

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до практичної і самостійної роботи та виконання**  
**індивідуальних завдань з дисципліни**  
**«Автоматичне регулювання двигунів внутрішнього**  
**згорання» для студентів спеціальності**  
**133 «Галузеве машинобудування»,**  
**освітня програма «Двигуни внутрішнього згорання»,**  
**всіх форм навчання**

**2018**

Методичні вказівки до практичної і самостійної роботи та виконання індивідуальних завдань з дисципліни «Автоматичне регулювання двигунів внутрішнього згорання» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітня програма «Двигуни внутрішнього згорання», всіх форм навчання /Укл.: Р. Ф. Сухонос. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 20 с.

Укладач: Р.Ф. Сухонос, ст. викладач

Рецензент: Мазін В.О., к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: Г. І. Слинько, д.т.н., професор

Затверджено на засіданні кафедри  
«Двигуни внутрішнього згорання»  
протокол № 1 від 23 серпня 2018 р.

Рекомендовано до видання  
НМК транспортного факультету  
протокол № 57 від 29 вересня 2018 р.

**ЗМІСТ**

|                          |    |
|--------------------------|----|
| ВСТУП                    | 4  |
| 1 ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ       | 6  |
| 2 ПЕРЕЛІК ЗАВДАНЬ        | 10 |
| 2.1 Завдання №1          | 10 |
| 2.2 Завдання №2          | 10 |
| 2.3 Завдання №3          | 11 |
| 2.4 Завдання №4          | 12 |
| 2.5 Завдання №5          | 14 |
| РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА | 20 |

## ВСТУП

Теорія автоматичного керування – це наукова дисципліна, що вивчає загальні принципи побудови систем автоматичного керування, вивчає процеси керування і методи дослідження цих систем. Теоретичні основи науки керування разом з досягненнями практики використання автоматичних систем в двигунах внутрішнього згорання і в автомобілі призначені сприяти подальшому розвитку машинобудування.

Сучасний автомобіль з двигуном внутрішнього згорання має бути високопродуктивним, економічним, безпечним і зручним. Виконання цих вимог залежить в значній мірі від досконалості перебігу робочих процесів, чому сприяє застосування різноманітних автоматичних систем.

Метою викладання дисципліни «Автоматичне регулювання ДВЗ» є вивчення принципів побудови і дослідження систем автоматичного керування, їх аналіз і синтез, методи отримання необхідних характеристик. Принципи побудови і дослідження систем автоматичного керування в даному курсі вивчаються на основі розгляду принципів керування різноманітними технічними приладами транспортних машин. Важливе місце в вивченні і розумінні курсу займають фундаментальні принципи керування і автоматизований контроль технологічних параметрів.

Даний курс займає важливе місце в системі підготовки фахівця зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», оскільки сприяє реалізації заданих техніко-експлуатаційних якостей технічних систем.

Завдання курсу «Автоматичне регулювання ДВЗ» полягає в створенні наукових основ для подальшого вдосконалення конструкцій агрегатів транспортних машин і підвищення ефективності їхнього використання.

Розвиток техніки автоматичного керування пов'язаний з проблемою заміни людини в різноманітних ланках керування виробничими процесами. В залежності від об'єкту і завдань системи керування можуть бути різноманітними – від найпростіших систем автоматичного регулювання, що підтримують незмінно яку-небудь величину, до складних, що містять обчислювальні машини, які вирішують задачі оптимального управління агрегатами автомобіля.

Щоб мати можливість оцінювати вплив окремих систем автоматичного керування на експлуатаційні якості автомобіля і ефективність їхнього виробничого процесу, необхідно встановити об'єктивні науково обґрунтовані вимірники цих якостей і методику їхнього визначення. Правильний вибір експлуатаційно-технічних якостей та їх оціночних вимірників, розуміння зв'язку між показниками і реальною ефективністю виробничого процесу має істотне значення для подальшого технічного і соціального прогресу.

