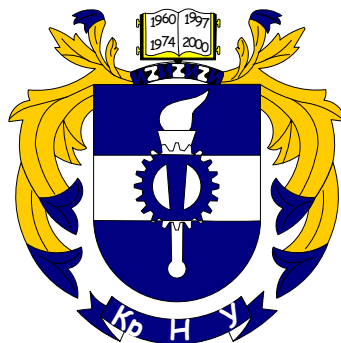


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЦИФРОВІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
ЗА СПЕЦІАЛІЗАЦІЄЮ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД»

КРЕМЕНЧУК 2018

Укладачі: к.т.н., доц. О.В. Бялобржеський,
старш. викл. А.І. Ломонос,
асист. Д.Г. Мамчур

Рецензент к.т.н., доц. А.П. Калінов

Кафедра систем автоматичного управління та електропривода

Затверджено методичною радою КДПУ імені Михайла Остроградського

Протокол № _____ від _____ 2018 р.

Заступник голови методичної ради _____ доц. С.А. Сергієнко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Рекомендації щодо оформлення розрахункової роботи.....	5
1.1 Оформлення титульної сторінки.....	5
1.2 Загальні правила оформлення розділів розрахункової роботи.....	5
2 Вихідні дані для виконання розрахункової роботи.....	6
3 Методичні рекомендації щодо виконання розрахункової роботи.....	9
3.1 Вибір обладнання.....	9
3.2 Розрахунок параметрів еквівалентної схеми заміщення.....	11
3.3 Розрахунок параметрів цифрової системи керування приводом постійного струму.....	13
3.4 Розрахунок цифрового регулятора.....	14
3.5 Аналіз стійкості.....	16
3.6 Побудова характеристик.....	17
Список літератури.....	18
Додаток А.....	19

ВСТУП

У процесі вивчення дисципліни “Цифрові системи керування електроприводом” студенти повинні оволодіти сучасними методами аналізу та синтезу цифрових систем автоматичного керування електроприводами, отримати практичні навички їх застосування, навчитись обґрунтовано вибирати технічні засоби, що реалізують цифрове керування електроприводами.

При виконанні розрахункової роботи студенти повинні вміти кваліфіковано обґрунтовувати необхідність застосування цифрової системи автоматичного керування, вибирати методи її синтезу, розробляти структуру та виконувати розрахунок параметрів цифрової САК, вибирати комплекс технічних засобів для її реалізації та розробляти алгоритми цифрового керування.

При виконанні розрахункової роботи необхідно дати письмову відповідь на одне з теоретичних питань, що вибираються з таблиці 1 відповідно до вибраного варіанту, і розв’язати завдання. Варіанти вихідних даних задачі наведені в таблиці 2.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Пояснювальна записка (*ПЗ*) до розрахункової роботи – це документ, у якому описується порядок виконання розрахунків, а також відповідь на теоретичне запитання. *ПЗ* містить такі складові:

- титульну сторінку;
- вихідні дані згідно з вибраним варіантом;
- відповідь на теоретичне питання;
- результати розрахунків і моделювання.

1.1 Оформлення титульної сторінки

Титульна сторінка повинна нести інформацію про вид роботи, яка виконується; про дисципліну, з якої виконується робота; прізвище, ім'я, по батькові та групу виконавця, а також прізвище викладача, який перевірів роботу.

Також на титульній сторінці повинна бути назва вищого навчального закладу та кафедри, на якій виконана робота, назва населеного пункту та рік написання роботи.

Приклад оформлення титульної сторінки наведено в *додатку А*.

1.2 Загальні правила оформлення розділів розрахункової роботи

Пояснювальну записку до розрахункової роботи оформлюють на аркушах форматом *A4* з одного боку.

2 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Розрахункова робота містить теоретичне питання (таблиця 1), яке необхідно розкрити на початку завдання. За останніми двома цифрами залікової книжки відбувається вибір питання, загальна кількість яких складає 20. Якщо останні дві цифри залікової книжки перевищують кількість завдань, слід виконувати віднімання 20 доти, доки не отримаєте залишок, від якого неможливо відняти. Відповідно до цифр, які залишилися, слід вибирати номер питання.

Вихідні дані до виконання розрахункової роботи наведено в таблиці 2. Варіант завдання вибирають за розглянутим раніше алгоритмом, слід при цьому врахувати, що кількість варіантів дорівнює 25.

