

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра «Автоматизовані системи електричного транспорту»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання курсової роботи  
з дисципліни**

***“ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ”***

**Харків 2012**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку  
на засіданні кафедри СЕТ 29 листопада 2010 р., протокол № 6.

Рекомендуються для студентів спеціальностей 092201  
“Електричні системи і комплекси транспортних засобів” і 092202  
“Електричний транспорт” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:  
проф. Я.В. Щербак,  
асист. В.П. Нерубацький

Рецензент  
доц. Ю.М. Кутовий

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи  
з дисципліни

*“ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ”*

Відповідальний за випуск Нерубацький В.П.

Редактор Решетилова В.В.

---

Підписано до друку 25.01.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75 Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту  
61050, Харків - 50, майдан Фейсрбаха, 7

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра “Системи електричної тяги”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання курсової роботи

з дисципліни

*“ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ”*

Харків 2012

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри СЕТ 29 листопада 2010 р., протокол № 6.

Рекомендуються для студентів спеціальностей 092201 “Електричні системи і комплекси транспортних засобів” і 092202 “Електричний транспорт” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

проф. Я.В. Щербак,  
асист. В.П. Нерубацький

Рецензент

доц. Ю.М. Кутовий

## ЗМІСТ

1	Завдання та загальні вказівки до виконання курсової роботи .....	4
2	Методичні вказівки до виконання роботи .....	6
2.1	Розроблення структурної схеми системи регулювання струму збудження .....	6
2.2	Аналіз статичних та динамічних характеристик складових елементів системи .....	7
2.3	Синтез передавальної функції регулятора та електричної схеми регулятора .....	16
2.4	Аналіз сталого та перехідного процесів спроектованої системи регулювання .....	20
2.5	Синтез електричної схеми регулятора .....	21
2.6	Моделювання перехідних процесів спроектованої САР .	22
	Список літератури .....	24
	Додаток А Варіанти завдання на курсову роботу .....	25
	Додаток Б Електричні ланки корегуючих кіл САР .....	26

# 1 ЗАВДАННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Темою курсової роботи є розроблення системи автоматичного регулювання струму обмотки збудження електричного двигуна постійного струму. Електрична схема об'єкта регулювання показана на рисунку 1.1.

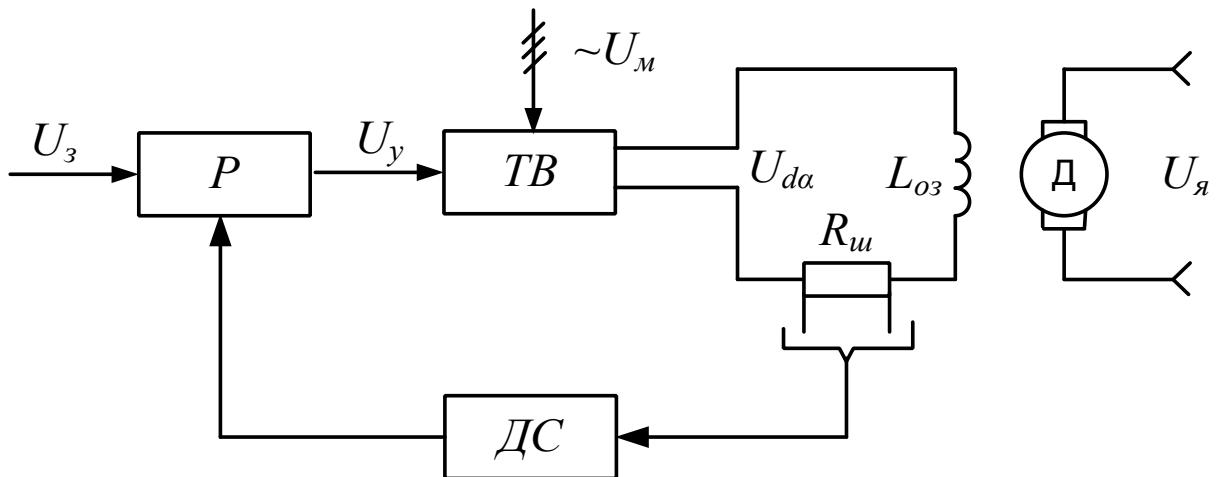


Рисунок 1.1

Живлення обмотки збудження (ОЗ) двигуна (Д) виконується від керованого тиристорного випрямляча (ТВ). Контроль за струмом обмотки збудження здійснюється за допомогою шунта  $R_{ш}$ , сигнал якого підсилюється датчиком струму (ДС). Датчик струму також забезпечує гальванічне розділення між силовою частиною схеми і регулятором (Р), що поліпшує заводозахищеність схеми та безпеку її обслуговування.

На рисунку 1.2 наведена блок-схема датчика струму, побудованого за типом МДМ.

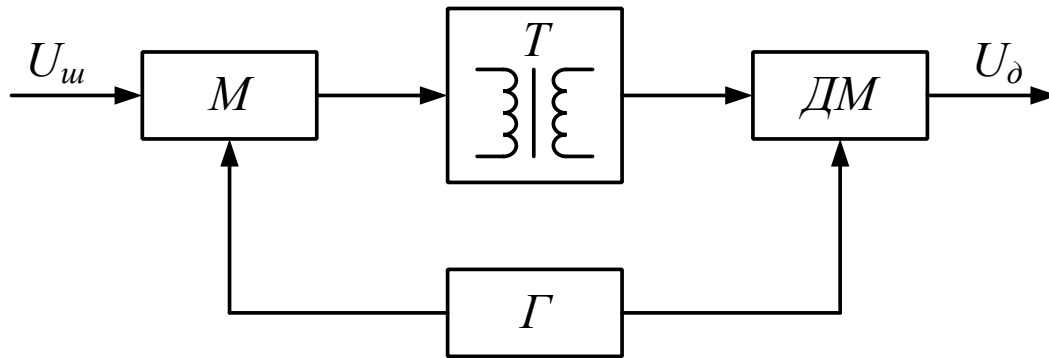


Рисунок 1.2

Модулятор  $M$  виконує амплітудно-імпульсну модуляцію сигналу шунта  $U_w$ . Промодульований сигнал через трансформатор  $T$  подається на інформаційний вхід демодулятора  $ДМ$ . За допомогою трансформатора забезпечується гальванічне розділення вхідного та вихідного кіл датчика. Демодулятор відновлює форму сигналу  $U_w$  і може виконувати його підсилення. Керування процесами модуляції та демодуляції виконує генератор  $Г$ .

