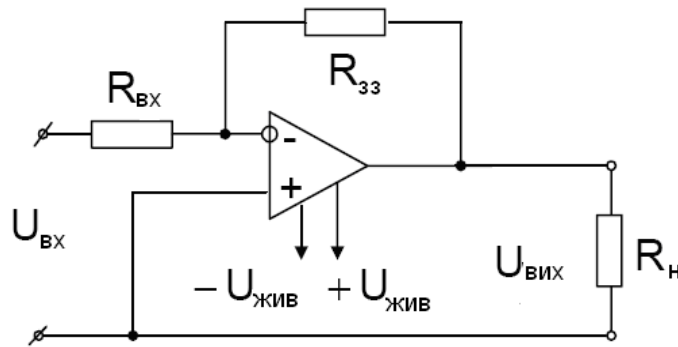


Рисунок 2.21 – Підсилювач напруги

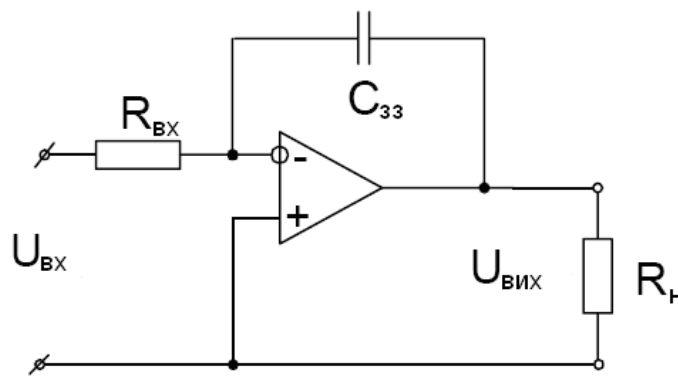


Рисунок 2.22 – Інтегральний підсилювач

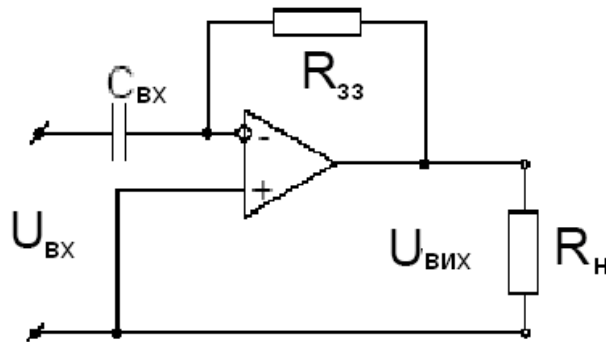


Рисунок 2.23 – Диференціальний підсилювач

Контрольні запитання до теми 18

1. Що називається задатчиком інтенсивності?
2. Які властивості має задатчик інтенсивності?
3. Яким чином можна регулювати величину вихідного сигналу задатчика інтенсивності?
4. Яке місце займає МПСК в структурі системи керування тягового асинхронного електроприводу
5. Який канал МПСК забезпечує реалізацію необхідних законів керування електроприводом ?
6. Які елементи входять до складу МПСК ?
7. Які закони керування забезпечують формування механічної характеристики електроприводу ?
8. Які типи регуляторів ви знаєте ?

Тема 19 Цифрові канали зв'язку

Під каналом зв'язку розуміють сукупність середовища поширення і технічних засобів передачі між двома канальними інтерфейсами або стиками типу С1. З цієї причини стик С1 часто називається канальним стиком.

В залежності від типу сигналів, що передаються, розрізняють два види каналів зв'язку – цифрові та аналогові.

Цифровий канал є бітовим трактом із цифровим (імпульсним) сигналом на вході і виході каналу. На вхід аналогового каналу надходить неперервний сигнал, і з його виходу також знімається неперервний сигнал (див. рис. 2.24). Як відомо, сигнали характеризуються формою свого подання.

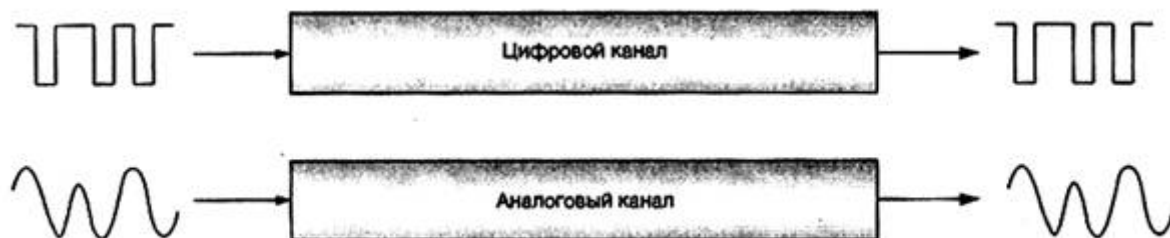


Рисунок 2.24 – Цифрові й аналогові канали передачі

В цифрових каналах зв'язку використовують CAN – протокол, що був розроблений фірмою Robert Bosch GmbH для автомобільної промисловості.

