

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ З КУРСУ "ТЕОРІЯ
АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ"

для студентів, що навчаються за напрямом
6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології” (АУП)
(для денної й заочної форм навчання)

Затверджено
на засіданні кафедри
автоматики й телекомунікацій
Протокол № 9 від 30.08.2010 .

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради
ДонНТУ
Протокол № 4 від 07.10.2010

Донецьк – 2010

УДК 62–52 (071)

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу "ТАУ" (для студентів, що навчаються за напрямом 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" (АУП) (для денної й заочної форм навчання) / Укл.: В. О. Попов, Р.В. Федюн, Т.В. Найдьонова – Донецьк, ДонНТУ, 2010, 26 с.

В роботі викладено методичні вказівки до виконання курсової роботи з ТАУ для студентів, що навчаються за напрямом 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" (АУП) (для денної й заочної форм навчання).

Особливу увагу приділено питанням вибору схеми та розрахунку параметрів коригуючих пристроїв, що вводяться в САУ для надання стійкості системі або покращення інших показників, за якими виконується оцінка її якості.

Укладачі:

доц. В.О. Попов

доц. Р.В. Федюн

асист. Т.В. Найдьонова

Автоматизація є потужним засобом підвищення ефективності виробництва в усіх галузях промисловості, так в вугільній промисловості широке застосовуються автоматизовані видобувні та прохідницькі комплекси механізмів з дистанційним управлінням. Для успішного здійснення автоматизації промислових установок і технологічних процесів на шахтах, кар'єрах та збагачувальних фабриках гірничий інженер з автоматизації повинен глибоко оволодіти принципіальними основами теорії автоматичного управління (ТАУ).

На практиці при дослідженні систем автоматичного управління (САУ), як правило, виникає потреба вирішувати дві задачі: аналізу та синтезу.

Задача синтезу полягає в тому, щоб за заданими вимогами до якості перехідного процесу визначити структурну схему та параметри окремих елементів, що досить важко. Задачі синтезу САУ обумовлені складністю процесу регулювання, необхідністю знаходити компромісне рішення, що задовольняє ряду суперечливих вимог, можливістю одержання фізично нездійснюваних або технічно багатозначних рішень.

В силу вказаних причин, задачу синтезу обмежують, вважаючи, що основна схема системи та динамічні властивості окремих її елементів відомі заздалегідь. В цьому випадку необхідно лише добрати схему та параметри коригуючих елементів, введення яких забезпечить виконання заданих вимог до якості процесу регулювання. Таким чином, задача синтезу САУ, в багатьох випадках може бути зведена до задачі синтезу коригуючих пристроїв.

Існує декілька інженерних методів синтезу систем автоматики. Одним з найбільш розроблених способів є частотний метод. Основна ідея частотного методу полягає в визначенні графіка потрібної частотної характеристики системи за заданими показниками якості процесу регулювання. Цю характеристику називають бажаною. Далі по відомим властивостям окремих елементів і схемі їх з'єднання визначають дійсну частотну характеристику системи, що проектується, та порівнюють її з бажаною характеристикою. Різниця означених характеристик дозволяє визначити частотну характеристику коригуючої ланки та за виглядом останньої добрати її тип і параметри. Частотний метод синтезу є наближеним і повинен закінчуватись остаточною перевіркою одержаних результатів шляхом побудови перехідного процесу системи з урахуванням введених коригуючих елементів. Частотний метод є вельми зручним, завдяки використанню логарифмічних характеристик.

Тематику курсової роботи складено за основними розділами лінійної частини курсу "Теорія автоматичного управління".

1. МЕТА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота є однією з форм самостійної роботи студента. Її мета – навчити студентів застосовувати теоретичні знання для рішення практичних задач з проектування систем автоматичного управління, виконувати аналіз і синтез САУ.

2. ОРГАНІЗАЦІЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

При виконанні курсової роботи студенти зобов'язані відвідувати консультації, що проводяться викладачами кафедри в установлені дні та часи.

Студент складає залік в присутності двох викладачів кафедри. На складення заліку студенту відводиться 15 хвилин. При складанні заліку з курсової роботи студент коротко повідомляє про результати проведеного синтезу коригуючого пристрою та відповідає на питання по змісту курсової роботи.

3. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ.

Для САУ, структурну схему якої наведено на рис. 3.1, провести:

- синтез коригуючого пристрою;
- аналіз стабілізованої системи;
- побудову перехідної характеристики.

Задано:

1. Порядок астатизму.
2. Коефіцієнт підсилення розімкненої системи.
3. Максимальне перерегулювання.
4. Час регулювання при одиничному ступінчатому управляючому впливі.
5. Передаточні функції (ПФ) ланок системи.
6. Коефіцієнт помилки.

В якості передаточних функцій елементів $W_I(p)$, $W_2(p)$, $W_3(p)$, що входять в структуру САУ, використано наступні передаточні функції:

$$W_I(p) = \frac{k}{p}; \quad W_{II}(p) = \frac{k}{Tp+1}; \quad W_{III}(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1};$$
$$W_{IV}(p) = \frac{k}{(T'p+1)(T''p+1)}.$$

Примітка: дані по п.п.2-5 наведено в таблиці 3.1. Номер варіанту курсової роботи визначається останніми двома цифрами навчального шифру студента.

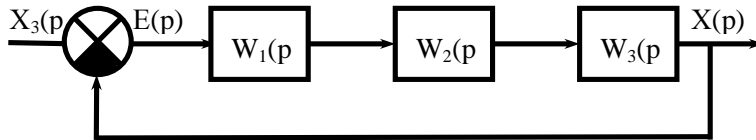


Рисунок 3.1 – Структурна схема САУ.

4. ЗМІСТ І ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та додаткових графіків, рисунків і таблиць. Курсова робота повинна бути написана чорнилами темного кольору з однієї сторони стандартного аркушу білого паперу формату А4 (210x297). Розміри лівого та правого полів не менш 30 і 15 мм; верхнього та нижнього – не менш 20 мм. Текст повинен бути написаний чітко та грамотно. Заголовки розділів треба писати прописними буквами (креслярським шрифтом), заголовки пунктів – малими, крім першої - прописної. Підкреслювати заголовки не рекомендується. Нумерація сторінок курсової роботи – крізна. Нумерація підрозділів (параграфів, пунктів) повинна відображати номер розділу, наприклад: 2.6 (6-й пункт 2-го розділу).

Рисунки, що носять пояснювальний характер, можна вносити прямо в текст курсової роботи. Рисунки, що відповідають побудовам по таблицям, слід виконувати на міліметровому папері. Розміри рисунків лише у виняткових випадках можуть перевищувати розмір 210x297.