Курсова робота включає в себе такі складові частини:

- а) розроблення структурної схеми системи регулювання струму збудження;
- б) аналіз статичних та динамічних характеристик складових елементів системи;
- в) синтез передавальної функції регулятора;
- г) аналіз сталого та перехідного процесів спроектованої системи регулювання;
- д) синтез електричної схеми регулятора.

Вихідні дані до виконання курсової роботи наведені в додатку А.

При виконанні курсової роботи необхідно дотримуватися таких положень:

- а) пояснювальна записка до курсової роботи пишеться чорнилами на стандартних аркушах розміром  $210 \times 297$ ; на обкладинці пояснювальної записки необхідно зазначити дисципліну, шифр роботи, спеціальність, прізвище, ініціали і шифр групи студента;

б) пояснювальна записка повинна бути написана охайно, зрозумілим почерком, без скорочення слів або набрана на комп'ютер;

в) розрахунки потрібно супроводжувати поясненнями. Розрахункові формули наводяться спочатку у загальному вигляді з застосуванням прийнятих літерних позначень, після чого слід підставити у формулу числові величини, а потім проставити результат.

Необхідно навести пояснення величин, що входять у формулу, обов'язково проставляючи для отриманих величин їх розмірності. При виборі необхідних розрахункових величин і параметрів, використанні таблиць, формул, довідкових матеріалів необхідно робити посилання на джерела; використану літературу (автор, назва книги, рік видання) слід навести в кінці пояснювальної записки. Матеріал слід наводити з дотриманням прийнятої в технічній літературі термінології;

г) графічна частина роботи (ескізи, рисунки, креслення) виконуються з використанням креслярського інструменту і відповідно до прийнятих ДСТУ;

д) сторінки пояснювальної записки, ілюстрації, таблиці і графіки повинні бути пронумеровані. Таблиці повинні мати назву, ілюстрації та графіки – підписуночі підписи;

е) курсова робота обов'язково підписується студентом і ставиться дата її виконання.

## **2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **2.1 Розроблення структурної схеми системи регулювання струму збудження**

Для розрахунку контуру регулювання струму виконують побудову його структурної схеми.

Структурна схема вміщує в собі такі елементи: вузол порівняння, регулятор струму, тиристорний випрямляч, обмотка збудження, датчик струму. Елементи на структурній схемі позначають прямокутниками, в які вписують назви передавальних функцій у вигляді перетворення Лапласа.



## 2.2 Аналіз статичних та динамічних характеристик складових елементів системи

На даному етапі слід виконати таке:

- виведення формули передавальної функції обмотки збудження;
- розрахунки регулювальної характеристики тиристорного випрямляча;
- лінеаризація регулювальної характеристики тиристорного випрямляча;
- розрахунок коефіцієнта підсилення датчика струму;
- розрахунки та побудова частотних характеристик електричного кола, до складу якого входять тиристорний випрямляч, обмотка збудження та датчик струму.

2.2.1 Для виведення передавальної функції обмотки збудження користуються її еквівалентною електричною схемою, що міститься на рисунку 2.1,

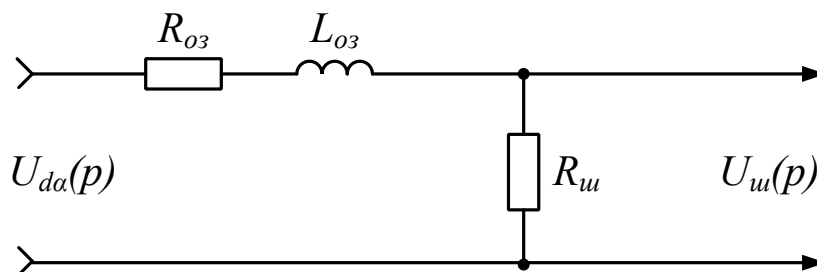


Рисунок 2.1

на якому  $R_{o3}$  – активна складова частина опору обмотки;  
 $L_{o3}$  – індуктивність обмотки;  
 $R_{ii}$  – опір шунта.

Передавальну функцію одержують, як відношення вихідного та вхідного опорів схеми, записаних у формі перетворювання Лапласа

$$H_{O3}(p) = \frac{U_{in}(p)}{U_{d\alpha}(p)} = \frac{Z_{вих}(p)}{Z_{вх}(p)}, \quad (2.1)$$

**2.2.2** Живлення обмотки збудження виконує тиристорний випрямляч з лінійним опорним сигналом в системі імпульсно-фазового керування. Опорний сигнал одержують інтегруванням постійної напруги  $U_o$  за половину періоду напруги, що живить тиристорний випрямляч мережі. Для  $n$ -го інтервалу роботи тиристорного випрямляча опорний сигнал характеризується такою аналітичною залежністю:

$$U_{oc} = \frac{1}{\omega_o \cdot T_o} \int_{\theta_{[n-1]}}^{\theta_u} U_o d\theta = \frac{U_o \cdot \theta}{\omega_o \cdot T_o}, \quad (2.2)$$

де  $T_o$  – стала часу інтегратора;

$\theta$  – змінна кутова координата;

$\omega_o = 2 \cdot \pi \cdot f_o$ ;  $f_o = 50$  Гц.

Кут відкривання чергового тиристора випрямляча визначається умовою перемикування компаратора в системі керування

$$U_{oc}(\theta) = U_y(\theta). \quad (2.3)$$

На підставі цієї умови функціональна залежність кута керування тиристорного випрямляча від величини напруги  $U_y$  має вигляд

$$\alpha = \frac{\omega_o \cdot T_o \cdot U_y}{U_o}, \quad (2.4)$$

де  $\frac{\omega_o \cdot T_o}{U_o} = \frac{\pi}{20}$ .

Середнє значення вихідної напруги тиристорного випрямляча при  $\alpha = 0$

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot m}{\pi} \cdot U_i \cdot \sin \frac{\pi}{m}. \quad (2.5)$$

В керованому режимі середнє значення вихідної напруги для неперервного струму в колі обмотки збудження

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha .$$

Підстановка формули (2.4) у формулу (2.6) дає вираз регулювальної характеристики тиристорного випрямляча

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos U_y \cdot \frac{\pi}{20}$$

Неперервний струм в обмотці збудження зберігається до кута регулювання тиристорного випрямляча, величина якого

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{\omega_1 \cdot L_{o3}}{R_{o3}} ,$$

де  $\omega_1 = \omega_o \cdot m$  .

Підстановка формули (2.8) у формулу (2.4) дає значення максимальної величини керувальної напруги  $U_y$  для режиму неперервного струму в обмотці збудження

$$U_{y \max} = \alpha_{\max} \cdot \frac{U_o}{\omega_o \cdot T_o}$$

Розрахунок регулювальної характеристики тиристорного випрямляча виконується за формулою (2.7) підстановкою  $U_y$  від нуля до  $U_{y \max}$  . Крок зміни величини  $U_y$  вибирають таким, щоб забезпечити достатню кількість точок для побудови графіка. Результати розрахунків записують до таблиці 2.1 і будують графік регулювальної характеристики.

