

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. И. Луковников

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к курсовой работе по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 681.5.01+621.3.078.001(075.8)
ББК 32.965я73
Л84

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 20.09.2006 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Промышленная электроника» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук
Ю. В. Крышнев

Луковников, В. И.

Л84

Теория автоматического управления : метод. указания к курсовой работе по одно-им. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заоч. формы обучения / В. И. Луковников. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 37 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-718-6.

Изложены краткие теоретические сведения по дисциплине «Теория автоматического управления». Приведены задания по курсовой работе, примеры их выполнения, рекомендации по оформлению работы, перечень необходимых источников литературы.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заочной формы обучения.

**УДК 681.5.01+621.3.078.001(075.8)
ББК 32.965я73**

ISBN 978-985-420-718-6

© Луковников В. И., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности 1-53 01 05 заочной формы обучения направлена на углубление и закрепление теоретического материала на примере синтеза регуляторов, статического и динамического расчетов наиболее широко распространенной в отечественной и зарубежной практике и имеющей высокие показатели качества двухзонной системы управления электроприводом постоянного тока с подчиненными контурами регулирования токов якоря и возбуждения [1], [2].

Она выполняется в виде расчетно-пояснительной записки объемом 15–20 страниц текста, включая рисунки, схемы, графики и таблицы.

Расчеты и пояснения в записке пишутся на листах белой нелинованной бумаги стандартного размера 297 x 210 мм, а графический материал выполняется карандашом на миллиметровой бумаге того же размера.

Вычисления производятся в абсолютных единицах системы СИ, условные графические и буквенные обозначения должны соответствовать ГОСТам и ЕСКД [3].

Оформляют записку, начиная с титульного листа-обложки (Приложение 1), затем располагают бланк с заданием по курсовой работе, подписанный студентом, преподавателем и заведующим кафедрой, после чего следуют разделы:

- введение;
- функциональная схема рассчитываемого канала (зоны) регулирования;
- структурная схема канала регулирования и ее преобразования;
- анализ технического задания;
- синтез регуляторов;
- статический расчет заданного канала регулирования;
- динамический расчет канала;
- анализ полученных результатов;
- заключение;
- литература;
- содержание.

1. ЗАДАНИЕ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

В данной курсовой работе студенту предлагается синтезировать регуляторы тока и скорости, оптимизированные на технический оптимум, для якорного канала управления электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ).

Номинальные технические данные регулируемого электродвигателя студент выбирает по табл. 1.1 согласно номеру по списку в групповом журнале.

Далее в соответствии с двухзначным номером варианта, выданным студенту преподавателем, из табл. 1.2 по первой цифре варианта выбираются номинальные технические данные тиристорных преобразователей, а из табл. 1.3 по второй цифре варианта – остальные необходимые данные для расчета.

Динамический расчет заключается в определении с помощью ПЭВМ переходных процессов по скорости и току в контурах регулирования с синтезированными регуляторами при скачках напряжения задания и момента нагрузки, равных 10 % от номинальных значений.

Таблица 1.1

Номинальные технические данные электродвигателя

Номер студента по списку	Мощность P_N , кВт	Скорость n_N , об/мин	Момент M_N , Н·м	Напряжение $U_{яN}$, В	Ток якоря $I_{яN}$, А	Сопротивление якоря $R_{я}$, Ом	Индуктивность якоря $L_{я}$, мГн	Постоянная времени якоря $T_{я}$	Момент инерции якоря $J_{я}$, кг · м ²	Электрохимическая постоянная времени $T_{эм}$, мс
1	0,75	1000	7,16	52	18	–	1,18	2,05	0,01	–
2	1,1	1000	10,5	56	24	0,42	0,8	–	0,013	–
3	1,1	750	14,0	44	31,5	0,29	0,732	–	0,035	–
4	1,1	600	17,5	47	29	–	0,855	2,75	–	10,1
5	1,1	500	21,0	50	28	–	1,108	2,89	–	8,6
6	2,2	600	35,0	53	50	0,18	0,422	–	–	14,2
7	3,0	600	47,7	70	50	0,202	0,554	–	0,238	–
8	4,0	500	76,4	66	78,5	–	0,337	1,75	0,242	–
9	5,5	500	105,0	78,5	90	–	0,675	3,51	–	7,9
10	7,5	500	143,2	58	182	0,093	–	9,25	–	9,9
11	11,0	600	175,0	82	180	0,117	–	10,6	0,242	–
12	6,0	2500	22,8	400	15,3	0,513	–	14,2	0,046	–
13	6,0	2360	24,3	440	14,1	1,07	18,5	–	0,038	–
14	6,0	2200	26,0	440	15,6	3,52	18,0	–	0,083	–
15	12,8	2000	61,1	380	37,4	1,01	6,0	–	0,655	–
16	0,75	1000	7,16	52	20	0,725	–	4,6	–	13,5
17	1,0	1000	9,55	56	25	0,64	0,8	–	0,013	–
18	1,0	750	12,7	44	28	0,29	0,732	–	0,034	–

Окончание табл. 1.1

Номер студента по списку	Мощность P_N , кВт	Скорость n_N , об/мин	Момент M_N , Н·м	Напряжение $U_{яN}$, В	Ток якоря $I_{яN}$, А	Сопротивление якоря $R_я$, Ом	Индуктивность якоря $L_я$, мГн	Постоянная времени якоря $T_я$	Момент инерции якоря $J_я$, кг · м ²	Электромеханическая постоянная времени $T_{эм}$, мс
19	1,3	600	20,6	47	35	0,282	–	3,62	0,043	–
20	1,2	500	22,8	50	32	0,4	1,102	–	–	13,6
21	2,3	600	36,6	53	54	–	0,422	2,2	–	22

Таблица 1.2

Номинальные технические данные тиристорных преобразователей

Номер варианта	Коэффициент передачи тиристорного преобразователя $K_{тп}$, о. е.	Постоянная времени СИФУ с тиристорным преобразователем $T_{тп}$, мс	Сопротивление токоограничивающего реактора $R_{тр}$, мОм	Индуктивность токоограничивающего реактора $L_{тр}$, мГн	Сопротивление сглаживающего реактора $R_{ср}$, мОм	Индуктивность сглаживающего реактора $L_{ср}$, мГн
1	10	1,6	175	1,08	130	0,75
2	12	1,8	220	1,53	98,2	0,60
3	20	2,0	265	2,02	98,0	0,50
4	18	3,0	62	0,54	87,0	0,48
5	8	2,5	82	0,76	64,5	0,50
6	24	1,5	102	1,01	54,7	0,50
7	30	4,0	22,5	0,27	43,2	0,40
8	14	3,5	29,5	0,38	24,0	0,40
9	16	2,8	37,0	0,505	33,2	0,32
0	26	3,6	8,6	0,135	32,0	0,25

Таблица 1.3

Номинальные технические данные датчиков и напряжений задания

Номер варианта	Коэффициент передачи тахогенератора $K_{тг}$, о. е.	Постоянная времени тахогенератора и фильтра $T_{тг}$, мс	Постоянная времени датчика тока $T_{дт}$, мс	Сигнал задания скорости $U_{зад.с}$, В	Сигнал задания тока, $U_{зад.т}$, В
1	10	2,0	2,5	8,0	4,0
2	20	6,2	3,5	7,0	3,0
3	30	5,3	4,5	6,0	2,0

Номер варианта	Коэффициент передачи тахогенератора $K_{тр}$, о. е	Постоянная времени тахогенератора и фильтра $T_{тг}$, мс	Постоянная времени датчика тока $T_{дт}$, мс	Сигнал задания скорости $U_{зад.с}$, В	Сигнал задания тока, $U_{зад.т}$, В
4	40	4,7	3,0	5,0	3,5
5	50	2,3	2,0	4,0	2,5
6	45	1,6	1,5	4,5	4,0
7	35	2,8	2,0	5,5	2,5
8	25	3,2	3,2	6,5	3,5
9	15	1,8	2,4	7,5	2,0
0	30	2,9	1,8	8,0	3,0

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При изучении данного раздела более полную информацию можно получить в учебном пособии [1, разд. 7.3] и практическом пособии [4, разд. 1.1, 1.2]

2.1. Функциональная схема якорного канала двухзонной системы автоматического управления с подчиненными контурами регулирования токов якоря и возбуждения двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Двухзонная система автоматического управления (САУ) позволяет регулировать частоту вращения электродвигателя по двум каналам. Со стороны якорной цепи электродвигателя за счет увеличения сигнала задания якорного канала от минимального до номинального значения можно увеличивать угловую скорость двигателя от минимальной до номинальной величины. При этом канал возбуждения поддерживает магнитный поток на номинальном уровне.

Это первая зона регулирования угловой скорости двигателя, в которой регулирующую роль выполняет только якорный канал.

Если продолжать увеличивать сигнал задания якорного канала от номинального до максимального, то можно продолжать увеличивать угловую скорость двигателя от номинальной до допустимой по паспорту максимальной.

Здесь роль канала возбуждения сводится к стабилизации ЭДС якоря, поскольку его сигнал задания не меняется.

Это вторая зона регулирования угловой скорости двигателя, в которой основную регулирующую роль выполняет канал возбужде-

ния. Влиянием якорного канала можно пренебречь ввиду его более высокого быстродействия, чем канала возбуждения.

Канал управления электродвигателем по якорю имеет два контура регулирования: внешний контур регулирования скорости с обратной связью по частоте вращения от тахогенератора и, подчиненный ему, внутренний контур регулирования тока якоря с обратной связью по току якоря от шунта.

Он далее и будет рассматриваться в данной курсовой работе.

Функциональная схема якорного канала представлена на рис. 2.1, где обозначено:

AS – задатчик интенсивности, который после подачи на него скачком напряжения задания $U_{\text{зад}}$ формирует темп его нарастания, чем и определяется плавность пуска электродвигателя;

AR – регулятор скорости двигателя, обеспечивающий заданные показатели качества регулирования частоты вращения якоря ДПТ;

ALA – функциональный блок – ограничитель тока якоря в экстремальных режимах;

AA – регулятор тока якоря двигателя, обеспечивающий заданные показатели качества регулирования тока якоря;

AU – система импульсно-фазового управления тиристорным преобразователем;

UZ – тиристорный преобразователь переменного напряжения сети электропитания в регулируемое постоянное напряжение якорной обмотки двигателя;

M, LM – регулируемый электродвигатель постоянного тока и его обмотка возбуждения;

RS – шунт (резистор с очень малым сопротивлением), являющийся первичным датчиком – измерителем тока якоря;

UA – датчик тока якоря, служащий для гальванической развязки и согласования сигнала с шунта по величине с требуемым по заданию;

BR, LBR – тахогенератор и его обмотка возбуждения, являющийся датчиком скорости двигателя;

$R_{\text{зс}}$ и $R_{\text{с}}$, $R_{\text{зт}}$ и $R_{\text{т}}$ – резисторы, служащие для подачи напряжений задания и обратной связи по скорости и току якоря;

$RP, R_{\text{ф}}$, $C_{\text{ф}}$ – резисторы и конденсатор регулируемого фильтра коллекторных пульсаций тахогенератора.

