

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут механічної інженерії,
технологій та транспорту

Основи систем автоматичного керування та контролю

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни “Основи теорії автоматичного керування”
для студентів за спеціальністю
133 “Галузеве машинобудування”

Затверджено
на засіданні кафедри
“Автомобільного
транспорту та
галузевого
машинобудування”
Протокол № 1
від 30.08.2019 р.

Чернігів ЧНТУ 2019



Основи систем автоматичного керування та контролю. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни “Основи теорії автоматичного керування” для студентів за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” усіх форм навчання / Укл.: Кальченко В.В., Пасов Г.В., Венжега В.І. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 22 с.

Укладачі:

Кальченко Володимир Віталійович
доктор технічних наук, професор
Пасов Геннадій Володимирович
кандидат технічних наук, доцент
Венжега Володимир Іванович
кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск:

Кальченко В.І., завідувач кафедри,
доктор технічних наук, професор

Рецензент:

Следнікова О.С., кандидат технічних наук,
доцент кафедри “Автомобільний транспорт
та галузеве машинобудування”
Чернігівського національного
технологічного університету



Вступ

Теорія автоматичного керування є базовою теоретичною дисципліною для вивчення таких фахових дисциплін як: “Системи керування верстатами і комплексами”, “Динаміка верстатів”, “Верстати з числовим програмним керуванням”, “Проектування автоматичних ділянок і цехів”, “Автоматичні системи керування підприємствами”. Тому в цьому суто теоретичному курсі введено розрахунково-графічну роботу, призначену для більш ґрунтовної практичної підготовки студентів машинобудівних спеціальностей в галузі автоматики і автоматизації. Методичні вказівки, що підготовлені для виконання студентами розрахунково-графічної роботи, містять індивідуальні завдання, вимоги до змісту і обсягу роботи, а також методику її виконання і рекомендовану літературу.

1 Мета і задачі розрахунково-графічної роботи

Розрахунково-графічна робота присвячується питанням практичного аналізу систем автоматичного керування, зокрема подібних до тих, що використовуються в автоматичних верстатних системах і робото-технічних комплексах.

Мета розрахунково-графічної роботи - поглиблене вивчення побудови і роботи систем автоматичного керування, аналізу і синтезу їх структури, а також оцінки роботоздатності систем шляхом визначення стійкості і параметрів якості за різноманітними критеріями і характеристиками.

Для виконання розрахунково-графічної роботи студенти повинні знати і вміти застосовувати на практиці фундаментальні положення з таких дисциплін: “Вища математика” (диференційні рівняння; операційне числення - поняття про оригінал і зображення, прямі і зворотні перетворення по Лапласу, Фур'є; теорія комплексних змінних; матриці і визначники), “Фізика” (теорія коливань; сухе і в'язке тертя), “Теоретична механіка”, “Основи електротехніки”, “Інформатика”.

2 Зміст і обсяг розрахунково-графічної роботи

Розрахунково-графічна робота виконується у вигляді пояснювальної записки на 20 - 25 аркушах тексту, написаного від руки або за допомогою комп'ютера, та необхідного ілюстративного матеріалу (креслень, рисунків, графіків, таблиць і т.і.), зміст яких вказується викладачем.

Розрахунково-графічна робота складається із наступних основних розділів:

1. Вибір і обґрунтування структури автоматичної системи керування (або види систем задаються у варіантах індивідуальних завдань, що представлені в цих методичних вказівках).

2. Аналіз і перетворення схем систем автоматичного керування, розрахунок основних параметрів системи.

3. Визначення передаточних функцій системи автоматичного керування і її елементів.

4. Розрахунок і побудова статичних, динамічних (перехідних і частотних) характеристик системи автоматичного керування.

5. Визначення стійкості системи автоматичного керування (по різних критеріях стійкості).

6. Аналіз стійкості і параметрів якості системи по перехідним і частотним характеристикам

7. Модернізація (синтез) нової системи з метою її поліпшення (забезпечення стійкості чи підвищення якості) за рахунок додавання корегуючих елементів або додаткових зв'язків.

3 Варіанти завдань до розрахунково-графічної роботи

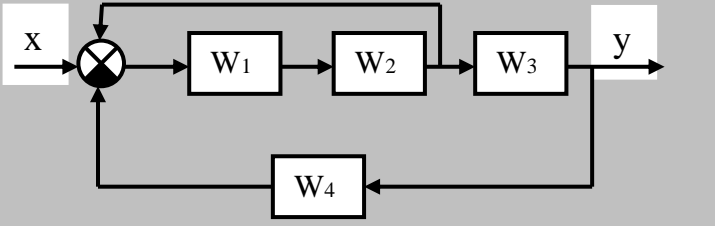
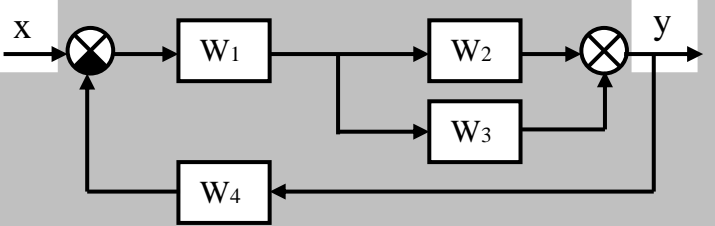
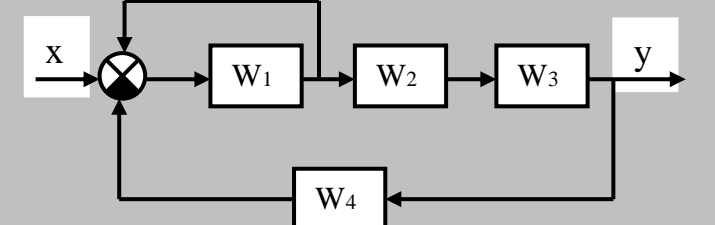
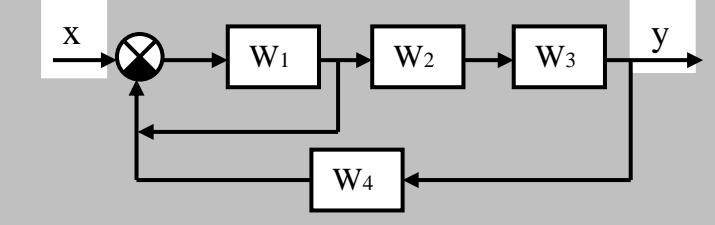
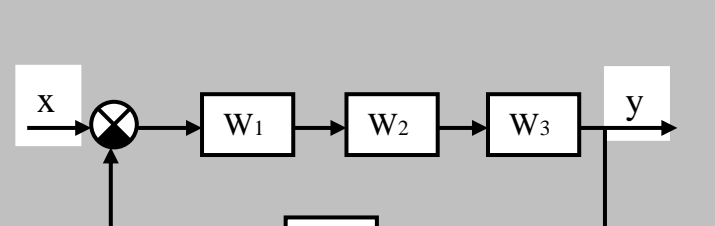
Варіанти індивідуальних завдань і вихідних даних для виконання розрахунково-графічної роботи видаються викладачем згідно таблиці 3.1. Структурні схеми системи автоматичного керування до варіантів завдань наведені в таблиці 3.2.