Таблиця 2.1

$U_y$ , [В]									
$\alpha$ , [Гр]									
$U_{d\alpha}$ , [В]									

В усталеному режимі на обмотку збудження для забезпечення струму  $I_o$  від тиристорного випрямляча подається напруга, величина якої

$$U_{d\alpha 0} = I_o \cdot R_{o3}, \quad (2.10)$$

де  $I_o = \frac{U_{d0}}{2 \cdot R_{o3}}$ .

Використовуючи формули (2.7) та (2.10), розраховують величину напруги керування  $U_{y0}$  в усталеному режимі. Величини напруг  $U_{y0}$  та  $U_{d\alpha 0}$  наносять на осях регульовальної характеристики тиристорного випрямляча, а на графіку помічають положення робочої точки усталеного режиму.

Лінеаризують регульовальну характеристику методом дотичної в робочій точці. В результаті виконання цієї операції тиристорний випрямляч замінюється лінійним елементом з коефіцієнтом підсилення

$$K_{TB} = \left. \frac{dU_{d\alpha}}{dU_y} \right|_{U_y=U_{y0}}. \quad (2.11)$$

Одержану величину коефіцієнта підсилення перевіряють графічним методом

$$K_{TB} \approx \frac{\Delta U_{d\alpha}}{\Delta U_y}, \quad (2.12)$$

де відхилення  $\Delta U_y$  задаємо симетрично  $U_{y0}$ .

В силу неповної керуваності (дискретності) тиристорного випрямляча реакція його вихідної напруги на зміну вхідного керувального сигналу має запізнення, яке приблизно дорівнює половині інтервалу дискретності

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot f_o \cdot m}, \quad (2.13)$$

де  $m$  – пульсність випрямляча.

Для поліпшення завадостійкості тиристорного випрямляча на вході його системи імпульсно-фазового управління встановлюють фільтруючу ланку з передавальною функцією

$$H_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi} \cdot p + 1}. \quad (2.14)$$

Враховуючи особливості динамічних параметрів на структурній схемі системи автоматичного регулювання, передавальна функція керованого випрямляча має вигляд передавальної функції аперіодичної ланки із запізненням

$$H_{TB}(p) = \frac{K_{TB} \cdot e^{-\varphi}}{T_{\phi} \cdot p + 1}. \quad (2.15)$$

**2.2.3** Шунт для вимірювання струму обмотки збудження вибирають згідно з його величиною  $I_o$  за таблицею 2.2.

Таблиця 2.2

$I_{ш}, A$	5	10	20	30	50	100
$U_{ш}, мВ$	75	75	75	75	75	75

Величину опору шунта розраховують, використовуючи співвідношення

$$R_{ш} = \frac{U_{ш}}{I_{ш}}. \quad (2.16)$$

**2.2.4** Розрахунок коефіцієнта підсилення датчика струму виконують в усталеному режимі. При цьому зробимо допущення, що коефіцієнт передачі електричної ланки, складеної з тиристорного випрямляча, обмотки збудження та датчика струму, дорівнює одиниці, тобто

$$U_{y0} = U_{дс}. \quad (2.17)$$

З урахуванням коефіцієнтів підсилення тиристорного випрямляча та обмотки збудження маємо:

$$K_{дс} = \frac{1}{K_{тв} \cdot K_{оз}}. \quad (2.18)$$

Датчик струму має передавальну функцію аперіодичної ланки першого порядку із сполучною частотою  $f_{дс}$  та коефіцієнтом підсилення  $K_{дс}$ .

$$H_{дс}(p) = \frac{K_{дс}}{T_{дс} \cdot p + 1}, \quad (2.19)$$

де  $T_{дс} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{дс}}$  – стала часу датчика струму.

**2.2.5** Для розрахунків частотних характеристик аналізованої системи автоматичного регулювання записуємо її загальну передавальну функцію

$$W(p) = H_{тв}(p) \cdot H_{оз}(p) \cdot H_{дс}(p) \quad (2.20)$$

Для розрахунку амплітудно-фазочастотної характеристики (АФЧХ) передавальну функцію системи записують у вигляді

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega), \quad (2.21)$$

враховуючи те, що

$$e^{-j\tau\omega} = \cos\tau\omega - j\sin\tau\omega. \quad (2.22)$$

Змінюючи частоту в діапазоні  $0 \leq \omega \leq \infty$ , на комплексній площині будують годограф АФЧХ. Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

$\omega$	$U(\omega)$	$V(\omega)$
0		
1		
2		
5		
10		

...		
10000		

Амплітудно-фазочастотна характеристика системи із запізненням може бути побудована за АФЧХ системи без урахування запізнення, якщо повернути кожен її радіус-вектор  $A(\omega)$  (рисунок 2.2) за годинниковою стрілкою на кут, який дорівнює  $\beta = \tau \cdot \omega$ .

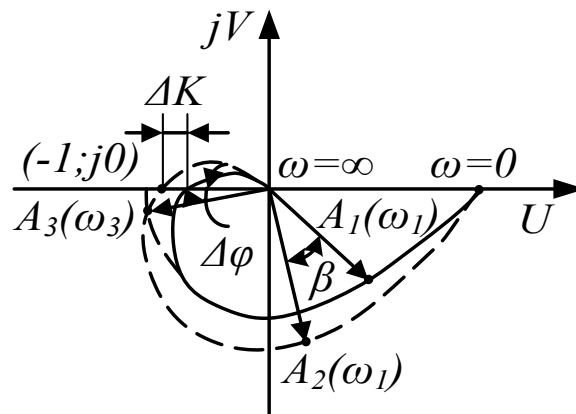


Рисунок 2.2

Користуючись критерієм Найквіста, за одержаним годографом досліджують стійкість системи та запас стійкості. Якщо годограф АФЧХ розімкнутої системи не охоплює точку з координатами  $(-1; j0)$ , то замкнута система автоматичного регулювання стійка. Відділення годографа від точки з координатами  $(-1; j0)$  визначає запас стійкості  $\Delta K$  за коефіцієнтом підсилення, а кут  $\Delta\varphi$ , що прилягає до радіуса-вектора  $A_3(\omega_3)=1$ , визначає запас стійкості системи за фазою.