Принцип действия обоих контуров регулирования якорного канала основан на принципе Ползунова-Уатта – регулировании по отклонению.

2.2. Линеаризованная структурная схема якорного канала двухзонной САУ ДПТ НВ

По функциональной схеме якорного канала (рис. 2.1) САУ составим ее структурную схему (рис. 2.2) в линеаризованном виде, исходя из следующих соображений.

Нелинейности электродвигателя и тиристорных преобразователей линеаризуем обычным порядком, записывая их дифференциальные уравнения (передаточные функции) для малых приращений управляющих и возмущающих сигналов [1], [2], [4].

Нелинейные блоки AS , ALA заменим на безынерционные пропорциональные звенья с коэффициентом передачи, равным единице, что допустимо, если рассматривать рабочие, а не предельные режимы регулирования.

Передаточные функции регуляторов будем считать неизвестными, так как их требуется определить в процессе выполнения курсовой работы для синтеза электрических схем регуляторов. На функциональной схеме САУ (рис. 2.1) регуляторы условно представлены типовыми (AR – П-регулятор; AA – ПИ-регулятор по классификации Приложения 2, что не всегда удовлетворяет заданию).

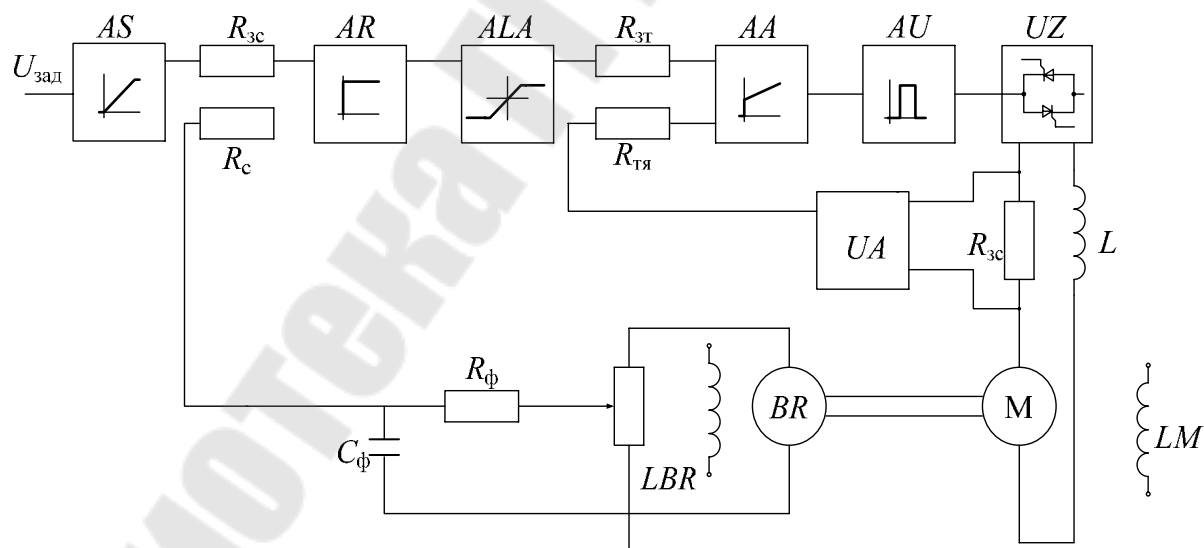


Рис. 2.1. Функциональная схема якорного канала двухзонной САУ ДПТ НВ с подчиненным регулированием тока якоря

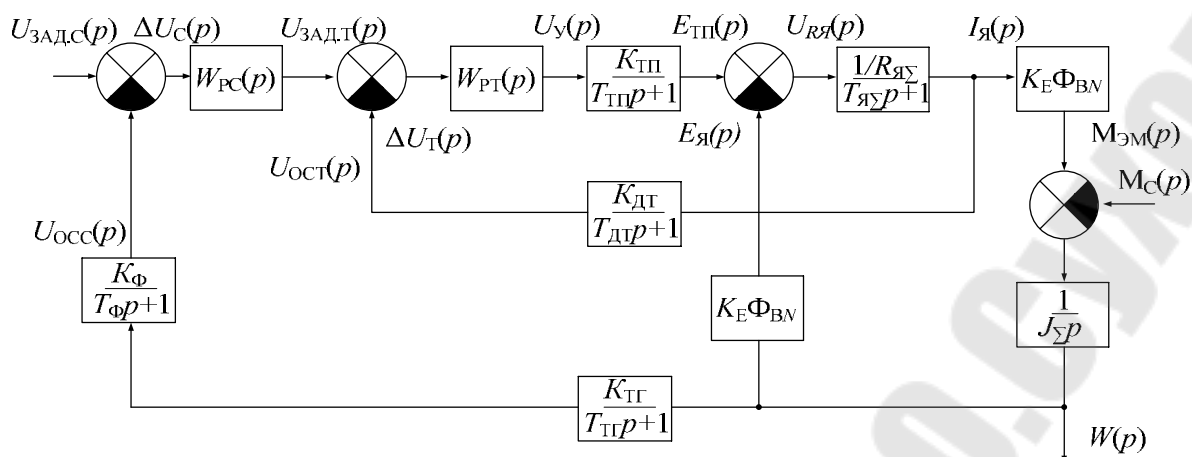


Рис. 2.2. Линеаризованная структурная схема якорного канала САУ ДПТ НВ

Операторные изображения по Лапласу отклонений сигналов управления и возмущения от установившегося значения на структурной схеме САУ, представленной на рис. 2.2, обозначены следующим образом:

- $U_{\text{зад.с}}(p)$ – сигнал задания угловой скорости двигателя;
- $U_{\text{здт}}(p)$ – сигнал задания тока якоря двигателя;
- $U_{\text{осс}}(p)$, $U_{\text{ост}}(p)$ – сигналы обратной связи по скорости двигателя и тока якоря;
- $\Delta U_{\text{с}}(p)$, $\Delta U_{\text{т}}(p)$ – сигналы рассогласования на входах регуляторов скорости и тока якоря;
- $E_{\text{тп}}(p)$ – ЭДС тиристорного преобразователя канала якоря;
- $U_{\text{у}}(p)$ – управляющий сигнал СИФУ тиристорного преобразователя канала якоря;
- $M_{\text{эм}}(p)$, $M_{\text{ст}}(p)$ – электромагнитный и статический нагрузочный моменты электродвигателя.

Передаточные функции и их параметры на структурной схеме обозначены так:

- $W_{\text{рс}}(p)$, $W_{\text{рт}}(p)$ – передаточные функции регуляторов скорости тока якоря;
- $K_{\text{тп}}$, $K_{\text{тг}}$, $K_{\text{дт}}$, $K_{\text{ф}}$ – коэффициенты передачи тиристорного преобразователя с СИФУ, тахогенератора, датчика тока якоря и фильтра.

Кроме этого, на структурной схеме обозначено:

- $R_{\text{я}\Sigma}$ – суммарное активное сопротивление якорной цепи, состоящей из обмотки якоря, токоограничивающего и сглаживающего реакторов тиристорного преобразователя;
- $T_{\text{я}\Sigma}$ – суммарная постоянная времени якорной цепи;

$K_e \Phi_N$ – коэффициент передачи двигателя;
 J_Σ – суммарный момент инерции якоря электродвигателя и нагрузки, приведенной к его валу.

2.3. Анализ технического задания

Целью анализа технического задания является получение дополнительных данных для синтеза регуляторов, отсутствующих в табл. 1.1, 1.2, 1.3.

Это можно сделать по следующим соотношениям.

Постоянная времени якорной обмотки, с:

$$T_{я} = L_{я} / R_{я}, \quad (2.1)$$

где $L_{я}$ и $R_{я}$ – индуктивность и активное сопротивление якорной обмотки.

Суммарная постоянная времени якорной цепи, с:

$$T_{я\Sigma} = L_{я\Sigma} / R_{я\Sigma}, \quad (2.2)$$

где $L_{я\Sigma} = L_{я} + L_{тр} + L_{ср}$, $R_{я\Sigma} = R_{я} + R_{тр} + R_{ср}$ – суммарные индуктивность и активное сопротивление обмотки якоря токоограничивающего и сглаживающего реакторов.

Электромеханическая постоянная времени электродвигателя, с:

$$T_{эм} = J_{я} R_{я} / (K_e \Phi_{вN})^2, \quad (2.3)$$

где $J_{я}$ – момент инерции якоря электродвигателя; $K_e \Phi_{вN} = M_N / I_{яN}$ – коэффициент передачи электродвигателя по току.

Суммарная электромеханическая постоянная времени двигателя с нагрузкой, с:

$$T_{эм\Sigma} = J_{\Sigma} R_{я\Sigma} / (K_e \Phi_{вN})^2, \quad (2.4)$$

где $J_{\Sigma} = J_{я} + J_{н}$ – суммарный момент инерции якоря двигателя и нагрузки, приведенной к его валу.

Коэффициент передачи датчика тока, $ВA^{-1}$:

$$K_{дт} = U_{задт} / I_{яN}. \quad (2.5)$$

Коэффициент передачи обратной связи по скорости, $В \cdot с$:

$$K_{осс} = K_{ф} \cdot K_{тр} = U_{зад,с} / \omega_N. \quad (2.6)$$

2.4. Преобразование структурных схем контуров регулирования к нормированному виду

Синтез регуляторов методом последовательной оптимизации по тем или иным критериям модального управления [2], [4] производят с помощью структурных схем отдельных контуров, приведенных к нормализованному виду, показанному на рис. 2.3.