Обкладинку курсової роботи треба виконувати з цупкого паперу. На першому аркуші, що наступний за обкладинкою, написати тему курсової роботи та перелічити пункти завдання. Далі іде зміст. Текст звіту закінчується списком літератури, оформленим за стандартом. Не слід наводити в тексті курсової роботи виводи формул, які наведено в підручниках і лекціях по ТАУ. Іноді цей матеріал ("баластного" типу) займає 20-30% всієї роботи.

Нема потреби в виконанні докладних числових розрахунків, які підмінюють аналіз результатів розрахунків. Слід також пам'ятати, що точність кінцевих результатів розрахунків не може перевищувати точність вихідних даних завдання. Тому запис в роботі числових значень результатів розрахунків з безглуздою точністю веде до зниження позитивного враження від охайного зовнішнього виконання роботи.

5. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Перед виконанням курсової роботи студент повинен добре розібратися в побудові логарифмічних частотних характеристик ланок і систем, визначенні стійкості САУ по логарифмічним частотним характеристикам, вивчити методи та технічні засоби поліпшення якості процесу регулювання, а також розібратися в методі наближеної побудови кривої перехідної функції по дійсно-частотним характеристикам.

Особливу увагу слід приділити питанню вибору схеми та розрахунку параметрів коригуючих пристроїв, що вводяться в САУ для надання стійкості системі або поліпшення інших показників, за якими оцінюється її якість (при попередньому розрахунку). Коригуючі пристрої можуть вводитися в систему, різноманітними засобами. При виборі схеми включення коригуючих пристроїв ураховуються переваги та недоліки, що властиві кожному з варіантів.

Перевагами послідовної корекції є відносна простота включення елементів корекції, розширення смуги пропускання частот при включенні диференціюючого елементу в коло регулювання. Послідовна корекція має ряд значних недоліків:

- а) зниження величини основного сигналу в колі регулювання, що потребує додаткового підсилення до потрібного значення;
- б) підвищення чутливості системи до високочастотних завад;
- в) якість роботи системи значно залежить від стабільності характеристик і параметрів системи;
- г) потребується більша величина вхідного сигналу.

Приклад виконання титульного аркуша:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра АТ

КУРСОВА РОБОТА З ТАУ

Виконавець: Петренко П. П.,
гр АУП-08-а

Керівник: доц. Ковальчук М. М.

Донецьк – 2010

Задание на курсовую работу по ТАУ для специальности АУП

№	T_1	T_2	T_3	K_1	K_2	K_3	x	K_v	C_2	$s\%$	$T_{p,max}$	Перед.функциї
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.03	0.032		1560	12	0.0033	1	180	0.085	40	1.4	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
2	0.02	0.09		2000	20	0.005	0.8	200	0.09	40	1.7	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
3	0.025	0.1		1000	8	0.025	0.5	200	0.33	35	2.0	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
4	0.01	0.02	0.1	290	200	0.002		116	0.17	40	1.0	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
5	0.012	0.016	0.1	250	15	0.028		105	0.13	38	0.8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
6	0.012	0.04	0.15	300	10	0.075		225	0.088	40	1.3	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
7	0,01	0,1	0,17	20	70	0,1		140	0,058	40	0,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
8	0,012	0,03	0,15	100	10	0,16		160	0,125	40	1,4	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
9	0,01	0,014	0,1	800	16	0,025		320	0,1	35	1,0	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
10	0,009	0,013	0,1	500	90	0,007		315	0,08	35	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
11	0,033	0,1	0,1	115	26	0,1		299	0,25	35	1,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
12	0,015	0,09	0,09	400	10	0,05		200	0,33	35	1,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
13	0,014	0,037	0,12	240	9	0,055		118,8	0,24	35	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
14	0,03	0,016	0,11	70	30	0,05	0,4	105	0,53	35	2,2	$W_1(p)=W_{IV}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
15	0.033	0.1		120	26	0.1	0.8	312	0.65	35	1.8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
16	0,02	0,5		128	100	0,5	1	840	0,031	40	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
17	0,012	0,05		500	10	0,2	1	1000	0,025	35	0,4	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
18	0,012	0,015	0,009	250	8	0,05		100	0,15	40	0,7	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
19	0,25	0,085		1800	15	0,003	0,9	81	0,08	35	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
20	0,022	0,09		1500	10	0,01	0,75	150	0,087	40	1,3	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
21	0,015	0,025	0,1	250	180	0,02		90	0,2	40	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
22	0,012	0,03	0,09	300	25	0,02		150	0,15	35	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
23	0,01	0,02	0,095	150		0,01		330	0,11	35	0,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
24	0,02	0,04	0,15	320	40	0,01		128	0,12	35	1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
25	0,018	0,04	0,125	150	100	0,01		150	0,16	40	1,1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
26	0,02	0,075		1300	15	0,01	0,85	195	0,082	40	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
27	0,015	0,1		1000	18	0,02	0,74	360	0,095	42	0,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
28	0,011	0,08		2100	5	0,02	0,75	210	0,072	36	0,65	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
29	0,018	0,07		1000	12	0,025	0,26	300	0,12	40	0,7	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
30	0,008	0,012	0,1	400	60	0,01		240	0,07	35	0,82	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
31	0,007	0,013	0,12	270	20	0,03		162	0,15	38	0,95	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
32	0,012	0,08		0,09	310	20	0,03	162	0,15	38	0,95	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
33	0,016	0,042		0,14	290	40	0,02	186	0,45	40	1,4	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
34	0,032	0,13			160	50	0,02	232	0,38	35	1,5	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
35	0,028	0,15			200	20	0,03	160	0,18	36	1,6	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
36	0,017	0,12		150	40	0,3	1	180	0,26	40	1,3	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
37	0,022	0,11		320	20	0,02	1	128	0,03	38	1,4	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
38	0,014	0,18		240	10	0,03	0,5	75	0,32	35	1,3	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
39	0,02	0,09		190	50	0,01	0,65	120	0,28	35	1,6	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
40	0,015	0,08		190	70	0,004	0,8	133	0,4	40	1,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
41	0,03	0,075		1300	15	0,004	0,6	78	0,08	35	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
42	0,033	0,08		2100	20	0,003	0,75	168	0,12	38	0,92	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
43	0,025	0,085		1700	25	0,003	0,9	127	0,03	40	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
44	0,02	0,07		1550	40	0,0025	1	155	0,22	40	1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
45	0,015	0,06		1480	40	0,002	0,8	143	0,3	40	1,1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
46	0,01	0,02	0,018	40	60	0,1		240	0,25	38	1,05	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
47	0,02	0,035	0,15	80	20	0,2		320	0,41	40	0,85	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
48	0,015	0,02	0,2	230	10	0,15		345	0,43	35	0,7	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
49	0,018	0,03	0,2	230	30	0,01		75	0,27	38	0,75	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
50	0,025	0,03	0,3	200	10	0,1		200	0,35	35	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
51	0,03	0,012	0,1	70	40	0,03		210	0,25	28	1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
52	0,012	0,05	0,25	120	50	0,05		300	0,3	30	0,95	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
53	0,035	0,015	0,7	90	60	0,05		270	0,4	30	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
54	0,045	0,021	0,4	85	45	0,04		300	0,33	27	0,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
55	0,05	0,01	0,8	75	35	0,07		350	0,3	30	1,5	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
56	0,023	0,07		123	60	0,02	0,9	200	0,15	33	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
57	0,03	0,2		1600	12	0,03	0,8	288	0,2	35	1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
58	1	0,015		2100	7	0,04	0,7	588	0,25	30	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
59	0,9	0,012		1800	8	0,02	0,65	450	0,3	35	1,5	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
60	0,8	0,01		1500	9	0,025	0,6	350	0,35	30	1,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
61	0,07	0,09		125	1	0,5	1	125	0,4	30	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
62	0,06	0,02		25	30	0,3	1	225	0,45	35	1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
63	0,05	0,012		50	3	0,2	1	120	0,2	30	0,7	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
64	0,03	0,18		30	30	0,03	0,7	135	0,25	30	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
65	0,02	0,5		20	50	0,1	0,8	100	0,3	35	0,8	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
66	0,7	0,03	0,1	35	70	0,07		240	0,6	30	1,3	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
67	0,7	0,03	0,03	40	20	0,5		300	0,5	30	1,5	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
68	0,1	0,7	0,02	100	12	0,6		330	0,1	30	1,2	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
69	0,3	0,045		120	7	0,3	1,2	252	0,4	35	0,9	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{III}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$
70	1	0,1	0,01	10	100	0,01		400	0,5	30	1	$W_1(p)=W_{II}(p);$ $W_2(p)=W_{IV}(p);$ $W_3(p)=W_I(p);$

