

АА – 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_{зс} и R_с, R_{зт} и R_т – резисторы, служащие для подачи напряжений задания и обратной связи по скорости и току якоря;

RP, R_ф, C_ф – резисторы и конденсатор регулируемого фильтра коллекторных пульсаций тахогенератора. Принцип действия обоих контуров регулирования якорного канала основан на принципе Ползунова-Уатта – регулировании по отклонению.

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

2 Структурная схема канала регулирования и ее преобразования

Операторные изображения по Лапласу отклонений сигналов управления и возмущения от установившегося значения на структурной схеме САУ, представленной на рисунке 2.1

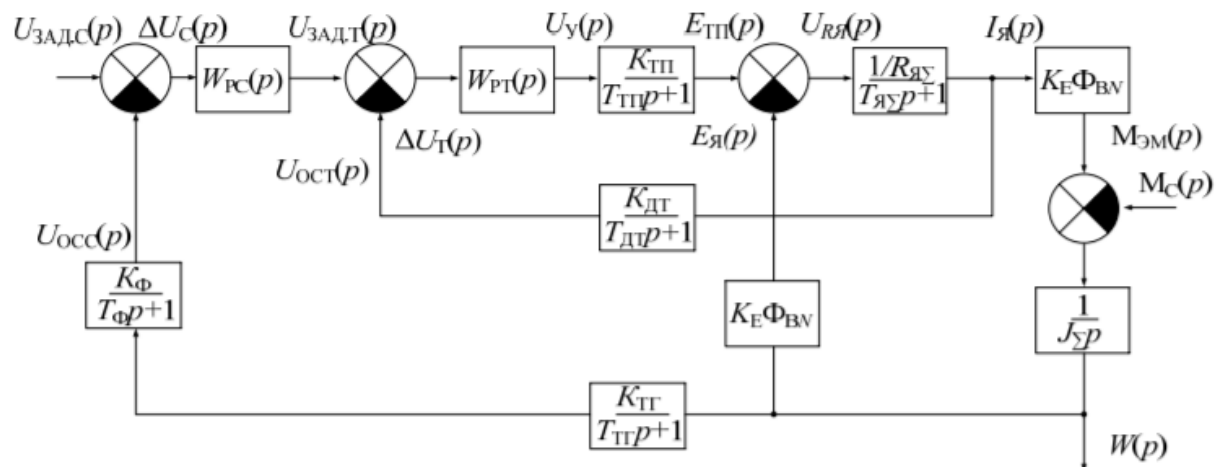


Рисунок 2.1 Линеаризованная структурная схема якорного канала САУ ДПТ НВ

Они 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_{Σ} – суммарное активное сопротивление якорной цепи, состоящей из обмотки якоря, токоограничивающего и сглаживающего реакторов тиристорного преобразователя;

T_{Σ} – суммарная постоянная времени якорной цепи;

$K_{\text{еФн}}$ – коэффициент передачи двигателя;

J_{Σ} – суммарный момент инерции якоря электродвигателя и нагрузки, приведенной к его валу.

Синтез регуляторов методом последовательной оптимизации по тем или иным критериям модального управления производят с помощью структурных схем отдельных контуров, приведенных к нормализованному виду, показанному на рисунке 2.2.

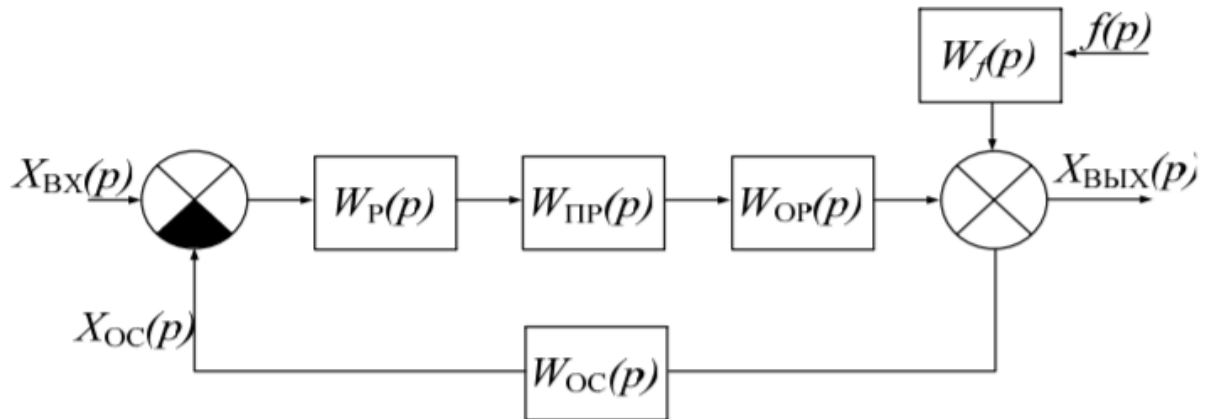


Рисунок 2.2 Нормированная к синтезу структурная схема контура регулирования

На рисунке через $W_P(p)$, $W_{ПР}(p)$, $W_{ОР}(p)$, $W_{ОС}(p)$, $W_f(p)$ 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.

3 Анализ технического задания

Целью анализа технического задания является получение дополнительных данных для синтеза регуляторов

Это можно сделать по следующим соотношениям.

Сопротивление, мГн

$$R_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{T_{\text{я}}} = \frac{1,108}{2,89} = 0,383 \text{ Ом.}$$

Суммарная постоянная времени якорной цепи, с:

$$T_{\text{я}\Sigma} = \frac{L_{\text{я}\Sigma}}{R_{\text{я}\Sigma}} = \frac{L_{\text{я}} + L_{\text{тр}} + L_{\text{ср}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{тр}} + R_{\text{ср}}} = \frac{1,108 + 1,01 + 0,5}{0,383 + 0,102 + 0,0547} \\ T_{\text{я}\Sigma} = 4,847 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Электромеханическая постоянная времени электродвигателя, с:

$$J_{\text{я}} = \frac{T_{\text{эм}} \cdot (K_e \cdot \Phi_{\text{вн}})^2}{R_{\text{я}}} = \frac{8,6 \cdot 10^{-3} \cdot (0,75)^2}{0,383} = 0,013 \text{ кг} \cdot \text{м}^3.$$