CAN – протокол відрізняється підвищеною перешкодостійкістю, надійністю і має такі властивості:

- дозволяє отримувати повідомлення всіма вузлами з синхронізацією в часі;
- забезпечує арбітраж доступу до шини;
- виявляє похибки і передає сигнали щодо них;
- забезпечує автоматичну передачу повідомлень при отриманні можливості повторного доступу до шини;
- розрізняє випадкові похибки від постійних відмов;
- забезпечує роботу по витій парі на відстані до 1 км.

Всі ці якості роблять CAN – протокол доволі привабливим для використання при розробці нових проектів.

Тим більше, що ряд фірм випускають недорогі контролери, котрі апаратно реалізують вимоги CAN – протоколу і працюють в широкому температурному діапазоні.

CAN – протокол має наступні рівні:

- об'єктний рівень, що забезпечує фільтрацію та обробку повідомлень і стану;
- транспортний рівень, що представляє собою ядро CAN – протоколу. Він відповідає за синхронізацію, арбітраж, доступ до шини, розподіл послідовних пакетів на фрейми, визначення й передачу похиток і мінімізацію несправностей.
- фізичний рівень визначає, як саме будуть передаватися сигнали, їх електричні рівні й швидкість передачі.

Контрольні запитання до теми 19

1. Де використовують CAN-протокол ?
2. Завдяки чому CAN-протокол привабливий для використання при розробці нових проектів?
3. Які типові значення сигнальних рівнів в CAN-шині при напрузі живлення +5В?
4. Який із сигнальних рівнів є домінуючим у CAN-шині?
5. Яка максимальна відстань між вузлами при передачі інформації?
6. Яка швидкість обміну в CAN-шині при довжині лінії 60 м?
7. Скільки сигнальних рівнів в CAN-шині?

Тема 20 Протоколи обміну

Для створення CAN – протоколу необхідно розробити протокол обміну між Master і Slave.

Приклад такого протоколу обміну між пультом керування (ПК) та мікропроцесорною системою керування (МПСК) наведений в таблиці 2.1. Аналогічний вигляд має протокол обміну між МПСК та системою керування інвертора напруги (СКІН).

Таблиця 12.1 – Протокол обміну між пультом керування та мікропроцесорною системою керування

№ п/п	Параметр	Одиниця виміру	Інформаційний зміст	Джерело
1	I_{ϕ}	1 байт	Діюче значення струму	МПСК
2	V	1 байт	Швидкість об'єкту	МПСК
3	P	1 байт	Потужність електроприводу	МПСК
4	I_d	1 байт	Активний струм на вході інвертора напруги	МПСК
5	U_d	1 байт	Напруга мережі живлення	МПСК
6	$N_{км}$	4 біт	Номер позиції контролера	ПК
7	$F_{рух}$	1 біт	Режим «Рух»	ПК
8	$F_{гальм}$	1 біт	Режим «Гальмування»	ПК
9	$F_{вибіг}$	1 біт	Режим «Вибіг»	ПК
10	F_v	1 біт	Рух «Вперед»	ПК
11	F_n	1 біт	Рух «Назад»	ПК
12	$F_{ін}$	1 біт	Команда на включення інвертора напруги	ПК

Контрольні запитання до теми 20

1. Які сигнали поступають із пульта керування?
2. Які сигнали поступають із МПСК?
3. Звідки задаються режими роботи електроприводу?
4. Які одиниці виміру дискретних сигналів?
5. Які одиниці виміру аналогових сигналів?
6. Які сигнали поступають в ПК?
7. Куди поступають дискретні сигнали?

2.2 Завдання для самоперевірки за темами змістових модулів дисципліни

№1

1. Вказати основні принципи автоматичного керування.
2. Вказати способи регулювання швидкості асинхронних двигунів.
3. Записати закон регулювання параметру, якщо використовується ПІ–регулятор.

№2

1. Навести способи опису роботи автоматичної системи.
2. Вказати принцип управління по відхиленню.
3. Записати рівняння закону керування швидкості з ПІ–регулятором.

№ 3

1. Навести приклад типових вузлів автоматичної системи керування.
2. Вказати показники якості перехідних процесів.
3. Записати рівняння закону керування струму з ПІ–регулятором.