Зустрічно-паралельне включення коригуючого пристрою (додатковий зворотний зв'язок) дозволяє значно впливати на динамічні показники перехідного процесу. Рекомендується охоплювати зворотним зв'язком ланки, які значно погіршують перехідний процес. Переваги зустрічно-паралельної корекції:

- а) значна ефективність;
- б) можливість застосування в системах будь-якої потужності;
- в) виключення впливу ланок, що погіршують перехідний процес (нелінійностей, ланок з великими постійними часу і т.і.).

До недоліків паралельної корекції слід віднести:

- а) більш складну (в порівнянні з послідовною) схему включення;
- б) можливі перевантаження кола, яке охоплено коригуючим контуром.

Вибір того чи іншого конкретного коригуючого елемента визначається структурою та характером параметрів схеми системи. В електричних системах в якості коригуючих пристроїв, застосовуються різноманітні диференціючі, інтегруючі та інтегро-диференціючі пасивні чотирьохполюсники для постійного струму, подвоєнні Т-образні фільтри для змінного струму, тахогенератори та т.і. В деяких книгах і довідниках наведено таблиці, що містять схеми десятків типових коригуючих пристроїв різноманітного вигляду [1,2].

5.1. Побудова логарифмічних частотних характеристик розімкненої некоригованої системи

Застосування логарифмічних частотних характеристик дозволяє спростити рішення задач аналізу та синтезу САУ, тому що при цьому значна частина розрахунків може бути замінена простими графічними побудовами [2].

5.2. Визначення стійкості системи

Після побудови ЛЧХ розімкненої САУ слід провести аналіз її на стійкість [1,2].

Стабілізація системи та забезпечення потрібних динамічних властивостей можуть бути здійснені введенням корегуючого пристрою.

5.3. Вибір і побудова бажаної ЛАЧХ

Вибір і побудова ЛАЧХ базується на зв'язку перехідного процесу з ДЧХ замкнутої системи та ЛАЧХ розімкнутої системи. Насамперед слід вибрати бажану типovu ДЧХ замкнутої системи, яка відповідає заданим показникам якості.

5.3.1. Вибір бажаної типової ДЧХ

Для спрощення вибору ДЧХ існує набір розрахованих і побудованих перехідних функцій систем, що відповідають різноманітним типовим ДЧХ з різними параметрами. Якщо, наприклад, взяти систему з найбільш простою, а саме з прямокутною трапецієподібною ДЧХ, що має коефіцієнт нахилу $c=0,2 - 0,8$, то ми отримаємо добрі перехідні процеси, що можуть бути прийняті за оптимальні.

Звичайно, в реальних системах реалізувати ДЧХ в вигляді простої трапеції (рис.5.1,а) досить складно.

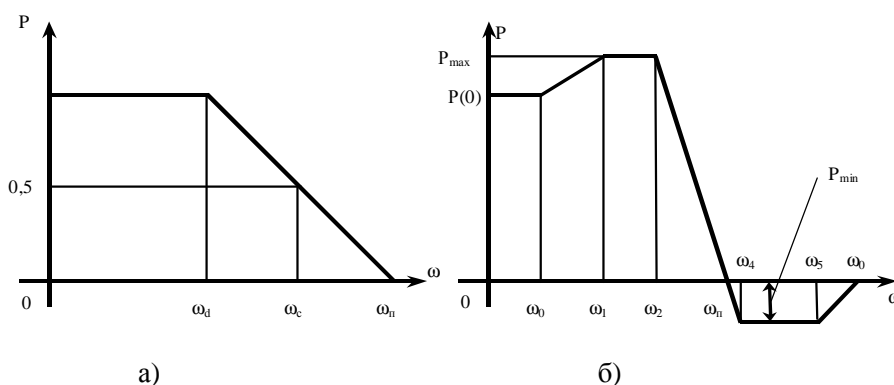


Рисунок 5.1 - Типова ДЧХ.

Це потребує або складного коригуючого пристрою, або зовсім неможливо реалізувати на практиці такі характеристики. Значно простіше реалізувати типову ДЧХ, що зображена на рис. 5.1. б, яка характеризується наступними параметрами:

$$c = \frac{w_3}{w_n} \text{— основний коефіцієнт нахилу;}$$

$$c_1 = \frac{w_1}{w_2} \text{— перший додатковий коефіцієнт нахилу;}$$

$$c_2 = \frac{w_5}{w_0} \text{— другий додатковий коефіцієнт нахилу;}$$

$I_1 = \frac{w_2}{w_n}$ – перший коефіцієнт форми;

$I_2 = \frac{w_4}{w_0}$ – другий коефіцієнт форми.

Для різних значень коефіцієнтів s , s_1 і I_1 виявлено, що найкращі перехідні процеси можуть бути отримані в системах з ДЧХ, що характеризуються коефіцієнтами $s \leq 0,8$, $s_1 \geq 0,4$, $I_1 \geq 0,5$. Величина перерегулювання при таких коефіцієнтах як правило залежить від $P_{max} > 0$.