Суммарная электромеханическая постоянная времени двигателя с нагрузкой, с:

$$J_{\text{я}\Sigma} = J_{\text{я}} + J_{\text{н}} = 0,013 + 0,2 = 0,213 \text{ кг} \cdot \text{м}^3 \\ T_{\text{эм}\Sigma} = \frac{J_{\text{я}\Sigma} \cdot R_{\text{я}\Sigma}}{(K_e \cdot \Phi_{\text{вн}})^2} = \frac{J_{\text{я}\Sigma} \cdot R_{\text{я}\Sigma}}{\left(\frac{M_{\text{н}}}{I_{\text{ян}}}\right)^2} = \frac{0,213 \cdot 0,54}{(0,75)^2} = 0,204 \text{ с.}$$

Коэффициент передачи датчика тока, $\text{В} \cdot \text{А}^{-1}$

$$K_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{зadt}}}{I_{\text{ян}}} = \frac{4}{28} = 0,143 \text{ В} \cdot \text{А}^{-1}$$

Коэффициент передачи обратной связи по скорости, $\text{В} \cdot \text{с}$

$$K_{\text{ос}} = K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{тг}} = \frac{U_{\text{зад.с}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{зад.с}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{зад.с}} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot \omega_{\text{н}}} = \frac{4 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 500} = 0,076 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Коэффициент передачи фильтра:

4 Синтез регуляторов

Выделим из общей структурной схемы якорного канала (рис. 4.1) контур регулирования тока якоря ($U_{\text{зад.т}}(p)$ – вход, $I_{\text{я}}(p)$ – выход), который изображен на рис. 4.2. Возмущающий сигнал от момента нагрузки $M_{\text{ст}}(p)$ первоначально опустим.

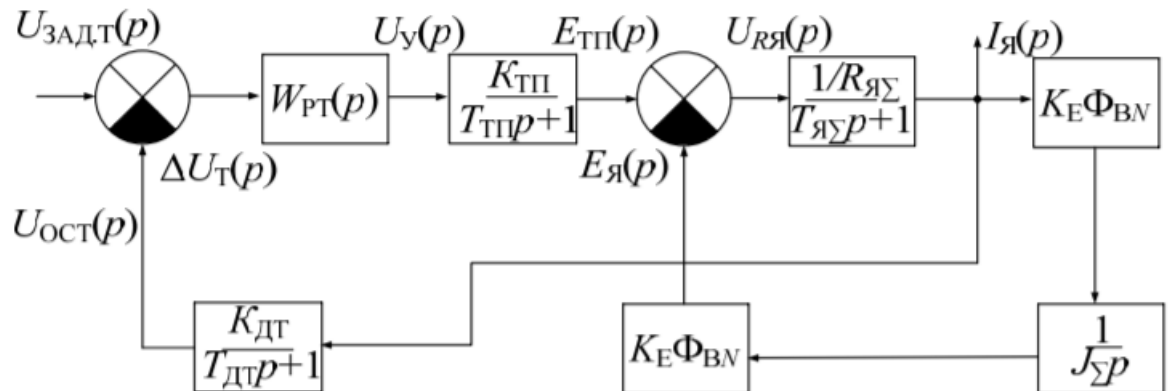


Рисунок 4.1 Непреобразованная схема контура регулирования тока якоря

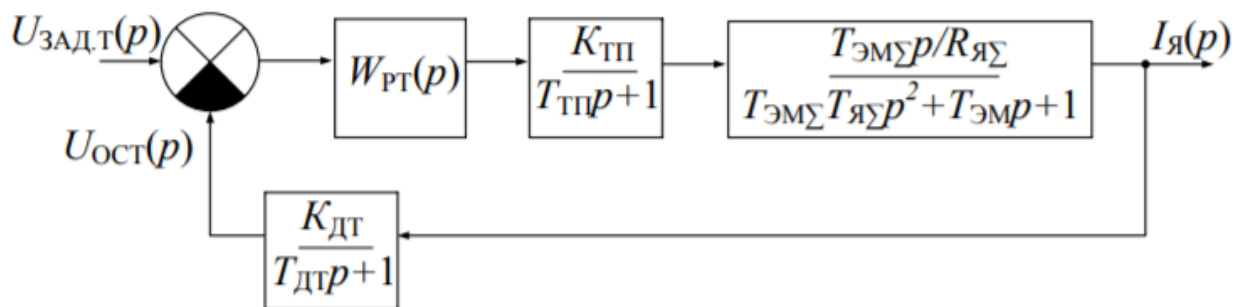


Рисунок 4.2. Преобразованная структурная схема контура регулирования тока якоря

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

Представим его в стандартном виде:

$$T_{\text{эм}\Sigma} \cdot T_{\text{я}\Sigma} p^2 + T_{\text{эм}\Sigma} p + 1 = T^2 p^2 + 2\xi T p + 1$$

где постоянная времени

$$T = \sqrt{T_{\text{эм}\Sigma} \cdot T_{\text{я}\Sigma}} = \sqrt{0,204 \cdot 4,847 \cdot 10^{-3}} = 0,031 \text{ с.}$$

Коэффициент затухания

$$\xi = \frac{T_{\text{эм}\Sigma}}{2T} = \frac{0,204}{2 \cdot 0,031} = 3,245$$

При $\xi \geq 1$, то рассматриваемое звено является аperiодическим 2-го порядка и оно может быть представлено двумя аperiодическими звеньями 1-го порядка с передаточной функцией в виде:

$$\frac{T_{\Sigma} p}{T_{\Sigma}}$$

$$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)$$

Где $T_1 = T(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) = 0,031(3,245 + \sqrt{3,245^2 - 1}) = 0,195$ с.

$T_2 = T(\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}) = 0,031(3,245 - \sqrt{3,245^2 - 1}) = 4,89 \cdot 10^{-3}$ с. -

новые постоянные времени.

В этом случае преобразованная структурная схема контура регулирования тока якоря (рис. 4.2) примет вид, представленный на рис. 4.3.