Під час виконання розрахункової роботи необхідно:

- для двигуна, паспортні дані якого наведені в таблиці 2, вибрати силовий трансформатор, згладжувальний дросель, тиристорний перетворювач;
- розрахувати параметри еквівалентної схеми заміщення системи ТП-Д;
- скласти структурну схему ЦСКЕП. Розрахувати коефіцієнти передачі та сталі часу ланок структурної схеми;
- провести розрахунок цифрового регулятора швидкості дискретної системи керування ЕП для забезпечення показників якості, наведених у таблиці 2;
- скласти різницеве рівняння цифрового регулятора швидкості;
- оцінити стійкість розімкненої системи ТП-Д та замкненої скоригованої ЦСК;
- побудувати залежності $\omega=f(t)$ розімкненої та замкненої систем ТП-Д при роботі привода в номінальних умовах для наступних режимів:
 - пуск у режимі неробочого ходу $M_C=0$;
 - пуск з моментом опору $M_C=M_H$;

- подача та зняття навантаження ($M_C=0,5M_H$);
- зміна впливу керування (ступеневе зменшення сигналу завдання на 10% від номінального значення).

Таблиця 1 – Теоретичні питання для розрахункової роботи

№ пит.	Зміст теоретичного питання
1	Особливості побудови цифрових СКЕП
2	Визначення та основні елементи ЦСК
3	Класифікація дискретних систем керування
4	Структура та особливості математичного опису цифро–аналогової системи стабілізації швидкості електропривода ТП–Д
5	Цифро–аналогова система керування положенням електроприводу ТП–Д
6	Система прямого цифрового керування кутовою швидкістю електропривода ТП–Д
7	Опис СКЕП за допомогою дискретного перетворення Лапласа
8	Математичний опис ЦСК за допомогою Z–перетворень
9	Дискретна передавальна функція замкненої системи стабілізації швидкості ТП–Д за керувальним впливом
10	Дискретна передавальна функція замкненої системи стабілізації швидкості ТП–Д за збуреним впливом
11	Дискретна частотна характеристика контуру регулювання швидкості ТП–Д
12	Принципи синтезу цифрового регулятора швидкості
13	Оцінка якості перехідних процесів у ЦСК електроприводом постійного струму
14	Оцінка точності ЦСК
15	Критерій стійкості Шур–Кона
16	Частотні критерії стійкості Михайлова–Найквіста для імпульсних систем
17	Оцінка стійкості імпульсних систем при використанні ЛАЧХ і ЛФЧХ
18	Мікропроцесорна система керування електроприводом та алгоритм її функціонування
19	Основні відомості про лінійні різницеві рівняння

20	Математичний опис процесів у цифрових СКЕП. Дискретні рівняння стану
----	--

Таблиця 2 – Вихідні дані для вибору двигуна

№ вар.	Тип	P_H , кВт	n_H , об/хв	I_H , А	η , %	GD^2 , кг·м ²	U_H , В	σ , %	Δ_3 , %	Тип схеми
1	П131-4К	55	300	289	83.5	61	220	5.1	1.2	1
2	П132-4К	60	250	315	84.6	71	220	35	0	1
3	П132-4К	75	300	385	86.3	71	220	8.2	1.9	2
4	П142-6К	125	300	640	86.8	154	220	34	0	2
5	П131-4К	75	400	382	87	61	220	5.1	1.4	1
6	П133-6К	100	300	513	87	84	220	45	0	1
7	П143-6К	160	300	820	87	178	220	5.7	2	2
8	П151-8К	200	300	1020	87.6	383	220	38	0	2
9	П133-4К	100	300	254	87.7	82	440	4.3	4	1
10	П132-6К	100	400	505	88	74	220	40	0	1
11	П142-4К	125	300	318	88	147	440	5.1	1.2	2
12	П131-6К	100	500	503	88.4	63	220	35	0	2
13	П142-6К	160	400	815	88.4	154	220	8.2	1.9	1
14	П152-8К	250	300	1270	88.5	422	220	34	0	1
15	П131-4К	50	250	260	88.5	61	220	5.1	1.4	2
16	П131-4К	100	500	250	89	61	440	45	0	2
17	П132-4К	100	400	251	89	71	440	5.7	2	1
18	П143-4К	160	300	402	89	171	440	38	0	1
19	П143-8К	200	400	1000	89.1	188	220	4.3	4	2
20	П133-6К	125	400	630	89.3	84	220	40	0	2
21	П142-4К	160	400	389	89.4	147	440	45	0	1
22	П152-8К	250	400	1270	89.5	383	220	5.7	2	1
23	П132-6К	125	500	624	89.6	74	220	38	0	2
24	П153-8К	320	300	1592	89.7	514	220	4.3	4	2
25	П142-8К	200	500	1000	89.8	164	220	40	0	1