Для кращих студентів викладач може запропонувати індивідуальні завдання по аналізу реальних систем автоматичного керування.

Таблиця 3.1 - Варіанти індивідуальних завдань

N варі- анту	T1 сек	T2 сек	T3 сек	T4 сек	K1	K2	K3	K4	N схеми				
									а	б	в	г	д
1	0.01	0.02	0.21	0.33	5	4	3	2	1	6	11	16	21
2	0.02	0.16	0.19	0.03	6	1	2	1	2	7	12	17	22
3	0.03	0.11	0.17	0.12	4	5	2	2	3	8	13	18	23
4	0.02	0.17	0.12	0.01	1	1	5	3	4	9	14	19	24
5	0.01	0.13	0.22	0.59	11	5	3	2	5	10	15	20	25
6	0.05	0.22	0.02	0.11	2	1	2	3	6	11	16	21	1
7	0.13	0.11	0.04	0.62	8	2	1	6	7	12	17	22	2
8	0.04	0.25	0.01	0.17	2	3	3	7	8	13	18	23	3
9	0.03	0.01	0.4	0.01	3	2	1	4	9	14	19	24	4
10	0.07	0.22	0.01	0.11	2	3	3	7	10	15	20	25	5
11	0.02	0.01	0.05	0.31	1	1	2	2	11	16	21	1	6
12	0.07	0.21	0.01	0.15	2	3	2	9	12	17	22	2	7
13	0.01	0.02	0.55	0.02	1	2	8	5	13	18	23	3	8
14	0.03	0.07	0.01	0.21	2	6	1	3	14	19	24	4	9
15	0.02	0.02	0.81	0.16	1	3	4	7	15	20	25	5	10
16	0.05	0.21	0.05	0.02	1	2	1	9	16	21	1	6	11
17	0.04	0.71	0.02	0.15	2	3	1	5	17	22	2	7	12
18	0.02	0.03	0.57	0.02	1	2	7	4	18	23	3	8	13
19	0.01	0.05	0.02	0.01	2	6	1	1	19	24	4	9	14
20	0.03	0.01	0.12	0.01	1	3	4	9	20	25	5	10	15
21	0.02	0.02	0.01	0.3	3	4	1	8	21	1	6	11	16
22	0.04	0.03	0.05	0.21	4	2	1	4	22	2	7	12	17
23	0.02	0.03	0.28	0.03	1	6	1	7	23	3	8	13	18
24	0.03	0.15	0.01	0.01	2	3	4	9	24	4	9	14	19
25	0.02	0.02	0.01	0.32	3	1	1	3	25	5	10	15	20

Таблиця 3.2 - Структурні схеми до варіантів завдань

N схеми	Структура системи	Параметри
1	2	3
1		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1)$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1) p$ $W_4 = k_4 / T_4 p$
2		$W_1 = k_1 p / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 / T_2 p$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1)$ $W_4 = k_4 T_4 p$
3		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1) p$ $W_2 = k_2 / (T_2 p - 1)$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1)$ $W_4 = k_4$
4		$W_1 = k_1 (T_1 p + 1) / p$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1)$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1)$ $W_4 = k_4 / (T_4 p + 1)$
5		$W_1 = k_1$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1)$ $W_3 = k_3 / ((T_3 p + T_4) p + 1)$ $W_4 = k_4$

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
6		$W_1 = k_1 / (T_1 p - 1)$ $W_2 = k_2$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1) p$ $W_4 = k_4 / (T_4 p - 1)$
7		$W_1 = k_1 / (T_1 p - 1)$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1)$ $W_3 = k_3 T_3 p$ $W_4 = k_4 / T_4 p$
8		$W_1 = k_1 / T_1 p$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1)$ $W_3 = k_3 / (T_3 p - 1)$ $W_4 = k_4 T_4$
9		$W_1 = k_1 / (T_1 p)$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1)$ $W_3 = k_3 T_3 p$ $W_4 = k_4 / (T_4 p - 1)$
10		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 / (T_2 p - 1)$ $W_3 = k_3 / (T_3 p p + 1)$ $W_4 = k_4 T_4 p$

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
11		$W_1=k_1$ $W_2=k_2/(T_2p(T_1p+1)+1)$ $W_3=k_3 T_3 p$ $W_4=k_4/(T_4 p - 1)$
12		$W_1=k_1 / T_1 p$ $W_2=k_2/(T_2 p+1)p$ $W_3=k_3 p / (T_3p- 1)$ $W_4=k_4$
13		$W_1=k_1 / (T_1 p+1)$ $W_2=k_2 T_2 p$ $W_3=k_3 / (T_3 p(T_4p-1)+1)$ $W_4=k_4$
14		$W_1=k_1 / (T_1 p+1)$ $W_2=k_2 T_2 p$ $W_3=k_3 / (T_3 p - 1)$ $W_4=k_4 / p$
15		$W_1=k_1p/(T_1p - 1)$ $W_2=k_2/(T_2 p+1)p$ $W_3=k_3 / (T_3 p+1)$ $W_4=k_4 p$