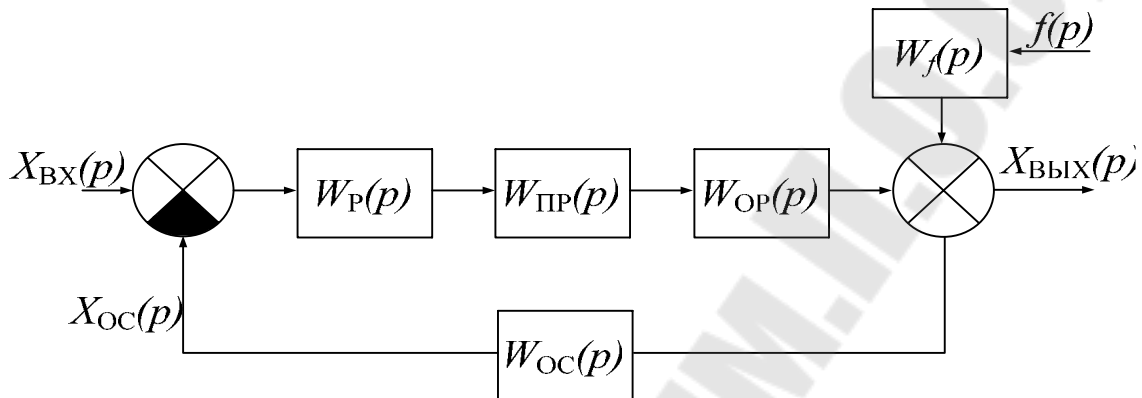


Рис. 2.3. Нормированная к синтезу структурная схема контура регулирования

На рисунке через $W_p(p)$, $W_{пр}(p)$, $W_{оп}(p)$, $W_{ос}(p)$, $W_f(p)$ обозначены передаточные функции регулятора, промежуточных блоков, объекта регулирования данного контура, обратной связи и канала возмущения.

Следует отметить, что разделение на промежуточные блоки и объект регулирования условно и оно осуществляется по величинам постоянных времени. В качестве объекта регулирования назначают звенья, постоянные времени которых превышают остальные на порядок и более.

Необходимые преобразования в исходных структурных схемах с целью приведения их к желаемому виду осуществляют с помощью правил структурных преобразований, приведенных в Приложении 2.

2.5. Порядок синтез регуляторов, оптимизированных на технический оптимум

Синтез регуляторов на технический оптимум (ТО) по структурной схеме контура регулирования, представленной на рис. 2.3, рекомендуется осуществлять в следующем порядке:

– коэффициент передачи регулятора задают равным обратной величине произведения коэффициентов передачи промежуточных

блоков, объекта регулирования, обратной связи и двух малых постоянных времени контура;

– для компенсации в прямом канале апериодических (форсирующих) звеньев с большими постоянными времени в регуляторе создают форсирующие (апериодические) звенья с теми же постоянными времени;

– если апериодического звена с малой постоянной времени в прямом канале нет, то его создают в регуляторе;

– если в прямом канале нет интегрирующего звена, то его создают в регуляторе;

– если в прямом канале несколько малых постоянных времени, то за малую постоянную времени контура регулирования принимают их сумму.

Большие и малые постоянные времени должны отличаться друг от друга не менее, чем на порядок (в 10 раз!).

При синтезе регулятора на ТО обеспечиваются очень высокие показатели качества регулирования:

- статическая ошибка по управлению $\delta_{ст} = 0$;
- перерегулирование $\sigma \% = 4,3 \%$;
- запас устойчивости по фазе $\psi_0 = 63^\circ$;
- быстродействие $t_{рег} = 8,4 T_{\mu\Sigma}$.

3. ПРИМЕР СИНТЕЗА РЕГУЛЯТОРОВ ЯКОРНОГО КАНАЛА

Регуляторы синтезируют последовательно: сначала в контуре регулирования тока якоря, а затем в контуре регулирования скорости якоря электродвигателя. Причем малая постоянная времени контура тока должна быть меньше малой постоянной времени контура скорости не менее, чем в 2 раза.

3.1. Синтез регулятора в контуре регулирования тока якоря

Выделим из общей структурной схемы якорного канала (рис. 2.2) контур регулирования тока якоря ($U_{зад\tau}(p)$ – вход, $I_{я}(p)$ – выход), который изображен на рис. 3.1. Возмущающий сигнал от момента нагрузки $M_{ст}(p)$ первоначально опустим.

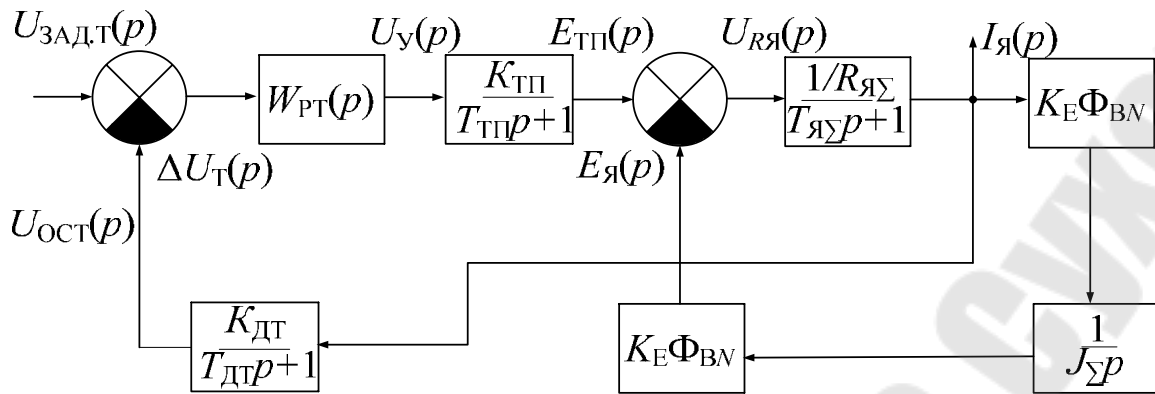


Рис. 3.1. Непреобразованная схема контура регулирования тока якоря

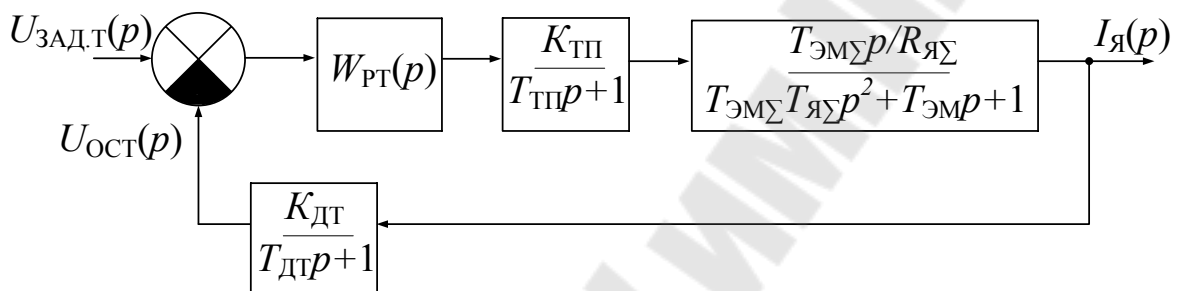


Рис. 3.2. Преобразованная структурная схема контура регулирования тока якоря

С помощью правил структурных преобразований (Приложение 2) приведем структурную схему якорного канала к нормированному виду, изображенному на рис. 3.2.

Рассмотрим знаменатель передаточной функции объекта регулирования с целью определения типа динамического звена второго порядка.

Представим его в стандартном виде:

$$T_{эмΣ} \cdot T_{яΣ} p^2 + T_{эмΣ} p + 1 = T^2 p^2 + 2\xi T p + 1,$$

где постоянная времени

$$T = \sqrt{T_{эмΣ} \cdot T_{яΣ}}, \quad (3.1)$$

а коэффициент затухания

$$\xi = T_{эмΣ} / 2T. \quad (3.2)$$

Если $\xi < 1$, то звено является колебательным. При $\xi < 0,35$ его надо компенсировать, создав в регуляторе, согласно рекомендаций п. 2.5, такое же форсирующее звено 2-го порядка.

Если $0,35 < \xi < 1$, то это звено можно приближенно заменить на два апериодических звена 1-го порядка с одинаковыми постоянными времени T так, что

$$\frac{T_{\text{ям}\Sigma} p / R_{\text{я}\Sigma}}{T_{\text{эм}\Sigma} \cdot T_{\text{я}\Sigma} p^2 + T_{\text{эм}\Sigma} p + 1} \approx \frac{T_{\text{эм}\Sigma} p / R_{\text{я}\Sigma}}{(Tp + 1)^2}.$$

Если же $\xi \geq 1$, то рассматриваемое звено является апериодическим 2-го порядка и оно может быть представлено двумя апериодическими звеньями 1-го порядка с передаточной функцией в виде:

$$\frac{T_{\text{эм}\Sigma} p / R_{\text{я}\Sigma}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$$

где $T_{1,2} = T (\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1})$ – новые постоянные времени.

В этом случае преобразованная структурная схема контура регулирования тока якоря (рис. 3.2) примет вид, представленный на рис. 3.3.

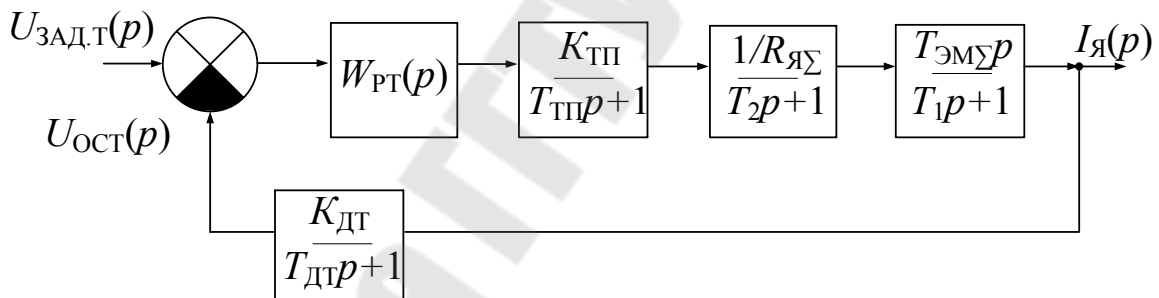


Рис. 3.3. Структурная схема контура регулирования тока якоря к примеру синтеза регуляторов якорного канала

Обычно постоянные времени $T_{\text{тп}}$, $T_{\text{дт}}$, T_2 являются малыми, поскольку T_1 превышает их более, чем на порядок.

Тогда, следуя рекомендациям п. 2.5, запишем передаточную функцию регулятора тока как

$$W_{\text{рт}}(p) = \frac{K_{\text{рт}}(T_1 p + 1)}{p^2}, \quad (3.3)$$

где $K_{\text{рт}} = \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{K_{\text{тп}} \cdot T_{\text{эм}\Sigma} \cdot K_{\text{дт}} \cdot 2T_{\text{м}\Sigma 1}}$ – коэффициент передачи регулятора

тока якоря, а $T_{\text{м}\Sigma 1} = T_{\text{тп}} + T_{\text{дт}} + T_2$ – суммарная малая постоянная времени контура регулирования тока якоря.