3 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

3.1 Вибір обладнання

Розрахунок силового трансформатора

Фазна Е.Р.С. вторинної обмотки трансформатора:

$$E_{2\phi} = U_2 \cdot K_C \cdot K_A \cdot K_R,$$

де U_2 – розрахункове значення ефективної напруги фази вторинної обмотки.

$$U_2 = K_E \cdot E_{d0},$$

де K_{CX} – схемний коефіцієнт напруги, що визначається залежно від указаної в табл. 3 схеми тиристорного перетворювача;

E_{d0} – потрібна випрямлена Е.Р.С. при куті регулювання, що дорівнює 0.

$$E_{d0} = U_H \cdot (1.1 \div 1.15),$$

K_C – коефіцієнт запасу, що враховує можливе зниження напруги мережі. Орієнтовно вибирається $K_C=1.1$;

K_R – коефіцієнт, що враховує спад напруги у вентилях і обмотках трансформатора $K_R=1.05$;

K_A – коефіцієнт, що враховує неповне відкриття вентилів при максимальному сигналі керування. Для нереверсивних електроприводів $K_A=1$, для реверсивних – $K_A=1.2$. Візьмемо $K_A=1.2$.

Діюче значення струму вторинної обмотки:

$$I_2 = K_i \cdot K_{i2} \cdot I_d,$$

де I_d – середнє значення випрямленого струму, візьмемо рівним номінальному значенню струму двигуна;

K_{i2} – схемний коефіцієнт вторинного струму, який залежить від схеми тиристорного перетворювача;

K_i – коефіцієнт непрямокутності, що враховує відхилення форми кривої струму від непрямокутної $K_i=1.05 \div 1.1$.

Діюче значення первинного струму трансформатора:

$$I_1 = \frac{K_{I1} \cdot I_d}{K_{тр}},$$

де $K_{тр}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора

$$K_{тр} = \frac{U_C}{E_{2\phi}},$$

де U_C – фазне значення напруги мережі.

Потужність первинної обмотки трансформатора:

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_C.$$

Потужність вторинної обмотки:

$$P_2 = m_2 \cdot I_2 \cdot U_2,$$

де m_1, m_2 – кількість фаз первинної та вторинної обмоток.

Типова потужність трансформатора:

$$P_T = \frac{(P_1 + P_2)}{2}.$$

За каталогом [3, 5] вибираємо трансформатор, при цьому повинні бути виконані вимоги: $P_H \geq P_T$, $U_{2H} \geq U_{2\phi}$, $I_{2H} \geq I_2$.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів схем

Схема	$K_{CX}=U_d/U_{2\phi}$	$K_{I2}=I_{2\phi}/I_d$	$K_{I1}=I_{1\phi}/I_d$	m
Трифазна нульова	1.17	$1/\sqrt{3}$	$\sqrt{2}/3$	3
Трифазна мостова	2.34	$\sqrt{2/3}$	$\sqrt{2/3}$	6

Вибір тиристорного перетворювача (ТП)

ТП вибирається, виходячи з номінального значення напруги вторинної обмотки трансформатора, потрібної випрямленої Е.Р.С. і номінального струму двигуна.

Вибір згладжувального дроселя

Згладжувальний дросель у колі постійного струму вибирається за умови:

$$I_{др.н} \geq I_H.$$

Розрахункове значення індуктивності дроселя визначається з виразу:

$$L_{др.розр} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{п}^1}{\omega \cdot m \cdot I_{dmin}},$$

де $U_{п}^1$ – діюче значення пульсацій першої гармоніки випрямленої напруги; у практичних розрахунках вибирається рівним $0.35 \cdot U_{дн}$;

I_{dmin} – мінімальне значення випрямленого струму

$$I_{dmin} = (0.1 \div 0.2) \cdot I_{дн},$$

ω – кутова частота мережі $\omega=314 \text{ с}^{-1}$;

m – пульсність випрямленої напруги.

3.2 Розрахунок параметрів еквівалентної схеми заміщення

Схема заміщення електропривода постійного струму наведена на рис. 1.