Розрахунки амплітудної частотної характеристики (АЧХ) виконують згідно з формулою

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{U_u^2(\omega) + V_u^2(\omega)}{U_s^2(\omega) + V_s^2(\omega)}}, \quad (2.23)$$

де  $U_u, U_s$  – коефіцієнти при дійсних частинах поліномів чисельника та знаменника частотної передавальної функції системи  $W(j\omega)$ ;

$V_u, V_z$  – коефіцієнти при уявних частинах поліномів чисельника та знаменника частотної передавальної функції системи  $W(j\omega)$ .

Фазова частотна характеристика (ФЧХ) розраховується, як

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{V_u(\omega)}{U_u(\omega)} - \operatorname{arctg} \frac{V_z(\omega)}{U_z(\omega)}. \quad (2.24)$$

Розраховуючи частотні характеристики, можна замість  $\omega$  у формули підставляти  $f$ , пам'ятаючи, що  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ . Для побудови логарифмічних частотних характеристик розраховують амплітудну характеристику в децибелах

$$A[\text{дБ}] = 20 \cdot \lg A. \quad (2.25)$$

Результати розрахунків заносять до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

$\omega$	$A$	$A[\text{дБ}]$	$\varphi$ , град	$f_{\text{л}}$

Побудову графіків АЧХ та ФЧХ виконують, використовуючи лінійний і логарифмічний масштаби. Для побудови логарифмічних частотних характеристик по осі частот відкладають логарифми частот  $f_{\text{л}} = \lg f$ , користуючись одиницями виміру октава та декада. По осі модуля коефіцієнта підсилення відкладають його величини у децибелах. Величини фазового кута  $\varphi$  відкладають в градусах. Для побудови графіків використовують загальну вісь частот (рисунок 2.3).



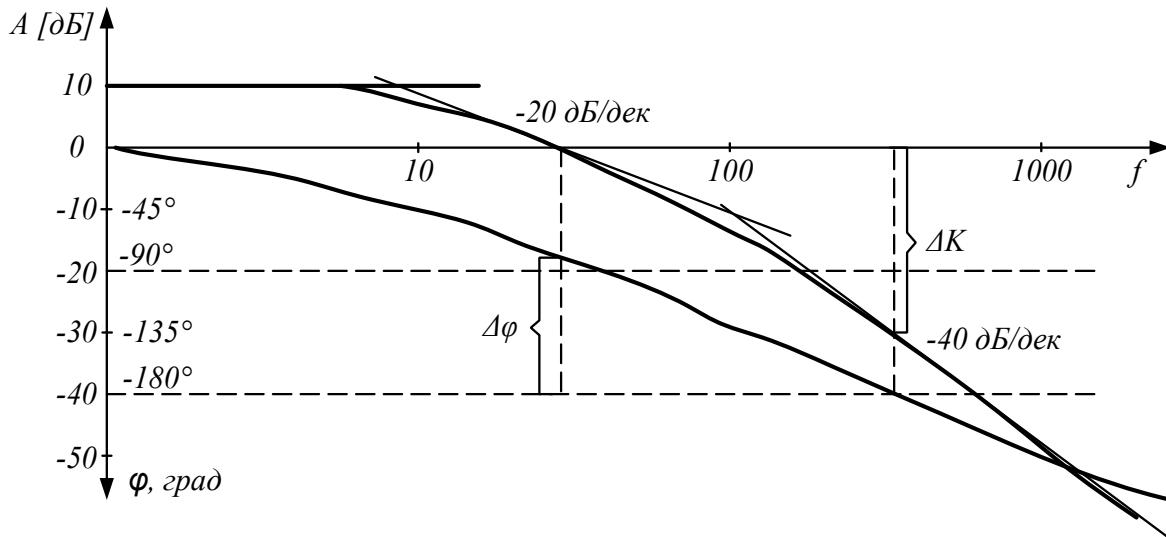


Рисунок 2.3

На графік логарифмічної амплітудної частотної характеристики наносять асимптоти. При побудові асимптотичної характеристики пам'ятають, що сполучні частоти ( $\omega_{cn}$ ) передавальної функції  $W(p)$  розраховуються, як

$$\omega_{TB} = \frac{1}{T_{TB}}; \quad \omega_{O3} = \frac{1}{T_{O3}}; \quad \omega_{ДС} = \frac{1}{T_{ДС}}. \quad (2.26)$$

Нахил асимптоти для частот  $\omega \geq \omega_{cn}$  у ланки першого порядку 20 дБ/дек, ланки другого порядку 40 дБ/дек і т.д. На побудованих логарифмічних частотних характеристиках розімкнутої системи визначають запас стійкості за коефіцієнтом підсилення  $\Delta K$  та запас стійкості за фазою  $\Delta\phi$ .

Запас стійкості за коефіцієнтом підсилення  $\Delta K$  визначають на частоті, для якої  $\phi = -180^\circ$ . Запас стійкості за фазою  $\Delta\phi$  визначають на частоті, де  $A = 0$  дБ.

## 2.3 Синтез передавальної функції регулятора та електричної схеми регулятора

**2.3.1** Синтез передавальної функції регулятора виконують, використовуючи логарифмічні частотні характеристики ( $L_s$ ) розімкнутої заданої системи. Вихідними даними для дослідження є

величина похибки  $\varepsilon$  в статичному режимі, величина перерегулювання  $\delta = (h_{\max} - h_{уст})/h_{уст}$  та величина часу перехідного режиму  $t_p$  (рисунок 2.4).

