

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра теоретических основ электротехники

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА

Методические указания
к лабораторным работам
для студентов специальности 1-36 04 01
«Электронно-оптические системы и технологии»
всех форм обучения

Минск БГУИР 2011

УДК 62-347-027.31(076)

ББК 31.264-04я73

P24

С о с т а в и т е л и:

И. Л. Свито, В. М. Коваленко, В. Б. Беляков

Р е ц е н з е н т:

заведующий кафедрой информатики учреждения образования
«Минский государственный высший радиотехнический колледж»,
кандидат технических наук Ю. А. Скудняков

Расчет и проектирование привода : метод. указания к лаб. работам
P24 для студ. спец.1-36 04 01 «Электронно-оптические системы и техноло-
гии» всех форм обуч. / сост. И. Л. Свито, В. М. Коваленко, В. Б. Беля-
ков. – Минск : БГУИР, 2011. – 34 с. : ил.
ISBN 978-985-488-731-9.

Методические указания содержат описание четырех лабораторных работ, вы-
полняемых на персональных ЭВМ с помощью программы моделирования динамиче-
ских систем «Анализ». Выполнению работ в лаборатории предшествует расчет па-
раметров моделируемой системы в домашнем задании. Все лабораторные работы
снабжены краткими теоретическими сведениями.

УДК 62-347-027.31(076)
ББК 31.264-04я73

ISBN 978-985-488-731-9

© Свито И. Л., Коваленко В. М., Беляков В. Б.,
составление, 2011

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2011

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

Цель работы

Приобрести навыки моделирования переходных характеристик типовых динамических звеньев. Ознакомление с программой моделирования динамических систем «Анализ».

Основные теоретические сведения

При расчете систем электропривода их обычно разбивают на отдельные динамические звенья. Под динамическим звеном понимают устройство любого физического вида, описываемое определенным дифференциальным уравнением. Многообразие реальных элементов систем управления электроприводом сводится к ограниченному числу типовых динамических звеньев. Их всего 7: пропорциональное, апериодическое, колебательное, интегрирующее, дифференцирующее, форсирующее и чистого запаздывания. Типовые динамические звенья описываются линейными дифференциальными уравнениями не выше второго порядка.

Свойства динамического звена полностью определяются его передаточной функцией (рис. 1.1):

$$W(p) = \frac{y(p)}{g(p)}, \quad (1.1)$$

т. е. отношением операторных изображений выходной переменной $y(p)$ и задающего воздействия $g(p)$ при нулевых начальных условиях.

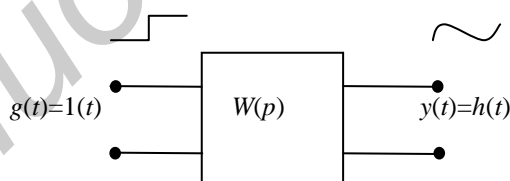


Рис. 1.1

На практике бывает важно знать, как выглядит переходный процесс на выходе звена при подаче на его вход единичного ступенчатого воздействия. Переходный процесс в этом случае называется переходной характеристикой и обозначается $h(t)$.

Переходная характеристика определяется передаточной функцией динамического звена:

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{W p}{p} \right], \quad (1.2)$$

где L^{-1} – обозначение обратного преобразования Лапласа.

Ниже описаны передаточные функции и переходные характеристики типовых динамических звеньев.

1. Пропорциональное (безынерционное) звено

Уравнение имеет вид

$$y(t) = k g(t), \quad (1.3)$$

где k – коэффициент передачи звена.

Примеры: делитель напряжения, редуктор, усилитель.

Свойства: входной сигнал мгновенно копируется на выходе в измененном масштабе.

Передаточная функция

$$W(p) = k. \quad (1.4)$$

Переходная характеристика

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{k}{p} \right] = k. \quad (1.5)$$

2. Инерционное (апериодическое) звено

Уравнение

$$T \dot{y}(t) + y(t) = k g(t), \quad (1.6)$$

где T – постоянная времени звена;

k – коэффициент передачи.

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{k}{1+Tp}. \quad (1.7)$$

Пример: RC-цепь (рис.1.2)

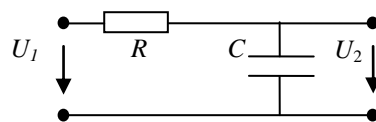


Рис. 1.2

$$k=1, \quad (1.8)$$

$$T = RC \quad (1.9)$$

Свойства: после подачи на вход постоянного напряжения U_1 выходное напряжение U_2 возрастает по экспоненте с постоянной времени T .

Переходная характеристика (рис.1.3)

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{k}{p(1+Tp)} \right] = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}). \quad (1.10)$$

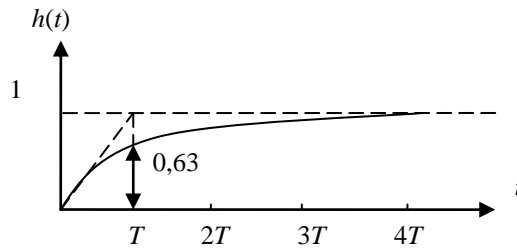


Рис. 1.3

Постоянную времени T нетрудно определить по графику $h(t)$, если учесть, что по истечении T секунд разность между начальным и установившимся значениями уменьшится в 2,72 раза, т. е. на 63 %.

3. Колебательное звено

Уравнение

$$T^2 \ddot{y} + 2\xi T \dot{y} + y = k g t, \quad (1.11)$$

где T – постоянная времени;

ξ – коэффициент затухания (демпфирования);

k – коэффициент передачи звена.

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \quad (1.12)$$

Пример: электродвигатель постоянного тока (рис. 1.4), где $U(t)$ – входная величина; $\omega(t)$ – выходная.

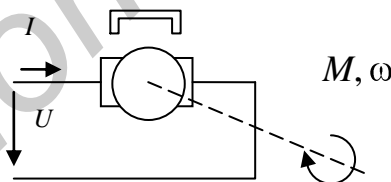


Рис. 1.4

Его передаточная функция

$$W(p) = \frac{1/C}{T_M T_a p^2 + T p + 1}, \quad (1.13)$$

где T_M, T_a – электромеханическая и электромагнитная постоянные времени двигателя;

C – моментная константа ($M = CI$);

I – ток якоря.

Сравнивая (1.1) и (1.2), нетрудно показать, что

$$T = \sqrt{T_M T_a}; \quad (1.14)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_M}{T_a}}; \quad (1.15)$$

$$k = C^{-1}. \quad (1.16)$$

Вид переходной характеристики $h(t)$ зависит от величины коэффициента затухания ξ (рис. 1.5):

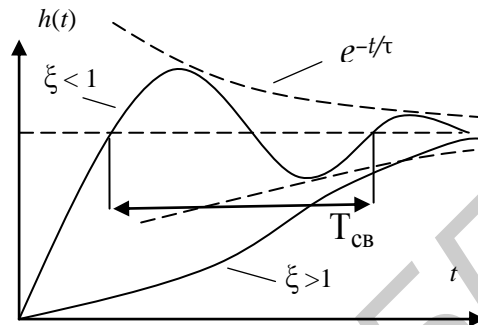


Рис. 1.5

Свойства:

- 1) если $\xi=0$, то $h(t)$ – представляет собой незатухающую синусоиду (колебательное звено в этом случае называется консервативным);
- 2) если $0 < \xi \leq 1$, то $h(t)$ – затухающая синусоида. Чем меньше ξ , тем медленнее затухает процесс;
- 3) если $\xi > 1$, то $h(t)$ – аperiodический процесс (колебательное звено в этом случае называется аperiodическим 2 порядка).

$$\tau = T / \xi, \quad (1.17)$$

$$T_{св} = \frac{T}{\sqrt{1 - \xi^2}}. \quad (1.18)$$

Для электродвигателя $\xi < 1$, если $T_M < 4T$. В этом случае после подачи на обмотку якоря постоянного напряжения скорость вращения вала устанавливается после колебательного переходного процесса.