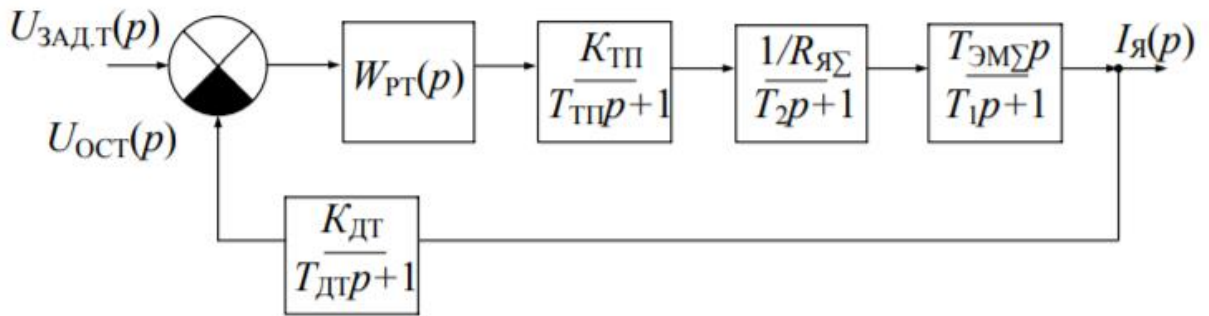


Рисунок. 4.3. Структурная схема контура регулирования тока якоря к примеру синтеза регуляторов якорного канала

Запишем передаточную функцию регулятора тока как

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

$$K_{\text{рт}} = \frac{R_{\Sigma}}{K_{\text{тп}} T_{\Sigma} K_{\text{дт}} 2 T_{\mu \Sigma 1}} = \frac{0,54}{24 \cdot 0,204 \cdot 0,143 \cdot 2 \cdot 7,89 \cdot 10^{-3}} = 48,87$$

Коэффициент передачи регулятора тока якоря.

$$T_{\mu \Sigma 1} = T_{\text{тп}} + T_{\text{дт}} + T_2 = 1,5 + 1,5 + 4,89 = 7,89 \text{ мс} = 7,89 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Суммарная малая постоянная времени контура регулирования тока якоря.

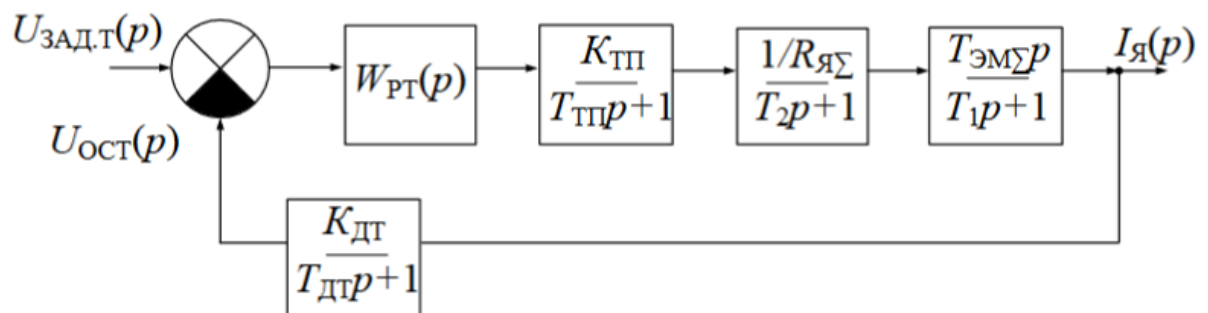


Рисунок 4.4 Структурная схема контура регулирования скорости со свернутым контуром регулирования тока якоря

$$W_{\text{рс}}(p) = W_{\text{рс}}(p) = \frac{K_{\text{дт}} \cdot J_{\Sigma}}{K_{\text{е}} \Phi_{\text{вн}} \cdot K_{\text{оос}} \cdot 2 T_{\mu \Sigma 2}} \cdot \frac{4 T_{\mu \Sigma 2} p + 1}{4 T_{\mu \Sigma 2} p}$$

$$T_{\mu \Sigma 2} = T_{\text{тг}} + 4 T_{\mu \Sigma 1} = 1,6 + 4 \cdot 7,89 = 33,16 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

$$K_{\text{pc}} = \frac{0,143 \cdot 0,213}{0,75 \cdot 0,076 \cdot 4 \cdot 33,16 \cdot 10^{-3}} = 4$$

5 Статический расчет канала управления и заданного канала возмущения

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:

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

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

При определении коэффициентов передачи для изложенного выше примера по общей структурной схеме (рис. 4.5) с целью упрощения аналитических преобразований в исходной структурной схеме примем $p = 0$, кроме интегрирующих звеньев, и перейдем к расчетной схеме по рис. 5.1.

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. 5.2, 5.3). По первой схеме с помощью правил структурных преобразований при $p = 0$ найдем коэффициент передачи САУ по управлению $K_y = \frac{\omega}{U_{\text{зад.с}}} = (K_\phi \cdot K_{\text{тг}})^{-1}$, что дает уравнение статической характеристики управления на холостом ходу:

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

$$K_y = \frac{\omega}{U_{\text{зад.с}}} = (K_\phi \cdot K_{\text{тг}})^{-1} = \frac{52,3}{4,5} = 11,62$$

По второй схеме аналогично можно получить

$$K_M = \frac{\Delta \omega}{M_{\text{ст}}} = \frac{K_{\text{дт}}}{K_{\text{рс}} \cdot K_{\text{ос}} \cdot K_e \Phi_{\text{вн}}} = \frac{0,143}{4 \cdot 0,076 \cdot 0,75} = 0,63$$

Что дает уравнение ошибки по скорости от момента нагрузки:

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

Объединяя уравнения в соответствии с уравнением канала якоря по частоте вращения в установившемся режиме, запишем для рассмотренного случая уравнение механической характеристики САУ:

$$\omega = K_y \cdot U_{\text{зад.с}} - K_m \cdot M_{\text{ст}} = 11,62 \cdot 4,5 - 0,63 \cdot 21 = 39,06 \text{ об/с}$$