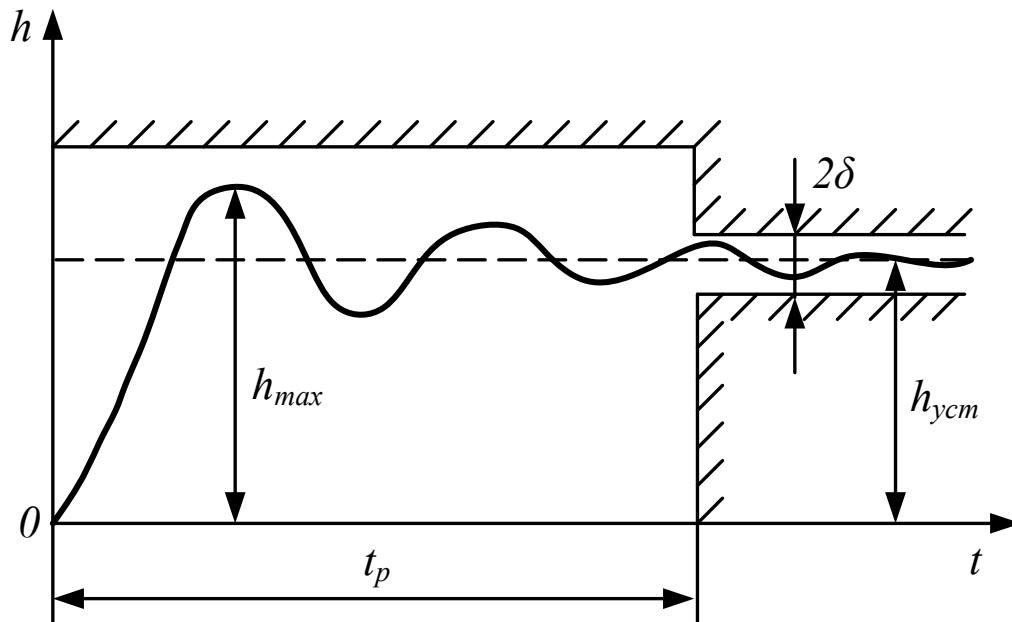


Рисунок 2.4

На базі цих даних виконують побудову бажаної ( $L_\sigma$ ) логарифмічної амплітудно-частотної характеристики розімкнутої системи регулювання.

При побудові бажаної ЛАХ використовують такі рекомендації.

**2.3.2** Низькочастотна область ЛАХ (рисунок 2.5) головним чином визначає точність системи автоматичного регулювання.



$$\omega_3 = \frac{\pi \cdot \lambda_\delta}{t_p}, \quad (2.28)$$

де  $t_p$  – час перехідного режиму (час, за який відхилення перехідної функції замкнутої системи стає меншим за  $\varepsilon = (1 \div 5)\%$  її усталеної величини).

Залежність коефіцієнта  $\lambda_\delta$  від величини перерегулювання  $\delta$  показана на рисунку 2.6.

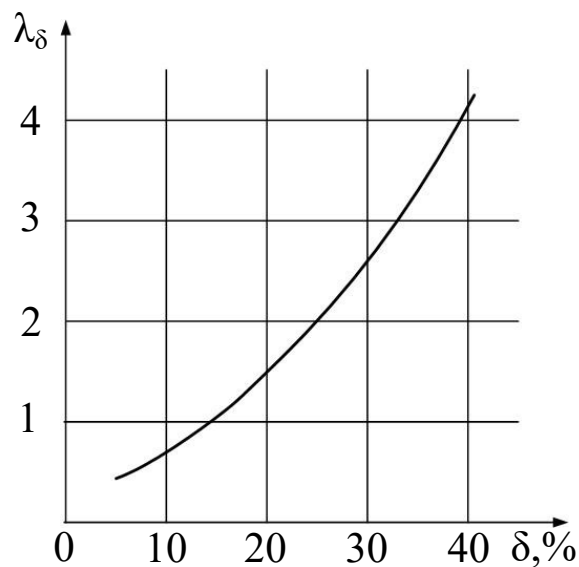


Рисунок 2.6

Сполучні частоти середньочастотної області ЛАХ з низькочастотною та високочастотною областями можна розрахувати, використовуючи такі співвідношення:

$$\omega_1 \approx \frac{\omega_3^2}{\omega_2}; \quad \omega_2 \approx (2 \div 4) \cdot \omega_3$$

**2.3.4** Високочастотна область ЛАХ порівняно з середньочастотною мало впливає на перехідний процес, тому її будують якомога ближчою до ЛАХ заданої системи. Нахил ЛАХ в цій області складає -40 дБ/дек. та -60 дБ/дек.

**2.3.5** Побудову фазових частотних характеристик заданої та скоригованої систем виконують згідно з формулою (2.24).

На побудованих ЛАХ та фазовій частотній характеристиці позначають запас за фазою  $\Delta\varphi$  та запас за коефіцієнтом підсилення  $\Delta K$ .

Асимптотичну логарифмічну амплітудну характеристику регулятора ( $L_p$ ) будують згідно з формулою

$$L_p = L_\sigma - L_z. \quad (2.30)$$

За ЛАХ регулятора записують його передавальну функцію  $H_p(p)$ . При цьому пам'ятають, що нахил ЛАХ -20 дБ/дек (-1) має інтегруюча ланка першого порядку. Нахил ЛАХ -40 дБ/дек (-2) має інтегруюча ланка другого порядку. Нахил ЛАХ +20 дБ/дек (+1) та нахил +40 дБ/дек (+2) мають диференціюючі ланки першого та другого порядків і так далі.

Передавальна функція регулятора, ЛАХ якого побудована на рисунок 2.5, має вигляд

$$H_p(p) = \frac{K \cdot (T_4 p + 1)}{T_5 p + 1}$$

Одержаною передавальною функцією регулятора доповнюють структурну схему проектованої системи автоматичного регулювання та записують загальну її передавальну функцію.

$$W(p) = \frac{H_p(p) \cdot H_{TB}(p) \cdot H_{O3}(p)}{1 + H_p(p) \cdot H_{TB}(p) \cdot H_{O3}(p)}. \quad (2.32)$$

## **2.4 Аналіз сталого та перехідного процесів спроектованої системи регулювання**

Для перевірки відповідності статичних та динамічних параметрів спроектованої системи вимогам завдання на розроблення виконують розрахунок її перехідної функції.

Якість спроектованої системи оцінюють за графіком перехідного процесу, спричиненого якимось типовим зовнішнім діянням. Найчастіше застосовують ступінчате діяння  $U_z(t) = A(t)$ , де величину  $A$  вибирають відповідно до варіанта завдання.

Зображення перехідної функції системи має вигляд

$$H(p) = \frac{A \cdot W(p)}{p}. \quad (2.33)$$

Оригінал перехідної функції системи одержують як суму вичитів в особливих точках

$$h(t) = \sum_{i=1}^u \frac{U(p_i)}{V'(p_i)} \cdot e^{p_i \cdot t}. \quad (2.34)$$

При розрахунках  $h(t)$  величину кроку часу  $t$  вибирають такою, щоб одержати достатню кількість точок для побудови графіка.

Результати розрахунку заносять до таблиці 2.5, за якою будують графік перехідної функції  $h(t)$ .

Таблиця 2.5

$t, c$											
$h(t)$											

На графік  $h(t)$  наносять час перехідного процесу  $t_p$ , величину похибки  $\varepsilon$  та вираховують величину перерегулювання  $\delta$ . Одержані з графіка величини  $t_p$ ,  $\varepsilon$ ,  $\delta$  порівнюють із завданням до курсової роботи. Якщо одержані параметри перевищують задані, то корегують  $L_a$  і знову роблять розрахунки, починаючи з формули (2.30).