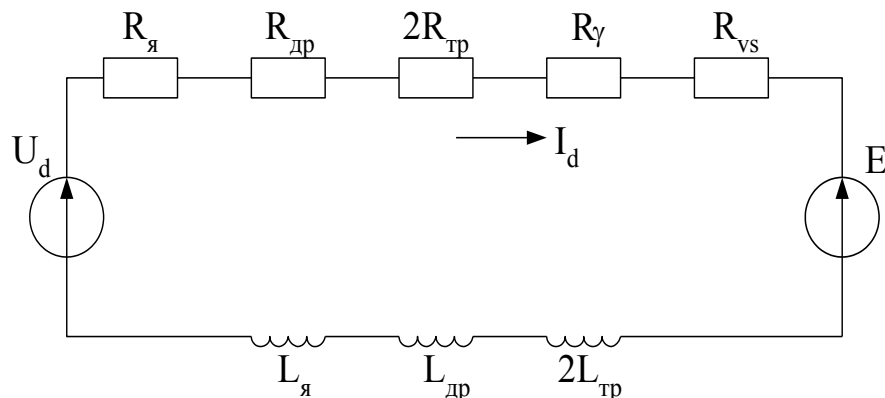


Рисунок 1 – Схема заміщення електропривода постійного струму

Повний опір головного кола визначаємо відповідно до виразу:

$$R_0 = R_{я} + R_{др} + 2 \cdot R_{тр} + R_{\gamma} + R_{вс},$$

де $R_{я}$ – активний опір обмотки якоря двигуна в гарячому стані; для двигунів постійного струму незалежного та паралельного збудження:

$$R_{я} = \frac{U_H}{2 \cdot I_H} \cdot (1 - \eta_H);$$

$R_{др}$ – активний опір згладжувального дроселя (візьмемо $R_{др}=0.2 \cdot R_{я}$);

R_{TP} – активний опір фази трансформатора; визначається за паспортними даними трансформатора:

$$R_{TP} = \frac{\Delta P_{K3}}{3 \cdot I_H^2}.$$

Опір комутації:

$$R_\gamma = \frac{m \cdot X_{TP}}{2 \cdot \pi},$$

де X_{TP} – індуктивний опір фази трансформатора, який визначається за виразом:

$$X_{TP} = \sqrt{Z_{TP}^2 - R_{TP}^2};$$

$$Z_{TP} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3} \cdot I_{2Ф}};$$

$$I_{2Ф} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{2Л}}.$$

Опір p-n переходу тиристорів:

$$R_{VS} \approx \frac{1.2 \text{ В}}{I_{dH}}.$$

Повна індуктивність головної ланки:

$$L_0 = L_{я} + L_{дР} + 2 \cdot L_{TP}.$$

Індуктивність якірної обмотки визначається за формулою Уманського:

$$L_{я} = \frac{k \cdot U_{dH}}{2 \cdot p \cdot I_{dH} \cdot \omega_H},$$

де k – конструктивний параметр двигуна; для електричних машин нормального виконання та машин з компенсаційною обмоткою $k=0.5 \div 1$;

p - кількість пар полюсів.

Індуктивність фази трансформатора:

$$L_{TP} = \frac{X_{TP}}{2 \cdot \pi \cdot f_C}.$$

3.3 Розрахунок параметрів цифрової системи керування приводом постійного струму

Структурна схема ЦСКЕП постійного струму наведена на рис. 2.