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
16		$W_1=k_1$ $W_2=k_2/T_2 p$ $W_3=k_3/(T_3 p p+1)$ $W_4=k_4 p$
17		$W_1=k_1/(T_1 p+1)$ $W_2=k_2 p/(T_2 p+1)$ $W_3=k_3/(T_3 p-1)$ $W_4=k_4/p$
18		$W_1=k_1/(T_1 p+1)$ $W_2=k_2/(T_2 p-1)$ $W_3=k_3/p$ $W_4=k_4/(T_4 p+1)$
19		$W_1=k_1/(T_1 p-1)$ $W_2=k_2 p/(T_2 p+1)$ $W_3=k_3 p$ $W_4=k_4/(T_4 p)$
20		$W_1=k_1 (T_1 p+1)$ $W_2=k_2/(T_2 p-1)$ $W_3=k_3 T_3 p p$ $W_4=k_4/(T_4 p+1)$

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
21		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 T_2 p$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1)$ $W_4 = k_4$
22		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 / (T_2 p - 1)$ $W_3 = k_3 (p - 1)$ $W_4 = k_4$
23		$W_1 = k_1 / (T_1 p - 1)$ $W_2 = k_2 / (T_2 p + 1) p$ $W_3 = k_3 p / (T_3 p + 1)$ $W_4 = k_4 p$
24		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 T_2 p$ $W_3 = k_3 / (T_3 p - 1)$ $W_4 = k_4 / p$
25		$W_1 = k_1 / (T_1 p + 1)$ $W_2 = k_2 T_2 p p$ $W_3 = k_3 / (T_3 p + 1)$ $W_4 = k_4 / (T_4 p - 1)$

4 Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи

В цьому розділі приведена необхідна методична і частково теоретична інформація, а також посилання на літературні джерела, які необхідні студентам для роботи. Матеріал дається в послідовності виконання розрахунково-графічної роботи і містить необхідні методичні розробки.

4.1 Вихідні структури систем автоматичного керування

Структуру системи автоматичного керування одержують із розгляду принципової схеми шляхом переходу до еквівалентної функціональної схеми. Як приклад на рисунку 4.1 показані принципова, функціональна і структурна схеми системи автоматичного керування частотою обертання двигуна постійного струму головного приводу верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК). Принцип побудови і опис роботи цієї системи викладається в лекційному курсі. Після проведення певної ідеалізації системи і знаходження математичного опису кожного елемента у вигляді динамічної ланки, отримують структурну схему системи автоматичного керування, яка також показана на рисунку 4.1. Маючи числові значення всіх постійних коефіцієнтів, можна провести аналіз системи з метою оцінки роботоздатності системи шляхом визначення стійкості і параметрів якості по різноманітних характеристиках. Методика такого аналізу наводиться в наступних розділах і частково в [1-3].

Структурні схеми різних систем автоматичного керування і регулювання можуть бути найрізноманітнішими (як за складом елементів, так і за конфігурацією), але загальні принципи їх побудови і аналізу практично однакові. Тому в розрахунково-графічній роботі задаються системи, що включають не більше 4-х елементів. Для кращих студентів можливо завдання більш складних (або реальних) систем (по погодженні їх із викладачем).

4.2 Аналіз системи автоматичного керування

Аналіз системи полягає в знаходженні передаточної функції (ПФ) $W(p)=Y(p)/X(p)$ всієї системи по ПФ її елементів (динамічних ланок) з урахуванням всіх можливих видів з'єднань елементів між собою, що завдані в вихідній структурі системи. При цьому використовуються три основні види з'єднань елементів: послідовне, паралельне і зустрічно-паралельне(або із зворотним зв'язком).