5.3.2. Визначення P_{max} і P_{min} типових ДЧХ

Коли ДЧХ має негативний "хвіст", то додатково викликане ним перерегулювання буде визначатися нерівністю:

$$\Delta s \leq 0,3 \cdot |P_{min}| \cdot 100\%$$

Тоді величину максимального перерегулювання знайдемо з умов:

$$s_{max} = s + \Delta s,$$

де величину d визначаємо з графіку $s_{max} = f(P_{max})$.

Загальне перерегулювання буде:

$$s_{max} = s(P_{max}) + 0,3 \cdot |P_{min}| \cdot 100\% \quad (5.1)$$

На практиці приймають

$$P_{min} \approx 1 - P_{max} \quad (5.2)$$

Маючи графік $s_{max} = f(P_{max})$ та ураховуючи (5.1) і (5.2), можна визначити P_{max} і P_{min} , що відповідають заданому перерегулюванню s_{max} .

Наприклад, потрібне перерегулювання $s \leq 30\%$. З графіка (рис. 5.3) обираємо P_{max} і P_{min} , таким чином, щоб виконувалося рівняння (5.1). Можна, наприклад, прийняти $P_{max} = 1,2$ ($P_{min} = -0,2$), тоді загальне перерегулювання

$$s_{max} = 24\% + 0,3 \cdot 0,2 \cdot 100\% = 30\%$$

5.3.3. Визначення частоти позитивності типових ДЧХ

Порівняння кривих перехідного процесу дає, що час регулювання $T_{p, max}$ (час перехідного процесу) залежить від частоти позитивності w_n , в деякому ступені від P_{max} і майже не залежить від вигляду ДЧХ в області частот $w > w_n$. За допомогою кривої $T_{p, max} = n \cdot \rho / w_n = f(P_{max})$ визначаємо (див. рис. 5.3) w_n типової ДЧХ (при умовах заданого $T_{p, max}$). Знаючи P_{max} , по графіку знаходимо значення коефіцієнта n і з виразу $T_{p, max} = n \cdot \rho / w_n$ визначаємо w_n , яка відповідає заданому часу регулювання $T_{p, max}$:

$$w_n = n \cdot \rho / T_{p, max}$$

Наприклад, необхідно забезпечити при $s \leq 30\%$ час регулювання $T_{p,max} = 0,6$ с. Як було виявлено, $s = 30\%$ забезпечується при $P_{max} = 1,2$. З графіка (рис. 5.3) видно, що значенню $P_{max} = 1,2$ відповідає $n = 4$:

$$w_n = 4 \cdot p / 0,6 = 21 c^{-1}.$$

Таким чином, маючи значення P_{max} , P_{min} і w_n бажаної типової ДЧХ, за допомогою номограми проф. В.В. Солодовнікова логічно визначити параметри бажаної ЛАЧХ і побудувати її.

5.3.4. Визначення запасу стійкості по амплітуді та фазі.

Для побудови бажаної ЛАЧХ необхідно визначити вимоги до її вигляду еквівалентні вимоги до ДЧХ, при задовільненні яких забезпечуються задані показники якості. Для задовільнення заданого значення перерегулювання необхідно виконати наступні умови:

$$P_{min} \leq P(w) \leq P_{max} \quad (5.3)$$

Еквівалентні вимоги до ЛАЧХ можна знайти за допомогою номограми перекладу ЛАФЧХ розімкнутої системи в ДЧХ замкнутої (рис 5.4,а). З номограми видно, що умови (5.4) еквівалентні тому, щоб ЛАФЧХ не заходила в заборонену область, обмежену кривими з індексами $P_{max} = 1,2$ і $P_{min} = -0,2$ (приблизно ці криві можна замінити прямокутником).