Автоматизацію всіх робочих процесів в агрегатах і системах автомобіля, включаючи і автоматизацію керування напрямом руху, на сьогодні здійснити досить складно. Але труднощі повної автоматизації зовсім не означають, що ефект не може бути досягнутим в результаті часткового рішення проблеми. Часткова автоматизація навіть окремих операцій дає відчутний техніко-економічний ефект, відкриває можливість підняти на якісно новий рівень майже весь комплекс експлуатаційних властивостей автомобіля: тягових і гальмівних, керованості і тривалості, прохідності, повільності ходу, економічності.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- фундаментальні принципи керування технічними приладами,
- принципи побудови і дослідження систем керування,
- автоматизацію систем і засоби отримання їхніх характеристик,
- елементи проектування систем автоматичного керування,

Майбутній фахівець повинен **вміти:**

- чітко формулювати фундаментальні принципи роботи автоматичних приладів різноманітних технічних систем,
- одержувати математичний опис різноманітних систем автоматичного керування,
- одержувати статистичні і динамічні характеристики систем,
- вибрати окремі параметри ланок для отримання необхідних характеристик,
- проектувати найпростіші елементи,
- визначати тривалість і якість процесу керування.

Майбутній фахівець повинен отримати практичні навички по визначенню статичних і динамічних характеристик ланок і систем автоматичного керування, роботи з електронною апаратурою, по обробці і аналізу отриманих результатів.

## **1 ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Тема 1 Вступ**

Мета і завдання дисципліни «Автоматичне регулювання ДВЗ». Роль автоматики і автоматизації виробничих процесів для розвитку суспільства в сучасних умовах. Комплексна механізація і автоматизація виробничих процесів. Стандартизація в розробці автоматичних систем керування. Державна система приладів і засобів автоматизації (ДСП). Історичні аспекти і роль автоматизації в розвитку науки і техніки. Загальні поняття і визначення.

### **Тема 2 Основні принципи керування**

Принцип керування за впливом, що задається, за обуренням, за відхиленням, комбіновані системи автоматичного керування. Класифікація систем автоматичного керування. Основні типи систем автоматичного керування.

Література: [1], с. 10-24; [2], с. 9-18.

### **Тема 3 Автоматизований контроль технологічних параметрів**

Елементи метрології і техніки вимірів. Датчики, вимоги до них, їх характеристики, класифікація. Структура вимірювального лаштування. Методи виміру. Основні вимоги до вимірювальних приладів: похибки виміру, клас точності. Вимір температури. Термометри розширення і манометричні термометри. Термометри опору. Термоелектричні термометри. Потенціометри. Пірометри випромінювання. Виміри тиску і розрідження. Виміри видатку і кількості речовини. Датчики для аналізу газів, що відпрацювали. Витратоміри змінного тиску, індукційні витратоміри. Швидкісні об'ємні лічильники, автоматичні ваги. Вимір механічних параметрів переміщень, сил, швидкостей. Потенціометричні, тензометричні, ємнісні, індуктивні, фотоелектричні і пневматичні перетворювачі.

Література: [5], с. 486-500; [7], с. 12-362; [7], с. 18-124.

#### **Тема 4 Основи теорії автоматичного керування**

Опис роботи системи автоматичного керування. Методи складання математичних описів роботи систем автоматичного керування. Перетворення Лапласа. Передавальні функції системи автоматичного керування.

Прості і складні системи автоматичного керування. Розподіл систем автоматичного керування на ланки. Типові ланки систем автоматичного керування, їх перехідні і передавальні функції.

З'єднання ланок, передатні функції з'єднань. Послідовне, паралельне з'єднання ланок. Передавальна функція ланки із зворотним зв'язком.

Література: [1], с. 18-96; [2], с. 47-83.

#### **Тема 5 Частотні характеристики АСУ**

Частотні характеристики ланок і систем автоматичного керування. Комплексна передатна функція ланки, системи. Амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики. Амплітудно-фазова частотна характеристика. Частотні характеристики типових динамічних ланок систем автоматичного керування. Експериментальне визначення частотних характеристик.

Література: [1], с. 102-164; [2], с. 75-86.

#### **Тема 6 Стійкість і якість АСУ**

Стійкість систем автоматичного керування. Визначення стійкості системи автоматичного керування. Умова тривалості системи автоматичного керування. Критерії стійкості. Якість автоматичного керування. Показники якості процесу регулювання. Методи оцінки якості процесу регулювання. Інтегральні оцінки якості процесу керування.