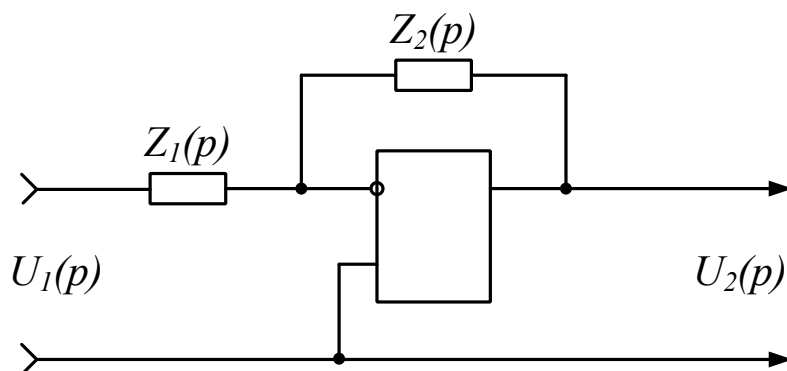
## 2.5 Синтез електронної схеми регулятора

**2.5.1** Схемну реалізацію передавальної функції регулятора виконують на пасивних та активних елементах. Пасивну електричну ланку виконують відповідною до передавальної функції з'єднанням резисторів та конденсаторів. Синтез електричної схеми виконують, використовуючи формулу (2.1). При послідовному з'єднанні пасивних електричних ланок враховують те, що попередня ланка повинна бути джерелом напруги по відношенню до наступної. Ця умова виконується, якщо вхідний опір наступної електричної ланки значно більший вихідного опору попередньої.

Активну електричну ланку виконують на операційних підсилювачах. Синтез схеми базується на тому, що передавальна функція електричної схеми на операційному підсилювачі з використанням його інвертуючого входу має вигляд

$$H(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}, \quad (2.35)$$

де  $Z_2(p)$  – опір елементів зворотнього зв'язку;  
 $Z_1(p)$  – опір елементів на вході.



Опори  $Z_1(p)$ ,  $Z_2(p)$  можуть нести активні та реактивні складові. Конструктивно їх виконують відповідним до передавальної функції електричної ланки, яка синтезується, з'єднанням конденсаторів та резисторів.

В додатку Б наведені приклади схемних реалізацій пасивних та активних електричних ланок.

**2.5.2** Після синтезу електричної схеми регулятора виконують креслення загальної електричної схеми спроектованої системи автоматичного регулювання згідно з вимогами ЄСКД. Електрична схема системи регулювання має:

- електричну схему трифазного тиристорного випрямляча, живлення якого виконується через трансформатор від промислової електричної мережі;
- блок-схему системи імпульсно фазового керування;
- електричну схему обмотки збудження;

- блок-схему датчика струму;
- електричну схему регулятора.



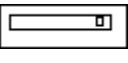

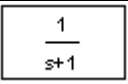
## 2.6 Моделювання перехідних процесів спроектованої САР

Моделювання перехідних процесів спроектованої системи автоматичного регулювання виконують за допомогою пакета математичних і інженерних обчислень *MATLAB 6.5*. Вся модель будується з блоків, що мають входи і виходи. Основні блоки, необхідні для виконання моделювання спроектованої САР в пакеті *Simulink*, наведені в таблиці 2.6.




На першому етапі моделювання виконують у вигляді неперервної ланки загальної передавальної функції регулятора.

На другому етапі перехідні процеси спроектованої САР моделюють в реальному зображенні, тобто в схему загальної передавальної функції регулятора включають мостову схему трифазного тиристорного випрямляча.

Таблиця 2.6

	<i>Constant</i> – сигнал постійної величини
	<i>Step</i> – ступінчастий сигнал, міняється час стрибка ( <i>Step Time</i> ), початкове ( <i>Initial Value</i> ) і кінцеве значення ( <i>Final Value</i> )
	<i>Display</i> – цифровий дисплей, показує зміну вхідного сигналу в цифровому вигляді
	<i>Scope</i> – осцилограф, показує зміну сигналу у вигляді графіка, дозволяє передавати дані в робочу область <i>MATLAB</i> для подальшої обробки і оформлення
	<i>Transfer Fcn</i> – передавальна функція, в параметрах задаються чисельник ( <i>Numerator</i> ) і знаменник



	( <i>Denominator</i> ) у вигляді поліномів
	<i>Integrator</i> – інтегратор з можливістю установлення початкових умов ( <i>Initial condition</i> ), а також меж насичення ( <i>Lower saturation limit u Upper saturation limit</i> )
	<i>Gain</i> – підсилювач, задається коефіцієнт підсилення ( <i>Gain</i> )
	<i>Sum</i> – суматор, використовується для додавання і віднімання входів

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1977. – 519 с.
- 2 Основы автоматического регулирования и управления / Под ред. В.М. Пономарёва. – М.: Высшая школа, 1974. – 438 с.
- 3 Автоматизация электроподвижного состава / Под ред. А.Н. Савоськина. – М.: Транспорт, 1990.
- 4 Булгаков А.А. Новая теория управляемых выпрямителей. – М.: Наука, 1979. – 301 с.
- 5 Джури Э.В. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Госфизматиздат, 1963. – 455 с.