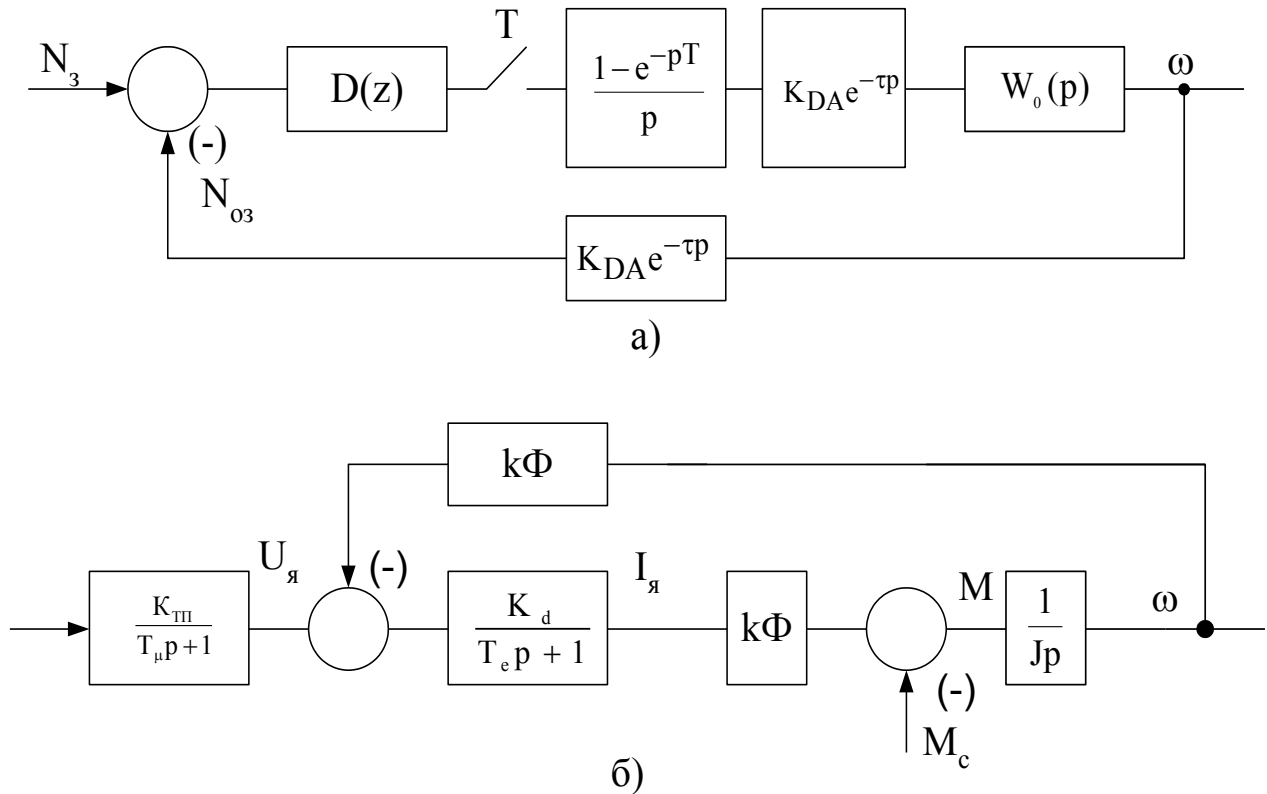


Рисунок 2 – Структурна схема ЦСКЕП постійного струму:

а) загальна схема; б) схема об'єкта керування

У структурній схемі взято наступні позначення: N_3 , N_{03} – коди відповідно завдання і зворотного зв'язку; $D(Z)$ – дискретна передавальна функція цифрового регулятора; T – період дискретизації; $W_0(p)$ – передавальна функція об'єкта керування – системи ТП–Д; $K_{ДА}$, $K_{АД}$, $\tau_{ДА}$, $\tau_{АД}$ – коефіцієнти передачі та сталі часу перетворювачів "код–аналог" і "аналог–код"; $K_{ТП}$, T_μ – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача та некомпенсована мала стала часу ТП:

$$K_{ТП} = \frac{E_H}{U_{K\max}}; T_\mu \approx 0.01 \text{ (с);}$$

K_d , T_E – коефіцієнт передачі та електромагнітна стала часу двигуна:

$$K_d = \frac{1}{R_0}; T_E = \frac{L_0}{R_0};$$

$k\Phi$ – коефіцієнт потоку двигуна.

Вважаємо, що двигун працює при номінальному збудженні. У цьому випадку визначити значення $k\Phi$ можна з природної швидкісної характеристики двигуна:

$$k\Phi = \frac{U_{дН} - I_{дН} \cdot R_{я}}{\omega_H};$$

J – момент інерції двигуна.

Крім електромагнітної сталої часу, двигун постійного струму характеризується ще й механічною сталою часу:

$$T_M = \frac{J \cdot R_{я}}{(k\Phi)^2}.$$

Синтез аналогових регуляторів.

При побудові системи підпорядкованого регулювання (СПР) із послідовною корекцією об'єкт керування розбивають на n частин, число яких дорівнює кількості керованих перемінних силовий частини ЕП (чи числу великих постійних часу системи, що підлягають компенсації). Автоматичний керуючий пристрій складається з n регуляторів ($W_{p1} \div W_{pn}$), включених послідовно, причому кожен внутрішній контур регулювання підлеглий наступному, зовнішньому (стосовно внутрішнього) контуру. У таких системах головною керованою перемінною є та, котра визначає основну мету керування. Інші перемінні вважаються допоміжними, тому що вони є підлеглими головній перемінній.

При побудові СПР використовуються стандартні настройки контурів на модульний (МО), або технічний, та симетричний оптимуми. У системі, що настроєна на МО, при східчастому керуючому впливі, час першого досягнення вихідною величиною сталого значення (час першого узгодження) складає $t_{пс}=4,7T_{\mu}$, максимальне перерегулювання $\sigma=4,3\%$, час регулювання $t_p=6,3 T_{\mu}$. У системі, що настроєна на МО час першого узгодження складає

$t_{nc}=3,1T_{\mu}$, максимальне перерегулювання $\sigma=43\%$, час регулювання $t_p=16,5T_{\mu}$.
 Якщо установити у каналі завдання аперіодичний фільтр із постійної часу $T_{\phi}=4T_{\mu}$, то перерегулювання σ може бути знижене до 8%. При цьому $t_{nc}=7,6T_{\mu}$, $t_p=13,3T_{\mu}$.