3.2. Синтез регулятора в контуре регулирования скорости

Поскольку синтез регуляторов в САУ подчиненного регулирования ведется последовательно от внутреннего контура к внешнему, то с помощью правил преобразования структурных схем (Приложение 2) свернем контур регулирования тока якоря (рис. 3.3) до одного звена с учетом синтеза (3.3).

Передаточная функция прямого канала контура тока якоря:

$$W_{\text{кт.п}}(p) = \frac{1}{2K_{\text{дт}}(T_{\text{тп}} + T_{\text{дт}} + T_2)p(T_{\text{тп}}p + 1)(T_2p + 1)}.$$

Тогда передаточная функция замкнутого контура тока якоря:

$$\Phi_{\text{кт}}(p) = \frac{(T_{\text{дт}}p + 1)/K_{\text{дт}}}{2(T_{\text{тп}} + T_{\text{дт}} + T_2)p(T_{\text{тп}}p + 1)(T_2p + 1)(T_{\text{дт}}p + 1) + 1}.$$

С целью получения регулятора скорости, простого в реализации и удобного в настройке, упростим полученную передаточную функцию до апериодического звена 1-го порядка:

$$\Phi_{\text{кт}}(p) \approx \frac{1/K_{\text{дт}}}{2(T_{\text{тп}} + T_{\text{дт}} + T_2)p + 1} = \frac{1/K_{\text{дт}}}{2T_{\text{м}\Sigma 1}p + 1}$$

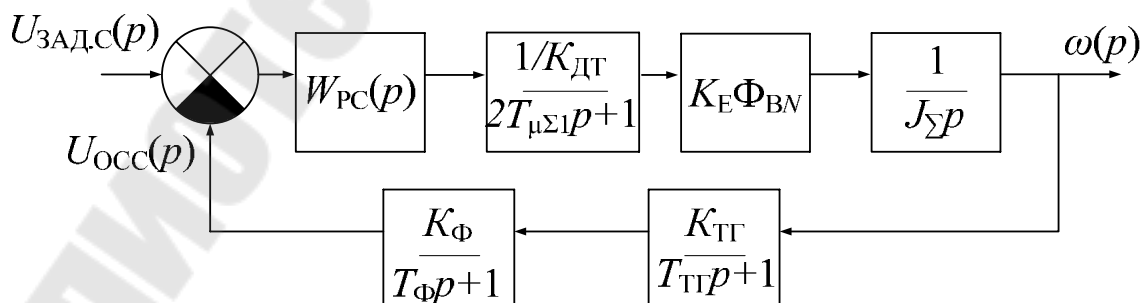


Рис. 3.4. Структурная схема контура регулирования скорости со свернутым контуром регулирования тока якоря

В этом случае структурная схема контура регулирования скорости принимает вид, показанный на рис. 3.4, и по рекомендациям п. 5 регулятор скорости будет иметь следующую передаточную функцию при условии, что все постоянные времени T_ϕ , $T_{\text{тг}}$, $2T_{\mu\Sigma 1}$ являются малыми,

$$W_{\text{pc}}(p) = \frac{K_{\text{лн}} J_\Sigma}{K_e \Phi_{\text{вН}} \cdot K_{\text{тг}} K_\phi \cdot 2T_{\mu\Sigma 2}} = K_{\text{pc}}, \quad (3.4)$$

где $T_{\mu\Sigma 2} = T_\phi + T_{\text{тг}} + 2T_{\mu\Sigma 1}$ – суммарная малая постоянная времени контура регулирования скорости; K_{pc} – коэффициент передачи регулятора скорости.

Обобщая результаты синтеза регуляторов (3.3) и (3.4), представим исходную схему канала (рис. 2.2) в конкретном виде (рис. 3.5).

Статическим и динамическим расчетом этой схемы в дальнейшем проверяется правильность синтеза регуляторов.

3.3. Проектирование электрической схемы регулятора

Пусть для рассмотренного выше примера по заданию на проект и после анализа технического задания было получено:

$$K_{\text{дт}} = 0,1 \text{ В/А}; K_\phi K_{\text{тг}} = 0,08 \text{ Вс}; K_{\text{тг}} = 20; R_{\text{я}\Sigma} = 0,8 \text{ Ом}; T_{\text{я}\Sigma} = 0,005 \text{ с}; \\ T_{\text{эм}\Sigma} = 0,05 \text{ с}; T_{\text{тг}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}; T_{\text{дт}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Тогда для расчета передаточной функции регулятора тока якоря по выражению (3.3) дополнительно найдем согласно соотношений (3.1) и (3.2):

$$T = 0,0158 \text{ с}; \xi = 1,58.$$

Поскольку $\xi > 1$, то можно вычислить новые постоянные времени ДПТ НВ:

$$T_1 = 0,0443 \text{ с}; T_2 = 0,0056 \text{ с}.$$

Из полученного видно, что в контуре тока большая постоянная времени $T_1 = 44,3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, а суммарная малая постоянная времени

$$T_{\Sigma 1} = T_{\text{тг}} + T_{\text{дт}} + T_2 = (1 + 1 + 5,6) 10^{-3} = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Передаточная функция регулятора тока в соответствии с (3.3):

$$W_{\text{рт}}(p) = \frac{526 \cdot (44,3 \cdot 10^{-3} p + 1)}{p^2}. \quad (3.5)$$

В Приложении 3 представлены типовые регуляторы линейных САУ электроприводов. Из него можно найти, что синтезированный регулятор тока якоря представляет собой последовательное соединение И-регулятора и ПИ-регулятора, схема которого изображена на рис. 3.6.

Передаточная функция этой схемы:

$$W_{\text{сх}}(p) = \left(\frac{1}{R_1 C_1 p} \right) \left(\frac{R_2 C_2 p + 1}{R_3 C_3 p} \right). \quad (3.6)$$

Сопоставляя (3.5) и (3.6), получим уравнения определения параметров регулятора:

$$K_{\text{рт}} = \frac{1}{R_1 C_1 R_3 C_3} = 526;$$

$$T_{\text{рт}} = R_2 C_2 = 44,3 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Система уравнений недостаточна, поэтому зададим ряд резисторов и конденсаторов с наиболее часто употребляемыми величинами сопротивлений и емкостей:

$$R_1 = 100 \text{ кОм}; \quad R_3 = 1 \text{ Мом}; \quad C_2 = 0,1 \text{ мкФ.}$$

$$\text{Тогда } R_2 = T_{\text{рт}}/C_2 = 44,3 \cdot 10^{-3} / 0,1 \cdot 10^{-6} = 44,3 \cdot 10^4 \text{ Ом} = 443 \text{ кОм,}$$

$$C = \frac{1}{R_1 R_3 C_2 K_{\text{рт}}} = \frac{1}{100 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 526} = 1,9 \cdot 10^{-7} \text{ Ф} = 0,19 \text{ мкФ.}$$

По шкалам резисторов и конденсаторов (Приложение 4) выберем ближайшие к рассчитанным величинам:

$$R_2 = 430 \text{ кОм}; \quad C_1 = 0,18 \text{ мкФ.}$$

Аналогичным образом синтезируется электрическая схема регулятора скорости.

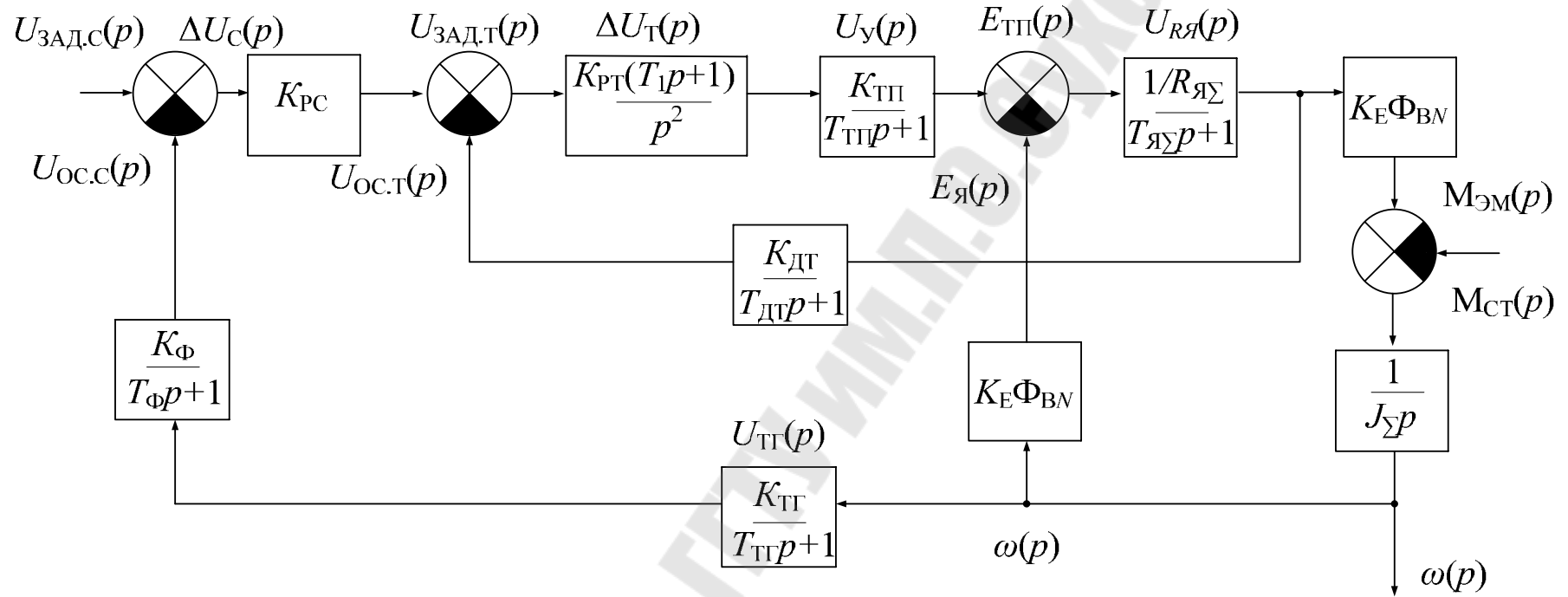


Рис. 3.5. Общая структурная схема якорного канала регулирования ДПТ НВ с синтезированными регуляторами

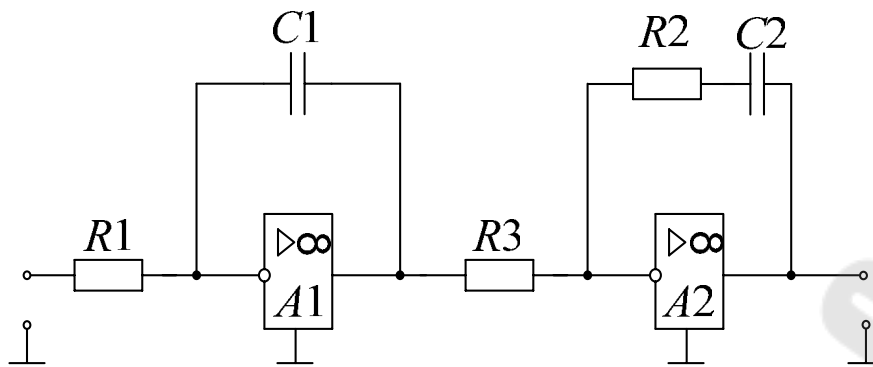


Рис. 3.6. Электрическая схема регулятора якоря к примеру п. 3.4

4. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ САУ

После синтеза регуляторов производят расчет САУ в установившемся режиме (статический расчет) с целью получения статической характеристики электропривода, расчета недостающих коэффициентов передачи, определения статической ошибки, диапазона регулирования и других технических показателей.