4. Интегрирующее звено (астатическое)

Уравнение

$$\dot{y}(t) = kg(t) \quad (1.19)$$

или

$$y(t) = k \int_0^t g(t) dt + \text{const}. \quad (1.20)$$

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{k}{p} = \frac{1}{T_{\text{и}} p}, \quad (1.21)$$

где k – коэффициент передачи,

$T_{\text{и}} = k^{-1}$ – время интегрирования.

Пример: ротор двигателя – одномассовая расчетная схема (рис. 1.6)

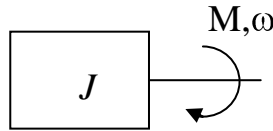


Рис. 1.6

$$W(p) = \frac{\omega}{M} = \frac{1}{Jp} = \frac{1}{T_{\text{и}} p}; \quad (1.22)$$

где J – момент инерции ротора.

Таким образом, численно время интегрирования равно моменту инерции ротора.

Свойства:

1) если входное воздействие $g=0$, то выходной сигнал $y(t)$ остается неизменным.

2) интегрирующее звено не обладает статической характеристикой в смысле связи между установившимися значениями входной и выходной величин. При $M = \text{const}$ выходная величина ω возрастает с постоянным ускорением и не имеет установившегося значения. Такие системы называются астатическими;

3) свойство «памяти». Если в момент t_0 снять ускоряющий момент, то ротор в отсутствие трения продолжит вращение со скоростью $\omega(t_0)$, т. е. «запомнит» значение скорости в момент t_0 .

Переходная характеристика (рис. 1.7)

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{1}{T_{\text{и}} p^2} \right] = \frac{t}{T_{\text{и}}}. \quad (1.23)$$

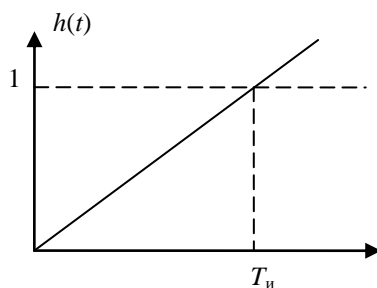


Рис. 1.7

За время интегрирования $T_{\text{и}}$ выходная величина достигает значения входной.

5. Дифференцирующее звено (идеальное и реальное)

5.1. Идеальное звено

Уравнение

$$y(t) = k\dot{g}(t). \quad (1.24)$$

Передаточная функция

$$W(p) = kp. \quad (1.25)$$

5.2. Реальное звено

Идеальное дифференцирующее звено физически нереализуемо. Практически дифференцирующие звенья обладают некоторой инерционностью. Уравнение реального дифференцирующего звена

$$T\ddot{y}(t) + y(t) = k\dot{g}(t). \quad (1.26)$$

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{kp}{1+Tp}. \quad (1.27)$$

Реальное дифференцирующее звено есть последовательное соединение идеального дифференцирующего звена и апериодического звена с постоянной времени T . Чем меньше T , тем ближе реальное звено к идеальному.

Пример: дифференцирующая RC-цепь (рис. 1.8).

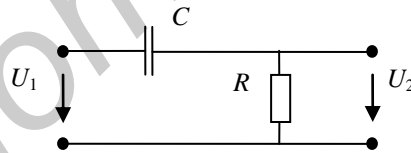


Рис. 1.8

$$k = RC, \quad (1.28)$$

$$T = RC. \quad (1.29)$$

Свойства: при постоянном входном воздействии выходная величина равна нулю. При переменном входном воздействии выходная величина пропорциональна скорости изменения входной.

Переходная характеристика идеального дифференцирующего звена

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{kp}{p} \right] = \delta(t) \quad (1.30)$$

представляет собой дельта-функцию.

Переходная характеристика реального дифференцирующего звена (рис. 1.9)

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{kp}{p(1+Tp)} \right] = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}} \quad (1.31)$$

представляет собой экспоненту, затухающую с постоянной времени T от начального значения $\frac{k}{T}$.

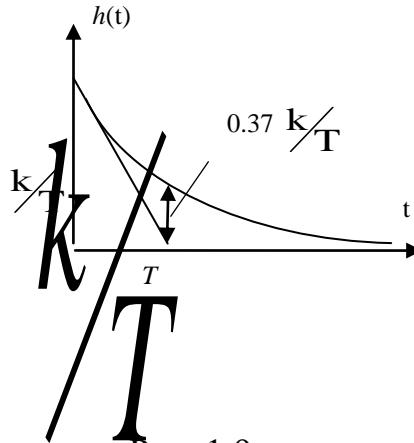


Рис. 1.9

б. Форсирующее звено

Уравнение

$$y(t) = k[T\dot{g}(t) + g(t)], \quad (1.32)$$

где k и T – коэффициент передачи и постоянная времени звена.

Передаточная функция

$$W(p) = k(Tp + 1). \quad (1.33)$$

Очевидно, форсирующее звено есть параллельное соединение пропорционального звена и идеального дифференцирующего, а потому физически нереализуемо.

Реальное форсирующее звено образуется параллельным соединением пропорционального и реального дифференцирующего звеньев и имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{k(T_1 p + 1)}{T_2 p + 1}. \quad (1.34)$$

Пример такого звена на рис. 1.10.

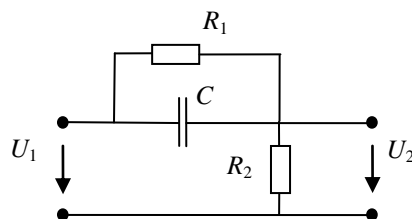


Рис. 1.10

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (1.35)$$

$$T_1 = R_1 C, \quad (1.36)$$

$$T_2 = k T_1. \quad (1.37)$$

Свойства: при постоянном входном воздействии форсирующее звено работает как пропорциональное, т. е. $y = kg$. При переменном входном воздействии выходная величина пропорциональна как модулю воздействия, так и скорости его изменения.

Переходная характеристика (рис. 1.11)

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{k(T_1 p + 1)}{p(T_2 p + 1)} \right] = k + k \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) e^{-\frac{t}{T_2}}. \quad (1.38)$$

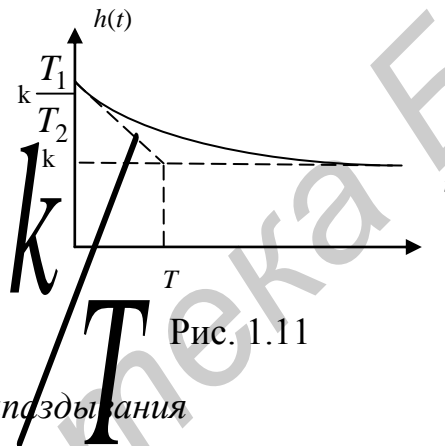


Рис. 1.11

7. Звено чистого запаздывания
Уравнение

$$y(t) = g(t - \tau), \quad (1.39)$$

где τ – время запаздывания.

Передаточная функция

$$W(p) = e^{-p\tau}. \quad (1.40)$$

Пример: транспортный конвейер, трубопровод, линия задержки.

Свойства: воспроизводит входной сигнал на выходе с запаздыванием на τ секунд.

Переходная характеристика (рис. 1.12)

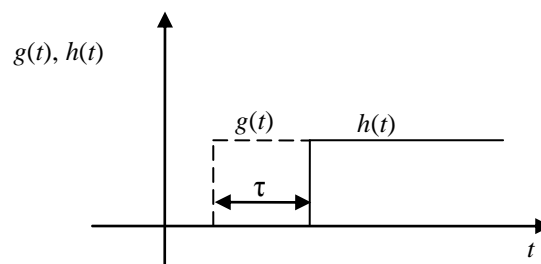


Рис. 1.12

Домашнее задание

1. Изучить раздел «Динамические звенья и их характеристики» и общие сведения, изложенные выше.