Література: [1], с. 89-96; [2], с. 86-115.

#### **Тема 7 Нелінійні АСУ, їх корекція, основи проектування**

Корекція систем автоматичного керування. Необхідність корекції системи автоматичного керування, поняття корекції. Корекція системи автоматичного керування за допомогою послідовних фазовипереджаючих приладів, що диференціюють. Застосування приладів, що інтегрують, і зворотних зв'язків в корекції систем автоматичного керування.

Нелінійні системи автоматичного керування. Дискретні та імпульсивні системи автоматичного керування. Перехідні процеси в нелінійних системах автоматичного керування. Елементи проектування систем автоматизації.

Література: [1], с. 130-165; [2], с. 124-149.

### **Тема 8 Автоматичне регулювання в агрегатах і системах ДВЗ**

Задачі і напрямки автоматичного регулювання ДВЗ. Рівноважні режими роботи двигуна. Рівняння руху двигуна, як об'єкта керування. Вихідні показники ДВЗ.

Література: [2], с. 152-187; [3], с. 94-126.

### **Тема 9 Автоматичне регулювання частоти обертання колінчатого вала**

Статична і регуляторна характеристики крутного моменту двигуна. Загальний принцип регулювання кутової швидкості обертання колінчатого вала двигуна. Однорежимні, дворежимні, всережимні регулятори частоти обертання. Розрахунок регуляторів частоти обертання.

Література: [2], с. 154-180; [5], с. 434-459.

### **Тема 10 Автоматичне регулювання робочого процесу бензинового двигуна**

Утворення робочої суміші. Автоматичні системи готування робочої суміші. Електронне керування процесом готування робочої суміші. Корекції при готуванні робочої суміші з обліком різних чинників. Датчики, використовувані при автоматичному готуванні робочої суміші. Автоматичні пристрої системи запалювання, контроль детонації, виконавчі пристрої.

Література: [5], с. 434-479; [6], с. 4-150.

### **Тема 11 Автоматичне регулювання робочого процесу дизельного двигуна**

Процес готування робочої суміші дизельного двигуна, сумішоутворення, поняття про гетерогенні і гомогенні суміші. Вплив конструктивних особливостей форм камер згоряння і розташування форсунки на процес готування робочої суміші, плівкове



сумішоутворення. Розділені, вихрові камери згоряння, системи сумішоутворення в передкамері. Автоматичне регулювання кількістю палива, що впорскується, моментом початку впорскування палива.

Література: [5], с. 506-536.

### **Тема 12 Автоматичне регулювання температурного режиму роботи ДВЗ і системи мащення**

Схеми регулювання температурного режиму ДВЗ. Електронні системи регулювання роботи системи охолодження і мастила двигуна. Автоматичні аварійно-попереджувальні системи ДВЗ.

Література: [2], с. 176-187; [5], с. 398-401.

### **Тема 13 Автоматичне регулювання допоміжних систем двигуна**

Автоматичні системи пуску двигуна. Регулювання в системі випуску газів, що відпрацювали та зниження їх токсичності. Токсичність газів дизельних двигунів, що відпрацювали. Випробувальні цикли і норми токсичності в Європі, США, Японії.

Література: [5], с. 486-536.

## 2 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Контрольні завдання виконуються після вивчення теоретичного матеріалу за темами. Практичні завдання виконуються під час аудиторної роботи. Варіант виконання завдання визначає викладач на кожному студенту.

### 2.1 Завдання №1

Перше індивідуальне завдання включає два теоретичних питання, які обирають з переліку розділу 1.

### 2.2 Завдання №2

За передавальною функцією визначити тип динамічної ланки і побудувати графік перехідної функції, навести приклад ланки даного типу.