Этот расчет производят по уравнению привода в установившемся режиме, которое получают по его передаточным функциям при $p = 0$. Рассмотрим, как это делается на примере расчета канала регулирования электродвигателя со стороны якоря. За основу для расчета возьмем операторное уравнение канала якоря по частоте вращения в установившемся режиме:

$$\omega = \Phi_U(p) \Big|_{p=0} \cdot U_{\text{зад.с}} - \Phi_M(p) \Big|_{p=0} \cdot M_{\text{ст}}, \quad (4.1)$$

где $\Phi_U(p) \Big|_{p=0} = K_y$; $\Phi_M(p) \Big|_{p=0} = K_m$ – коэффициенты передачи замкнутой САУ по управлению ($U_{\text{зад}}$) и возмущению ($M_{\text{ст}}$).

При определении коэффициентов передачи для изложенного выше примера по общей структурной схеме (рис. 3.5) с целью упрощения аналитических преобразований в исходной структурной схеме примем $p = 0$, кроме интегрирующих звеньев, и перейдем к расчетной схеме по рис. 4.1.

Используя структурные преобразования и приравнявая $p = 0$, как только это становится возможным, получим для определения коэффициентов передачи по управлению и возмущению отдельные расчетные структурные схемы (рис. 4.2, 4.3).

По первой схеме с помощью правил структурных преобразований при $p = 0$ найдем коэффициент передачи САУ по управлению $K_y = \omega/U_{\text{зад.с}} = (K_\phi \cdot K_{\text{тг}})^{-1}$, что с учетом (2.6) дает уравнение статической характеристики управления на холостом ходу:

$$\omega = \frac{\omega_N}{U_{\text{зад.с},N}} \cdot U_{\text{зад.с}} \quad (4.2)$$

По второй схеме аналогично можно получить

$$K_M = \frac{\Delta\omega}{M_{\text{ст}}} = \frac{K_{\text{дт}}}{K_{\text{рс}} \cdot K_\phi \cdot K_{\text{пу}} \cdot K_e \Phi_{\text{вн}}},$$

что с учетом п. 2.3 дает уравнение ошибки по скорости от момента нагрузки:

$$\Delta\omega = \frac{U_{\text{зад.т}} \cdot \omega_N}{U_{\text{зад.с}} \cdot M_N \cdot K_{\text{рс}}} \cdot M_{\text{ст}} \quad (4.3)$$

Объединяя (4.2) и (4.3) в соответствии с (4.1), запишем для рассмотренного случая уравнение механической характеристики САУ:

$$\omega = K_y \cdot U_{\text{зад.с}} - K_M \cdot M_{\text{ст}} \quad (4.4)$$

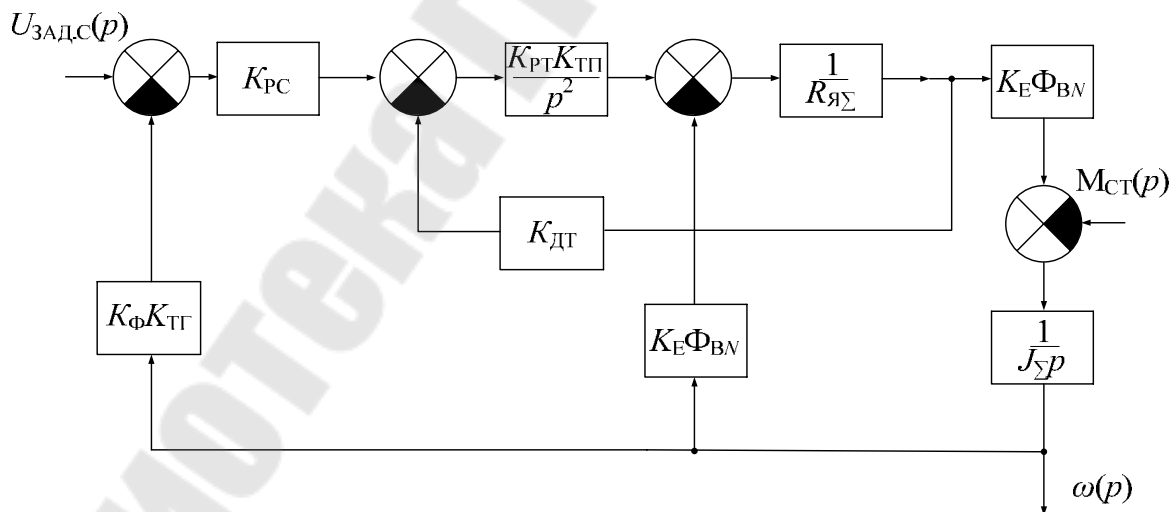


Рис. 4.1. Расчетная структурная схема для установившегося режима якорного канала управления

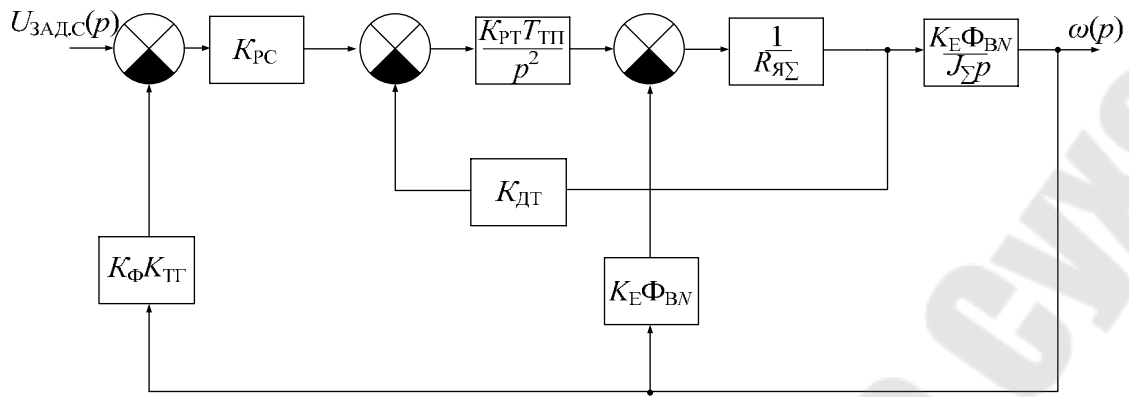


Рис. 4.2. Расчетная структурная схема для определения коэффициента передачи САУ по управлению

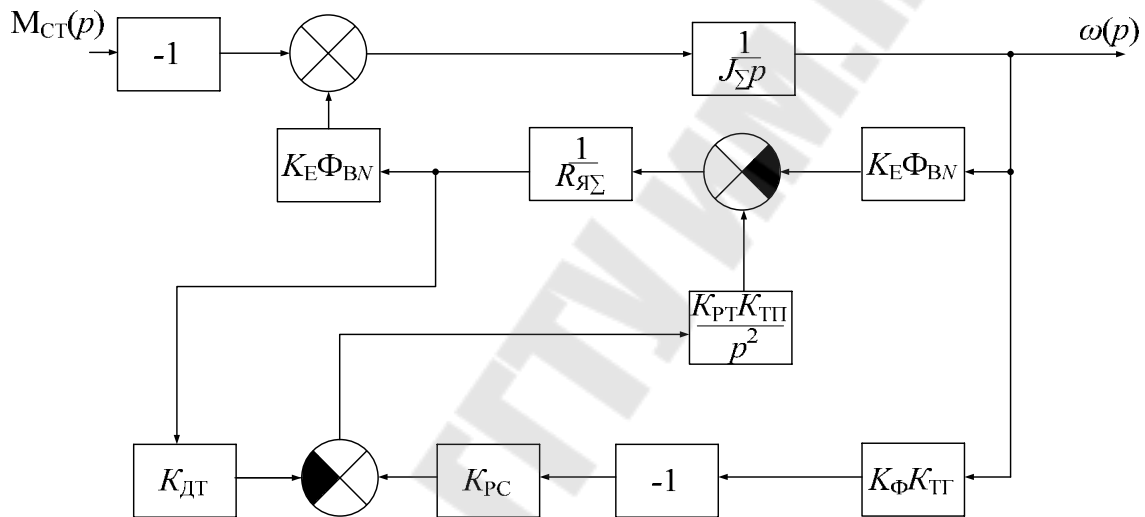


Рис. 4.3. Расчетная структурная схема для определения коэффициента передачи САУ по возмущению

Далее эти характеристики следует построить и по ним определить, соответствует ли синтез регуляторов техническому заданию.

В рассматриваемом примере видно даже по (4.2), что ошибка по управлению отсутствует, поскольку $U_{\text{зад.с}N}$ соответствует ω_N . Ошибка по моменту есть и согласно (4.3) при номинальной нагрузке $M_{\text{ст}} = M_N$ она будет равна

$$\Delta\omega_N = \frac{U_{\text{зад.т}} \cdot \omega_N}{U_{\text{зад.с}} \cdot K_{\text{рс}}}$$

Если эта ошибка превышает допустимую, то следует повторить синтез в направлении увеличения $K_{\text{рс}}$.