На рис. 1 представлена структурна схема двоконтурної системи підпорядкованого регулювання для дослідження динамічних характеристик.
 Передаточна функція регулятора струму:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} + \frac{1}{T_{pc}p}, \quad (1)$$

де $k_{pc} = \frac{T_e}{2T_{\mu c} \cdot (1/R_e) \cdot k_{\Pi} \cdot k_{дс}}$ - коефіцієнт передачі РС,

$T_{pc} = \frac{T_e}{k_{pc}}$ - стала часу інтегральної складової РС,

$T_{\mu c} = T_{дс} + T_{\Pi}$ - мала некомпенсована стала часу контуру струму.

Передаточна функція регулятора швидкості при настроюванні на МО:

$$W_{рш}^{MO}(p) = \frac{J \cdot k_{дс}}{2T_{\mu ш} \cdot k_{\Phi} \cdot k_{дш}} = k_{рш}. \quad (2)$$

де $T_{\mu ш}$ - мала некомпенсована стала часу контуру швидкості:

$$T_{\mu ш} = T_{дш} + 2T_{\mu c}.$$

Передаточна функція регулятора швидкості при настроюванні на СО:

$$W_{рш}^{CO}(p) = k_{рш} + \frac{1}{T_{рш}p}, \quad (3)$$

де $k_{рш} = \frac{1}{2T_{\mu ш} \cdot \frac{1}{J \cdot k_{дс}} \cdot k_{\Phi} \cdot k_{дш}}$ - коефіцієнт передачі РШ,

$T_{рш} = \frac{4T_{\mu ш}}{k_{рш}}$ - стала часу інтегральної складової РШ.

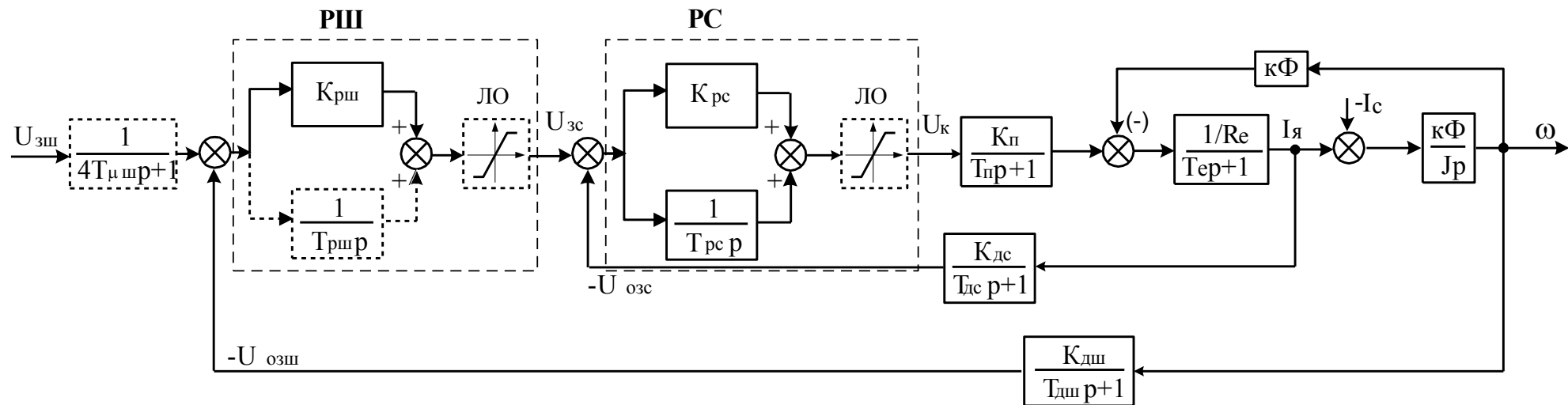


Рис. 1 Структурна схема системи ТП-ДПС

Коефіцієнти, що необхідні для розрахунку параметрів моделі двоконтурної системи підпорядкованого регулювання:

- коефіцієнт передачі ТП:

$$k_{\Pi} = \frac{E_{\Pi}}{U_{k\max}}, \quad (4)$$

де $E_{\Pi} = 1,1U_{\Pi\Pi}$ - е.р.с. ТП на холостому ході при максимальному значенні напруги керування $U_{k\max} = 10\text{В}$;