2. Представить в виде динамических звеньев следующие устройства:

2.1. RC -цепь – в виде апериодического звена (рис. 1.2; формулы (1.7) – (1.10); 1-я строка табл. 1.1);

2.2. Двигатель постоянного тока – в виде колебательного звена (рис. 1.4; формулы (1.12) – (1.18); 2-я строка табл. 1.1);

2.3. Ротор двигателя – в виде интегрирующего звена (рис. 1.6; формулы (1.21) – (1.23); 3-я строка табл. 1.1);

2.4. RC -цепь – реальным дифференцирующим звеном (рис. 1.8; формулы (1.27) – (1.31); 4-я строка табл. 1.1);

2.5. RC -цепь – реальным форсирующим звеном (рис. 1.10; формулы (1.34) – (1.38); 5-я строка табл. 1.1).

Для полученных динамических звеньев записать передаточные функции, подставив в них рассчитанные численные значения коэффициентов передачи и постоянных времени.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.1.

3. Для полученных динамических звеньев изобразить в масштабе графики переходных характеристик.

Таблица 1.1

№ п/п	№ рис.	№ вар.	1	2	3	4	5	6
1	1.2	R , кОм	10	10	5	10	10	10
		C , мкФ	20	5	10	20	10	8
2	1.4	$C, \frac{B}{\text{рад/с}}$	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3
		T_M , мс,	30	50	20	30	50	20
		T_a , мс	20	25	15	20	25	15
3	1.6	J , кг \times м ²	0,005	0,002	0,01	0,005	0,01	0,002
4	1.8	R , кОм	10	10	5	10	2	2
		C , мкФ	1	5	5	2	10	1
5	1.10	R_1 , кОм	5	1	2	5	2	2
		R_2 , кОм	5	4	5	5	4	5
		C , мкФ	1	5	10	1	5	5

Последовательность выполнения работы

1. Моделирование интегрирующего звена

1.1. Войти в режим «Блок», «Вставить блок». Набрать схему из двух блоков: ступенчатой функции и интегратора. В режиме «Соединить в структуру» соединить выход блока ступенчатой функции со входом блока интегратора.

1.2. В режиме «Параметры» задать параметры блоков: ступенька момента 1 н/м; время интегрирования $T_{\text{и}}$ (как рассчитано в домашнем задании).

1.3. В режиме «Моделирование»:

– пометить выходы интегратора и ступенчатой функции (моделируются лишь сигналы на отмеченных выходах);

– установить время моделирования равным $3T_{\text{и}}$ при числе шагов 1000 (число шагов во всех опытах оставлять равным 1000);

– дать старт моделированию.

1.4. В режиме «Результат» вывести на экран переходный процесс и срисовать его. Сравнить с рассчитанным в домашнем задании. Во всех последующих опытах также зарисовывать результаты моделирования.

1.5. В режиме «Параметры» удвоить значение времени интегрирования $T_{\text{и}}$. Повторить подп. 1.3.1. Сравнить результаты.

2. Моделирование аperiodического звена

2.1. В режиме «Блоки» удалить звено интегратора и вставить на его место аperiodическое звено. Соединить в структуру с источником сигнала. Задать параметры в соответствии с домашним заданием.

2.2. В режиме «Моделирование» установить время моделирования равным $6T$, где T – постоянная времени аperiodического звена, рассчитанная в домашнем задании. Отметить выход аperiodического звена.

Получить диаграмму переходного процесса на выходе аperiodического звена. Найти по графику постоянную времени и убедиться, что она совпадает с рассчитанным значением.

2.3. Удвоить постоянную времени аperiodического звена и время моделирования. Получить переходный процесс. Сравнить результат с предыдущим.

2.4. Удвоить коэффициент передачи аperiodического звена. Моделировать переходный процесс. Сравнить результаты.

3. Моделирование колебательного звена

3.1. Удалить аperiodическое звено и вставить на его место аperiodическое звено второго порядка (колебательное звено). Задать его параметры в соответствии с домашним заданием. Установить время моделирования равным $6T/\xi$, пометить выход. Получить переходный процесс.

3.2. Уменьшить вдвое коэффициент демпфирования ξ , удвоить время моделирования. Смоделировать переходный процесс. Что изменилось?

3.3. Установить $\xi=1$. Сократить время моделирования в 3 раза. Получить переходный процесс. Как влияет величина коэффициента демпфирования на колебательность переходного процесса и его продолжительность?

4. *Моделирование реального дифференцирующего звена*

4.1. Удалить апериодическое звено второго порядка. Вместо него ввести 2 звена: дифференциатор и апериодическое. В совокупности они составят реальное дифференцирующее звено. Соединить звенья в структуру (рис.1.13).

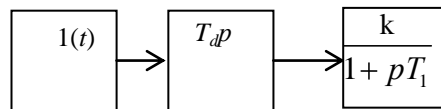


Рис. 1.13

4.2. Установить параметры звеньев в соответствии с домашним заданием ($T_d=1; T_1=T$). Пометить выход апериодического звена. Моделировать переходную характеристику в течение $6T$ с.

4.3. Уменьшить постоянную T в 2 раза. Моделировать переходный процесс. Сравнить результаты. В каком случае качество дифференцирования лучше?

4.4. Удвоить постоянную T_d . Получить диаграмму переходной характеристики. Сравнить результаты. Как изменилось начальное значение процесса?

5. *Моделирование форсирующего звена*

5.1. Ввести в схему еще одно апериодическое звено и двухвходовый сумматор. Соединить звенья в соответствии с рис. 1.14.

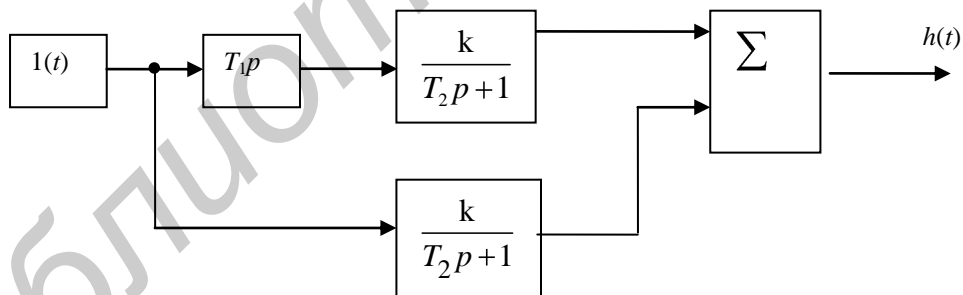


Рис. 1.14

5.2. Значения T_1, T_2 и k установить в соответствии с домашним расчетом форсирующего звена. Весовые множители на входах сумматора ввести равными единице.

5.3. Моделировать переходный процесс в течение $6T_2$ с, пометив выходы апериодических звеньев и сумматора.

5.4. Удвоить значение k . Как изменилась переходная характеристика? Почему звено называется форсирующим?

Оформить результаты в виде отчета.

Вопросы к лабораторной работе

1. Что такое динамическое звено? Перечислить типовые динамические звенья.
 2. Как найти выражение для переходной характеристики по известной передаточной функции звена?
 3. Как по графику переходной характеристики определить постоянную времени апериодического звена?
 4. Как зависит переходная характеристика колебательного звена от величины коэффициента затухания?
 5. Почему интегрирующее звено называется астатическим?
 6. Существуют ли идеальные дифференцирующие звенья?
 7. Свяжите название «форсирующее звено» со свойствами его переходной характеристики.
 8. Приведите примеры звеньев чистого запаздывания.
- [1, с. 56 – 92; 2, с. 52 – 64].