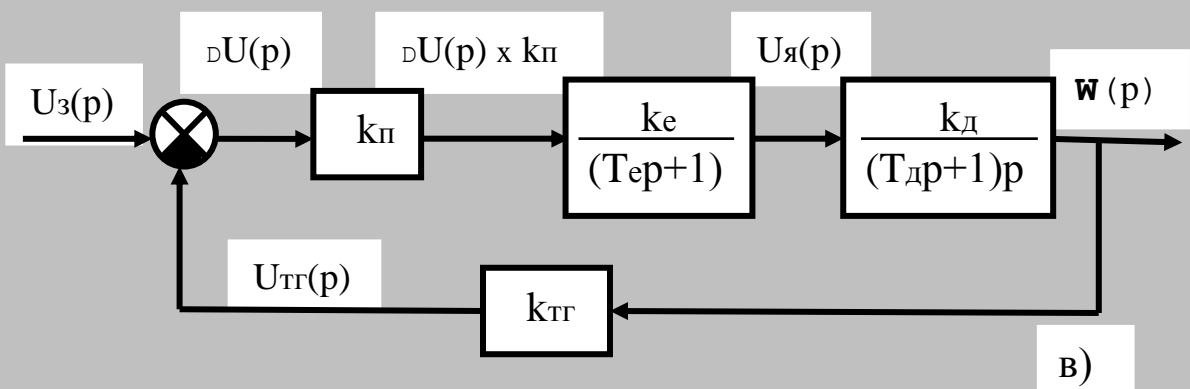
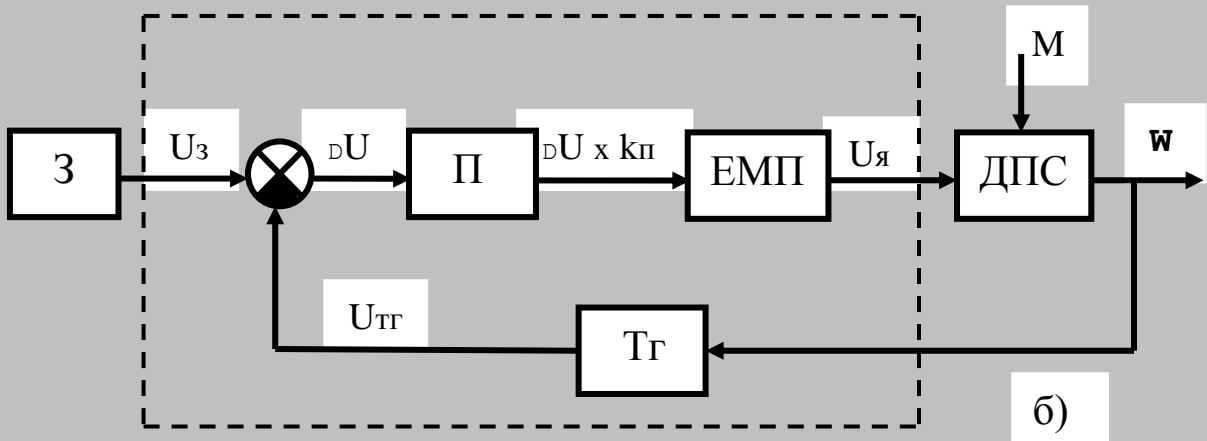
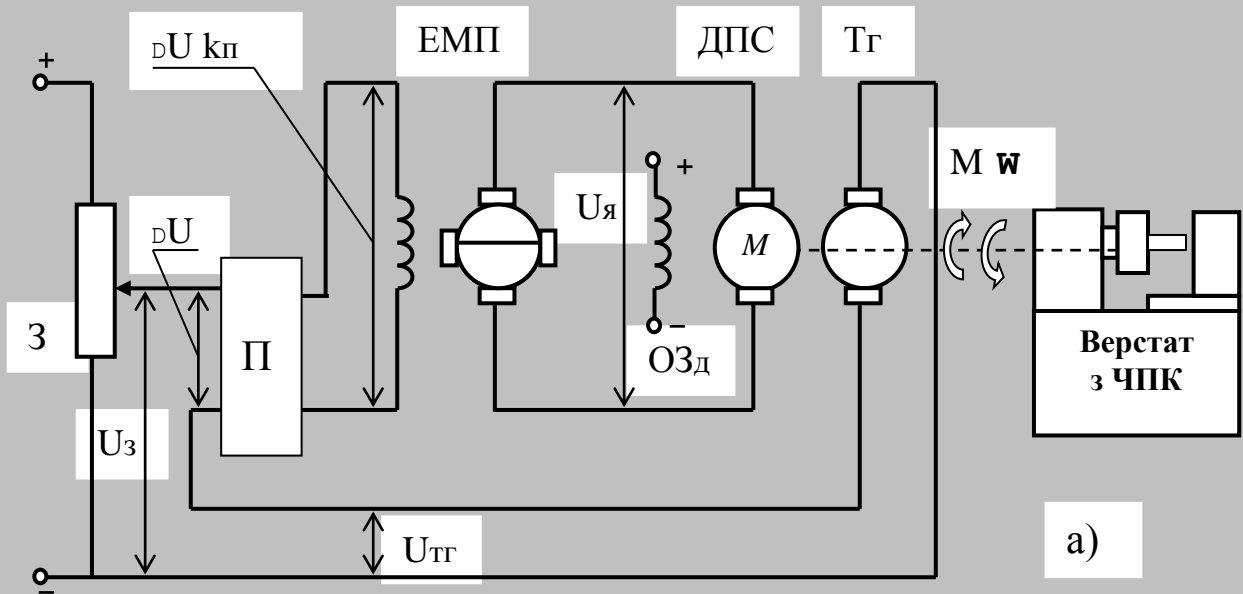


Рисунок 4.1 – Схеми системи автоматичного керування:
 а) принципова; б) функціональна; в) структурна.
 (Умовні позначення на схемах: З – за датчик (потенціометр), П – підсилювач, ЕМП – електромашинний підсилювач, ДПС – двигун постійного струму, ТГ – тахогенератор)

Також можуть застосовуватись різноманітні види перетворювань структури системи (наприклад, перенесення вузлів і т.і.) [1]. В результаті перетворень винаходиться ПФ системи автоматичного керування як в загальному вигляді, так і в числовому (після підстановки чисельних значень постійних коефіцієнтів).

Для прикладу розглянемо схему на рисунку 4.1. Запишемо передаточні функції $W(p)=Y(p)/X(p)$ для всіх основних елементів:

П - $W_p(p) = DU(p) \times k_p / DU(p) = k_p$ – безінерційна ланка,

ЕМП - $W_e(p) = U_y(p) / DU(p) \times k_p = k_e / (T_e p + 1)$ – інерційна ланка,

ДПС - $W_d(p) = W(p) / U_y(p) = k_d / (T_d p + 1)^p$ – послідовне з'єднання інерційної і інтегруючої ланок,

Тг - $W_{tg}(p) = U_{tg}(p) / W(p) = k_{tg}$ – безінерційна ланка.

Структура системи складається із послідовного з'єднання трьох елементів П, ЕМП, ДПС (розімкнута система) для яких ПФ має вигляд $W_{роз}(p) = W(p) / DU(p) = k_p k_e k_d / ((T_e p + 1) (T_d p + 1)^p)$, яка охоплена від'ємним зворотним зв'язком ланцюга тахогенератора.

ПФ для всієї системи запишеться таким чином:

$$W_{зам}(p) = W(p) / U_z(p) = k_p k_e k_d / ((T_e p + 1) (T_d p + 1)^p + k_p k_e k_d k_{tg}).$$

Прийемо: $k_p=20$; $k_e=1$; $k_d=5$; $k_{tg}=0.01$; $T_e=0.01$; $T_d=0.1$, тоді в числовому вигляді ПФ перепишеться як

$$W_{зам}(p) = W(p) / U_z(p) = 100 / ((0.01p + 1) (0.1p + 1)^p + 1).$$

4.3 Розрахунок і побудова характеристик системи автоматичного керування

Розрахунок і побудову статичних і динамічних характеристик системи автоматичного керування необхідно проводити із обов'язковим застосуванням ЕОМ, наприклад з використанням математичного пакету MathCAD, або інших програмних продуктів (в тому числі і розроблених студентами самостійно).