Варіант 1.  $W(p) = e^{-10p}$

Варіант 2.  $W(p) = \frac{3}{p^2 + 1}$

Варіант 3.  $W(p) = \frac{8}{p + 1}$

Варіант 4.  $W(p) = \frac{1}{2p}$

Варіант 5.  $W(p) = 3e^{-2p}$

Варіант 6.  $W(p) = \frac{1}{p^2 + p + 1}$

Варіант 7.  $W(p) = \frac{2}{0,1p + 1}$

Варіант 8.  $W(p) = \frac{3}{p}$

Варіант 9.  $W(p) = \frac{4}{p^2 + 1}$

Варіант 11.  $W(p) = \frac{1}{0,01p^2 + p + 1}$

Варіант 12.  $W(p) = 0,5e^{-0,5p}$

Варіант 13.  $W(p) = \frac{1}{2p}$

Варіант 14.  $W(p) = 3e^{-2p}$

Варіант 15.  $W(p) = \frac{1}{p^2 + p + 1}$

Варіант 16.  $W(p) = \frac{2}{0,1p + 1}$

Варіант 17.  $W(p) = \frac{3}{p}$

Варіант 18.  $W(p) = \frac{4}{p^2 + 1}$

Варіант 19.  $W(p) = e^{-p}$

Варіант 20.  $W(p) = \frac{10}{4p^2 + 1}$

Варіант 10.  $W(p) = \frac{3}{p}$

Варіант 21.  $W(p) = \frac{2}{p}$

Варіант 22.  $W(p) = \frac{3}{0,25p+1}$

Варіант 25.  $W(p) = \frac{0,5}{4p}$

Варіант 23.  $W(p) = \frac{4}{9p^2+1}$

Варіант 26.  $W(p) = 4e^{-3p}$

Варіант 27.  $W(p) = \frac{6}{4p+1}$

Варіант 24.  $W(p) = \frac{1}{2p^2+3p+1}$

Варіант 28.  $W(p) = 0,5e^{-4p}$

Для рішення цього завдання необхідно порівняти передавальну функцію свого варіанту з передавальними функціями типових динамічних ланок і визначити до якої ланки вона належить.

Взяти рівняння, яке визначає вихідну величину  $y(t) = k(\dots)x(t)$ , прийняти  $x(t) = (1,0)$ , а  $t = 0 \dots \infty$ , скласти перехідну характеристику.

### 2.3 Завдання №3

Скласти амплітудно-фазову (АФХ), амплітудно-частотну (АЧХ) та фазочастотну (ФЧХ) характеристики за відомою передавальною функцією ланки.

|   |        |   |     |     |     |   |     |     |
|---|--------|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|
| $W(p) = \frac{k}{T^2 p + 2\xi T p + 1}$ | № вар. | 1 | 2   | 3   | 4   | 5 | 6   | 7   |
|   | $k$    | 1 | 2   | 3   | 4   | 5 | 3   | 2   |
|   | $T$    | 1 | 1   | 2   | 2   | 5 | 5   | 3   |
|   | $\xi$  | 1 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0 | 0,4 | 0,7 |

|                            |        |     |   |     |    |    |     |     |
|----------------------------|--------|-----|---|-----|----|----|-----|-----|
| $W(p) = \frac{k}{T p + 1}$ | № вар. | 8   | 9 | 10  | 11 | 12 | 13  | 14  |
|                            | $k$    | 1   | 2 | 3   | 4  | 5  | 3   | 2   |
|                            | $T$    | 0,1 | 1 | 0,5 | 5  | 1  | 0,4 | 0,8 |

|                       |        |    |     |     |     |    |     |     |
|-----------------------|--------|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| $W(p) = k e^{-p\tau}$ | № вар. | 15 | 16  | 17  | 18  | 19 | 20  | 21  |
|                       | $k$    | 1  | 2   | 3   | 4   | 5  | 3   | 2   |
|                       | $T$    | 10 | 0,1 | 0,4 | 0,6 | 2  | 0,8 | 1,0 |

|                    |        |    |     |     |    |    |    |     |
|--------------------|--------|----|-----|-----|----|----|----|-----|
| $W(p) = k(Tp + 1)$ | № вар. | 22 | 23  | 24  | 25 | 26 | 27 | 28  |
|                    | $k$    | 1  | 2   | 3   | 4  | 5  | 3  | 8   |
|                    | $T$    | 1  | 0,1 | 0,5 | 5  | 4  | 2  | 0,2 |