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы

Приобрести навыки расчета переходных и установившихся процессов в электроприводе с помощью структурных схем и передаточных функций. Путем моделирования исследовать отработку разомкнутым приводом задающих и возмущающих воздействий различной формы.

Основные сведения

Под электроприводом (ЭП) в данной работе понимается электродвигатель постоянного тока (ЭДПТ) с моментом нагрузки, приведенным к валу двигателя. ЭДПТ управляется изменением напряжения на якоре, магнитный поток полагаем неизменным.

Динамика ЭП описывается системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} U &= IR + L \frac{dI}{dt} + e; \\ J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} &= M - M_c; \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega; \\ M &= CI; \\ e &= C\omega. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Здесь U, I – напряжение и ток якоря;

e – противоЭДС якоря;

M, M_c – электромагнитный и статический моменты;

ω, φ – угловые скорость и перемещение вала двигателя;

R – сопротивление якорной цепи;

L – индуктивность якорной обмотки;

C – моментная постоянная;

$J_{\Sigma} = J_a + J_{пр}$ – суммарный момент инерции на валу двигателя, равный сумме момента инерции якоря J_a и приведенного момента нагрузки $J_{пр}$.

Системе (2.1) отвечает структурная схема (рис. 2.1). На схеме T, T_m – электромагнитная и электромеханическая постоянные времени ЭП.

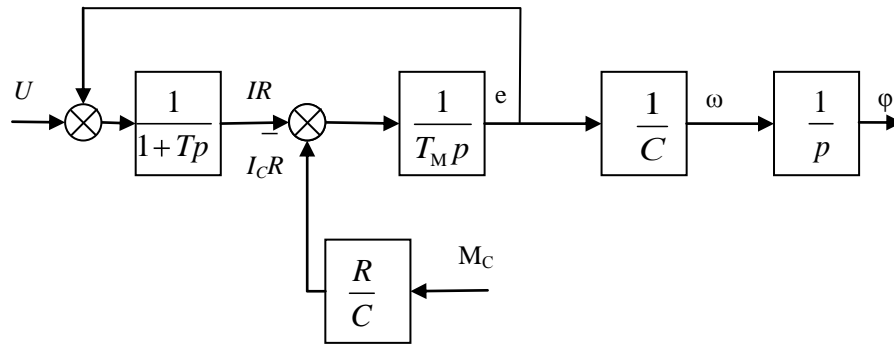


Рис. 2.1

Параметры ЭП рассчитываются по приводимым в справочниках данным с помощью следующих формул:
сопротивление якоря

$$R \approx \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}} \frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}}, \quad (2.2)$$

где $U_{\text{НОМ}}$, $I_{\text{НОМ}}$, $\eta_{\text{НОМ}}$ – номинальные значения напряжения, тока якоря и КПД;
– индуктивность якорной обмотки

$$L = 0,6 \frac{U_{\text{НОМ}}}{p \omega_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}}}, \quad (2.3)$$

где $\omega_{\text{НОМ}}$ – номинальная скорость в рад/с;
 p – количество пар магнитных полюсов;
– моментная постоянная

$$C \approx \frac{U_{\text{НОМ}} - I_{\text{НОМ}} R}{\omega_{\text{НОМ}}}, \quad (2.4)$$

– электромагнитная постоянная времени

$$T = \frac{L}{R}, \quad (2.5)$$

– электромеханическая постоянная времени (J_{Σ} полагаем известным)

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} R}{C^2}. \quad (2.6)$$

Исходя из структурной схеме нетрудно определить передаточные функции двигателя по задающему воздействию U :

$$W_{U, \omega}(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{1/C}{T_M T p^2 + T_M p + 1} \quad (2.7)$$

и по возмущающему воздействию M_C

$$W_{M_C, \omega}(p) = \frac{\omega(p)}{M_C(p)} = -\frac{\frac{R}{C^2} (1+Tp)}{T_M Tp^2 + T_M p + 1}. \quad (2.8)$$

При работе двигателя под нагрузкой обычно выполняется соотношение $T_M \gg T$. В этом случае в (2.7), (2.8) знаменатель может быть с достаточной точностью выражен более удобной формулой:

$$T_M Tp^2 + T_M p + 1 = T_M p + 1 \quad Tp + 1. \quad (2.9)$$

Ниже используются передаточные функции со знаменателем в виде (2.9). В частности, передаточная функция по току имеет вид

$$W_{U, IR}(p) = \frac{I(p)R}{U(p)} \cong \frac{T_M p}{T_M p + 1 \quad Tp + 1}. \quad (2.10)$$

Знание передаточных функций дает возможность найти выражение для выходных координат ЭП (ток I , угловая скорость ω , угловое перемещение φ) по заданным входным координатам (напряжение U , статический момент M_C).

Например, найдем выражения для тока и угловой скорости при подаче на вход двигателя скачка напряжения величиной U_0 (статический момент полагаем равным нулю).

Операторное изображение тока (точнее, пропорциональной току величины) с учетом (2.10)

$$RI \ p = U_0 W_{U, IR}(p) = \frac{U_0}{p} \frac{T_M p}{T_M p + 1 \quad Tp + 1}. \quad (2.11)$$

Пользуясь обратным преобразованием Лапласа, находим ток:

$$i(t) = \frac{1}{R} L^{-1}[RI(p)] = \frac{U_0 T_M}{R T_M - T} \left(e^{-\frac{t}{T_M}} - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (2.12)$$

Скорость $\omega(t)$ находим аналогично:

$$\omega(p) = U_0(p) W_{U, \omega}(p) = \frac{U_0}{p} \frac{1/C}{T_M p + 1 \quad Tp + 1}, \quad (2.13)$$

$$\omega(t) = L^{-1}[U_0(p) W_{U, \omega}(p)] = \frac{U_0}{C} \left(1 - \frac{T_M}{T_M - T} e^{-\frac{t}{T_M}} + \frac{T}{T_M - T} e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (2.14)$$

Диаграммы тока и скорости приведены на рис. 2.2.

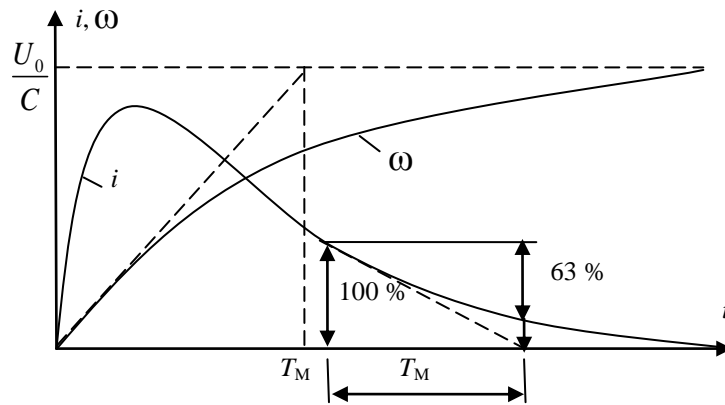


Рис. 2.2

Нарастание тока происходит с постоянной времени T , а спад – с постоянной времени T_M . Этим пользуются для опытного определения электрохимической постоянной T_M . При подаче ступеньки напряжения на якорь на осциллограмме тока проводят подкасательную (см. рис. 2.2). Как найти T_M – видно из рисунка.

Установившиеся значения тока и скорости можно найти непосредственно из операторных выражений (2.11), (2.13) с помощью теоремы о конечном значении: для непериодического входного воздействия установившееся значение выходной переменной $y(t)$ определяется по формуле

$$y(t)_{t \rightarrow \infty} = \left[p x(p) W_{xy}(p) \right]_{p \rightarrow 0}, \quad (2.15)$$

где $x(p)$ – операторное изображение входной величины;

$W_{xy}(p) = y(p) / x(p)$ – передаточная функция.