Вираз для ПФ системи автоматичного керування дозволяє отримати всі необхідні розрахункові статичні і динамічні характеристики. В цій розрахунково-графічній роботі вимагається навести такі характеристики системи: статичну, динамічні часові (перехідну (ПХ) або вісову (ВХ)), динамічні частотні (амплітудно-частотну (АЧХ), фазово-частотну (ФЧХ), логарифмічну амплітудно-частотну (ЛАЧХ), амплітудо-фазово-частотну

(АФЧХ) і т.і.). При цьому спочатку варто знайти аналітичні вирази для тієї чи іншої функції і визначити реальні робочі діапазони зміни аргументів функцій, а вже потім приступати до розрахунку і побудови характеристик. Розрахункові таблиці і графіки функцій (характеристик) повинні налічувати не менш як 10 розрахункових точок, до яких слід додати усі характерні точки графіків (точки перетинання, зрізу, перегинання, екстремумів і т.і.).

Наприклад, для системи, зображеної на рисунку 4.1, виведемо розрахункові формули для побудови необхідних характеристик.

Перехідна часова характеристика розраховується за допомогою виразу, що отриманий із ПФ $W_{зам}(p)$ шляхом зворотнього перетворення Лапласа і таблиць Карсона-Хевісайда при нульових початкових умовах [2]

$$y(t) = \frac{k_n \cdot k_e \cdot k_d \cdot (1 - e^{-t/T_e}) \cdot (1 - e^{-t/T_d}) / T_d}{1 + k_{IT} \cdot k_n \cdot k_e \cdot k_d \cdot (1 - e^{-t/T_e}) \cdot (1 - e^{-t/T_d}) / T_d} =$$

$$= \frac{100 \cdot (1 - e^{-100t}) \cdot (1 - e^{-10t})}{0.1 + (1 - e^{-100t}) \cdot (1 - e^{-10t})}$$

Частотні характеристики розраховуються за допомогою таких формул:

а) амплітудо-фазово-частотна характеристика (АФЧХ)

$$W_{зам}(i\omega) = \text{Re}(\omega) + i \cdot \text{Im}(\omega)$$

де

$$\text{Re}(\omega) = \frac{k_n k_e k_d (k_n k_e k_d - (T_e + T_d) \cdot \omega^2)}{(k_n k_e k_d k_{Tz} - \omega^2 (T_e + T_d))^2 + \omega^2 (1 - T_e T_d)^2}$$

$$= \frac{10000 - 11\omega^2}{0.012\omega^4 - 21\omega^2 + 10000}$$

i

$$\text{Im}(\omega) = \frac{k_n k_e k_d \cdot \omega \cdot (T_e T_d - 1)}{(k_n k_e k_d k_{Tz} - \omega^2 (T_e + T_d))^2 + \omega^2 (1 - T_e T_d)^2}$$

$$= \frac{-89 \cdot \omega}{0.012\omega^4 - 21\omega^2 + 10000}$$

б) амплітудно-частотна характеристика (АЧХ)

$$A(\omega) = \sqrt{\operatorname{Re}(\omega)^2 + \operatorname{Im}(\omega)^2}$$

в) фазово-частотна характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(\omega)}{\operatorname{Re}(\omega)}$$

г) логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ)

Графіки характеристик системи показані на рисунку 4.2.

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$$

4.4 Визначення стійкості системи автоматичного керування

В даній розрахунково-графічній роботі стійкість завданої системи автоматичного керування необхідно визначати різними шляхами: по значенням коренів характеристичного рівняння, по вигляду і параметрам перехідних і частотних динамічних характеристик, по найбільш відомим критеріям стійкості (Рауса-Гурвіца, Михайлова, Найквіста).

При дослідженні стійкості системи слід представити необхідні обчислення і графіки, матриці і визначники, частотні функції в загальному і чисельному вигляді з побудовою їх годографів. Необхідно дати обґрунтовані висновки про стійкість системи.

Наприклад, стійкість системи, зображеної на рисунку 4.1, визначимо декількома способами [2]:

1) *За коренями характеристичного рівняння.* Із знаменника передаточної функції замкненої системи отримаємо для неї характеристичне рівняння:

$$T_e \cdot T_d \cdot p^3 + (T_e + T_d) \cdot p^2 + p + k_n \cdot k_e \cdot k_d \cdot k_{T_2} = 0$$

$$a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0 = 0$$

Розв'язання цього рівняння дає такі корені :

$$r_1 = -1.14 ; \quad r_2 = -100.11 ; \quad r_3 = -8.75 .$$

Всі три корені є дійсними і від'ємними, що свідчить про стійкість цієї системи.