У вибраній передавальній функції свого варіанту необхідно замінити оператор Лапласа « $p$ » на « $i\omega$ ». За наявності в знаменнику ірраціональності, помножити чисельник і знаменник на сполучений множник. В отриманому багаточлені зробити групування членів, які мають  $(i)$  – умовну частину характеристики ( $I_m$ ) і які не мають  $(i)$  – реальну частину характеристики ( $R_e$ ). Після визначення реальної ( $R_e$ ) та умовної ( $I_m$ ) частини амплітудно-фазової характеристики (АФХ) в отримані багаточлени задають 8...10 значень частоти  $\omega$  в межах від 0 до  $\infty$ . За отриманими даними складаються АФХ. Для складання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) використовується формула:

$$W(\omega) = \sqrt{R_e^2(\omega) + I_m^2(\omega)}$$

Фазочастотна характеристика визначається за формулою:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{I_m(\omega)}{R_e(\omega)}$$

Провести аналіз розрахованих характеристик.

#### 2.4 Завдання №4

Визначити стійкість розімкнутої системи автоматичного керування швидкістю руху конвеєра за частотним критерієм Михайлова.

|  |             |      |      |      |      |       |
|--|-------------|------|------|------|------|-------|
| $W(p) = \frac{k}{p(1+T_y p)(1+T_d p)}$ | № вар.      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     |
|  | $k, c^{-1}$ | 58   | 62   | 54   | 46   | 38    |
|  | $T_d, c$    | 0,57 | 0,5  | 0,4  | 0,6  | 0,7   |
|  | $T_y, c$    | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,015 |

|  |             |      |      |      |      |      |
|--|-------------|------|------|------|------|------|
| $W(p) = \frac{k}{p(1+T_y p)(1+T_d p)}$ | № вар.      | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|  | $k, c^{-1}$ | 64   | 66   | 62   | 60   | 34   |
|  | $T_d, c$    | 0,5  | 0,4  | 0,6  | 0,5  | 0,56 |
|  | $T_y, c$    | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |

|   |                    |      |      |      |      |      |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|
| $W(p) = \frac{k}{p(1+T_y p)(1+T_\delta p)}$ | № вар.             | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|   | к, с <sup>-1</sup> | 38   | 40   | 42   | 44   | 46   |
|   | T <sub>д</sub> , с | 0,58 | 0,60 | 0,58 | 0,54 | 0,52 |
|   | T <sub>у</sub> , с | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |

|   |                    |      |      |      |      |      |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|
| $W(p) = \frac{k}{p(1+T_y p)(1+T_\delta p)}$ | № вар.             | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |
|   | к, с <sup>-1</sup> | 48   | 50   | 52   | 54   | 56   |
|   | T <sub>д</sub> , с | 0,48 | 0,46 | 0,44 | 0,42 | 0,40 |
|   | T <sub>у</sub> , с | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |

|   |                    |      |      |      |      |      |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|
| $W(p) = \frac{k}{p(1+T_y p)(1+T_\delta p)}$ | № вар.             | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   |
|   | к, с <sup>-1</sup> | 58   | 60   | 62   | 64   | 66   |
|   | T <sub>д</sub> , с | 0,38 | 0,36 | 0,34 | 0,32 | 0,30 |
|   | T <sub>у</sub> , с | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |

|   |                    |      |      |      |
|---|--------------------|------|------|------|
| $W(p) = \frac{k}{p(1+T_y p)(1+T_\delta p)}$ | № вар              | 26   | 27   | 28   |
|   | к, с <sup>-1</sup> | 44   | 40   | 50   |
|   | T <sub>д</sub> , с | 0,7  | 0,5  | 0,54 |
|   | T <sub>у</sub> , с | 0,03 | 0,02 | 0,01 |

Стійкість автоматичних систем визначається з використанням частотного критерію Михайлова для замкнених систем. Для цього визначається характерний багаточлен із передавальної функції, в якому оператор Лапласа  $p$  змінюється на  $i\omega$  та групується окремо реальна частина багаточлена і умовна.

$$Q(i\omega) = R_{Qe}(\omega) + iI_{Qm}(\omega).$$

Для реальної  $R_{Qe}(\omega)$  і умовної  $I_{Qm}(\omega)$  частин підставляються константи у відповідності з варіантом:

$T_y$  – постійна часу підсилювача в с;

$T_\delta$  – постійна часу двигуна в с<sup>-1</sup>;

$k$  – коефіцієнт передачі в с<sup>-1</sup>.