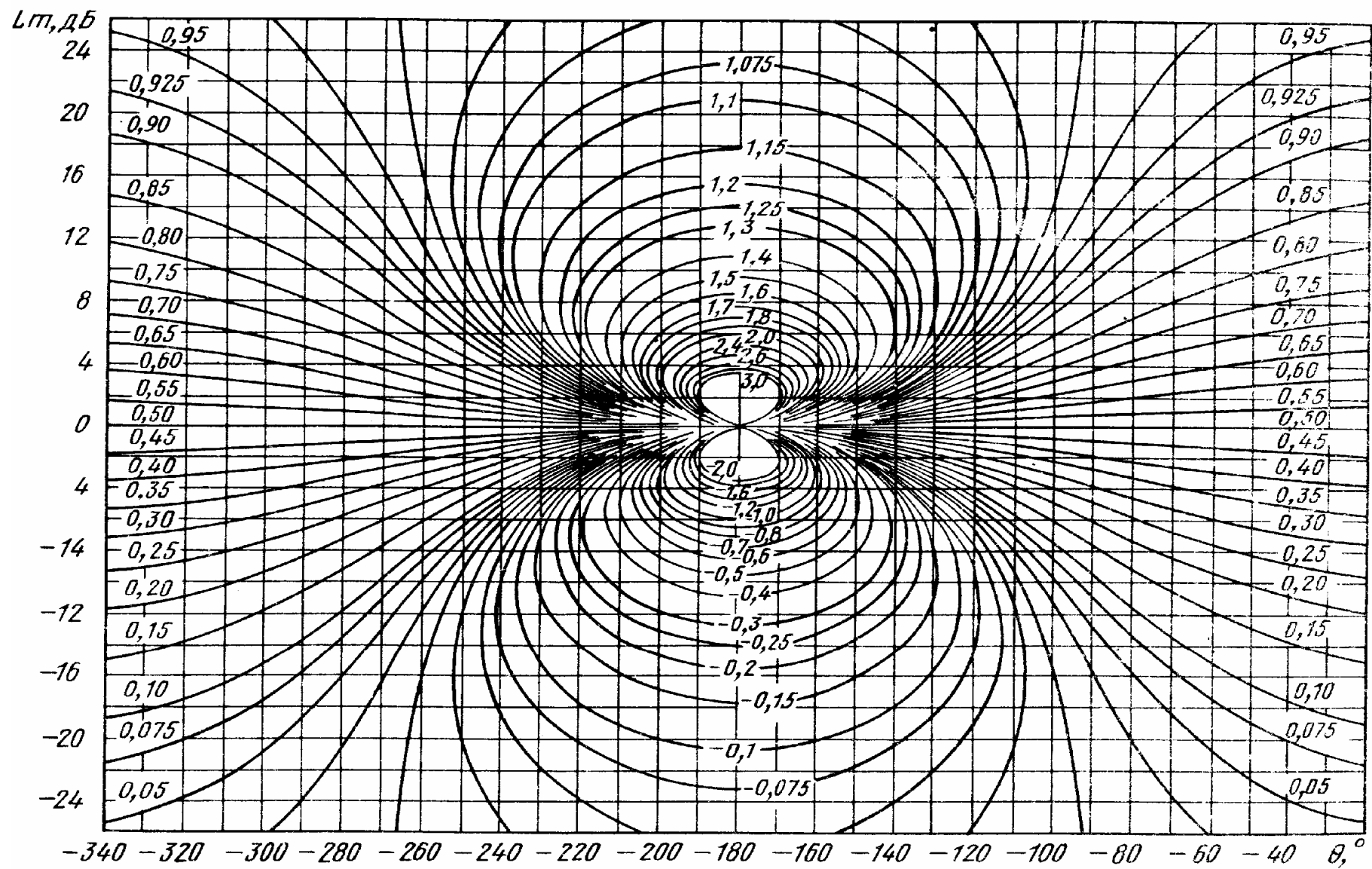


Рисунок 5.2 – Монограми проф. В.В. Солодовнікова

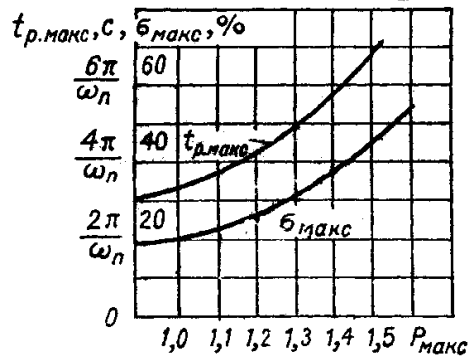
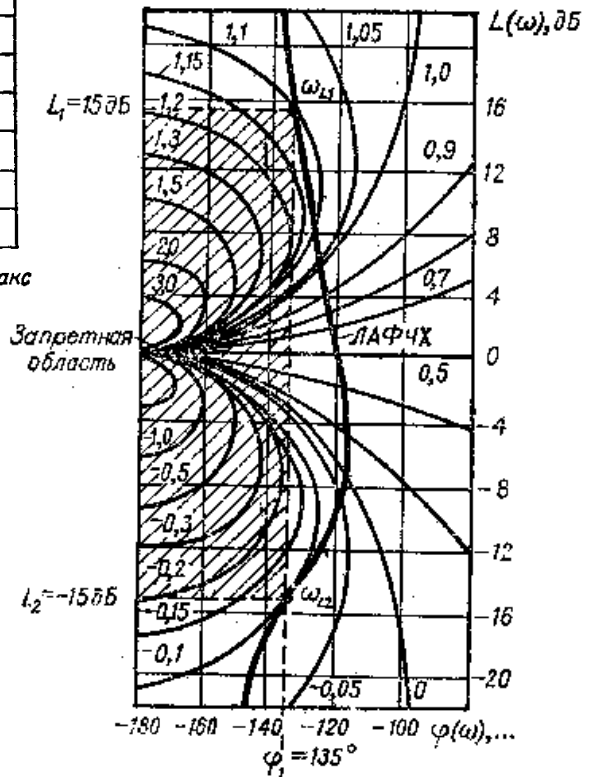
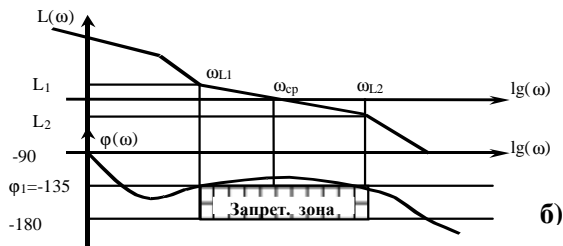


Рисунок 5.3 – Графіки залежності $S_{\max} = f(P_{\max})$ та $t_{p,\max} = f(P_{\max})$



а



б)

Рисунок 5.4 - Номограма до визначення вимог: а – до ЛАФЧХ, б – ЛАЧХ і ЛФЧХ.

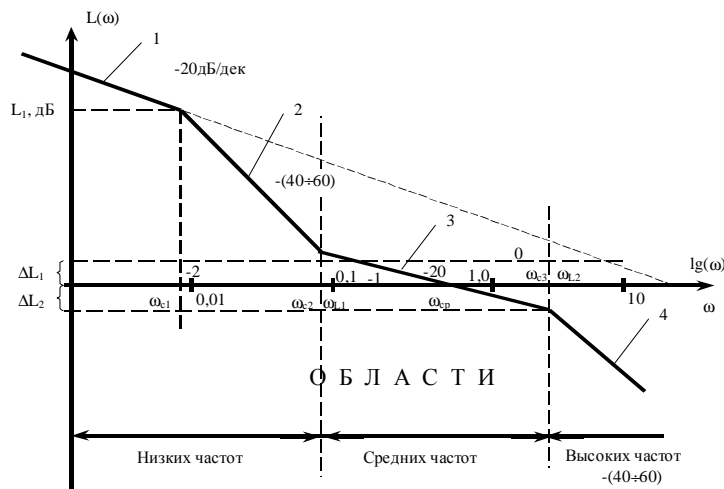


Рисунок 5.5 - Типова ЛАЧХ.

Із вимог до ЛАФЧХ випливають еквівалентні вимоги до ЛАЧХ і ЛФЧХ: для забезпечення заданого перерегулювання (наприклад $s \leq 30\%$, $P_{max} = 1.2$ і $P_{min} = 0.2$) необхідно, щоб в діапазоні частот від w_{L1} до w_{L2} (рис. 5.4б) виконувалися наступні умови:

$$L_2 \leq 20 \lg |W(jw)| \leq L_1, |j(w)| < |j_1|$$

Ординати L_1 і L_2 , що знайдені із умов забезпечення заданого перерегулювання S_{max} , називають запасом стійкості по амплітуді. Різниця $\Delta j(w) = 180 - |j_1|$ називається запасом стійкості по фазі.

5.3.5. Вибір частоти срізу бажаної ЛАЧХ

Частота срізу може бути визначена за формулою:

$$w_{cp} \approx w_n \left(1 - \frac{0,5}{P_{max}(w)} \cdot (1 - \chi) \right).$$

При більш грубих інженерних розрахунках частоту срізу можна визначити з наступних умов:

$$w_{cp} \gg (0,6-0,9)w_n \text{ або } w_{cp} \approx \frac{0,12 \cdot \pi \cdot \sigma_{max}}{T_{pmax}}.$$

5.3.6. Побудова бажаної ЛАЧХ $L_{жс}$

Визначивши основні параметри бажаної ЛАЧХ (ΔL_1 , Δj , w_{cp}), можна будувати саму ЛАЧХ. При цьому необхідно урахувувати ЛАЧХ нескоригованої системи, задля отримання найпростішого коригуючого пристрою. Спочатку необхідно намітити форму бажаної ЛАЧХ, яка забезпечила би задані показники якості системи управління.