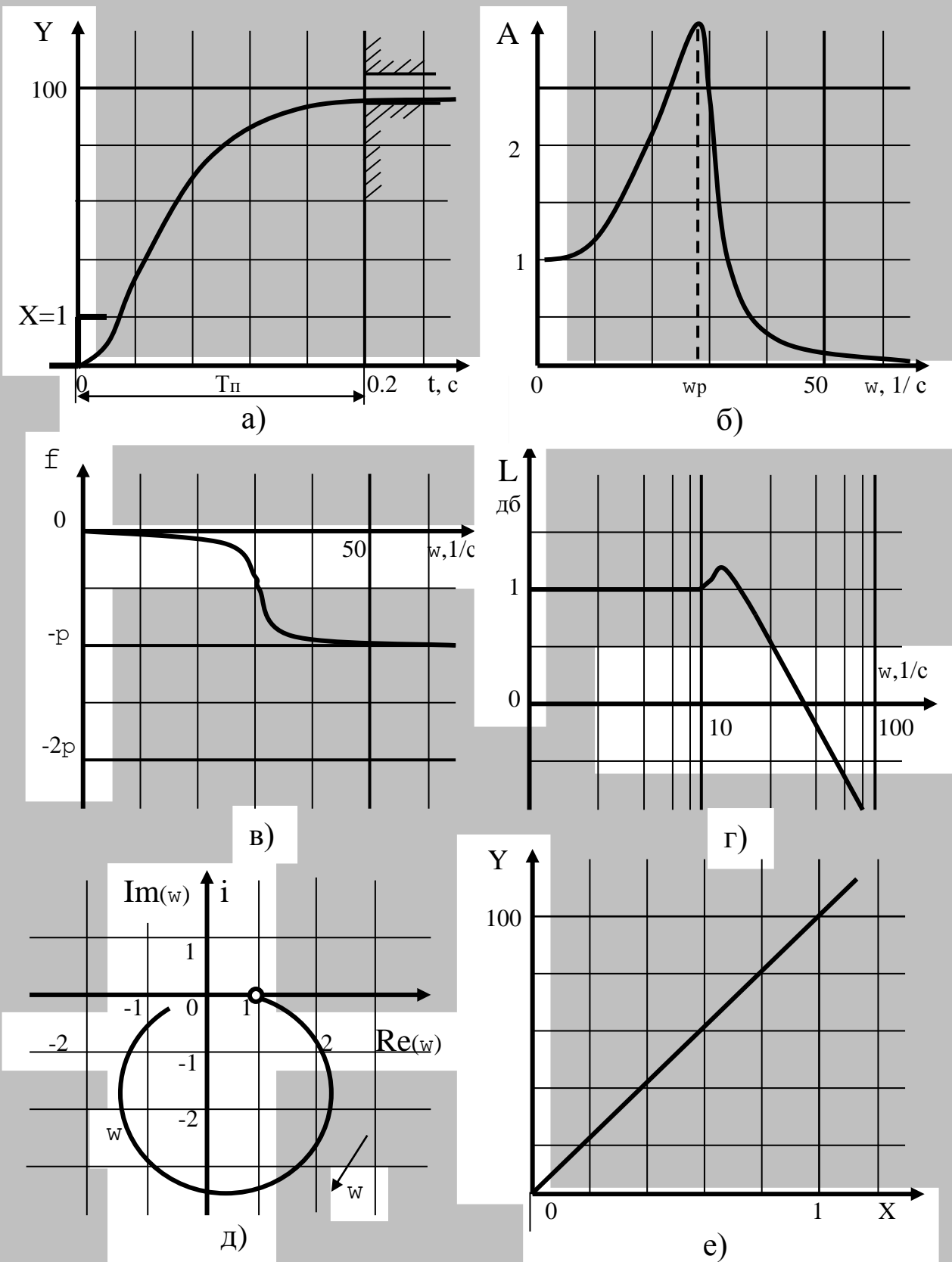


Рисунок 4.2 – Характеристики замкненої системи:
а) перехідна; б) амплітудно-частотна; в) фазово-частотна;
г) логарифмічно-частотна; д) амплітудно-фазово-частотна;
е) статична

2) За критерієм Рауса-Гурвіца. Із постійних коефіцієнтів характеристичного рівняння системи складемо "гурвіціан":

$$G = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0.001 & 0 \\ 100 & 0.11 & 0 \\ 0 & 1 & 0.001 \end{vmatrix}$$

Визначники Гурвіца мають вигляд:

$$\Delta_1 = a_1 = 1 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 0.01 > 0;$$

$$\Delta_3 = G = a_3 \cdot \Delta_2 = a_3 (a_1 a_2 - a_0 a_3) = 0.00001 > 0.$$

Всі вони додатні, тому система стійка.

2) За критерієм Михайлова. Із знаменника передаточної функції замкненої системи отримаємо для неї характеристичний поліном у вигляді комплексної частотної функції:

$$a(i\omega) = a_3 (i\omega)^3 + a_2 (i\omega)^2 + a_1 i\omega + a_0 = 0$$

$$a(i\omega) = (100 - 0.11\omega^2) + i(\omega - 0.001\omega^3)$$

Годограф вектора $a(i\omega)$, показаний на рисунку 4.3, а, відповідає стійкій системі.

2) За критерієм Найквіста. Із виразу для передаточної функції розімкненої системи $W_{роз}(p)$ (див. пункт 4.1) отримаємо вираз для АФЧХ:

$$W_{роз}(i\omega) = W(i\omega) / D U(i\omega) = k_p k_e k_d / ((T_e i\omega + 1) (T_d i\omega + 1) i\omega)$$