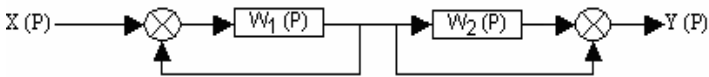
Перемінна величина  $\omega$  змінюється в межах від 0 до  $\infty$ , розрахункові величини заносяться до таблиці. За отриманими даними складається годограф Михайлова, який вважається правильним, а система «стійкою», якщо при зміні частоти  $\omega = 0 \dots \infty$ , починається на речовій півосі, обертається проти годинникової стрілки, послідовно

обходячи  $n$  квадрантів комплексної площини, ніде не звертаючи в нуль та переходячи в  $n$ -ому квадранті в безкінечність, де  $n$  – ступінь багаточлена. Якщо хоч одна із умов не виконується, то система «нестійка».

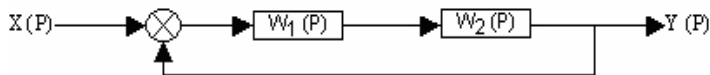
### 2.5 Завдання №5

Перетворити структурну схему.

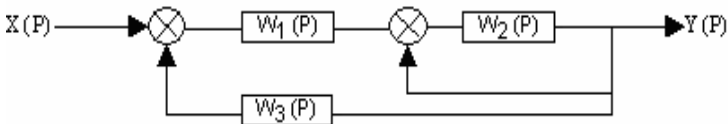
1



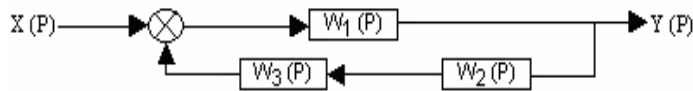
2



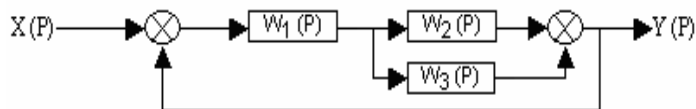
3

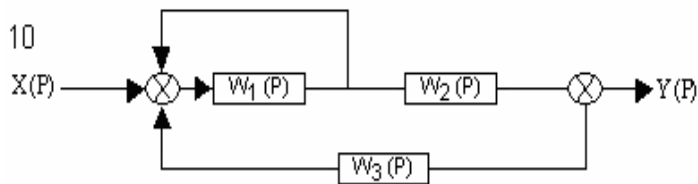
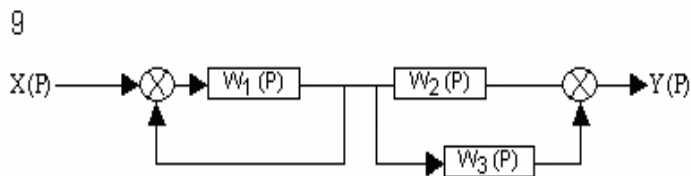
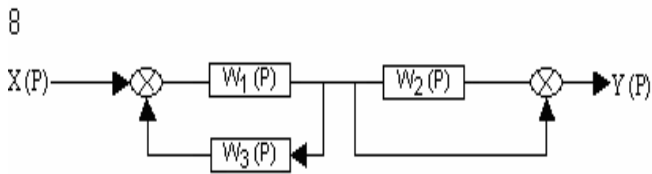
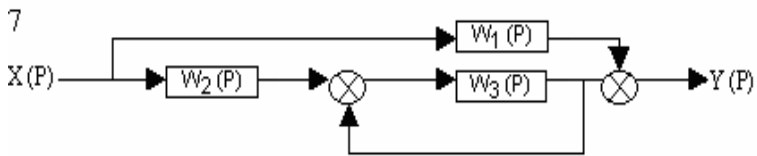
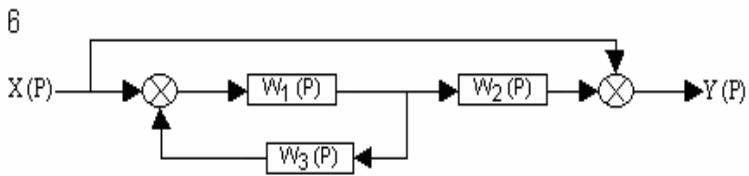