Например, из (2.11), (2.15) можно найти установившийся ток

$$Ri(t)_{t \rightarrow \infty} = \left[p \frac{U_0}{p} \frac{1/C}{T_M p + 1} \frac{1}{Tp + 1} \right]_{p \rightarrow 0} = 0, \quad (2.16)$$

из (2.13), (2.15) – установившуюся скорость

$$\omega(t)_{t \rightarrow \infty} = \left[p \frac{U_0}{p} \frac{1/C}{T_M p + 1} \frac{1}{Tp + 1} \right]_{p \rightarrow 0} = \frac{U_0}{C}. \quad (2.17)$$

Выясним, как влияет на скорость статический момент. Пусть при нулевом напряжении на входе к валу приложен момент $M_C = \text{const}$. Тогда скорость вращения вала под влиянием M_C установится равной (2.8), (2.15)

$$\omega(t)_{t \rightarrow \infty} = \left[p \frac{M_C}{p} \frac{-R}{C^2} \frac{Tp + 1}{T_M p + 1} \frac{1}{Tp + 1} \right]_{p \rightarrow 0} = -M_C \frac{R}{C^2}. \quad (2.18)$$

Какое напряжение нужно приложить к входу, чтобы уравновесить действие статического момента? Из структурной схемы очевидно, что при $\omega = \text{const}$, т. е. при $e = \text{const}$, на входе интегратора должен быть нуль, т. е.

$$IR - I_C R = 0 \quad (2.19)$$

или

$$(U - e) \frac{1}{1 + Tp} - M_C \frac{R}{C} = 0. \quad (2.20)$$

В установившемся режиме $p=0$. Поскольку вал неподвижен, $e=0$. Получаем, что момент M_C уравнивается напряжением $U = M_C \frac{R}{C}$.

Домашнее задание

1. Изучить раздел «Математическое описание АСУЭП» [3, с. 50 – 61] и общие сведения, изложенные в данных методических указаниях.

2. Рассчитать параметры R, L, C, T, T_m для двигателя, справочные данные которого приведены в табл. 2.1. Использовать формулы (2.2) – (2.6).

3. Согласно рис. 2.1 изобразить структурную схему рассчитанного двигателя, подставив в нее численные значения параметров.

4. Рассчитать и построить диаграммы тока якоря, противоЭДС и угловой скорости при подаче на вход двигателя скачка напряжения номинальной величины (U_H в табл.2.1). Использовать формулы (2.12), (2.14), (2.15).

Таблица 2.1

№ вар.	Тип двигателя	$U_H, В$	$P_H, Вт$	$n, об/мин$	$M_H, Н·м$	$I_H, А$	$\eta, \%$	$J_a, кг·м^2$
1	ДП-40	27	25	6000	0,04	1,24	74	$2 \cdot 10^{-5}$
2	ДП-50	27	60	3000	0,143	3,2	75	$2,5 \cdot 10^{-5}$
3	ДК-1,7	36	180	1000	1,7	8,0	65	$1,1 \cdot 10^{-3}$
4	2ДПМ-0,8	60	180	1500	0,8	4,0	75	$2,4 \cdot 10^{-3}$
5	ПБВ-100	52	750	1000	7,1	18,0	72	$1 \cdot 10^{-2}$
6	ДПУ-160	36	180	3000	0,57	7,0	71	$2,8 \cdot 10^{-4}$

Последовательность выполнения работы

1. В режиме «Блок» набрать структурную схему двигателя (п. 3 домашнего задания). На вход двигателя подать ступеньку номинального напряжения (задающее воздействие); на вход M_C подать ступеньку величиной – 0 В (возмущающее воздействие). В обеих ступеньках время сдвига оставить нулевым.

2. Войти в режим «Файл». Набранную структуру сохранить на дискете, создав Ваш персональный файл.

3. В режиме «Моделирование»:

– пометить выходы, соответствующие входному сигналу, току якоря и противоЭДС;

– установить время моделирования $6T_M$ с при числе шагов 1000 (число шагов во всех опытах оставлять равным 1000);

– дать старт моделированию.

Набранную структуру при моделировании сохранять на виртуальном диске .

4. В режиме «Результат» вывести на экран графики входного сигнала $U(t)$ переходных процессов тока $i(t)$, противоЭДС $e(t)$ и скорости $\omega(t)$. Срисовать их и сравнить с построенными в домашнем задании.

5. Уменьшить электромеханическую постоянную T_M до значения электромагнитной постоянной T . Повторить пп. 3 и 4.

6. Увеличить T_M до значения не менее $12T$. Повторить п. 3 и 4.

7. Записать время t_p , за которое переходный процесс практически заканчивается. Вместо ступеньки подать на вход двигателя импульс напряжения с амплитудой U и длительностью t_p . Для этого соединить вход двигателя с выходом следующей структурной схемы (рис. 2.3).

8. В режиме «Моделирование» пометить выход сумматора в источнике сигнала (рис. 2.3) и выход, отвечающий угловому перемещению.

Моделировать переходный процесс в течение $2t_p$. Повторить п. 4, добавив диаграммы углового перемещения и ступеньки на входе.

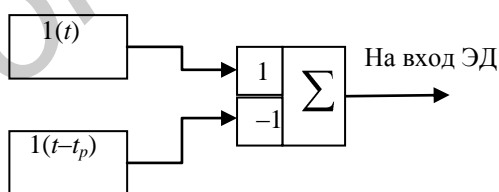


Рис. 2.3

9. В режиме «Параметры» ввести в блок «Ступенька» на входе статического момента M_C следующие параметры: $M_C = 0,3M_H$, время задержки $T = 0,6t_p$. Повторить п. 8.

10. В блоке «Ступенька» статического момента установить значение $T = 2t_p$. Повторить п. 8.

11. Установить режим «Параметры». В блоке «Ступенька» статического момента ввести $M_C = 0$.

12. В режиме «Блоки» вместо источника сигнала на рис. 2.3 ввести блок «Квадратичная функция» с параметрами $k_1 = 1; k_2 = 1; k_3 = 0$.

13. При времени моделирования $10T_m$ повторить пп. 3, 4. Убедиться в том, что при линейно нарастающем входном напряжении ток двигателя постоянен, а противоЭДС отстает от задающего воздействия.

Оформить результаты в виде отчета.

Вопросы к лабораторной работе

1. Какому типовому динамическому звену отвечает передаточная функция ЭДПТ?

2. Как изменяется колебательность переходных процессов с ростом электромагнитной постоянной времени?

3. Какой постоянной времени (электромагнитной или электромеханической) определяется диаграмма угловой скорости при подаче ступеньки напряжения на вход?

4. Какой математической зависимостью связаны ток якоря и угловая скорость ЭДПТ при нулевом статическом моменте?

5. Как найти установившееся значение выходной переменной при непериодическом входном воздействии?

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Цель работы

Приобрести навыки оценки устойчивости и качества регулирования в замкнутых системах электропривода. С помощью моделирования исследовать динамику следящего электропривода с пропорциональным регулятором в контуре управления.

Основные сведения

При необходимости точного воспроизведения задающего воздействия в широком диапазоне применяются замкнутые системы управления электроприводом (СУЭП). Типовая структура замкнутой СУЭП с двигателем постоянного тока приведена на рис. 3.1.