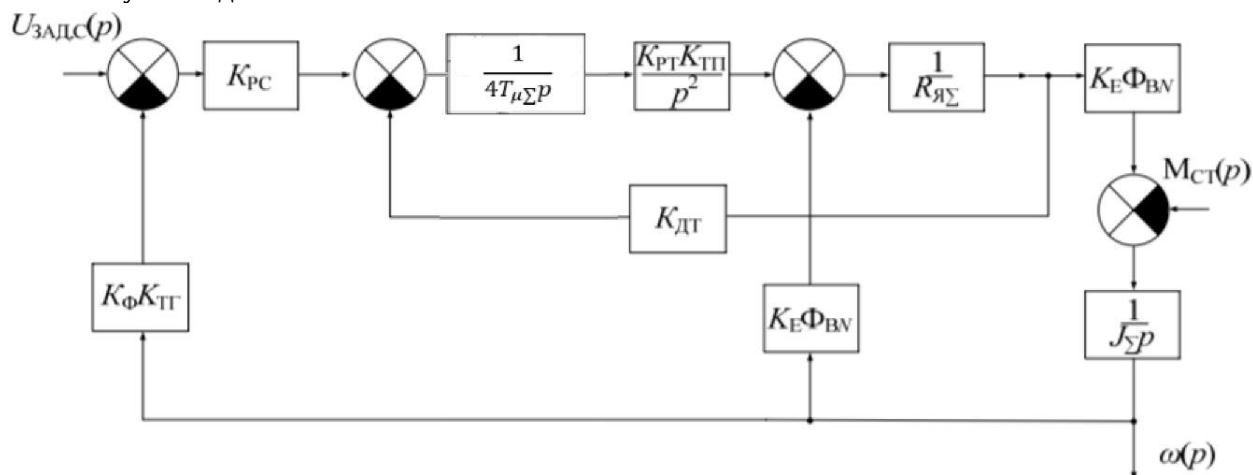


Рисунок 5.1 Расчетная структурная схема для установившегося режима якорного канала управления

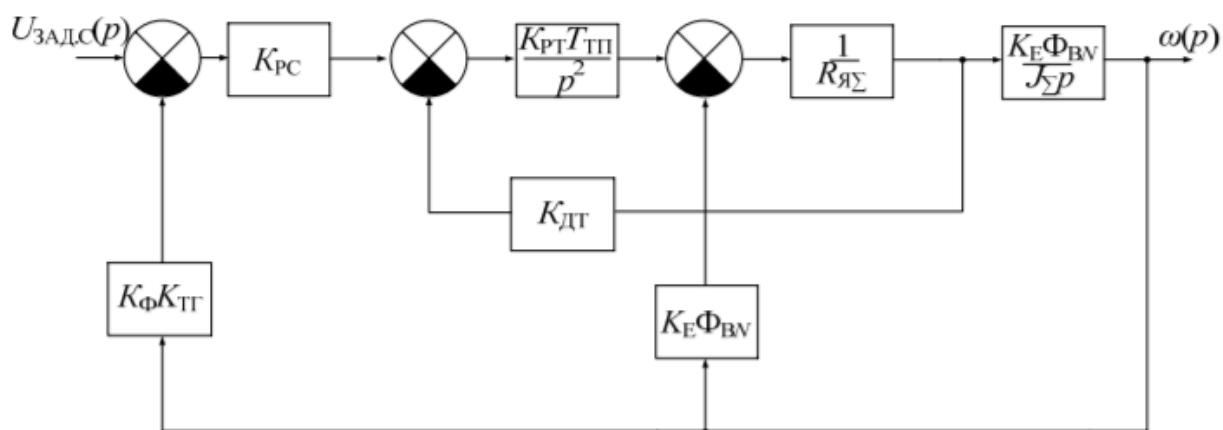


Рисунок 5.2 Расчетная структурная схема для определения коэффициента передачи САУ по управлению

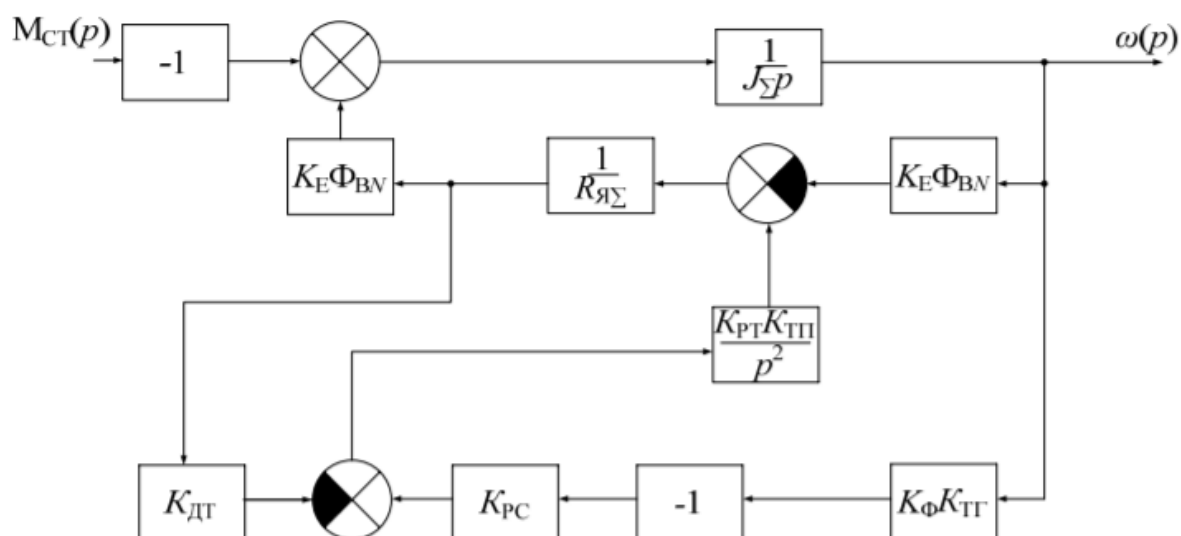


Рисунок 5.3 Расчетная структурная схема для определения коэффициента передачи САУ по возмущению

В рассматриваемом примере по уравнению статической характеристики управления на холостом ходу видно, что ошибка по управлению отсутствует, поскольку $U_{\text{зад.с},N}$ соответствует ω_N . Ошибка по моменту есть и согласно уравнению возмущения при номинальной нагрузке $M_{\text{ст}} = M_N$ она будет равна

$$\Delta \omega_N = \frac{U_{\text{зад.т}} \cdot \omega_N}{U_{\text{зад.с}} \cdot K_{\text{рс}}} = \frac{4,5 \cdot 39,06}{4,5 \cdot 4} = 9,8 \text{ об/с.}$$