№4

1. Вказати похибки від органів керування.
2. Вказати закони керування асинхронного електроприводу.
3. Записати рівняння закону керування потужності з ПІ–регулятором.

№ 5

1. Вказати, як розраховуються параметри зворотного зв'язку.
2. Вказати закони керування асинхронного електроприводу.
3. Вказати, для чого використовуються цифрові канали зв'язку.

№ 6

1. Навести приклад багаторівневої системи керування.
2. Вказати, який закон керування використовується в асинхронному електроприводі, щоб підтримувати незмінним момент.
3. Записати рівняння задатчика інтенсивності.

№ 7

1. Навести структуру багаторівневої системи керування.
2. Вказати, який закон керування використовується в асинхронному електроприводі, щоб підтримувати незмінною потужність.
3. Записати рівняння закону керування швидкості з ПІ–регулятором.

№ 8

1. Навести приклад типових вузлів автоматичної системи керування.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування задатчики інтенсивності.
3. Записати рівняння закону керування струму з ПІ–регулятором.

№ 9

1. Навести основні елементи мікропроцесорної системи керування.
2. Дати оцінку властивостям статичної автоматичної системи.
3. Записати рівняння задатчика інтенсивності.

№ 10

1. Навести приклад протоколів обміну.
2. Дати оцінку властивостям астатичної автоматичної системи.
3. Навести структуру багаторівневої системи керування.

№ 11

1. Навести приклад типових вузлів автоматичної системи керування.
2. Навести складові багаторівневої системи керування
3. Вказати, для чого використовуються в системах керування задатчики інтенсивності.

№ 12

1. Навести приклад зворотного зв'язку в автоматичній системі керування.
2. Вказати, що називається системою керування.
3. Записати рівняння закону керування струму асинхронного приводу.

№ 13

1. Навести приклад об'єкту керування і системи керування.
2. Вказати принцип управління по відхиленню.

3. Записати рівняння закону керування потужності асинхронного приводу.

№ 14

1. Навести приклад автоматичної системи керування.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування задатчики інтенсивності.
3. Описати структуру багаторівневої системи керування.

№ 15

1. Навести приклад елементів зворотного зв'язку автоматичної системи керування.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування датчики частоти.
3. Вказати принцип управління по відхиленню.

№ 16

1. Навести приклад типових вузлів автоматичної системи керування.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування цифрові канали зв'язку.
3. Дати класифікацію автоматичних систем.

№ 17

1. Навести приклад типових вузлів автоматичної системи керування.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування цифрові канали зв'язку.
3. Дати класифікацію автоматичних систем.

№ 18

1. Навести способи опису роботи автоматичної системи.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування датчики струму та напруги.
3. Записати рівняння закону керування струму з ПІ–регулятором.

№ 19

1. Навести приклад елементів зворотнього зв'язку автоматичної системи керування.
2. Вказати, для чого використовуються в системах керування датчики частоти.

3. Вказати принцип управління по відхиленню.

№ 20

1. Навести приклад автоматичної системи керування.

2. Вказати, для чого використовуються в системах керування задатчики інтенсивності.

3. Описати структуру багаторівневої системи керування.

3 Організація проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами»

Згідно з програмою студенти ознайомлюються з особливістю побудови, принципом побудови електричних схем контактного та безконтактного керування електроприводами, їх роботою, а також особливостями розрахунку та вибору необхідного устаткування для забезпечення роботи відповідних схем керування.

Перед початком виконання практичних робіт студент повинен ознайомитись з завданням практичної роботи. В залежності від завдання: вибрати необхідний варіант для подальшого розрахунку або діючу установку, на робочому місці розписатись у книзі з техніки безпеки, повторити теоретичний матеріал, пов'язаний із виконанням роботи.

Робота виконується бригадою з 2-4 студентів у відповідності з завданням до даної роботи та складається звіт індивідуально. Захист роботи проводиться перед викладачем, як бригадою, так і індивідуально. Зараховується у випадку правильного оформлення згідно з вимогами (наявність схеми установки, опису роботи) та проведеного налагодження та пуску, відповіді на питання викладача, що стосуються даної роботи.

4 Організація виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами»

При виконанні розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводами» необхідно використовувати методичні вказівки [7]. Мета розрахунково-графічної роботи – привити студентам навички системного підходу при проектуванні сучасної багаторівневої мікропроцесорної системи керування асинхронного електроприводу з кількома інверторами напруги та асинхронними короткозамкнутими електродвигунами. Тому перед студентами ставиться завдання не просто освоїти методику розрахунку тих чи інших схемних рішень або ланцюгів керування, наприклад, перетворювача частоти, а на основі технічних вимог та вихідних даних вибрати структуру електроприводу, зробити розрахунок його статичних характеристик та вибрати закони керування, розробити структуру багаторівневої мікропроцесорної системи керування та здійснити вибір її елементів, провести розрахунок параметрів зворотних зв'язків та вибір регуляторів, розробити протоколи обміну цифрових каналів зв'язку та алгоритми керування, зробити опис роботи системи керування. Причому, студенти повинні обґрунтовувати свій вибір технічних рішень.