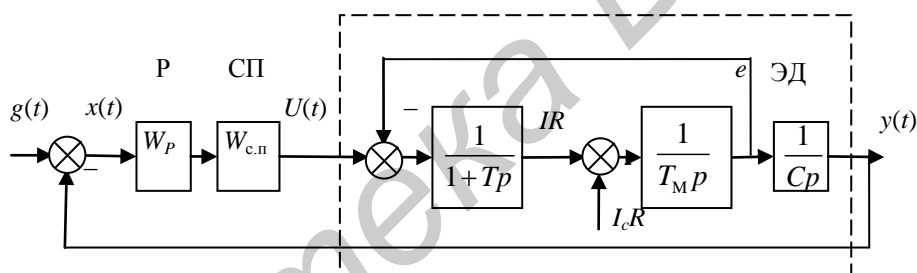


Рис. 3.1

Здесь P – регулятор (корректирующее устройство) с передаточной функцией $W_p(p)$;

$СП$ – силовой преобразователь с передаточной функцией $W_{c.п}(p)$;

$ЭД$ – электродвигатель постоянного тока, выступающий в качестве объекта управления.

Сигналы в схеме:

$g(t)$ – задающее воздействие;

$x(t)$ – ошибка (рассогласование);

$U(t)$ – управляющее воздействие;

$y(t)$ – регулируемая переменная.

Системы, воспроизводящие задание $g(t)$, закон изменения которого заранее не известен, называются следящими. Обычно отслеживается угловое пере-

мещение $\varphi(t)$. Характерной особенностью структурных схем следящих СУЭП является единичный коэффициент обратной связи.

Замкнутые СУЭП со структурой, показанной на рис. 3.1, отличаются друг от друга лишь передаточной функцией регулятора. В простейшем случае регулятор представляет собой усилитель и задает пропорциональный закон управления. Такой регулятор, называемый пропорциональным, входит в состав СУЭП, исследуемой в данной работе.

Основная задача следящей СУЭП – обеспечить с необходимой точностью выполнение условия

$$x(t) = g(t) - y(t) = 0 \quad (3.1)$$

во всех режимах работы СУЭП. Реально это невозможно: задающее воздействие воспроизводится на выходе с запаздыванием или даже с установившейся ошибкой, но чем короче промежутки времени, когда нарушается (3.1), тем выше качество регулирования.

Количественно качество регулирования оценивают не по ошибке $x(t)$ (она меняется в процессе работы), а по специальным критериям, характеризующим реакцию системы на единичную ступеньку (рис. 3.2).

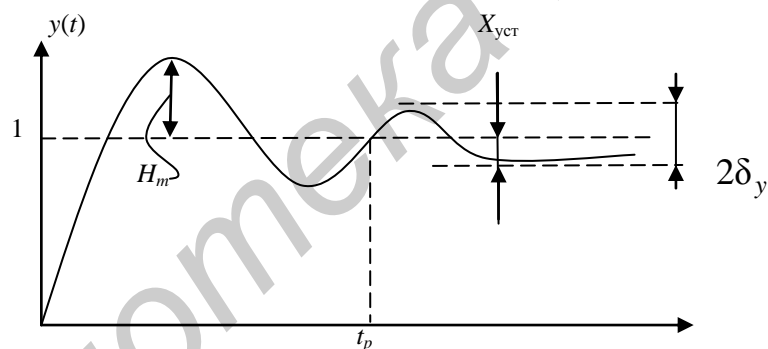


Рис. 3.2

К числу критериев качества относятся следующие.

1. Перерегулирование

$$H_m = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100 \%$$

характеризует склонность системы к колебаниям.

2. Время регулирования t_p , за которое переходный процесс практически заканчивается, т. е. входит в 5 %-ную трубку отклонений от установившегося значения, когда

$$\frac{\delta_y}{y} = \frac{y(t) - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100 \% \leq 5 \%$$

Время регулирования характеризует быстродействие системы.

3. Ошибка в установившемся режиме $y_{уст}$, которая характеризует точность системы.

Критерии качества 1 – 3 называются прямыми. Для их расчета необходим график переходной функции, которым на практике инженер располагает не всегда. Поэтому разработаны так называемые косвенные показатели качества, позволяющие приближенно оценить качество системы по виду ее передаточной функции. Перерегулирование и время регулирования оцениваются по формулам

$$H_m(\%) \cong 73 - \Delta\varphi(\omega_c). \quad (3.2)$$

Здесь ω_c - частота среза;

$\Delta\varphi(\omega_c)$ – запас по фазе – отыскиваются по передаточной функции или по ЛЧХ системы. Установившаяся ошибка отслеживания непериодических сигналов вычисляется по теореме о конечном значении (см. лабораторную работу №2).

Важнейшей характеристикой работоспособности замкнутой СУЭП является ее устойчивость, т. е. способность приходить в установившееся состояние после снятия входных и возмущающих воздействий. Устойчивость систем 3-го и 4-го порядка удобно оценивать по алгебраическому критерию Гурвица. Критерий связывает условия устойчивости замкнутой системы с коэффициентами ее характеристического полинома.

Пусть передаточная функция замкнутой системы 4-го порядка имеет вид

$$W_0(p) = \frac{M(p)}{D(p)} = \frac{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{c_4 p^4 + c_3 p^3 + c_2 p^2 + c_1 p + c_0},$$

где $D(p) = c_4 p^4 + c_3 p^3 + c_2 p^2 + c_1 p + c_0$ – характеристический полином.

Критерий Гурвица гласит: система устойчива, если все коэффициенты характеристического полинома положительны и выполняются неравенства:

– для системы 4-го порядка

$$c_3 c_1 c_2 - c_0 c_3 - c_1^2 c_4 > 0;$$

– для системы 3-го порядка $c_4 = 0$

$$c_1 c_2 - c_0 c_3 > 0.$$

Системы 2-го и 1-го порядка при положительных коэффициентах характеристического полинома устойчивы всегда.

Домашнее задание

1. Изучить разделы «Оценка качества регулирования» [1, с. 201 – 210; 232 – 238 или 2, с. 179 – 189] и «Критерии устойчивости» [1, с. 133 – 139 или 2, с. 114 – 137], а также общие сведения, изложенные в методических указаниях.

2. Изобразить структурную схему СУЭП, аналогичную рис. 3.1, подставив в нее параметры электродвигателя, рассчитанные в п. 2 домашнего задания к лабораторной работе №2 (см. табл. 2.1).

3. Записать передаточную функцию полученной СУЭП.

4. По выражению для передаточной функции, пользуясь критерием Гурвица, найти максимальное значение $k_{p\max}$ коэффициента усиления П-регулятора, при котором СУЭП достигает границы устойчивости.

5. По выражению для передаточной функции найти частоту среза ω_c и запас по фазе $\Delta\varphi(\omega_c)$ для $k_p = 0,1k_{p\max}$. Рассчитать перерегулирование H_m и время регулирования t_p (3.2), (3.3).

Последовательность выполнения работы

1. В режиме «Файл» загрузить из вашего персонального файла на дискете структурную схему электродвигателя, набранную при выполнении лабораторной работы №2.

2. В режиме «Блоки» дополнить схему до следящей СУЭП с пропорциональным регулятором (п. 2 домашнего задания). На вход СУЭП подать единичную ступеньку. Установить коэффициент усиления регулятора $k_p = 0,1k_{p\max}$ (пп. 4, 5 домашнего задания).

3. В режиме «Файл» набранную структурную схему сохранить на дискете в вашем персональном файле для использования в лабораторной работе №4.

4. В режиме «Моделирование»:

– пометить выходы блоков, соответствующие задающему воздействию $g(t)$, управляющему воздействию $U(t)$, току $i(t)$, противоЭДС $e(t)$ (она пропорциональна угловой скорости) и угловому перемещению $\varphi(t)$;

– установить время моделирования равным $6T_M$ с;

– дать старт моделированию.

Набранную структуру при моделировании сохранять на виртуальном диске!

5. В режиме «Результат» вывести на экран диаграммы всех помеченных переменных. Если время моделирования было выбрано неудачно, повторить моделирование, задав более подходящий параметр времени.