6 Динамический расчет якорного канала САУ

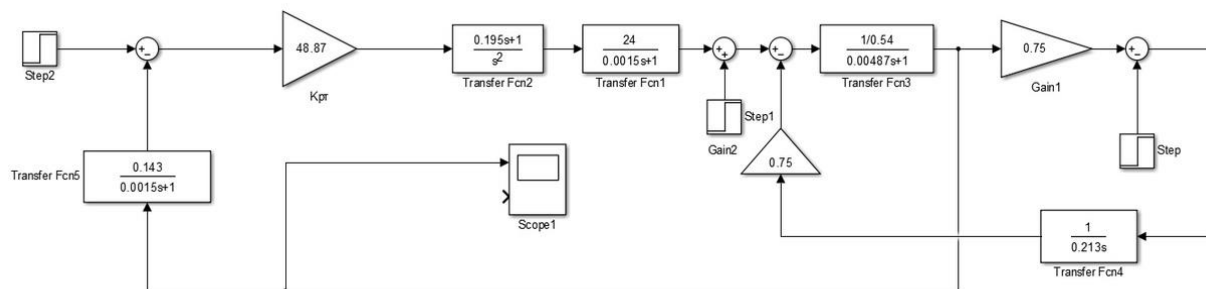
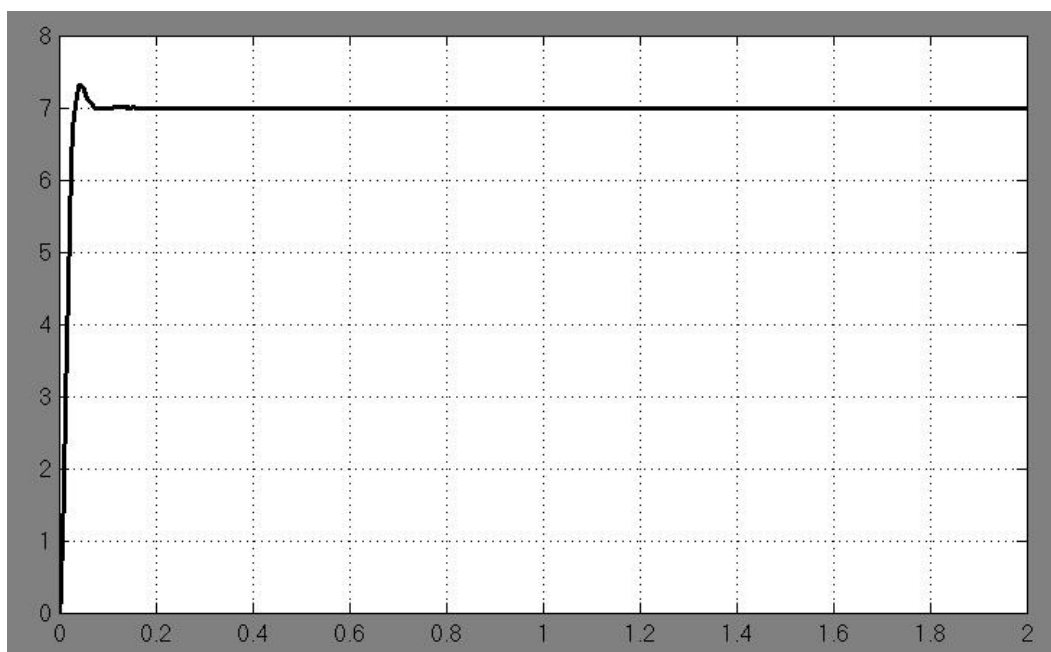
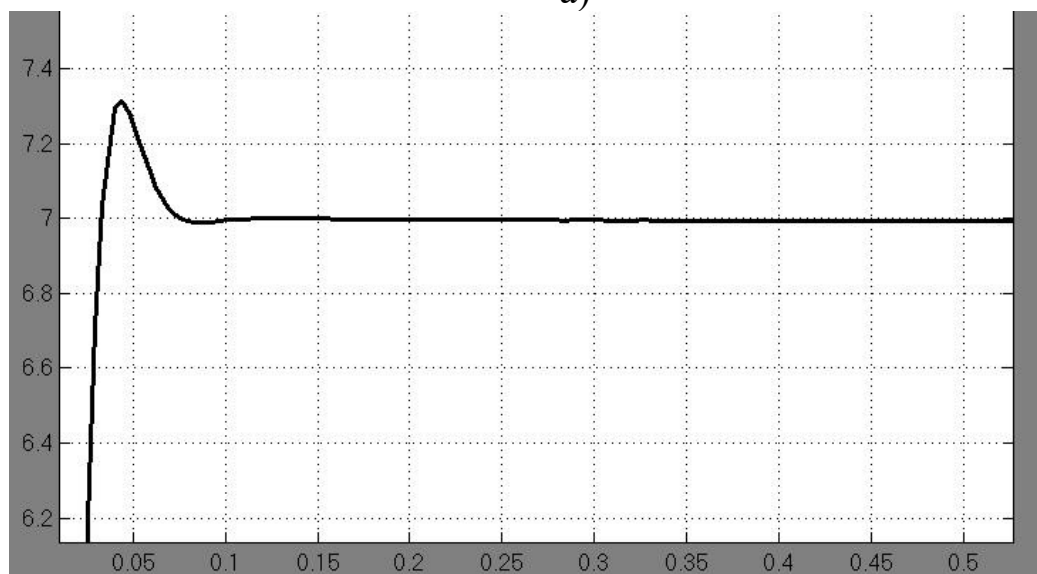


Рисунок 6.1 Схема расчета для контура регулирования тока якоря с настройкой на СО в MatLab