4

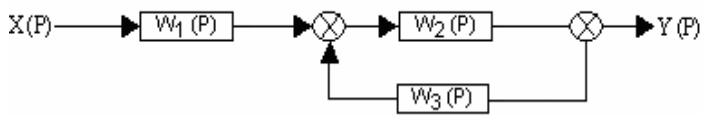


5

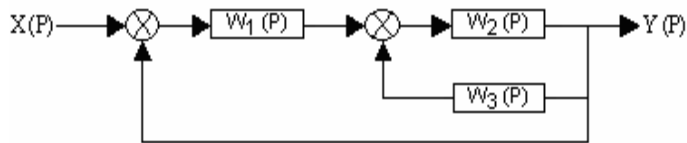




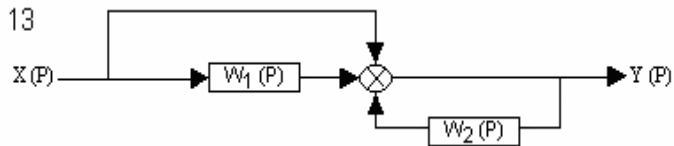
11



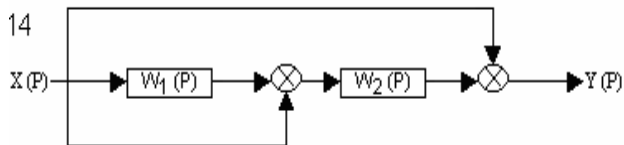
12



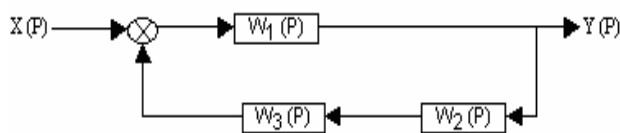
13



14

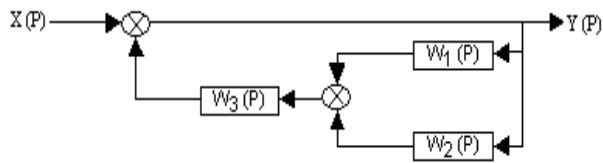


15

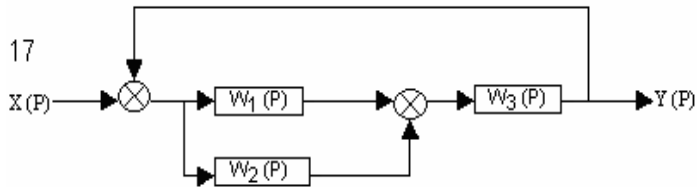




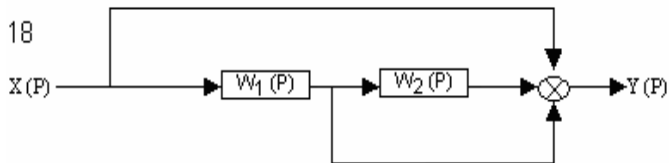
16



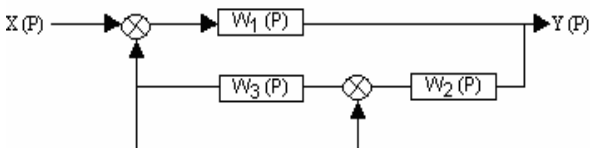
17



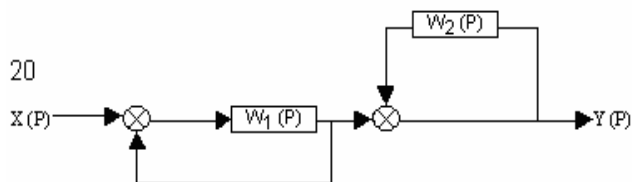
18



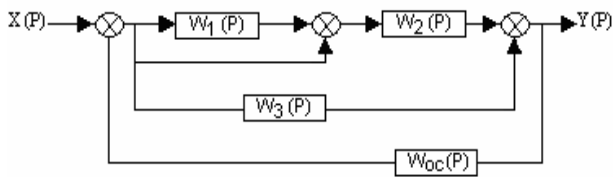
19



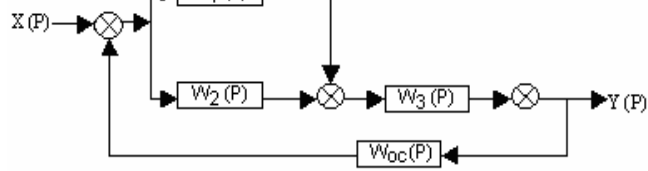
20



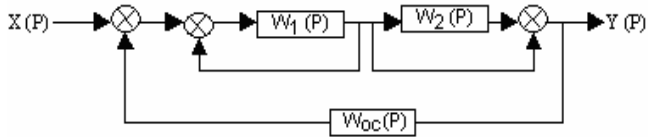
21



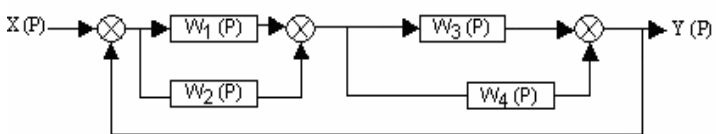
22



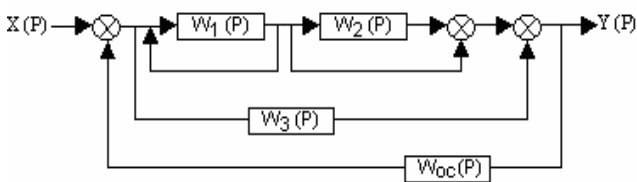
23



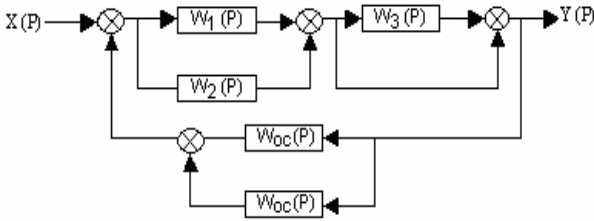
24



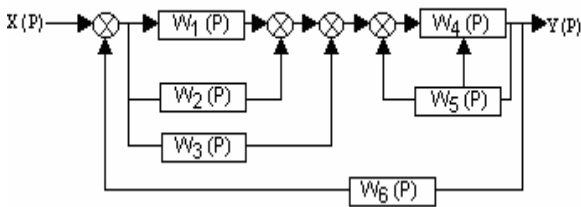
25



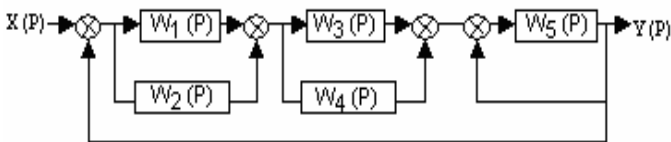
26



27



28



Перетворення структурної схеми системи автоматичного керування проводять методом послідовного звертання з урахуванням наступних виразів еквівалентної передавальної функції:

– для послідовного з'єднання ланок:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p) = \prod_{i=1}^n W_i(i);$$

– для паралельного з'єднання ланок:

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p);$$

– для ланок, охоплених зворотним зв'язком:

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \mp W_1(p)W_{oc}(p)}$$

Послідовність перетворення структурної схеми: від простих з'єднань до складних.

**РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – К.: Вища школа, 1989. – 431 с.
2. Метлюк Н. Ф. Автоматика и автоматизация производственных процессов. – Минск: Высшая школа, 1985. – 301 с.
3. Петров В. А. Автоматические системы транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1974. – 336 с.
4. Крутов В. И. Автоматическое регулирование ДВС. – М.: Машиностроение: 1979. – 615 с.
5. BOSCH Автомобильный справочник. – М.: «За рулем», 2000. – 896 с.
6. Покровский Г. П. Электроника в системах подачи топлива автомобильных двигателей. – М.: Машгиз, 1998. – 182 с.
7. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1975. – 462 с.
8. Introduction to Control Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ent.mrt.ac.lk/~rohan/teaching/EN5001/Reading/DORFCH1.pdf>