6. Зарисовать полученные диаграммы. Для переходной характеристики $\varphi(t)$ оценить величины перерегулирования и времени регулирования. Сравнить их с рассчитанными в домашнем задании.

7. В режиме «Блоки» подать на вход СУЭП линейную функцию $g(t) = t$.

8. Повторить пп. 4, 5. Убедиться, что линейная функция отслеживается системой с постоянной ошибкой.

9. В режиме «Блоки» подать на вход СУЭП квадратичную функцию $g(t) = t^2$.

10. Повторить пп. 4, 5. Убедиться, что СУЭП не отслеживает квадратичной функции, т. е. ошибка $x(t)$ со временем нарастает.

11. В режиме «Блоки» вновь подать на вход СУЭП единичную ступеньку. Увеличить коэффициент передачи П-регулятора до $k_p = 0,5k_{p\max}$. Повторить пп. 4, 5. Как изменилась колебательность переходных процессов? Время регулирования?

12. Увеличить коэффициент передачи П-регулятора до $k_p = k_{p\max}$. Повторить моделирование. Убедиться в том, что система теряет устойчивость. Сделать вывод о применимости П-регулятора в следящей системе. Оформить результаты в виде отчета.

Вопросы к лабораторной работе

1. В чем состоят достоинства и недостатки принципа замкнутого управления?

2. Как влияет величина коэффициента передачи П-регулятора на качество регулирования? На устойчивость СУЭП?

3. Как оценить показатели качества по передаточной функции системы?

4. Как влияет расположение корней характеристического полинома на величину запаса по фазе? На устойчивость СУЭП?

5. Почему замкнутые СУЭП теряют устойчивость? Сформулировать критерий устойчивости Найквиста.

6. Дать оценку достоинствам и недостаткам следящей СУЭП с П-регулятором для случаев: а) слежения за скоростью; б) слежения за перемещением вала.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С НАСТРОЙКОЙ НА МОДУЛЬНЫЙ ОПТИМУМ

Цель работы

Приобрести навыки коррекции частотной характеристики замкнутой СУ-ЭП методом компенсации главной инерционности. С помощью моделирования исследовать динамику следящего электропривода, настроенного на модульный оптимум.

Основные сведения

При подаче на вход объекта управления (ОУ) ступенчатой функции идеальной формой переходного процесса на выходе ОУ была бы также ступенчатая функция. Реально этого не происходит ввиду инерционности ОУ. В простейшем случае ОУ можно рассматривать как апериодическое звено, инерционность которого характеризуется постоянной времени T_M .

$$W_{o.y} p = \frac{k}{1 + T_M p}. \quad (4.1)$$

Его реакция $h(t)$ на ступенчатое входное воздействие представляет собой экспоненту (рис. 4.1).

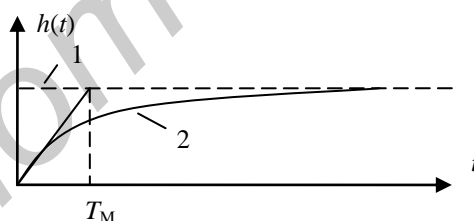


Рис. 4.1

Кривая 1 изображает идеальную реакцию, а кривая 2 – реальную. Чем меньше величина T_M , тем ближе реальный переходный процесс к идеальному.

Чтобы улучшить форму переходного процесса, на входе ОУ включают корректирующее устройство (регулятор), компенсирующее постоянную времени T_M (рис. 4.2).

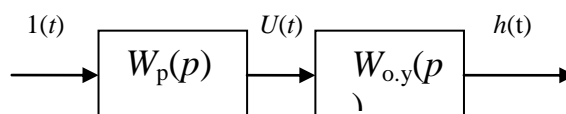


Рис. 4.2

В случае ОУ с передаточной функцией (4.1) для компенсации инерционности потребуется реальное форсирующее звено с передаточной функцией

$$W_p(p) = \frac{T_M p + 1}{\tau p + 1}. \quad (4.2)$$

Тогда результирующая передаточная функция

$$W(p) = W_p(p) W_{o.y.}(p) = \frac{k}{\tau p + 1} \quad (4.3)$$

представляет собой снова апериодическое звено, но с постоянной времени $\tau \ll T_M$. Переходный процесс на выходе звена (4.3) заканчивается гораздо быстрее, чем на выходе исходного звена (4.1).

Таким образом, математическая компенсация инерционности заключается во введении регулятора с передаточной функцией обратной передаточной функции инерционного ОУ.

Что же происходит физически? За счет чего ускоряется переходный процесс? Для ответа на этот вопрос вспомним, что переходная характеристика форсирующего звена (4.2) имеет вид представленный на рис. 4.3.

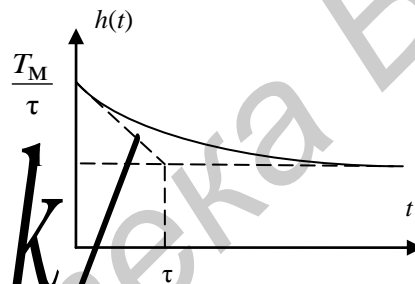


Рис. 4.3

Ступеньке напряжения на входе отвечает «всплеск» напряжения на выходе. Амплитуда «всплеска» приблизительно в T_M/τ раз больше входного напряжения. Именно этот «всплеск» форсирует движение ОУ к новому установившемуся значению.

Рассмотрим процедуру компенсации инерционности применительно к электроприводу (рис. 4.4).

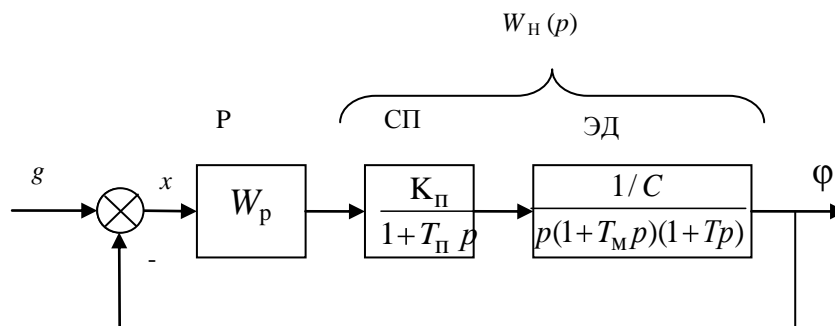


Рис. 4.4

Здесь P – регулятор;

СП – силовой преобразователь;

ЭД – электродвигатель с приведенной нагрузкой, в котором $T_M \gg T$.

Силовой преобразователь и двигатель в совокупности образуют неизменяемую часть СУЭП с передаточной функцией

$$W_{\text{н}} p = W_{\text{с.п}} p W_{\text{эд}} p = \frac{k_{\text{н}}}{p(T_M p + 1)(T p + 1)(T_{\text{п}} p + 1)}. \quad (4.4)$$

Здесь $k_{\text{н}} = K_{\text{п}} / C$.

В неизменяемой части выделяют одну (редко две) главную инерционность, характеризующую наибольшей постоянной времени и подлежащую компенсации. В электроприводе это обычно электромеханическая постоянная времени T_M . Остальные постоянные времени ($T, T_{\text{п}}$) объединяют в виде τ_i – суммы малых постоянных времени неизменяемой части:

$$\tau_{\text{н}} = T + T_{\text{п}}. \quad (4.5)$$

Иногда $\tau_{\text{н}}$ называют некомпенсируемой постоянной времени. Таким образом, неизменяемая часть системы аппроксимируется передаточной функцией, содержащей не более двух инерционных звеньев,

$$W_{\text{н}} p \cong \frac{k_{\text{н}}}{p(T_M p + 1)(\tau_{\text{н}} p + 1)}. \quad (4.6)$$

Множитель « p » в знаменателе присутствует только в системах слежения за угловым перемещением. Если регулируется угловая скорость, то множитель « p » отсутствует (система статическая).