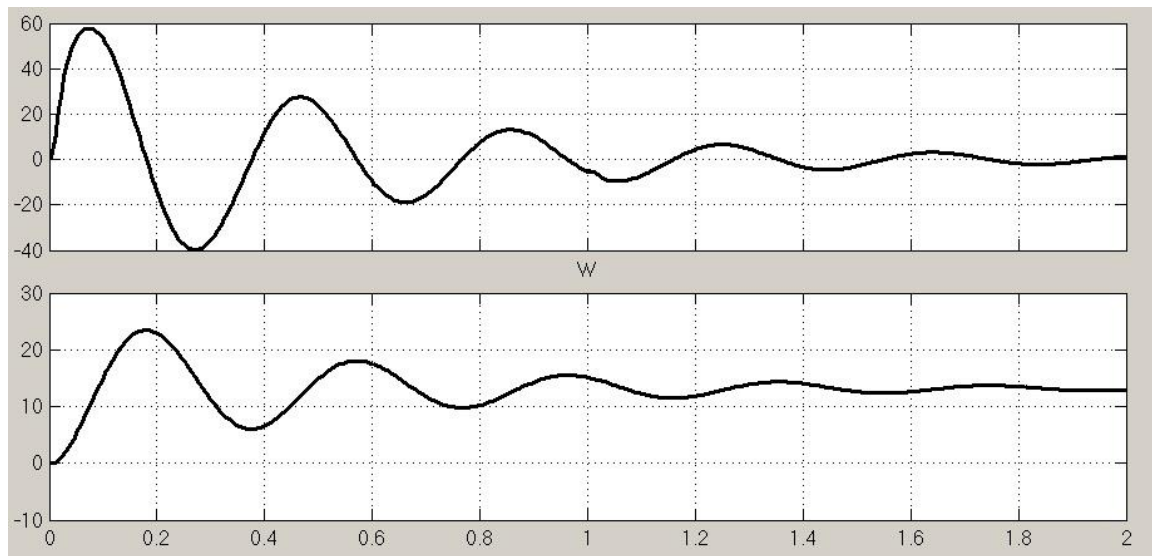
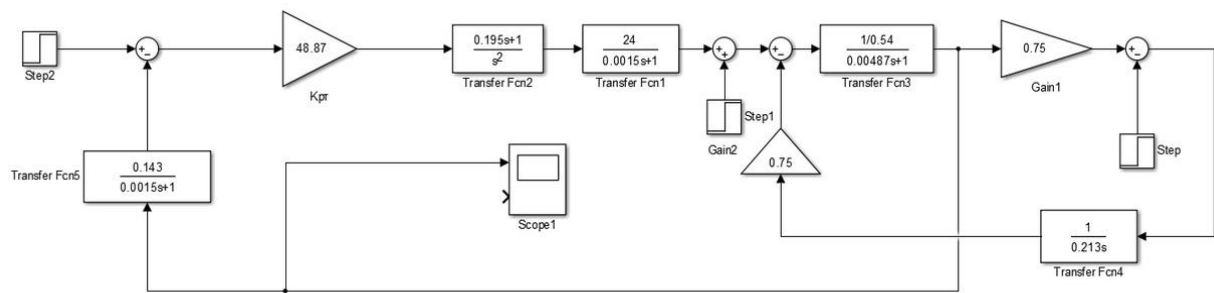


а)

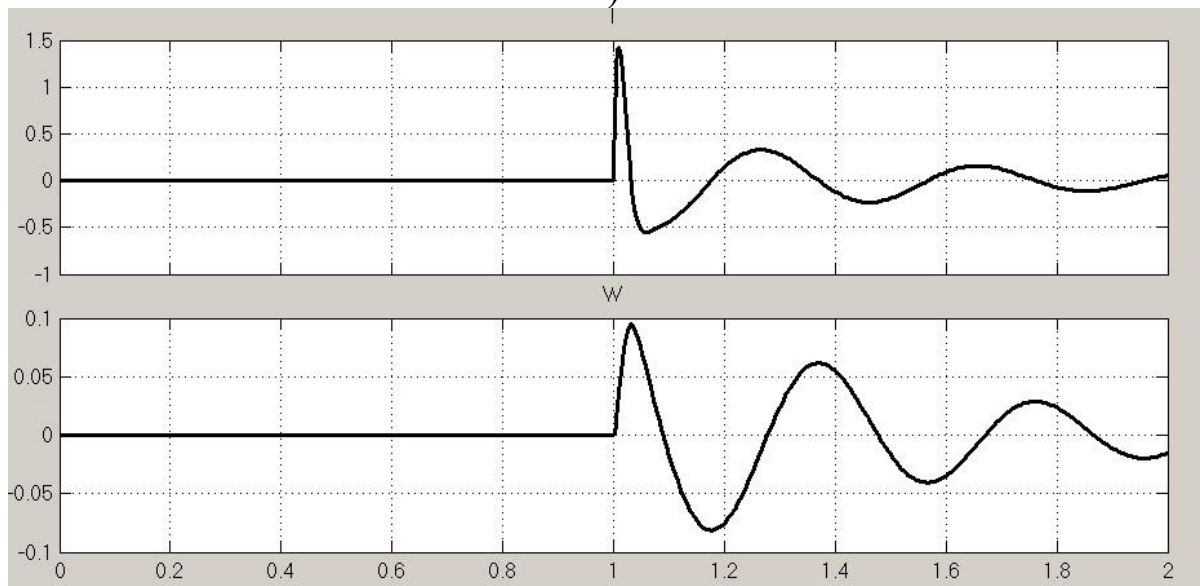


б)

Рис. 6.1. Переходные процессы контура регулирования тока якоря: а – по заданию; б – по возмущению



а)



б)

Рис. 6.2 Переходные процессы якорного канала: а) по заданию, б) по возмущению

7 Проектирование электрической схемы регулятора

Передаточная функция регулятора тока:

$$W_{\text{рт}}(p) = \frac{48,87(195 \cdot 10^{-3}p + 1)}{p^2}$$

Синтезированный регулятор тока якоря представляет собой последовательное соединение И-регулятора и ПИ-регулятора, схема которого записана ниже:

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

Получаем уравнения определения параметров регулятора:

$$K_{\text{рт}} = \frac{1}{R_1 C_1 R_3 C_3} = 48,87$$

$$T_{\text{рт}} = R_2 C_2 = 195 \cdot 10^{-3}$$

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

$$R_1 = 300 \text{ кОм};$$

$$R_3 = 1 \text{ мОм};$$

$$C_2 = 0,25 \text{ мкФ},$$

Тогда,

$$R_2 = \frac{T_{\text{рт}}}{C_2} = \frac{195 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 10^{-6}} = 780 \text{ кОм},$$

$$C_1 = \frac{1}{R_1 R_3 C_2 K_{\text{рт}}} = \frac{1}{300 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 48,87}$$
$$C_1 = 2,73 \cdot 10^{-7} = 0,27 \text{ мкФ}$$