Виконання розрахунково-графічної роботи дозволить студентам суттєво розширити свій технічний кругозір та підготуватися до виконання дипломного проекту.

В якості об'єкту керування можна використати, наприклад, асинхронний електродвигун тягового електроприводу рухомого складу міського електротранспорту.

В вихідні дані входять:

$P_{\text{пит}}$ – питома потужність електроприводу;

n – кількість електродвигунів електроприводу;

$i_{\text{ред}}$ – передавальне число редуктора;

$\eta_{ред}$ – ККД редуктора;

m – приведена маса рухомого складу;

V_{max} – максимальна швидкість рухомого складу;

G – вага рухомого складу;

a_{max} – максимальне прискорення рухомого складу;

W – сила опору руху рухомого складу;

D_k – діаметр колеса;

U_d – напруга живлячої мережі;

$\eta_{інв}$ – ККД інвертора;

$\eta_{дв}$ – ККД тягового асинхронного електродвигуна;

I_f – діюче значення струму тягового асинхронного електродвигуна;

В розрахунково–графічної роботі необхідно:

- на основі технічних вимог та вихідних даних зробити вибір структури тягового асинхронного електроприводу;
- зробити розрахунок статичних характеристик електроприводу та вибрати закони керування;
- розробити структуру багаторівневої мікропроцесорної системи керування та здійснити вибір її елементів;
- провести розрахунок параметрів зворотних зв'язків та вибір регуляторів;
- розробити протоколи обміну цифрових каналів зв'язку та алгоритми керування;
- зробити опис роботи системи керування.

Розрахунково–пояснювальна записка повинна містити:

1. Титульний аркуш за затвердженою формою
2. Завдання на проектування
3. Реферат
4. Зміст
5. Вступ
6. Головна частина, що містить розділи роботи відповідно до пунктів
7. Висновки

8. Список використаної літератури

Вступ має містити оцінку сучасного стану вирішуваної проблеми.

В висновках необхідно дати коротку оцінку одержаних результатів.

В головній частині необхідно привести структуру системи керування, схеми регуляторів та зворотних зв'язків, таблиці протоколів обміну цифрових каналів зв'язку, алгоритми керування та опис роботи системи керування.

Обсяг розрахунково–пояснювальної записки складає 25 – 30 сторінок.

В графічній частині необхідно привести статичні характеристики електроприводу, структурну схему електроприводу з мікропроцесорною системою керування та функціональну схему системи автоматичного регулювання заданих параметрів.

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

Розрахунково–графічна робота приймається до захисту при повністю решених завданнях і правильно оформленої пояснювальній записки. Захистом роботи є співбесіда, на якому викладачем з'ясовується не тільки рівень теоретичної підготовленості студента, але і його розуміння методик моделювання, використаних в роботі.

Список використаної літератури

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, И. Б. Клепиков та ін.; за ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – Київ: Либідь, 2005. – 680 с.

1. Електроніка і мікросхемотехніка : У 4-х т. / [В. І. Сенько, М. В. Панасенко, Є. В. Сенько та ін.]. – Київ : Обереги, 2000. –Т.1.: Елементна база електронних пристроїв. – 300 с.

2. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: Семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – М. : Издат. дом Додэка–XXI, 2001. – 384 с.

3. Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка : навч. посібник / О. О. Шавьолкін, О. М. Наливайко. – Краматорськ : Донбаська ДМА, 2008. – 328 с.

4. Попов О. З. Основы преобразовательной техники : учеб. пособие / О. З. Попов. – М. : Изд. дом МЭИ, 2007. – 200 с.

5. Bose Bimal K. Power Electronics and AC Drives. – Prentice Hall PTR, 2002. – 711 p.

6. Bose Bimal K. Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends. – Elsevier, 2006. – 917 p.

Виробничо–практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи,
проведення практичних занять
з навчальної дисципліни

«СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ»

*(для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка»)*

Укладачі: **ШПКА** Микола Іванович,
ЗАКУРДАЙ Світлана Олександрівна,
ГЕРАСИМЕНКО Віталій Анатолійович

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *С. О. Закурдай*

План 2019, поз. 166М

Підп. до друку 19.03.2019. Формат 60 × 84/16
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,21
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.