## ДОДАТОК А

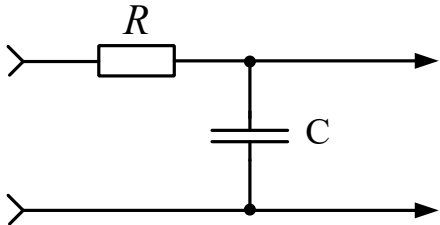
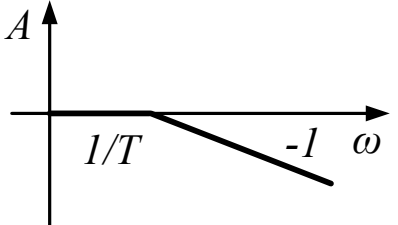
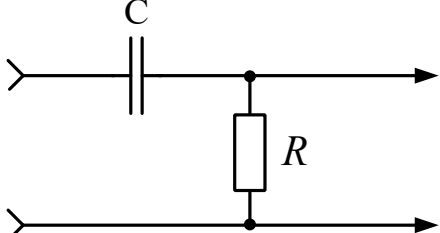
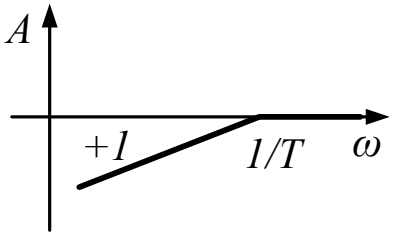
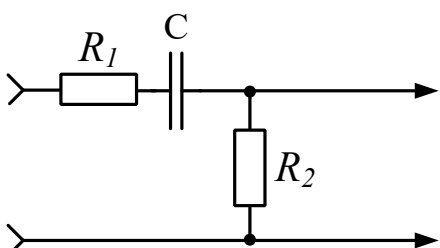
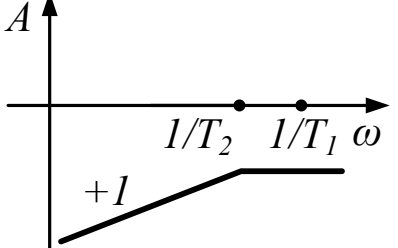
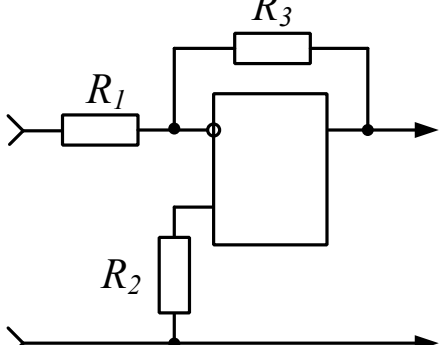
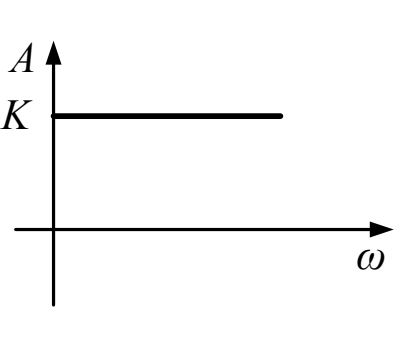
Таблиця А.1 - Варіанти завдання на курсову роботу

№	$U_M$	$U_y$	$U_3$	$L_{оз}$	$R_{оз}$	$f_{дс}$	$T_{\phi}$	$\varepsilon$	$\delta$	$t_p$	$m$
	[В]	[В]	[В]	[ГН]	[ОМ]	[Гц]	[с·10 <sup>-3</sup> ]	[%]	[%]	[с·10 <sup>-3</sup> ]	
1	50	0-10	1	0,1	5	1000	3	1	10	20	6
2	60	0-10	2	0,12	15	1000	3,5	2	20	30	6
3	75	0-10	3	0,1	8	1000	4	5	10	15	6
4	100	0-10	4	0,12	10	1000	5	10	20	20	6
5	125	0-10	5	0,15	15	1000	6	10	10	30	6
6	150	0-10	6	0,1	6	1000	7	0,5	20	15	6
7	175	0-10	7	0,1	20	1000	8	5	10	20	6
8	200	0-10	8	0,15	25	1000	9	10	20	30	6

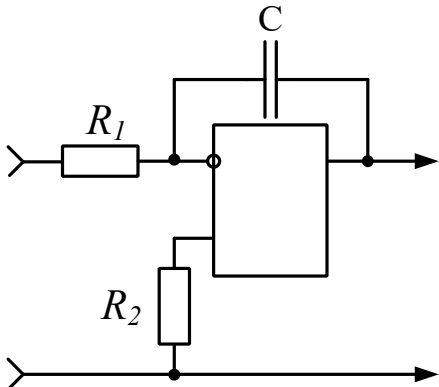
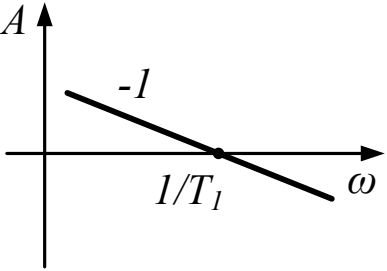
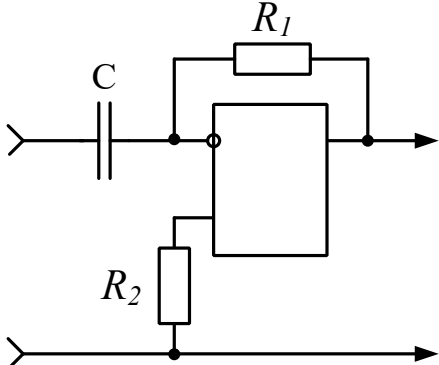
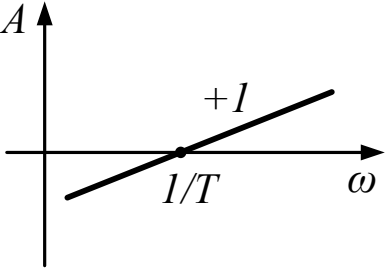
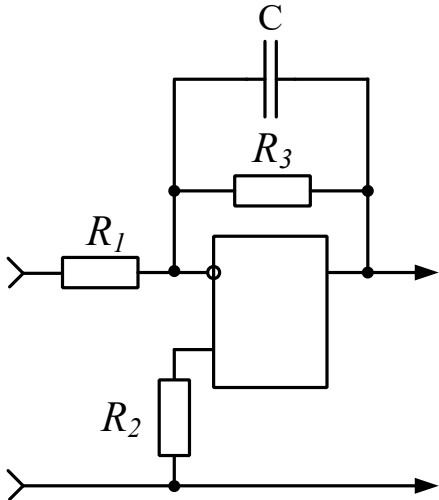
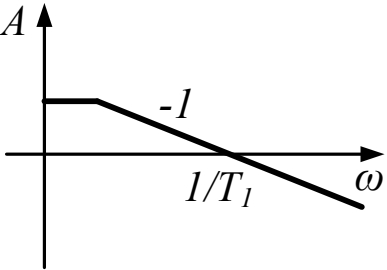
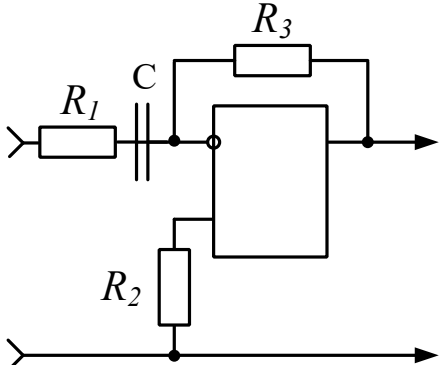
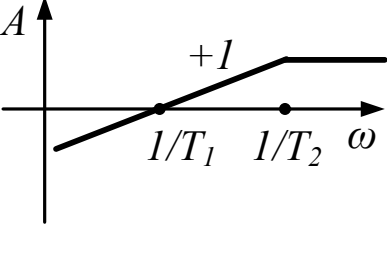
9	225	0-10	7	0,75	12	1000	10	0,5	10	50	6
10	250	0-10	6	0,75	10	1000	9	1	20	30	6
11	275	0-10	5	0,5	5	1000	8	2	10	20	6
12	300	0-10	4	0,1	15	1000	7	0,5	20	15	6
13	280	0-10	3	0,1	6	1000	6	5	10	20	6
14	260	0-10	2	0,75	8	1000	5	10	20	30	6
15	240	0-10	1	0,5	3	1000	4	5	10	50	6
16	220	0-10	2	0,5	10	1000	3	2	20	30	6
17	190	0-10	3	0,75	8	1000	4	1	10	20	6
18	170	0-10	4	0,5	2	1000	5	1	20	15	6
19	150	0-10	5	0,75	6	1000	6	2	10	20	6
20	130	0-10	6	0,75	20	1000	7	5	20	30	6
21	110	0-10	7	0,6	30	1000	8	10	10	50	6
22	90	0-10	8	0,1	20	1000	9	10	20	30	6
23	70	0-10	7	0,8	10	1000	10	2	10	20	6
24	55	0-10	8	0,75	30	1000	9	1	20	15	6
25	45	0-10	5	0,6	8	1000	8	2	10	20	6
26	65	0-10	4	0,2	15	1000	4	5	20	30	6
27	115	0-10	3	0,4	8	1000	9	2	10	25	6
28	145	0-10	2	0,35	5	1000	3	10	20	40	6
29	180	0-10	1	0,8	16	1000	5	1	10	20	6
30	230	0-10	2	0,55	5	1000	7	5	20	50	6