5. Динамический расчет САУ и анализ полученных результатов

Расчет динамики заключается в определении показателей качества регулирования САУ с синтезированными регуляторами по переходным процессам.

Переходные процессы $i_{\text{я}}(t)$ и $\omega(t)$ определяются для контура регулирования тока якоря и всего якорного канала как для скачка напряжения $U_{\text{зад.с}}$, так и для скачка момента нагрузки $M_{\text{ст}}$, равных 10 % от номинальных значений.

В качестве программного обеспечения рекомендуется использовать программу структурного моделирования SMED, разработанную на кафедре «Автоматизированный электропривод».

Описание программы и работы с ней изложено в методических указаниях [4].

Кроме того, эта программа используется при изложении дисциплины «Моделирование в автоматизированном электроприводе».

По рассчитанным переходным процессам оценивается правильность синтеза регуляторов.

В п. 2.5 было указано, что оптимизация на технический оптимум должна обеспечивать отсутствие статической ошибки по управлению $\delta_{\text{ст.у}} = 0$ (ошибка по возмущению может быть или не быть), перегулирование $\sigma \% = 4,3 \%$, быстродействие $t_{\text{рег}} = 8,4 T_{\mu\Sigma}$.

Оптимизация на симметричный оптимум (СО) должна давать отсутствие статических ошибок по управлению и возмущению, перегулирование $\sigma \% = 43,4 \%$, время регулирования $t_{\text{рег}} < 33 \cdot T_{\mu}$, и, наконец, улучшенная симметричная оптимизация (УСО) должна обеспечивать отсутствие статических ошибок по управлению и возмущению, перегулирование $\sigma \% = 8,1 \%$, время регулирования $t_{\text{рег}} < 26,6 \cdot T_{\mu}$.

Эти показатели можно взять за контрольные и путем сравнения их с полученными по рассчитанным переходным процессам сделать вывод о качестве настройки регуляторов.

Так, например, на рис. 5.1 и рис. 5.2 представлены переходные процессы в якорном канале регулирования. Причем переходные процессы в контуре тока рассчитывались при разорванном контуре регу-

лирования скорости, и сигнал задания тока якоря $U_{\text{зад.т}}$ подавался на блок сравнения.

Малые постоянные времени контуров регулирования тока якоря и скорости соответственно были равны $T_{\mu 1} = 3,33$ мс, $T_{\mu 2} = 10,34$ мс. Регулятор тока был настроен на ТО, а скорости – на СО. Ожидаемое быстродействие контуров составляет:

$$t_{\text{пер}1} = 4,2 \cdot 2 \cdot T_{\mu 1} = 8,4 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} = 27,97 \text{ мс};$$

$$t_{\text{пер}2} = 16,5 \cdot 2 \cdot T_{\mu 2} = 33 \cdot 10,34 \cdot 10^{-3} = 0,34 \text{ с}.$$

Из переходных характеристик получим при отработке задания (рис. 5.1, а, 5.2, а):

$$t_{\text{пер}1} = 38,6 \text{ мс}, t_{\text{пер}2} = 0,201 \text{ с},$$

а при отработке возмущения (рис. 5.1, б, 5.2, б):

$$t_{\text{пер}1} = 0,113 \text{ с}, t_{\text{пер}2} = 0,195 \text{ с}.$$

Причем быстродействие контура скорости в переходном процессе по возмущению следует оценивать по кривой тока, так как на кривую скорости будет оказывать влияние величина скачка момента сопротивления, и в зависимости от начального значения скорости будет изменяться величина двухпроцентной зоны.

Видно, что быстродействие контура тока хуже, а контура скорости лучше, чем ожидаемое.

Перерегулирование по рис. 5.1, а, 5.2, а $\sigma_{\%1} = 16,13 \%$, $\sigma_{\%1} = 50,67 \%$, что выше нормы.

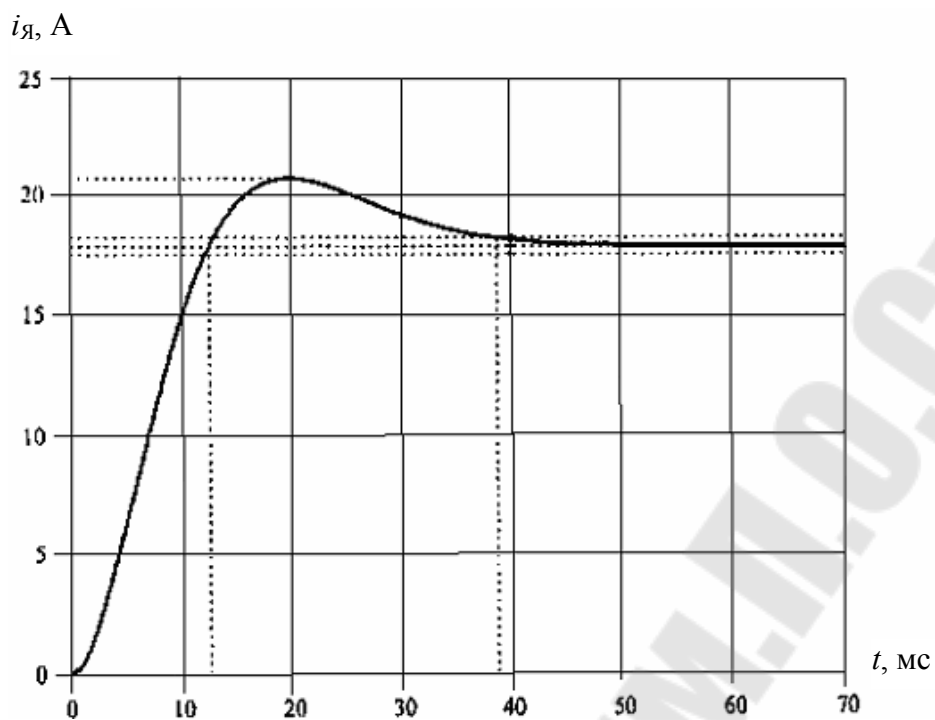
Из диаграммы переходного процесса по возмущению контура скорости (рис. 5.2, б) видно, что система не имеет ошибки по возмущению.

Дополнительно определим время первого перехода и время достижения максимума при отработке управления:

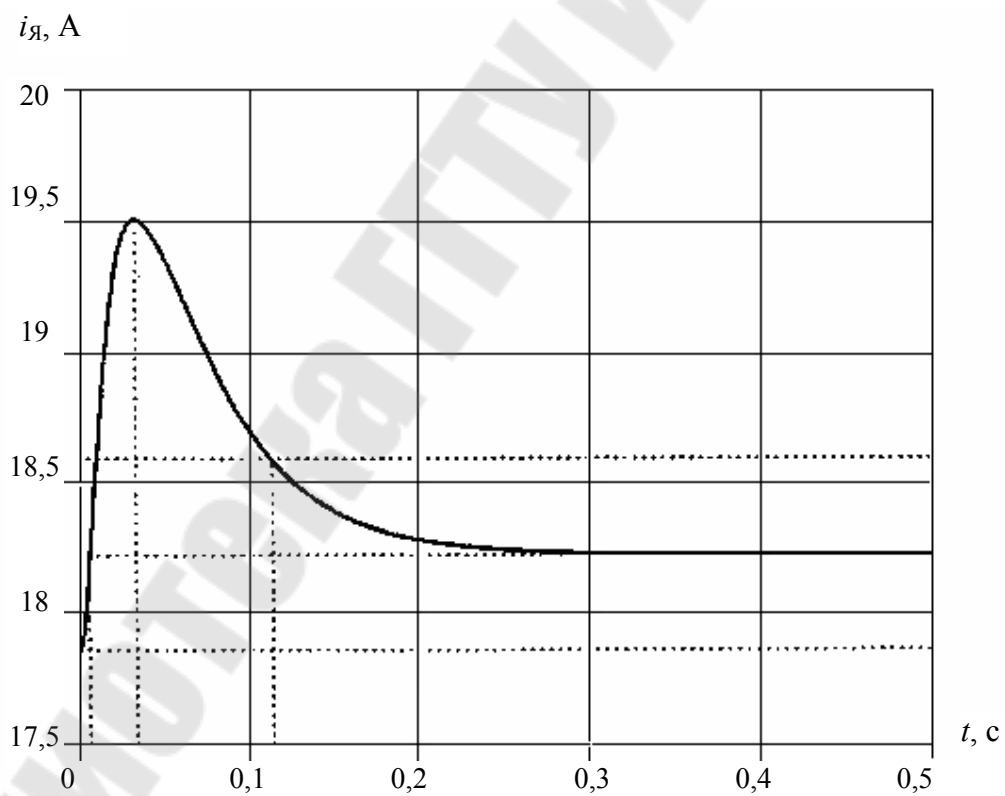
$$t_{\text{пн}1} = 12,4 \text{ мс}, t_{\text{макс}1} = 19,7 \text{ мс}, t_{\text{пн}2} = 28,7 \text{ мс}, t_{\text{макс}2} = 567 \text{ мс}$$

и возмущения

$$t_{\text{пн}1} = 7 \text{ мс}, t_{\text{макс}1} = 34 \text{ мс}, t_{\text{пн}2} = 33,6 \text{ мс}, t_{\text{макс}2} = 60,2 \text{ мс}.$$

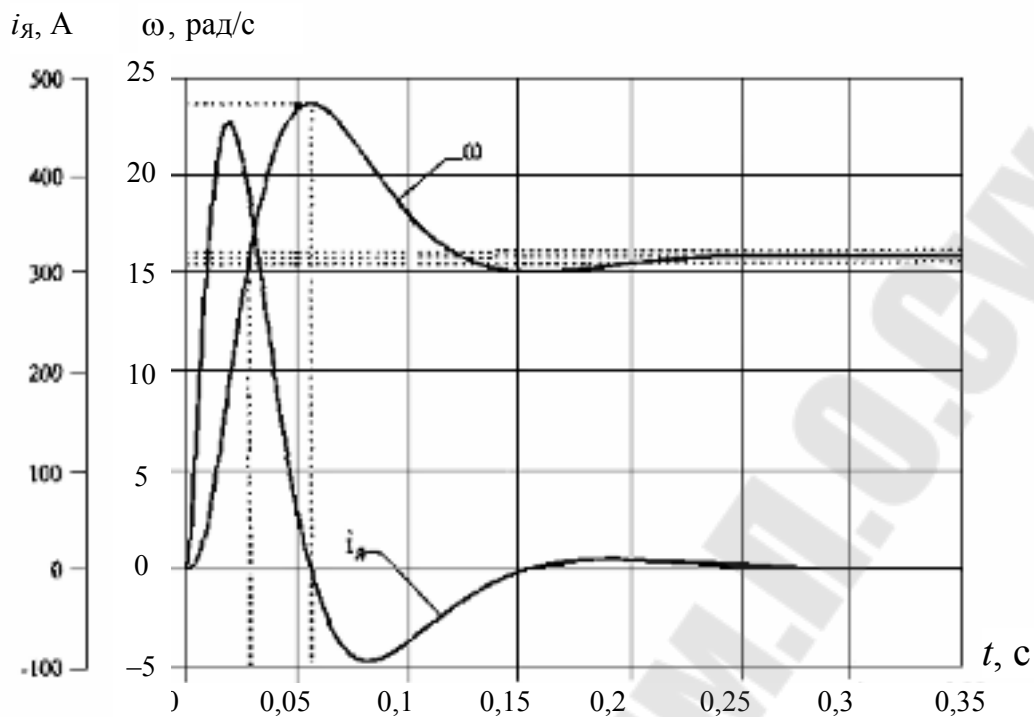


a)