- T_{Π} - стала часу ТП; для трифазної мостової схеми випрямляча і напівпровідникового СІФУ $T_{\Pi} = 0,004\text{с}$;

- коефіцієнт передачі датчика струму:

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{ззс max}}}{I_{\text{max доп}}}, \quad (5)$$

де $U_{\text{ззс max}}$ - максимальна напруга зворотного зв'язку за струмом якоря (10В);

$I_{\text{max доп}}$ - максимально допустиме значення струму якірного ланцюга,

$$I_{\text{max доп}} = (1,5 \div 2,5)I_{\text{н}}. \quad (6)$$

- коефіцієнт передачі датчика швидкості:

$$k_{\text{дш}} = \frac{U_{\text{ззш max}}}{\omega_{\text{max}}}, \quad (7)$$

де $U_{\text{ззш max}}$ - максимальна напруга зворотного зв'язку за швидкістю обертання (10 В);

$\omega_{\text{max}} = \omega_0$ - швидкість ідеального холостого ходу.

- сталі часу датчиків струму та швидкості, обумовлені наявністю фільтруючих компонентів: $T_{\text{дс}} = T_{\text{дш}} = 0,002\text{с}$.

3.4 Розрахунок цифрового регулятора

Одним з підходів при побудові цифрового регулятора (у даному випадку – регулятора кутової швидкості ДПС) є розрахунок аналогового регулятора, оптимізованого за тим чи іншим критерієм, з подальшим вираженням у дискретній формі.

Для цього необхідно розрахувати передавальну функцію об'єкта регулювання, до якої, крім передавальної функції $W_0(p)$, необхідно додати передавальні функції ЦАП та АЦП, які входять до складу системи керування:

$$W_{OP}(p) = W_0(p) \cdot K_{ДА} \cdot K_{АД}.$$

Оскільки сталі часу $\tau_{ДА}$ і $\tau_{АД}$ досить малі, їх допускається враховувати в складі $T_{\mu\Sigma}$, нехтуючи їх впливом у передавальній функції об'єкта регулювання.

У практиці автоматизованого електропривода найбільш поширені модульний та симетричний критерії оптимізації. Регулятор, налагоджений за модульним оптимумом, задовольняє наступним вимогам: статизм замкненої системи – не більш ніж 4.7%; час регулювання – не більш ніж $6.3 \cdot T_{\mu}$; похибка регулювання – не дорівнює нулю. Показники регулятора, налагодженого на симетричний оптимум: статизм замкненої системи – не більш ніж 43%; час регулювання – не більш ніж $16 \cdot T_{\mu}$; похибка регулювання – дорівнює нулю.

Передавальна функція регулятора, налагодженого за модульним оптимумом, визначається за співвідношенням:

$$W_p^{MO}(p) = \frac{1}{2T_{\mu\Sigma} \cdot p} \cdot \frac{1}{W_{OP}(p)};$$

$$T_{\mu\Sigma} = T_{\mu TP} + \tau_{ДА} + \tau_{АД}.$$

Передавальна функція регулятора, налагодженого за симетричним оптимумом, має вигляд:

$$W_p^{CO}(p) = \frac{4T_{\mu\Sigma} \cdot p + 1}{8T_{\mu\Sigma}^2 \cdot p^2} \cdot \frac{1}{W_{OP}(p)}.$$

Вибір настройки регулятора залежить від необхідності забезпечення потрібного статизму, часу регулювання, величини перерегулювання.

Тоді, коли отримана передавальна функція регулятора, знаходимо його дискретну передавальну функцію за допомогою Z -перетворення. Перетворення проводиться за таблицями [1, 2, 4], де вказані передавальні функції $W(p)$ та $W(z)$ для типових ланок.

Якщо отримана передавальна функція не входить до числа типових ланок, указаних у таблиці Z -перетворень, можна скористатись методикою розкладання довільної передавальної функції на елементарні ланки [1, с. 338].

Різницеве рівняння дискретного регулятора отримують наступним чином.