## ДОДАТОК Б

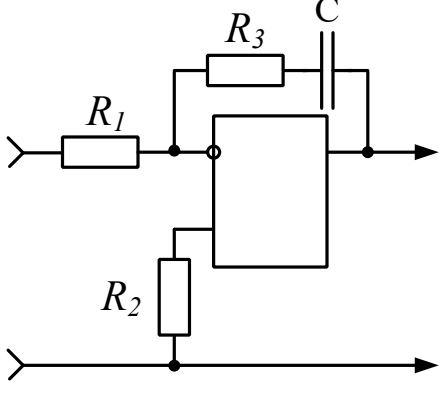
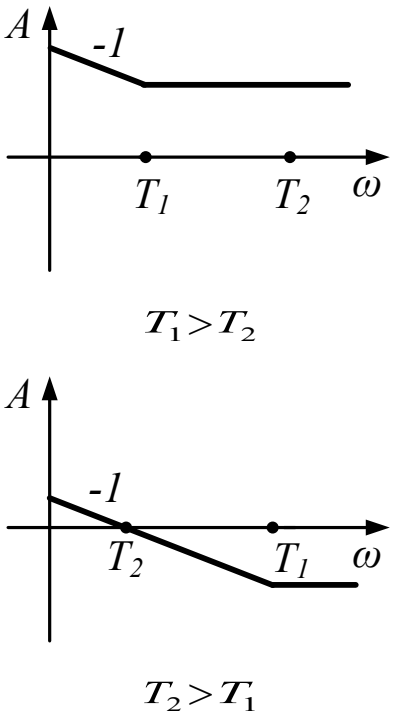
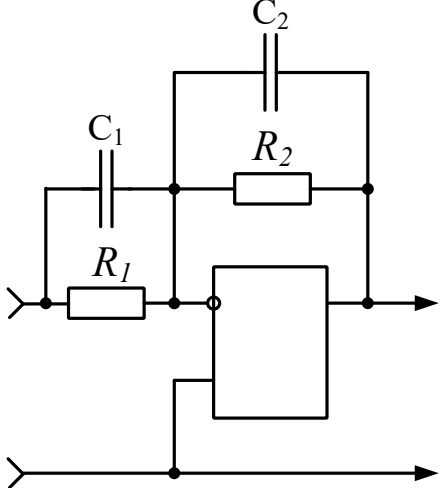
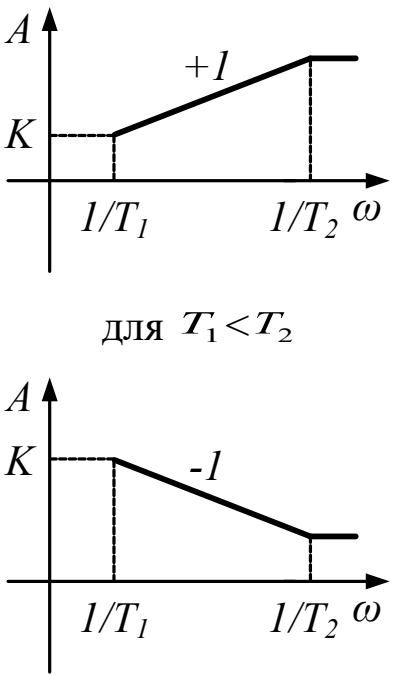
Таблиця Б.1 - Електричні ланки корегуючих кіл САР

$H(p)$	Електрична схема	Л.А.Х.
$\frac{1}{Tp + 1},$ $T = R \cdot C$		
$\frac{Tp}{Tp + 1}$		
$\frac{T_1 p}{T_2 p + 1},$ $T_1 = R_2 \cdot C,$ $T_2 = (R_1 + R_2) \cdot C$		
$K$ $K = -\frac{R_3}{R_2},$ $R_2 = R_3 // R_1$		

Продовження таблиці Б.1

$H(p)$	Електрична схема	Л.А.Х.
$\frac{1}{Tp}$ , $T = R_1 \cdot C$		
$Tp$		
$\frac{K}{Tp+1}$ , $K = -\frac{R_3}{R_2}$ , $T = R_3 \cdot C$		
$\frac{T_1 p}{T_2 p + 1}$ , $T_1 = R_3 \cdot C$ , $T_2 = R_1 \cdot C$		

Продовження таблиці Б.1

$H(p)$	Електрична схема	Л.А.Х.
$\frac{T_1 p + 1}{T_2 p}$ $T_1 = R_3 \cdot C,$ $T_2 = R_1 \cdot C$		 <p style="text-align: center;"><math>T_1 &gt; T_2</math></p> <p style="text-align: center;"><math>T_2 &gt; T_1</math></p>
$K \cdot \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ $K = -\frac{R_2}{R_1},$ $T_1 = R_1 \cdot C_1,$ $T_2 = R_2 \cdot C_2$		<p style="text-align: center;">для <math>T_1 &gt; T_2</math></p>  <p style="text-align: center;">для <math>T_1 &lt; T_2</math></p>

Продовження таблиці Б.1

$H(p)$	Електрична схема	Л.А.Х.
$K \cdot (Tp + 1),$ $K = -\frac{R_2}{R_1},$ $T = R_1 \cdot C$	