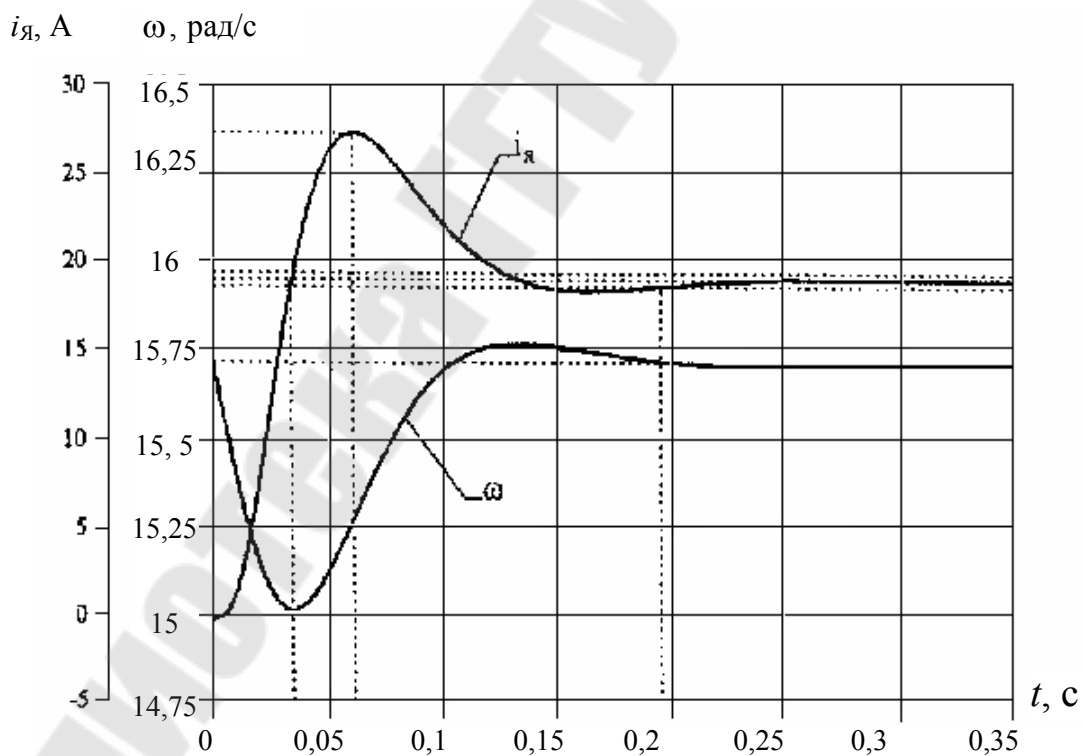


б)

Рис. 5.1. Переходные процессы контура регулирования тока якоря:
a – по заданию; *б* – по возмущению



а)



б)

Рис. 5.2. Переходные процессы якорного канала:
а – по заданию; б – по возмущению

Можно сделать вывод о хорошей настройке регулятора скорости и неудовлетворительной настройке регулятора тока. Поскольку основной регулируемой величиной является скорость, то можно удовлетвориться полученным результатом.

В результате выполнения курсовой работы в соответствии с заданием студент должен синтезировать структуры и электрические схемы регуляторов тока якоря и скорости, оптимизированных на ТО.

Оценка правильности синтеза должна быть осуществлена студентом самостоятельно по результатам численного анализа переходных процессов на ПЭВМ.

Литература

1. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 252 с.
2. Анхимюк, В. Л. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко. – Минск : Выш. шк., 1986. – 143 с.
3. Выполнение электрических схем по ЕСКД / С. Т. Усатенко [и др.]. – Москва : Изд. стандартов, 1992. – 316 с.
4. Луковников, В. И. Практическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности Т.11.02.01 / В. И. Луковников, В. С. Захаренко. – Гомель : ГГТУ им. П. О.Сухого, 1999. – 60 с.

Образец титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине «Теория автоматического управления»
На тему: Синтез регуляторов якорного канала САУ
с подчиненным регулированием тока якоря ДПТ НВ

Исполнитель: студент гр. ЗЭП-41

Иванов И. И.

Руководитель: профессор

Луковников В. И.

Дата проверки _____

Дата допуска к защите _____

Дата защиты _____

Оценка работы _____

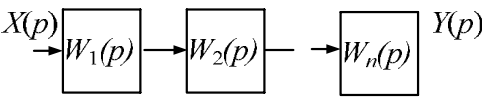
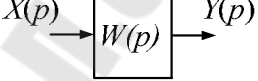
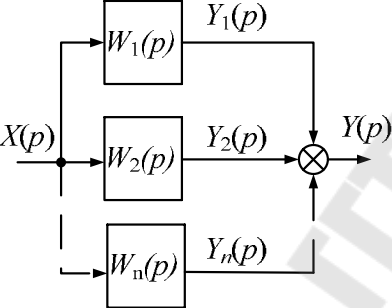
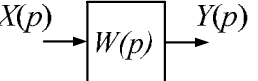
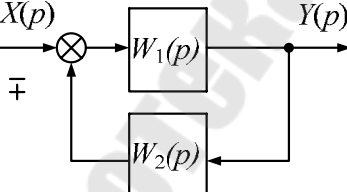
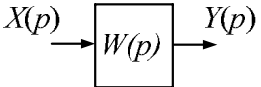
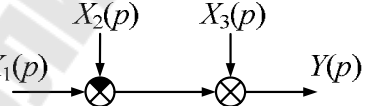
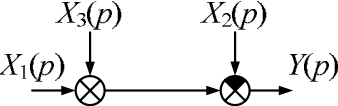
Подпись руководителя _____

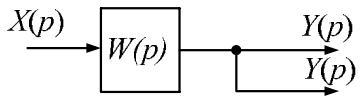
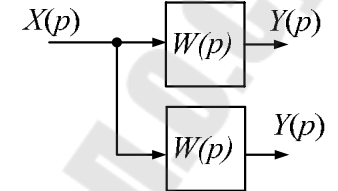
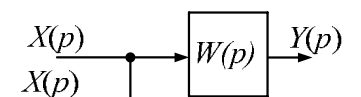
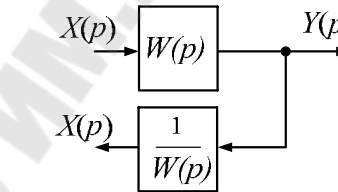
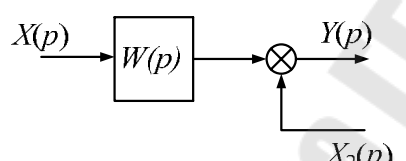
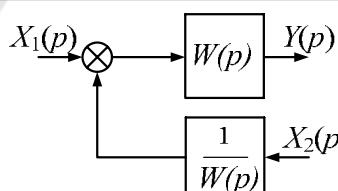
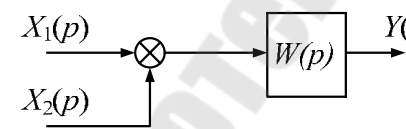
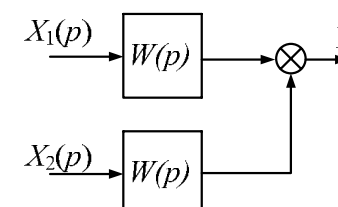
Гомель 2008

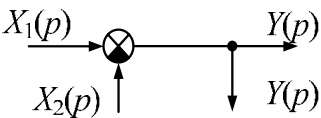
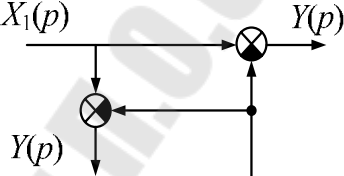
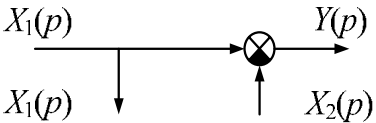
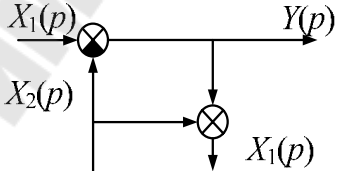
Приложение 2

Таблица П.2.1

ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

№ п/п	Название операции	Исходная схема	Преобразованная схема	Уравнение
1	Объединение последовательно соединенных звеньев			$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$
2	Объединение параллельно соединенных звеньев			$W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$
3	Объединение замкнутого контура			$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) \cdot W_2(p)}$
4	Перестановка сумматоров			$Y(p) = X_1(p) - X_2(p) + X_3(p)$

№ п/п	Название операции	Исходная схема	Преобразованная схема	Уравнение
5	Перенос точки съема через звено на его вход			$Y(p) = X(p) \cdot W(p)$
6	Перенос точки съема через звено на его выход			$X(p) = Y(p) \cdot \frac{1}{W(p)}$
7	Перенос сумматора через звено на его вход			$Y(p) = X_1(p) \cdot W(p) + X_2(p)$
8	Перенос сумматора через звено на его выход			$Y(p) = [X_1(p) + X_2(p)] \cdot W(p)$