При побудові бажаної ЛАЧХ виділяють три області: низьких, середніх і високих частот (рис.5.5).

Оскільки низькочастотна асимптота ЛАЧХ будується з урахуванням коефіцієнту передачі K розімкнутої системи і тому визначає помилку системи в сталому режимі, то за низькочастотну асимптоту бажаної ЛАЧХ приймають низькочастотну асимптоту ЛАЧХ (рис. 5.5, відрізок 1) некоригованої системи з потрібним коефіцієнтом підсилення $K = K_{ск}$. При цьому буде досягнута задана точність в сталому режимі, область низьких частот визначає точність відтворення вхідного сигналу.

Участок, що відповідає середнім частотам, визначає основні показники перехідного процесу: запас стійкості, перерегулювання, час перехідного процесу.

Цей участок характеристики представляє собою пряму, що проходить через частоту срізу з нахилом -20 дБ/дек (рис.5.5, відрізок 3). Участок середніх частот продовжується вліво та вправо від частоти срізу в межах ΔL_1 і ΔL_2 .

Сполучення середньочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ з низькочастотною асимптотою виконують, керуючись наступними міркуваннями. Сполучення проводять таким чином, щоб в інтервалі частот від w_{L1} до w_{cp} , де значення ординати містяться між L_1 і 0 ($L_1 \geq L_{жс}(w), L_{жс}(w) \geq 0$), запас стійкості по фазі (надлишок фази) $\Delta j(w)$ був не менш, ніж запас стійкості Δj , знайдений з умов забезпечення заданого значення перерегулювання, тобто щоб виконувалось нерівність $\Delta j(w) \geq \Delta j$. Частота сполучення w_{c2} , при якій задовольняється ця вимога, може бути знайдена за допомогою номограми (рис. 5.6).

Для визначення w_{c2} необхідно обчислити K/w_{cp} , потім через точку K/w_{cp} на осі ординат номограми провести пряму, паралельну осі абсцис, до перехрещення з кривою Δj (Δj - запас стійкості по фазі); з точки перехрещення опустити перпендикуляр на вісь абсцис і, отримавши величину w'_{c2} , обчислити:

$$w_{c2} = \frac{w'_{c2} \cdot w_{cp}}{10^{\Delta L/20}}.$$

Звичайно w_{c2} , при якій задовольняється вимога до запасу стійкості по фазі, дорівнює чи менш частоти w_4 .

Коли висунуто ще умову забезпечення потрібної точності, тоді частоту сполучення w_{c1} необхідно обирати згідно з заданим значенням коефіцієнта помилки походячи з умови:

$$w_{c1} \approx \frac{2}{K \cdot C_2}.$$

Область високих частот незначно впливає на якість, тому високочастотний участок $L_{жс}$ проводять так, щоб різниця нахилів між асимптотами некоригованої $L(w)$ і бажаної $L_{жс}(w)$ ЛАЧХ не перевищувала 20 дБ/дек. Починаючи з останньої частоти сполучення, бажана ЛАЧХ може співпадати з ЛАЧХ некоригованої системи.

При такий побудові високочастотної частини $L_{жс}$ коригуючий пристрій реалізується простіше. Звичайно потрібний запас стійкості по фазі на частоті сполучення w_{L2} можна забезпечити, коли $w_{c3} \gg 4w_{cp}$.

Після того як бажану ЛАЧХ побудовано, по її вигляду визначають передаточну функцію скоригованої системи.

5.3.7. Визначення ЛАЧХ послідовного та паралельного коригуючого пристрою

ЛАЧХ послідовного коригуючого пристрою $L_{\text{посл}}(\omega)$ визначають шляхом віднімання ЛАЧХ нескоригованої систем $L(\omega)$ від ординат бажаної ЛАЧХ $L_{\text{жс}}(\omega)$.

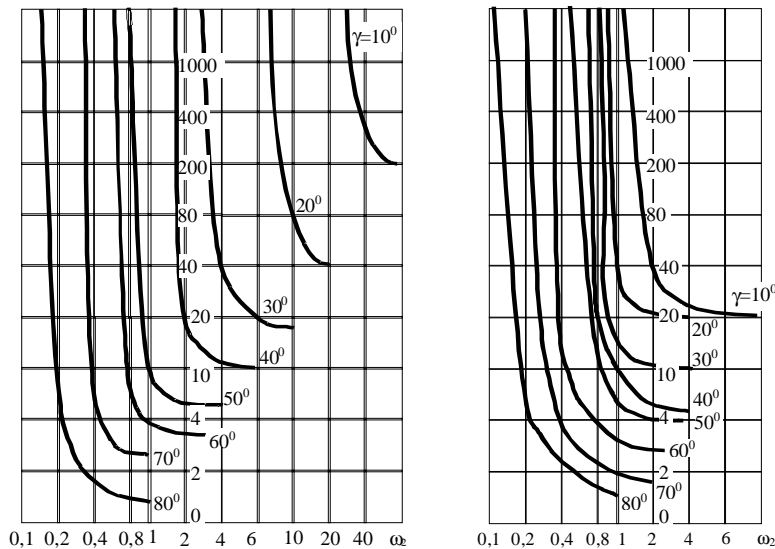


Рисунок 5.6 - Номограми для визначення w_{c2} при нахилі асимптоти сполучення $L_{\text{жс}}$, Дб/дек: а – 40; б – 60.

У випадку паралельного коригуючого пристрою (місцевий зворотний зв'язок), передаточну функцію бажаної ЛАЧХ визначають як:

$$W_{\text{ж}}(p) = \frac{W_{\text{н}}(p) \cdot W_0(p)}{1 \pm W_0(p) \cdot W_{0\text{с}}(p)} = W_{\text{р}}(p) \cdot W_{\text{посл}}(p),$$

де $W_{\text{н}}(p)$ – ПФ участка системи, що не охоплений зворотним зв'язком;

$W_0(p)$ – ПФ участка системи, що охоплений зворотним зв'язком (без урахування зворотнього зв'язку);

$W_{0\text{с}}(p)$ – ПФ ланцюга зворотнього зв'язку;

$W_{\text{р}}(p) = W_{\text{н}}(p)W_0(p)$ – ПФ некоригованої системи в різькнутому стані;

$W_{\text{посл}}(p) = \frac{1}{1 \pm W_{\text{н}}(p) \cdot W_0(p)}$ – потрібна ПФ послідовного корегуючого

пристрою, еквівалентного за своїм впливом зворотньому зв'язку, що охоплює участок системи з ПФ $W_0(p)$.