По шкалам резисторов и конденсаторов выберем ближайшие к рассчитанным величинам:

$$R_2 = 750 \text{ кОм};$$

$$C_1 = 0,25 \text{ мкФ}.$$

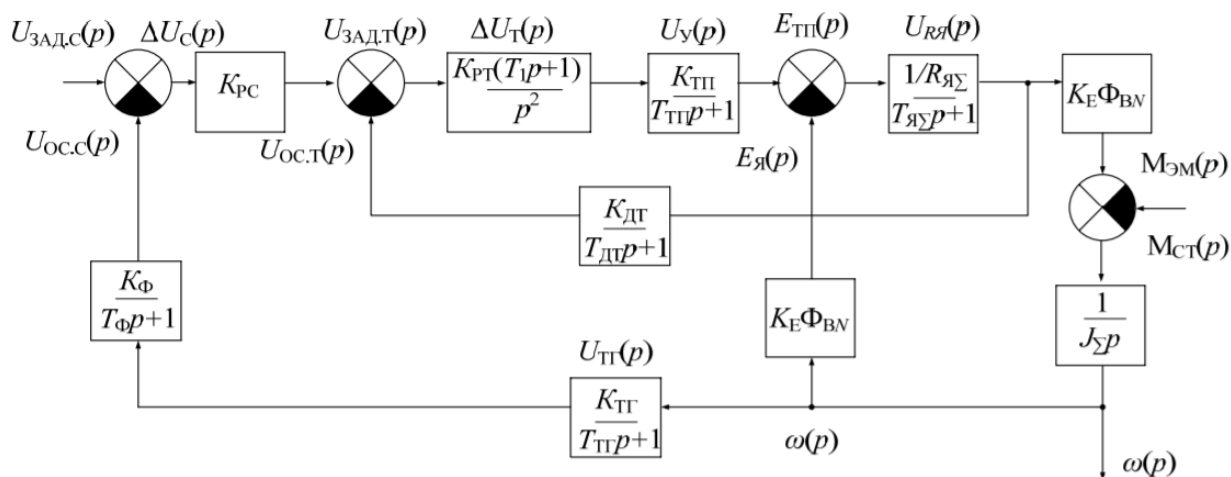


Рисунок 7.1 Общая структурная схема якорного канала регулирования ДПТ НВ с синтезированными регуляторами

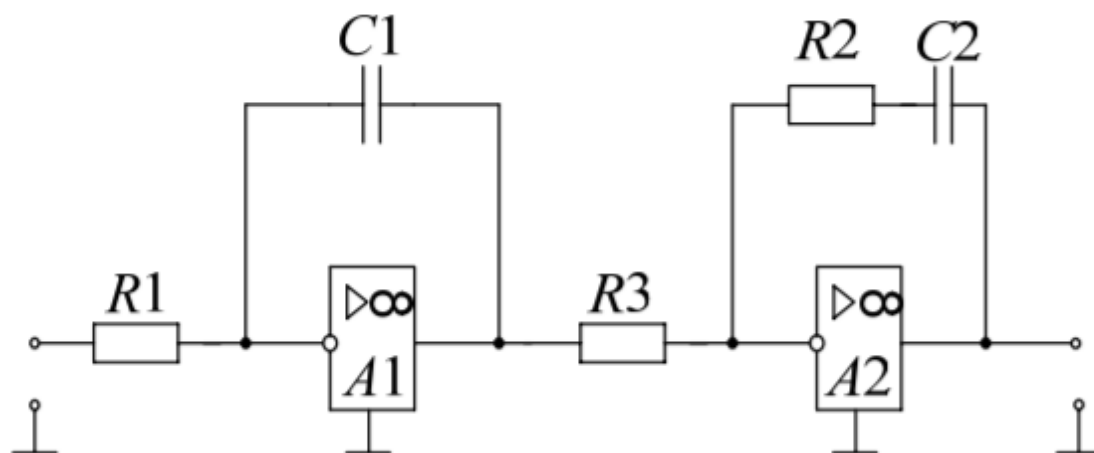


Рисунок 7.2 Электрическая схема регулятора якоря

8 Анализ полученных данных

Оптимизация на симметричный оптимум (СО) должна давать отсутствие статических ошибок по управлению и возмущению, перерегулирование $\sigma \% = 43,4 \%$, время регулирования $t_{\text{рег}} < 33 \cdot T_{\mu}$.

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

$$T_{\mu 1} = 7,89 \cdot 10^{-3}$$

$$T_{\mu 2} = 33,16 \cdot 10^{-3}$$

$$t_{\text{рег}} = 8,4 \cdot 7,89 \cdot 10^{-3} = 0,066$$

$$t_{\text{рег}} = 33 \cdot 33,16 \cdot 10^{-3} = 1,09 \text{ с}$$

Перерегулирование контура регулирования тока

$$\sigma_{\%} = \frac{I_{\text{я.мах}} - I_{\text{я.уст}}}{I_{\text{я.уст}}} = \frac{7,2 - 7,0}{7,0} \cdot 100\% = 2,85\%$$

$$\sigma_{\%} = \frac{I_{\text{я.мах}} - I_{\text{я.уст}}}{I_{\text{я.уст}}} = \frac{7,4 - 7}{7} \cdot 100\% = 5,71\%$$