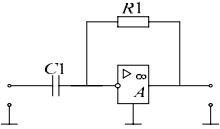
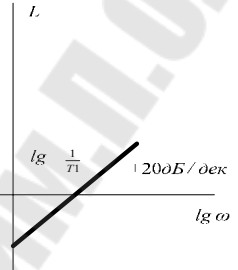
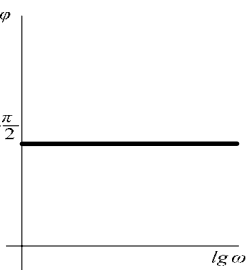
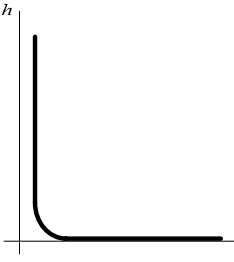
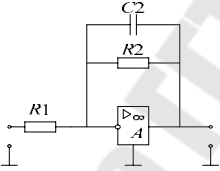
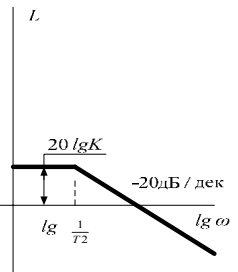
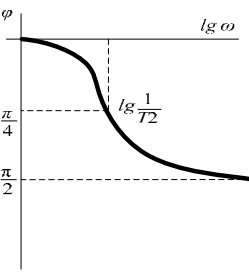
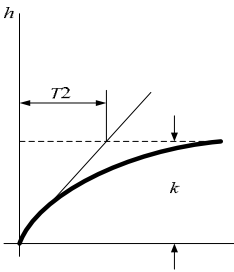
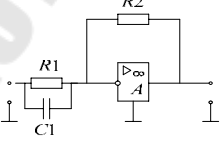
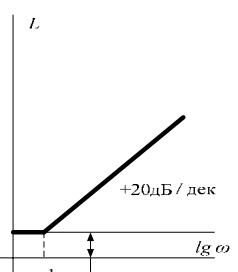
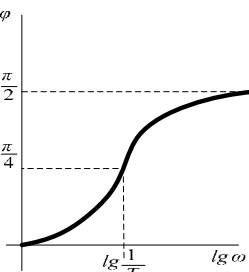
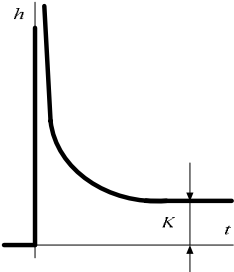
№ п/п	Название операции	Исходная схема	Преобразованная схема	Уравнение
9	Перенос сумматора через точку съема			$Y(p) = X_1(p) - X_2(p)$
10	Перенос точки съема через сумматор			$Y(p) = X_1(p) - X_2(p)$

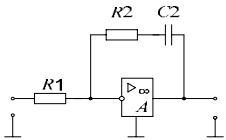
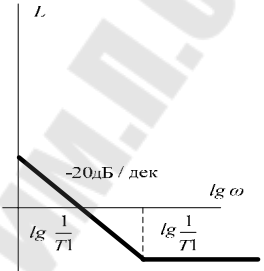
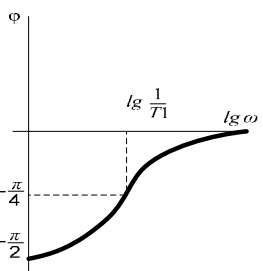
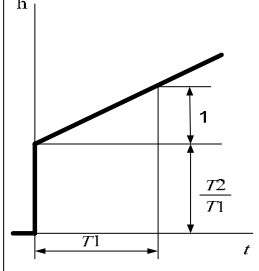
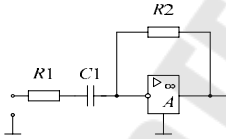
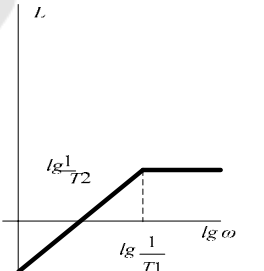
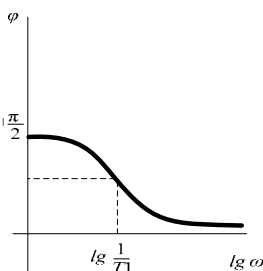
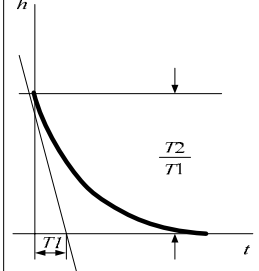
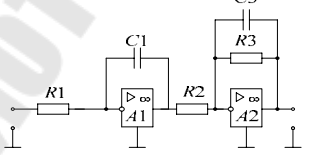
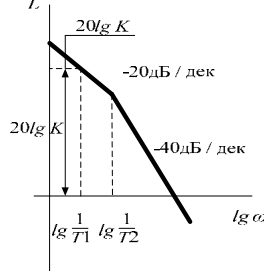
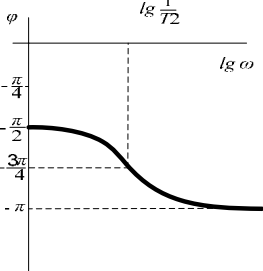
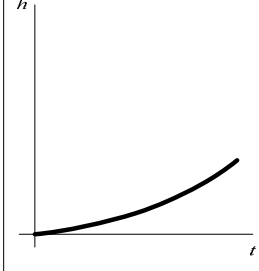
Приложение 3

Таблица П.3.1

Типовые регуляторы линейных САУ электроприводов

№ п/п	Название регулятора	Передаточная функция	Схема реализации на операционном усилителе	Асимптотическая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика	Фазовая частотная характеристика	Переходная характеристика
1	П-регулятор	K	 <p style="text-align: center;">$K = \frac{R2}{R1}$</p>			
2	И-регулятор	$\frac{1}{T1p}$	 <p style="text-align: center;">$T1 = R1C1$</p>			

№ п/п	Название регулятора	Передаточная функция	Схема реализации на операционном усилителе	Асимптотическая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика	Фазовая частотная характеристика	Переходная характеристика
3	Д-регулятор	$T1p$	 <p>$T1=R1C1$</p>	 <p>$lg \frac{1}{T1}$ $+20дБ/дек$ $lg \omega$</p>	 <p>$\frac{\pi}{2}$ $lg \omega$</p>	 <p>h t</p>
4	Апериодический регулятор 1-го порядка	$\frac{K}{1+T2p}$	 <p>$K=\frac{R2}{R1}$, $T2=R2C2$</p>	 <p>$20 lg K$ $-20дБ/дек$ $lg \frac{1}{T2}$ $lg \omega$</p>	 <p>$\frac{\pi}{4}$ $lg \omega$ $lg \frac{1}{T2}$ $-\frac{\pi}{2}$</p>	 <p>h $T2$ k t</p>
5	Форсирующий регулятор 1-го порядка (ПД-регулятор)	$K(T1p+1)$	 <p>$K=\frac{R2}{R1}$, $T1=R1C1$</p>	 <p>$20 lg K$ $+20дБ/дек$ $lg \frac{1}{T1}$ $lg \omega$</p>	 <p>$\frac{\pi}{2}$ $\frac{\pi}{4}$ $lg \omega$ $lg \frac{1}{T1}$</p>	 <p>h K t</p>

№ п/п	Название регулятора	Передаточная функция	Схема реализации на операционном усилителе	Асимптотическая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика	Фазовая частотная характеристика	Переходная характеристика
6	И-регулятор с форсированием (ПИ-регулятор)	$\frac{T_2 p + 1}{T_1 p}$	 <p>$T_1 = R_1 C_2,$ $T_2 = R_2 C_2$</p>			
7	Д-регулятор с замедлением	$\frac{T_2 p}{T_1 p + 1}$	 <p>$T_1 = R_1 C_1,$ $T_2 = R_2 C_1$</p>			
8	И-регулятор с замедлением	$\frac{K}{T_1 p (T_2 p + 1)}$	 <p>$T_1 = R_1 C_1, K = R_3 / R_2,$ $T_2 = R_3 C_3$</p>			

№ п/п	Название регулятора	Передаточная функция	Схема реализации на операционном усилителе	Асимптотическая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика	Фазовая частотная характеристика	Переходная характеристика
9	Апериодический регулятор 2-го порядка	$\frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$ $T_{1,2} = T(\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1})$	 $K = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$ $T_1 = R_2 C_2, \quad T_2 = R_4 C_4$			
10	ПИД-регулятор	$\frac{K(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{T_2 p}$	 $K = \frac{R_2}{R_1}$ $T_1 = R_1 C_1, \quad T_2 = R_2 C_2$			

Приложение 4

Шкалы номинальных значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов

Таблица П.4.1

Шкала резисторов, кОм							
1,0	3,0	6,2	18	39	82	240	510
1,2	3,3	6,8	20	43	91	270	560
1,5	3,6	7,5	22	47	100	300	620
1,8	3,9	8,2	24	51	120	330	680
2,0	4,3	9,1	27	56	150	360	750
2,2	4,7	10	30	62	180	390	820
2,4	5,1	12	33	68	200	430	910
2,7	5,6	15	36	75	220	470	1000
Шкала конденсаторов, мкФ							
0,01	–	0,1	–	1,0	3,3	10	–
0,012	0,04	0,12	0,4	1,2	4,0	12	40
0,015	0,047	0,15	0,47	1,5	4,7	15	–
0,018	0,05	0,18	0,5	1,8	5,0	18	50
–	0,06	–	0,6	2,0	6,0	20	60
0,022	0,068	0,22	0,68	2,2	6,8	22	–
0,025	0,07	0,25	0,7	2,5	7,0	25	–
0,03	0,08	0,3	0,8	3,0	8,0	30	–

Содержание

Введение.....	3
1. Задание по курсовой работе	3
2. Краткие теоретические сведения	6
2.1. Функциональная схема якорного канала двухзонной системы автоматического управления с подчиненными контурами регулирования токов якоря и возбуждения двигателя постоянного тока независимого возбуждения	6
2.2. Линеаризованная структурная схема якорного канала двухзонной САУ ДПТ НВ	8
2.3. Анализ технического задания	10
2.4. Преобразование структурных схем контуров регулирования к нормированному виду	11
2.5. Порядок синтез регуляторов, оптимизированных на технический оптимум	11
3. Пример синтеза регуляторов якорного канала	12
3.1. Синтез регулятора в контуре регулирования тока якоря	12
3.2. Синтез регулятора в контуре регулирования скорости	15
3.3. Проектирование электрической схемы регулятора	16
4. Статический расчет САУ	19
5. Динамический расчет САУ и анализ полученных результатов	22
Литература	27
Приложение 1. Образец титульного листа.....	28
Приложение 2. Правила преобразования структурных схем	29
Приложение 3. Типовые регуляторы линейных САУ электроприводов	32
Приложение 4. Шкалы номинальных значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов	36

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Луковников Вадим Иванович

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Методические указания
к курсовой работе по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

С. Н. Санько
Н. Б. Козловская

Подписано в печать 25.09.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,71.

Изд. № 164.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.