Таким чином, $W_{0\text{с}}(p)$ може бути знайдена аналітично:

а) при негативному зворотньому зв'язку

$$W_{0\text{с}}(p) = \frac{1 - W_{\text{посл}}(p)}{W_{\text{посл}}(p) \cdot W_0(p)} = \frac{1}{W_0(p)} \cdot \left(\frac{1}{W_{\text{посл}}(p)} - 1 \right);$$

б) при позитивному зворотньому зв'язку

$$W_{oc}(p) = \frac{1}{W_o(p)} \cdot \left(1 - \frac{1}{W_{посл}(p)} \right);$$

а також графічним методом за допомогою логарифмічних частотних характеристик. Графічний метод можна застосовувати для синтезу паралельних коригуючих пристроїв, що включаються в ланцюг негативного зворотнього зв'язку.

Запишемо співвідношення, що встановлює зв'язок між ПФ $W_{посл}(p)$ послідовного коригуючого пристрою і ПФ $W_{oc}(p)$ еквівалентного йому паралельного коригуючого пристрою, замінюючи p на $j\omega$:

$$W_{посл}(j\omega) = \frac{1}{1 \pm W_o(j\omega) \cdot W_{oc}(j\omega)}.$$

В області частот, де $|W_o(j\omega)W_{oc}(j\omega)| \ll 1$ ПФ $W_{посл}(j\omega) = 1$ або в логарифмічному масштабі $L_{посл}(\omega) = 0$.

Звідси можна зробити висновок: якщо в діапазоні частот, де потрібна ЛАЧХ послідовного коригуючого пристрою співпадає з віссю 0 дБ ($L_{посл}(\omega) = 0$), ЛАЧХ $L'(\omega) = -L_o(\omega) - L_{oc}(\omega)$ повинна проходити вище осі 0 дБ або повинна виконуватись умова:

$$-L_{oc}(\omega) \gg L_o(\omega).$$

Оскільки ця умова не пов'язана з вимогою отримання оптимального вигляду ЛАЧХ $L_{oc}(\omega)$, вона може бути порівнянно легко задовільнена. Отже, для області частот, де $|W_o(j\omega)W_{oc}(j\omega)| \gg 1$, буде справедливо:

$$W_{посл}(j\omega) = \frac{1}{W_o(j\omega) \cdot W_{oc}(j\omega)}, L_{посл}(\omega) = L'(\omega) = -L_o(\omega) - L_{oc}(\omega),$$

тобто потребуєма ЛАЧХ $L_{посл}(\omega)$ співпадає з ЛАЧХ $L'(\omega)$.

Звідси можна зробити висновок: якщо в діапазоні частот, потребуєма ЛАЧХ послідовного коригуючого пристрою проходить нижче осі 0 дБ ($L_{посл}(\omega) < 0$), то в цьому діапазоні справедлив вираз:

$$W_{oc}(j\omega) = \frac{1}{W_{посл}(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}, L_{oc}(\omega) = -[L_{посл}(\omega) + L_o(\omega)]$$

Таким чином, для визначення ЛАЧХ паралельного коригуючого пристрою в діапазоні частот, де $L_{посл}(\omega) \ll 0$, необхідно скласти потребуєму ЛАЧХ $L_{посл}(\omega)$ послідовного коригуючого пристрою з ЛАЧХ $L_o(\omega)$, охоплених зворотнім зв'язком ланок системи, і цю суму взяти з протилежним знаком. Як правило, ПФ $W_{oc}(\omega)$, яка знайдена для області частот, де $L_{посл}(\omega) \ll 0$ і яка є найважливішою областю частот системи, буде справедлива і для діапазона частот, де $L_{посл}(\omega) = 0$.

Тому $W_{oc}(w)$ визначають по вигляду $L_{nocл}(w)$ для діапазона частот, де $L_{nocл}(w) \ll 0$, а потім перевіряють, чи виконується умова для діапазона частот, в якому $L_{nocл}(w)=0$, тобто:

$$-L_{nocл}(w) \gg L_o(w).$$

Як правило, зворотнім зв'язком охоплюють найбільш інерційну ланку (ланки) системи. Необхідно також урахувати фізичну можливість охоплення зворотнім зв'язком тієї чи іншої ланки (групи ланок) системи.

Крім того, для одержання простішого паралельного коригуючого пристрою необхідно прагнути, щоб сума нахилів ЛАЧХ $L_{nocл}(w)$ в області високих частот залишалась постійною. Цього добиваються як вибором в допустимих межах характеристики $L_{nocл}(w)$ (шляхом відповідного сполучення середньо- і високочастотної асимптот бажаної ЛАЧХ), так і підбором $L_o(w)$ за рахунок вибору типу і кількості ланок для охоплення зворотнім зв'язком.

Визначивши $L_{oc}(w)$, по таблиці найбільш типових схем коригуючих пристроїв [2] обирають конкретну структуру і ПФ $W_{oc}(p)$ паралельного коригуючого пристрою.

Після визначення $L_{oc}(w)$ і $W_{oc}(p)$ перевіряють, чи є місцевий замкнений контур стійким. Для цього зручніше всього застосувати логарифмічний частотний критерій. ПФ місцевого контуру буде:

$$W_{mk}(p) = W_o(p) - W_{oc}(p).$$

Якщо по вигляду ЛАЧХ $L_{mk}(w)$ ($L_{mk}(w) = L_o(w) + L_{oc}(w)$) важко зробити висновок про стійкість, тоді необхідно побудувати ЛФЧХ згідно з виразом для $W_{mk}(jw)$.

В випадку, коли місцевий контур виявиться нестійким, слід змінити параметри паралельного коригуючого пристрою і можливо параметри (наприклад, коефіцієнт підсилення) охопленого зворотнім зв'язком участка системи. Іноді стійкість місцевого контуру може бути досягнута зміною кількості охоплених зворотнім зв'язком ланок.

5.3.8. Побудова характеристики перехідного процесу

В інженерній практиці графік перехідного процесу, що виникає в системі при стрибкоподібній зміні вихідного сигналу, будують звичайно приблизно за допомогою "метода трапецій" розробленого проф. В.В. Солодовніковим.

Основою даного наближеного методу є залежність:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} P(w) \frac{\sin(wt)}{w} dw.$$

З умов зв'язку між імпульсною перехідною функцією $w(t)$ та частотною функцією системи:

$$w(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(j\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Для визначення ДЧХ $P(\omega)$ замкнутої систем на діаграму (рис. 5.6) слід нанести значення (для бажаної ЛАЧХ) фази в градусах і підсилення в децибелах, що відповідають одній і тій же частоті. Визначивши таким чином ряд точок і з'єднуючи їх плавною кривою, знайдемо ЛАФЧХ розімкненої системи. Точки перехрещення цієї характеристики з кривими діаграми дадуть значення частотної характеристики $P(\omega)$ замкнутої системи.