або

$$W_{роз}(i\omega) = \text{Re}(\omega) + i \cdot \text{Im}(\omega)$$

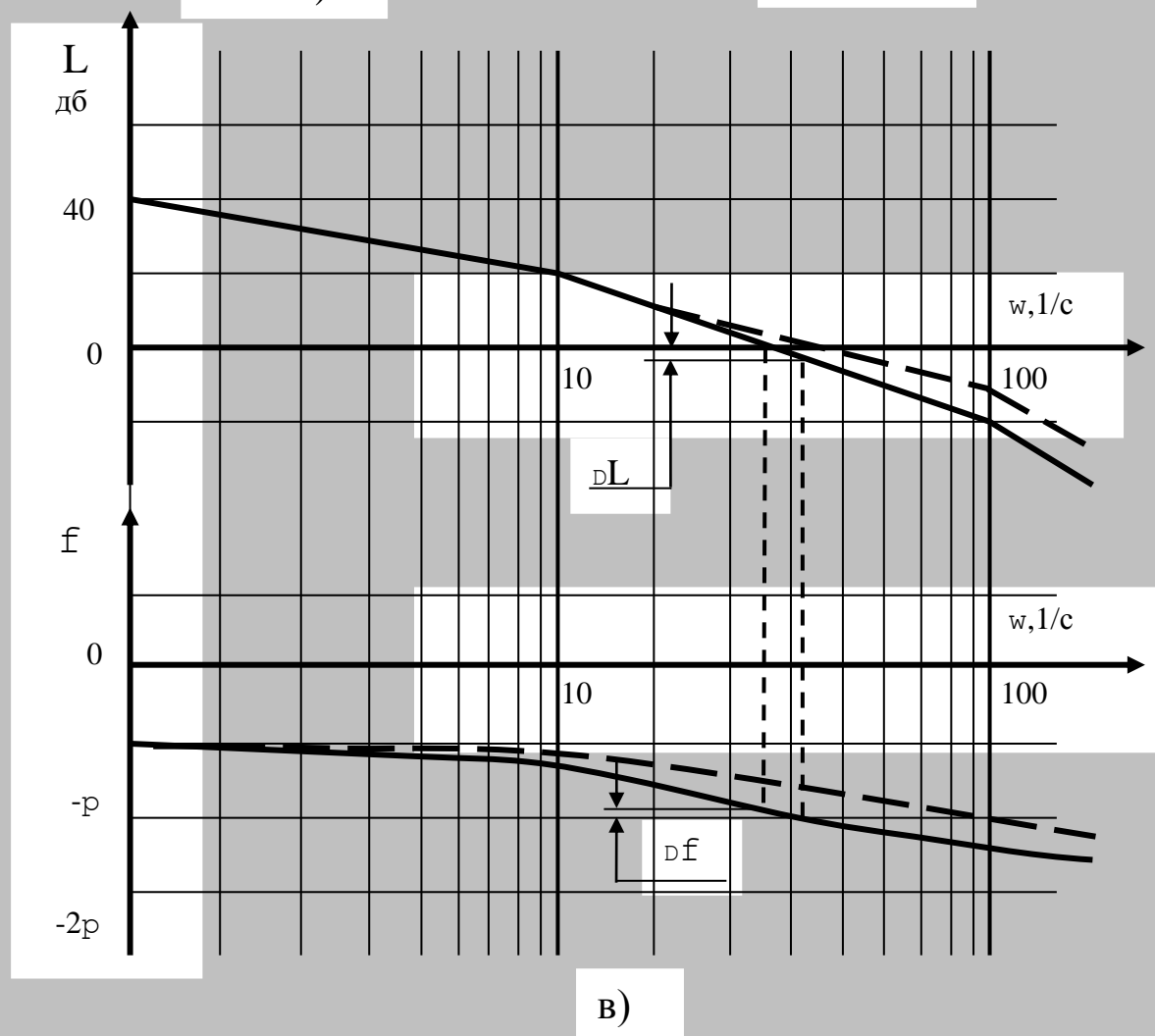
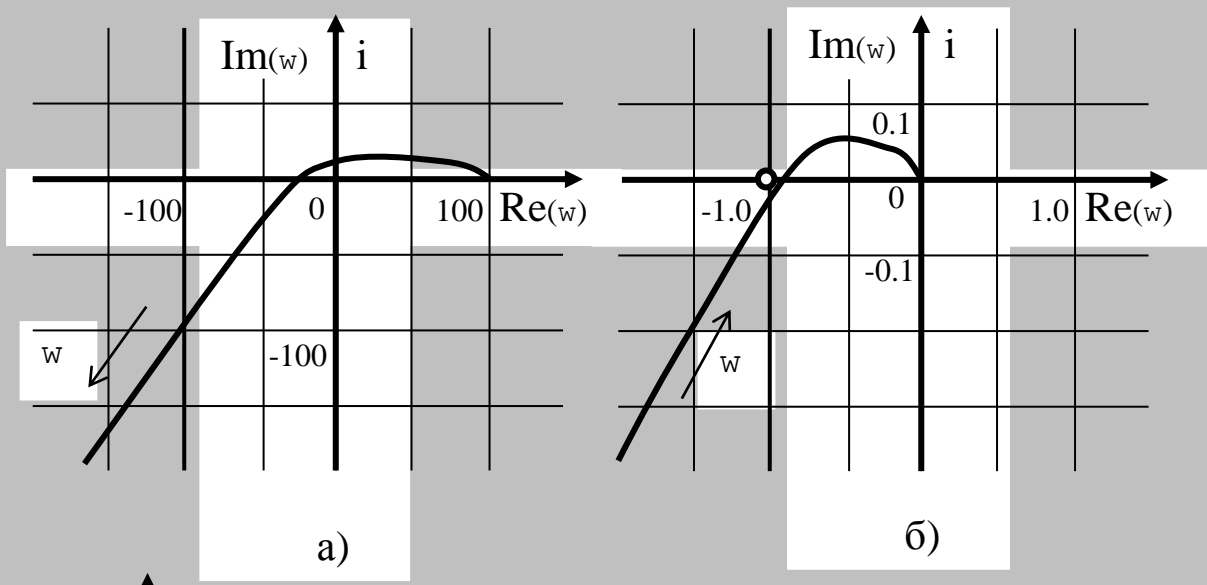


Рисунок 4.3 – Визначення стійкості системи:
 а) по критерію Михайлова; б) по критерію Найквіста;
 в) по логарифмічно-частотним характеристикам

де

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}(\omega) &= \frac{-k_n k_e k_d (T_e + T_d)}{\omega^2 (T_e + T_d)^2 + (1 - \omega^2 T_e T_d)^2} = \\ &= \frac{-11}{0.012 \omega^2 + (1 - 0.001 \omega^2)}\end{aligned}$$

i

$$\begin{aligned}\operatorname{Im}(\omega) &= \frac{-k_n k_e k_d (1 - \omega^2 T_e T_d)}{\omega^3 (T_e + T_d)^2 + \omega (1 - \omega^2 T_e T_d)^2} = \\ &= \frac{-100(1 - 0.001 \omega^2)}{0.012 \omega^3 + \omega(1 - 0.001 \omega^2)}\end{aligned}$$

Графік АФЧХ $W_{\text{роз}}(i\omega)$ показаний на рисунку 4.3, б. Годограф вектора не охоплює критичну точку $(-1, 0)$, тому система стійка.

4.5 Аналіз якості системи автоматичного керування

Аналіз якості системи автоматичного керування заключається в визначенні і оцінці показників якості: ступіні і запасу стійкості, точності, швидкодії. В даній розрахунково-графічній роботі необхідно визначити ці показники різними методами (по коренях характеристичного рівняння, по часових і частотних характеристиках і т.і.).

Наприклад, знайдемо запас стійкості системи по логарифмічним характеристикам (амплітудній і фазовій) розімкненої системи, які побудовані на рисунку 4.3, в. Для даної стійкої системи запас стійкості по амплитуді становить $DL = 1$ дБ, а по фазі – $Df = 1.5$ градусів. Аналогічно такі показники можна отримати по зображеній на рисунку 4.3, а АФЧХ $W_{\text{роз}}(p)$, де запас стійкості по амплітуді визначається числом більшим за 1 – $K_a = 1 / 0.9 = 1.1$.