Очевидно, что для компенсации главной инерционности T_M необходим пропорционально-дифференциальный регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{р}} p = \frac{k_{\text{р}}(T_M p + 1)}{\tau_{\text{р}} p + 1}. \quad (4.7)$$

Паразитная постоянная времени $\tau_{\text{р}}$ выбирается меньше $\tau_{\text{н}}$. Тогда передаточная функция разомкнутого контура СУЭП равна

$$W p = W_{\text{р}} p W_{\text{н}} p \cong \frac{k_{\text{р}} k_{\text{н}}}{p(\tau_{\Sigma} p + 1)}, \quad (4.8)$$

где $\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{р}}$.

Коэффициент усиления регулятора $k_{\text{р}}$ выбирается так, чтобы свести к минимуму перерегулирование в переходном процессе при сохранении достаточно высокого быстродействия. Практика показывает, что это достигается при

$$k_{\text{р}} = \frac{1}{2\tau_{\Sigma} k_{\text{н}}}. \quad (4.9)$$

Тогда окончательно передаточная функция разомкнутого контура СУЭП

$$W(p) = \frac{\varphi(p)}{x(p)} = \frac{1}{2\tau_{\Sigma}p(1+\tau_{\Sigma}p)}, \quad (4.10)$$

СУЭП с передаточной функцией (4.10) называются настроенными на модульный оптимум (МО). Название обусловлено тем, что при настройке контура на МО в рабочей полосе частот модуль передаточной функции замкнутой системы близок к единице, т. е. оптимален. Такой настройке отвечает переходный процесс с перерегулированием $H_m = 4,3\%$ и временем регулирования $t_p = 4,7\tau_{\Sigma}$, т. е. показатели качества достаточно высоки для многих практических задач. В связи с этим настройка СУЭП на МО широко распространена в инженерной практике.

Домашнее задание

1. Изучить параграф «Стандартные настройки регулируемого электропривода» [4, с. 316 – 326], а также общие сведения, изложенные в методических указаниях.

2. Изобразить структурную схему СУЭП, аналогичную рис. 4.4, подставив в нее параметры электродвигателя, рассчитанные в п. 2 домашнего задания к лабораторной работе №2 (см. табл. 2.1). Принять значение электромеханической постоянной времени с учетом приведенной нагрузки $T_m = (10-20)T$. Коэффициент усиления силового преобразователя принять равным $k_{\Pi} = 1$; постоянную времени $T_{\Pi} = 0,1T$ (здесь T – электромагнитная постоянная двигателя).

3. Рассчитать параметры неизменяемой части системы: коэффициента усиления k_H (4.4) и некомпенсированной постоянной времени τ_H (4.5).

4. Полагая постоянную времени регулятора $t_p = 0,5\tau_H$, вычислить τ_{Σ} (4.8). Рассчитать коэффициент усиления k_p регулятора (4.9).

5. Записать передаточную функцию разомкнутого контура СУЭП (4.10), подставив численное значение τ_{Σ} . Построить ЛАХ контура. Рассчитать частоту среза ω_c , запас по фазе $\Delta\varphi(\omega_c)$ и показатели качества перерегулирование H_m и время регулирования t_p по формулам (3.2), (3.3).

Последовательность выполнения работы

1. В режиме «Файл» загрузить из вашего персонального файла на диске структурную схему следящей СУЭП с пропорциональным регулятором, набранную при выполнении лабораторной работы №3.

2. В режиме «Блоки» дополнить схему до рассчитанной дома СУЭП, настроенной на МО. Для этого необходимо:

- вместо безынерционного усилителя в роли силового преобразователя ввести апериодическое звено с параметрами k_{Π}, T_{Π} (п. 2 домашнего задания);
- изменить электромеханическую постоянную времени двигателя (п. 2 домашнего задания);
- вместо пропорционального регулятора набрать структурную схему реального форсирующего звена (рис. 4.5). Параметры k_p и t_p получены в п. 4 домашнего задания.

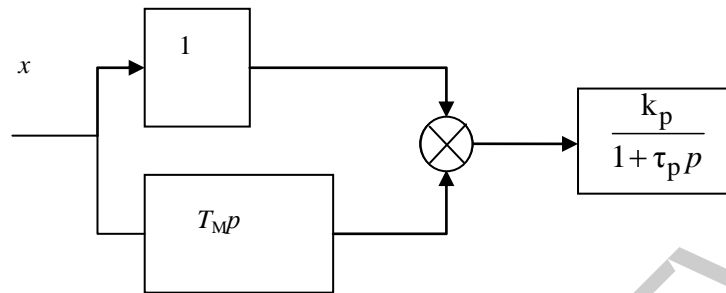


Рис. 4.5

3. В режиме «Моделирование»

- пометить выходы блоков, соответствующие задающему воздействию $g(t)$, управляющему воздействию $U(t)$, току якоря $i(t)$, противоЭДС $e(t)$, угловому перемещению $\varphi(t)$;
- установить время моделирования равным $10\tau_{\Sigma}$ с.;
- дать старт моделированию.

Набранную структуру при моделировании сохранять на виртуальном диске!

4. В режиме «Результат» вывести на экран диаграммы помеченных переменных. Если время моделирования было выбрано неудачно, повторить моделирование при более подходящем значении параметра времени.

5. Срисовать полученные диаграммы. Для переходной характеристики $\varphi(t)$ оценить величины перерегулирования H_m и время регулирования t_p . Сравнить их с рассчитанными в домашнем задании.

6. В режиме «Параметры» увеличить коэффициент передачи регулятора k_p вдвое. Повторить пп. 3–5. Как изменились колебательность и время регулирования?

7. Коэффициент k_p уменьшить до половины от исходного значения. Повторить пп. 3–5.

8. Сделать вывод о влиянии коэффициента усиления регулятора на форму переходного процесса. Сравнить СУЭП с П-регулятором и СУЭП, настроенную на МО. Оформить результаты в виде отчета.

Вопросы к лабораторной работе

1. Объяснить физический смысл и математическое содержание процедуры компенсации главной инерционности объекта управления.
2. Как настроить контур регулирования на модульный оптимум?
3. Каковы показатели качества системы, настроенной на модульный оптимум?
4. Как настроить контур регулирования на симметричный оптимум?
5. Каковы показатели качества системы, настроенной на симметричный оптимум?
6. В каких случаях применяется настройка на симметричный оптимум?

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М. : Наука, 1975.
2. Теория автоматического управления : учебник для вузов в 2 ч. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / А. А. Воронов [и др.]; под ред. А. А. Воронова. – М. : Высш. шк., 1986.
3. Зимин, Е. Н. Автоматическое управление электроприводами : учеб. пособие для студентов вузов / Е. Н. Зимин, В. И. Яковлев. – М. : Высш. шк., 1979.
4. Ключев, В. И. Теория электропривода : учебник для вузов / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1985.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Исследование типовых динамических звеньев	3
Лабораторная работа №2. Исследование разомкнутой системы электропривода постоянного тока	15
Лабораторная работа №3. Исследование замкнутой системы электропривода с пропорциональным регулятором	22
Лабораторная работа №4. Исследование замкнутой системы электропривода с настройкой на модульный оптимум	27
Литература.....	32

Библиотека БГУИР

Учебное издание

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА

Методические указания
к лабораторным работам
для студентов специальности 1-36 04 01
«Электронно-оптические системы и технологии»
всех форм обучения

Составители:

Свито Игорь Леонтьевич
Коваленко Валентин Максимович
Беляков Виктор Борисович

Редактор И. П. Острикова
Корректор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка Ю. Ч. Ключкевич

Подписано в печать 5.07.2011.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,9.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ 442.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6

Библиотека БГУИР

Библиотека БГУИР