Нехай дискретна передавальна функція має вигляд:

$$W(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{a_0 + z^{-1} \cdot a_1 + z^{-2} \cdot a_2 + \dots + z^{-k} \cdot a_k}{b_0 + z^{-1} \cdot b_1 + z^{-2} \cdot b_2 + \dots + z^{-m} \cdot b_m}. \quad (1)$$

Тоді різницеве рівняння, що описує алгоритм регулювання, при використанні операторів зсуву:

$$Z^{-1} \cdot y[nT] = y_{n-1}; \quad Z^{-2} \cdot y[nT] = y_{n-2}$$

матиме вигляд:

$$b_0 y_n + b_1 y_{n-1} + \dots + b_m y_{n-m} = a_0 u_n + a_1 u_{n-1} + \dots + a_k u_{n-k}$$

або записане в іншому вигляді:

$$y[nT] = \frac{a_0}{b_0} \cdot u[nT] + \frac{a_1}{b_1} \cdot u[(n-1)T] + \dots + \frac{a_k}{b_0} \cdot u[(n-k)T] - \frac{b_2}{b_0} \cdot y[(n-1)T] - \dots - \frac{b_m}{b_0} \cdot y[(n-m)T], \quad (2)$$

де n – номер інтервалу дискретизації, на якому розраховується вплив керування $u[nT]$.

Для ПІ – регулятора виду:

$$D(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = K \cdot p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{И}} \cdot p} \right)$$

різницеве рівняння буде мати вигляд:

$$U[nT] = K \cdot p \cdot e[nT] + K \cdot p,$$

де $U[nT]$ – сигнал керування, що подається через ЦАП на систему керування перетворювачем;

$e[nT]$ – відхилення величини, що регулюється, від завдання.

3.5 Аналіз стійкості

Стійкість лінійних імпульсних систем автоматичного керування залежить від електромеханічних властивостей об'єкта регулювання та визначається коренями характеристичного рівняння дискретної передавальної функції замкненого (або розімкненого – якщо це необхідно) контуру системи.

Слід указати, що пряме відношення до стійкості системи має значення періоду дискретизації T , який вибирається з розрахунку:

$$T \leq 2T_{\mu\Sigma}.$$

Характеристичне рівняння матиме вигляд:

$$1 + W_{OP}(p) \cdot D(z) = 0. \quad (3)$$

Після математичних перетворень вираз (3) можна записати у вигляді:

$$a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_1 z^1 + a_0 = 0. \quad (4)$$

Умова стійкості: корені характеристичного рівняння повинні бути розміщені всередині кола радіусом 1 на комплексній площині Z : $|Z_i| < 1$. Або, іншими словами, корені (4) за модулем повинні бути менші ніж 1. Якщо хоч один з коренів дорівнює 1, система знаходиться на межі стійкості; якщо один з коренів або декілька за модулем перевищують 1, система нестійка.

3.6 Побудова характеристик

Часові характеристики $\omega(t)$ в дискретних САК визначаються в дискретні моменти часу nT за методикою, аналогічною до отримання рівняння різниці регулятора за формулами (1) та (2). При цьому аналізується передавальна функція контуру, для якого будується характеристика $\omega(nT)$ – замкненого або розімкненого:

$$W_{САК}(z) = \frac{\omega(z)}{U_K(z)} = \frac{a_0 + z^{-1} \cdot a_1 + z^{-2} \cdot a_2 + \dots + z^{-k} \cdot a_k}{b_0 + z^{-1} \cdot b_1 + z^{-2} \cdot b_2 + \dots + z^{-m} \cdot b_m};$$

$$\omega[nT] = C_0 U[nT] + C_1 U[(n-1)T] + \dots + C_k U[(n-k)T] - d_1 \omega[(n-1)T] - \dots - d_m \omega[(n-m)T],$$

де $C_i = a_i/b_0$; $d_i = b_i/b_0$.

Величина U_K вважається незмінною на вихідних інтервалах nT .

Розрахунок часових характеристик допускається виконувати шляхом моделювання на ЕОМ дискретної САК ЕП постійного струму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – К.: Вища школа, 1975 – 257 с.
2. Топчеев Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособие для втузов. – М.: Машиностроение, 1989 – 214 с.
3. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами: Учеб. пособие для втузов. – Мн.: Вища школа, 1986 – 326 с.
4. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микро-ЭВМ: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1990 – 184 с.
5. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под. ред. Ю.Г. Перельмутера – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 320 с.

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА САУЕ

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

„ЦИФРОВІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ”

ВАРІАНТ № 1

Виконав:

студент (ка) гр. ЕС-05-1з

Шевченко О.О.

Перевірив:

старш. викл. Ломонос А.І.

КРЕМЕНЧУК 2009

Методичні вказівки щодо виконання розрахункової роботи з навчальної дисципліни “Цифрові системи керування електроприводом” для студентів заочної форми навчання зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Укладачі: к.т.н., доц. О.В. Бялобржеський,
старш. викл. А.І. Ломонос,
асист. Д.Г. Мамчур

Відповідальний за випуск зав. кафедри САУЕ Д.Й. Родькін

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ КДПУ імені Михайла Остроградського
39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20