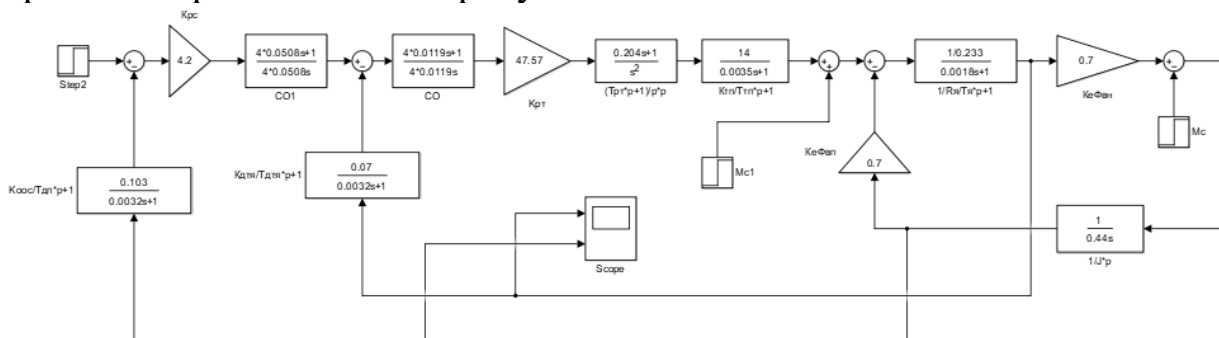
Перерегулирование процессов якорного канала

$$\sigma_{\%} = \frac{\omega_{\text{мах}} - \omega_{\text{уст}}}{\omega_{\text{уст}}} = \frac{22 - 12}{12} \cdot 100\% = 83\%$$

$$\sigma_{\%} = \frac{\omega_{\text{мах}} - \omega_{\text{уст}}}{\omega_{\text{уст}}} = \frac{0,1 - 0,07}{0,07} \cdot 100\% = 42\%$$

По полученным результатам можно сделать вывод о хорошей настройке регулятора тока и неудовлетворительной настройке регулятора скорости.

Принципиальная электрическая схема якорного канала регулирования представлена на рисунке 9.1.



- задатчика интенсивности, выполненного на двух операционных усилителях DA1 и DA2 с RC-элементами в прямых и обратных;
- фильтра Ф, состоящего из апериодического звена, собранного на операционном усилителе DA3 и пассивных элементов $R1ф$, $R2ф$, $C2ф$;
- регулятора скорости, синтезированного на базе безынерционного звенаи ПИ-регулятора (на ОУ DA5 с R_{pc1} в прямом канале и R_{pc2} в обратной связи, на ОУ DA6 с $RPC3$ в прямом канале и $RPC4$, $CPC1$ в канале обратной связи);
- датчика рассогласования по току, выполненного на операционном усилителе DA7 ($R_{зтя}$, R_{cy2});
- регулятора тока якоря, синтезированного на базе форсирующего (DA8) и двух интегрирующих (DA9, DA10) звеньев ($R_{ртя1}$, $R_{ртя3}$, $R_{ртя5}$, $R_{ртя6}$, $R_{ртя7}$, $C_{ртя1}$, $C_{ртя2}$ – в прямом канале, $R_{ртя2}$, $R_{ртя4}$, $R_{ртя8}$, $C_{ртя3}$, $C_{ртя4}$, $C_{ртя5}$ – в обратной связи);
- фильтра Ф1, включённого в обратной связи по скорости и состоящего из $Rф$, $Cф$, $RP3$;
- типовых СИФУ и ТП;
- датчика тока на операционном усилителе DA11 и шунта $Rш$.

Подается на вход САУ задающего сигнала. Далее САУ обрабатывает сигнал задания по двум контурам управления, по истечении переходного процесса получаем установившееся значение скорости.

Сравнение задающих сигналов и сигналов обратных связей происходит посредством:

а) внутренний контур – датчик тока якоря, служащий для гальванической развязки и согласования силовых и управляющих цепей, благодаря ему возможно удобное сравнение задающего сигнала и сигнала обратной связи.

б) внешний контур – тахогенератор, который преобразует частоту вращения вала электродвигателя в сигнал обратной связи по скорости вращения.

Заключение

В ходе выполнения курсовой работы по теории автоматического управления мной были выполнены следующие задачи:

Был проведен анализ технического задания

Была преобразована схема регулирования к нормированному виду

Произведен синтез регуляторов (якорного и скоростного контуров)

Спроектирована электрическая схема регулятора

Произведен статический расчет САУ

Выполнен динамический расчет САУ

Сделаны выводы по полученным результатам снятых с графиков

На рисунках 6.2, 6.4 представлены расчетные переходные процессы

$$T_{\mu 1} = 7,89 \cdot 10^{-3}$$

$$T_{\mu 2} = 33,16 \cdot 10^{-3}$$

При настройке регулятора тока на ТО имеем:

$$t_{\text{пер}} = 8,4 \cdot 7,89 \cdot 10^{-3} = 0,066$$

При настройке регулятора скорости на СО имеем:

$$t_{\text{пер}} = 33 \cdot 33,16 \cdot 10^{-3} = 1,09 \text{ с}$$

Из полученной нами переходной характеристики внутреннего контура видно, что:

Перерегулирование контура регулирования тока якоря:

$$\sigma_{\%} = \% = 2,85\%$$

$$\sigma_{\%} = 5,71\%$$

Перерегулирование процессов якорного канала:

$$\sigma_{\%} = \% = 83\%$$

$$\sigma_{\%} = 42\%$$

Можно сделать вывод о хорошей настройке регуляторов скорости, но плохой настройке регуляторов тока. Исследуя переходные процессы видно, что быстродействие контура тока и контура скорости лучше, чем ожидаемое время регулирования.

Список литературы

- 1) Теория автоматического управления : метод. указания к курсовой работе по одноим. 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
- 2) Малафеев, С.И. Теория автоматического управления: Учебник / С.И. Малафеев. - М.: Академия, 2019. - 352 с.
- 3) Мартяков, А.И. Теория автоматического управления / А.И. Мартяков. - М.: МГИУ, 2008. - 148 с.
- 4) Ощепков, А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: Учебное пособие / А.Ю. Ощепков. - СПб.: Лань, 2013. – 208
- 5) Савин, М.М. Теория автоматического управления: Учебное пособие / М.М. Савин, В.С. Елсуков, О.Н. Пятина; Под ред. В.И. Лачин.. - Рн/Д: Феникс, 2007. - 469 с.

Содержание

1 Функциональная схема якорного канала САУ с подчиненным регулированием тока якоря	4
2 Структурная схема канала регулирования и ее преобразования	6
3 Анализ технического задания	8
4 Синтез регуляторов	9
5 Статический расчет канала управления и заданного канала возмущения	12
6 Динамический расчет якорного канала САУ	15
7 Проектирование электрической схемы регулятора	15
8 Анализ полученных данных	19
9 Принципиальная электрическая схема якорного канала регулирования и принцип её действия	20
Заключение	22