Швидкодію системи можна встановити виходячи із тривалості перехідного процесу $T_p = 0.02$ с по характеристиці, приведеній на рисунку 4.2, а і т.д.

В даній розрахунково-графічній роботі також необхідно проаналізувати і обґрунтовано запропонувати способи поліпшення якості системи шляхом введення додаткових корегуючих (послідовних чи

паралельних) ланок або зворотніх зв'язків в системі. На підставі цього слід дати кількісну оцінку покращенню параметрів системи.

Наприклад, в систему автоматичного керування двигуном постійного струму (рисунок 4.1, а додамо корегуючий пристрій у вигляді диференціюючої ланки [1]. Схема скорегованої системи показана на рисунку 4.4, а її скореговані характеристики – на рисунку 4.3, в (пунктирними лініями). В результаті введення корекції запас стійкості скорегованої системи збільшився по амплитуді до 7 дБ, а по фазі – до 30 градусів. Методика синтезу коректуючих пристроїв наведена в [3].

Методика розрахунків і побудови характеристик для оновленої системи аналогічна до вище приведеної.

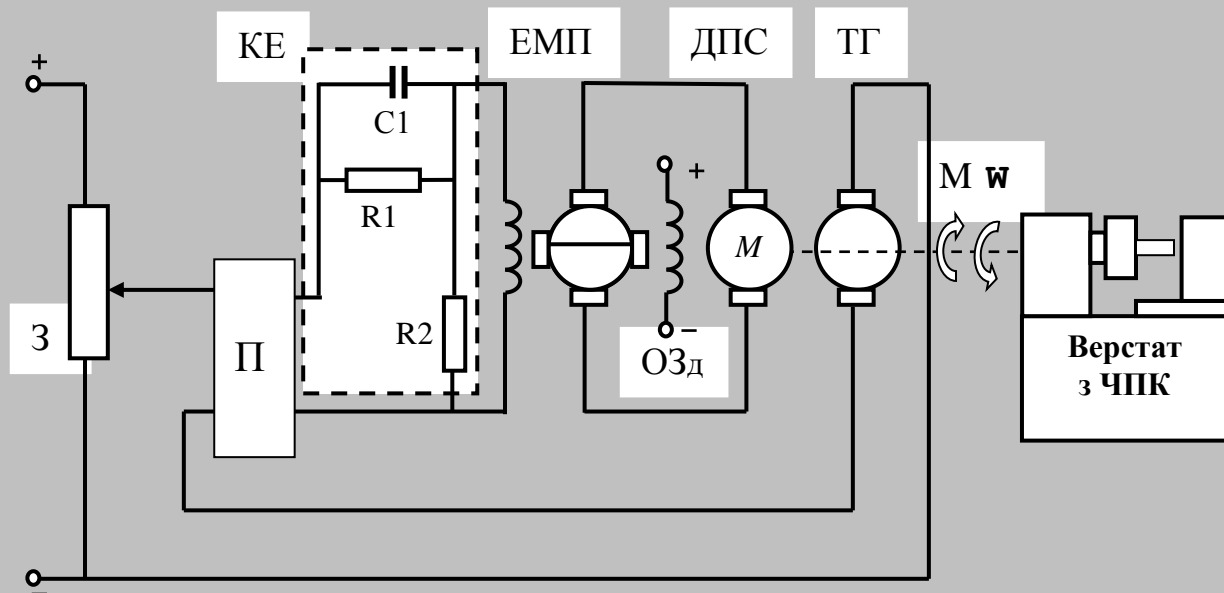


Рисунок 4.4 – Принципова схема скорегованої системи автоматичного керування:

(Додаткові умовні позначення на схемах: КЕ – корегуючий елемент; R1, R2 – резистори; C1 – конденсатор)

5 Рекомендована література

1. Александров Е.С., Козлов Б.И. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами : У 3-х т. : Підручник для студентів політехнічних та аерокосмічних ун-тів. Т.1. Теорія автоматичного керування. – Харків : НТУ"ХПІ", 2002 – 491 с.
2. Валюх О.А., Максимов В.М. Елементи теорії автоматичного керування. Лінійні системи неперервної дії: навч. посібник – Львів: Афіша, 2000. – 124 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник / за ред. М.Г. Поповича та О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління: Підручник – К.: Техніка, 2002. – 676 с.
5. Кузнецов В.П., Лукьянец С.В., Крупская М.А. Теория автоматического управления: Конспект лекций. – Часть 1 Линейные непрерывные системы – 131 с.
6. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 352 с.
7. Маркін О.М., Маркін М.О. Теорія автоматичного керування. Електронний конспект лекцій. К. КПІ. 2009. – 137 с.
8. Медведев Ю.И. Курс лекций по теории автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 2004. – 110 с.
9. Поляков К.Ю. Теория автоматического управления для «чайников». Санкт-Петербург, 2008. – 80 с.
10. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К.: Либідь, 2007. – 655 с.
11. Сборник задач по теории автоматического управления и регулирования. Под ред. В.А. Бессекерского. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
12. Сенигов П.Н. Теория автоматического управления: Конспект лекций. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – 93 с.
13. Таранов И.Н., Гордеев Е.Н. Теория автоматического управления: Конспект лекций. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – Ч. 1. – 40 с.
14. Теория автоматического управления. Ч. 1 / Под ред. А.А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986. 367 с.
15. Теория автоматического управления. Ч. 2 / Под ред. А.А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986. 504 с.

ЗМІСТ

Стор

Вступ	3
1 Мета і задачі розрахунково-графічної роботи	3
2 Зміст і обсяг розрахунково-графічної роботи	3
3 Варіанти завдань до розрахунково-графічної роботи	4
4 Методичні вказівки до виконання розрахунково- графічної роботи	11
4.1 Вихідні структури систем автоматичного керування	11
4.2 Аналіз систем автоматичного керування	11
4.3 Розрахунок і побудова характеристик системи автоматичного керування	13
4.4 Визначення стійкості системи автоматичного керування	15
4.5 Аналіз якості системи автоматичного керування	19
5 Рекомендована література	21