Потім будують ДЧХ $P(\omega)$ замкнутої скоригованої системи (рис.5.7 а) та розбивають її на трапеції(рис.5.7 б). Таким чином, характеристику $P(\omega)$ логічно представити в вигляді алгебраїчної суми:

$$P(\omega) = \sum_{i=1}^k P_i(\omega)$$

Перехідна функція також може бути представлена в вигляді алгебраїчної суми:

$$h(t) = \sum_{i=1}^k h_i(t)$$

кожна з котрих визначається однією з трапецій $P_i(\omega)$.

Кожна трапеція має типову форму (рис. 5.7), характеризується трьома основними параметрами: висотою $P_i(0)$, частотою рівномірного пропускання та частотою пропускання (позитивності). Висоти $P_i(0)$ ураховуються зі знаком. Наприклад, на рис. 5.7. трапеція 1 входить в суму зі знаком плюс, а трапеції 2 і 3 – зі знаком мінус. Параметри трапеції заносять в табл. 5.3.

Побудову інших складових $h_i(t)$ (рис.5.7,в) здійснюють за допомогою спеціальних довідкових таблиць [1,2].

Перехідні функції $h_i(t)$ для реальних трапецій знаходять шляхом множення нормованих ординат $h_i(t)$ на висоту трапеції:

$$h_i = P_i(\omega) \cdot \bar{h}_i$$

та діленням безрозмірного часу \bar{t} на частоту ω_n :

$$t = \frac{\bar{t}}{\omega_n}.$$

Одержані таким чином дані сводяться в таблицю 5.3.

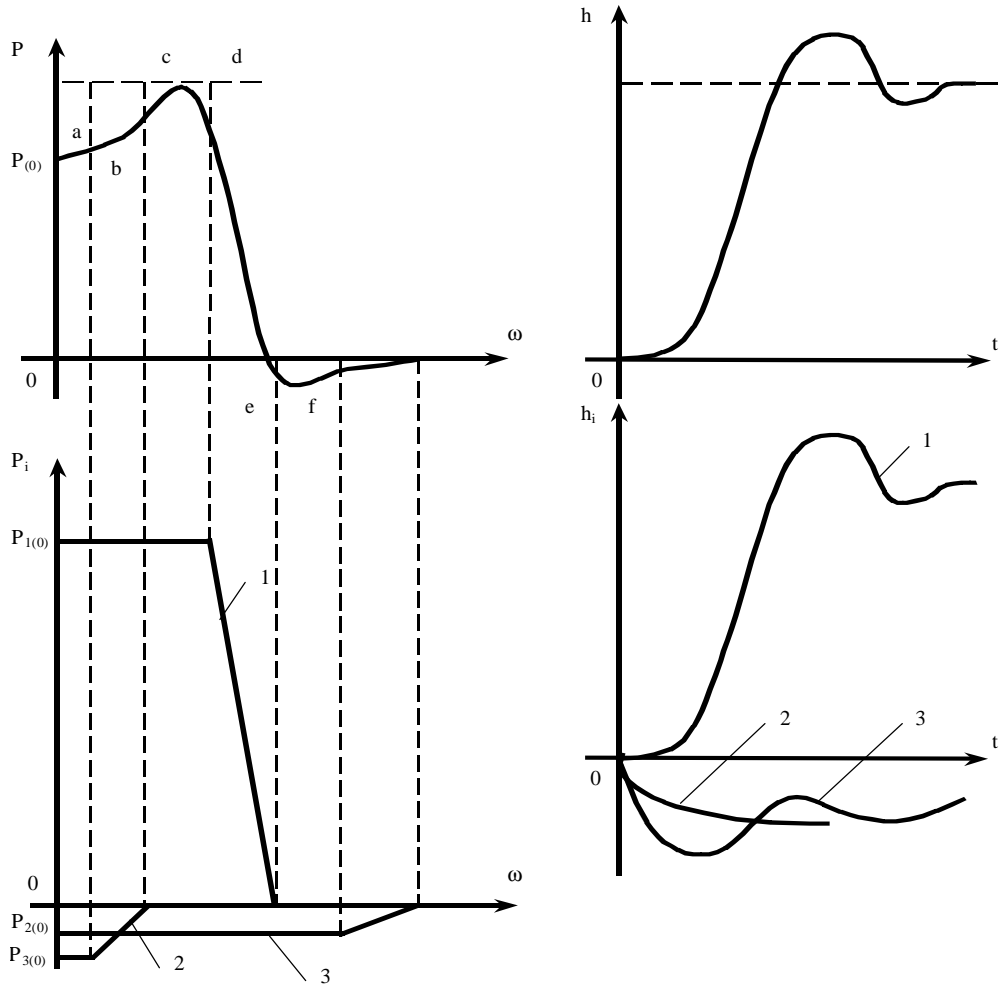


Рисунок 5.7 – Побудова графіка перехідного процесу методом трапецій.

Після розрахунку всіх складових $h_i(t)$, будують їх графіки, а потім визначають шуканий перехідний процес $h(t)$ шляхом підсумовування ординат $h_i(t)$ (зі знаком), який буде відповідати вихідній характеристиці $P(\omega)$.

По графіку $h(t)$ визначають показники якості перехідного процесу та порівнюють їх з заданими.

Таблиця 5.3

Параметри трапеції та відповідні їм h -функції.

1	$P_1(0),$ $C = W_{d1}/W_{n1}$	t	
		h_1	
2	$P_2(0),$ $C = W_{d2}/W_{n2}$	t	
		h_2	
k	$P_k(0),$ $C = W_{dk}/W_{nk}$	t	
		h_k	

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.

1. Лукас В.А. Основы теории автоматического управления. - М.: Недра, 1977. - 327 с.
2. Зайцев Г.Ф. Основы автоматического управления и регулирования. Киев: Техника, 1977. - 472 с.
3. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления. - М.: Высшая школа, 1977. - 356 с.
4. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. - М.: Наука, 1978. - 285 с.
5. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления./Под ред. Бессекерского В.А. -М.: Наука, 1972 -511 с.
6. Расчет автоматических систем./ Под ред. Фатеева А.В. - М.: Высшая школа, 1973. - 336 с.
7. Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления (примеры расчета). - М.: Высшая школа, 1967. - 384 с.

Навчальне видання
до виконання курсового проекту з курсу
"Теорія автоматичного управління"
для студентів, що навчаються за напрямом
6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології" (АУП)
(для денної й заочної форм навчання)

Укладачі:

Попов Владислав Олександрович
Федюн Роман Валерійович
Найдьонова Тетяна Володимирівна