

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО
ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Методические указания
к выполнению расчетного задания по курсу
«Числовое программное управление мехатронными системами»
для студентов специализаций
141.09 – Электромеханические системы автоматизации и электропривод
141.10 – Мехатроника и робототехника,
в том числе для студентов иностранцев

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 1 от 16 января 2019 г.

Харьков
НТУ «ХПИ»
2019

Синтез системы двухзонного регулирования частоты вращения электропривода главного движения металлорежущих станков : методические указания к выполнению расчетного задания по курсу «Числовое программное управление мехатронными системами» для студентов специализаций 141.09 – Электромеханические системы автоматизации и электропривод и 141.10 – Мехатроника и робототехника / сост. Н. В. Анищенко. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 30 с.

Составитель Н. В. Анищенко

Рецензент И. О. Тукалов

Кафедра автоматизированные электромеханические системы

ВСТУПЛЕНИЕ

Требования к электроприводам (ЭП) станков с числовым программным управлением (ЧПУ) определяются технологией обработки, конструктивными особенностями станка, режущим инструментом, функциональными возможностями системы ЧПУ.

Технологические требования заключаются в обеспечении: необходимых технологических режимов обработки с использованием современного режущего инструмента; максимальной производительности; требуемой точности обработки; высокой чистоты обрабатываемой поверхности.

Требования, предъявляемые к приводам станков, определяются тем, для какого движения предназначен привод: главного движения, подачи или вспомогательного, т.к. именно это определяет мощность и вращающий момент, способ регулирования частоты вращения, диапазоны регулирования, плавность регулирования, требования к динамическим характеристикам, жесткости механических характеристик и стабильности частоты вращения.

Одним из основных требований к электроприводу механизма главного движения металлорежущих станков является обеспечение постоянной мощности резания, что обеспечивается в электроприводах с двухзонным регулированием частоты вращения.

К ЭП главного движения предъявляются следующие требования:

- диапазон регулирования частоты вращения в первой зоне не более 1000;
- диапазон регулирования частоты вращения во второй зоне не более 4;
- полоса пропускания замкнутого контура регулирования частоты вращения не менее 20 Гц;
- время переходного процесса при ударном приложении номинальной нагрузки при номинальной частоте вращения не более 1 с.

Цель данного расчетного задания заключается в расчете параметров и моделировании электропривода постоянного тока с системой двухзонного регулирования частоты вращения средствами пакета Matlab.

1. ЗАДАНИЕ

1. Изучить принцип работы системы двухзонного регулирования частоты вращения.

2. Рассчитать мощность электродвигателя механизма главного движения в соответствии с вариантом задания и выбрать тип электродвигателя. Исходные данные для выполнения расчетного задания приведены в приложении А (табл. А.1). В табл. А.2 приведены номинальные данные двигателей постоянного тока типа 2П с независимым возбуждением.

3. Рассчитать параметры и определить передаточные функции двигателя, тиристорных преобразователей, регуляторов тока, частоты вращения и электродвижущей силы (ЭДС).

4. Ознакомиться со структурной схемой системы двухзонного регулирования частоты вращения и начертить ее.

5. Рассчитать параметры структурной схемы системы двухзонного регулирования частоты вращения.

6. Выполнить моделирование системы в пакете Matlab и получить графики переходных процессов в различных режимах работы.

7. Провести обработку полученных графиков переходных процессов и дать их анализ.

8. Сделать выводы.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Процесс механической обработки происходит при постоянной мощности резания. Постоянство мощности обеспечивается в ЭП с двухзонным регулированием частоты вращения (рис. 2.1.).

Для двигателей постоянного тока угловая скорость вращения Ω в зоне I регулируется от 0 до Ω_N изменением напряжения на обмотке якоря от 0 до U_N при постоянном предельном вращающем моменте M и увеличении мощности P от 0 до P_N пропорционально скорости вращения. Поток возбуждения равен номинальному значению.

В зоне II угловая скорость вращения регулируется от Ω_N до Ω_{\max} ослаблением магнитного потока от Φ_N до Φ_{\min} при постоянной предельной мощности P и снижении вращающего момента M с ростом скорости вращения. Напряжение на якоре остается почти постоянным.

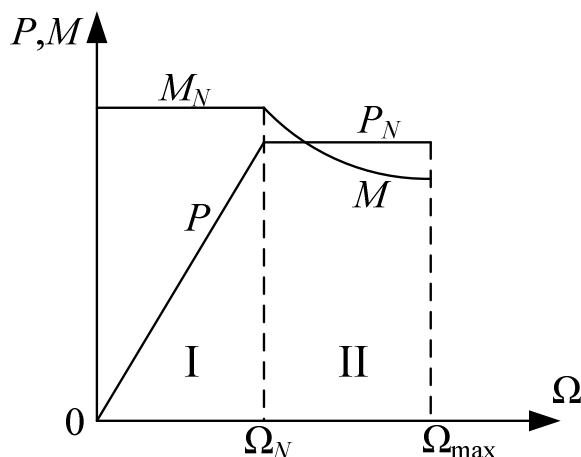


Рисунок 2.1 – Двухзонное регулирование частоты вращения

В зонах I и II привод может длительно работать с номинальным током. В замкнутой системе регулирования частоты вращения переход от режима регулирования напряжением на обмотке якоря к режиму регулирования потоком возбуждения обеспечивается за счет того, что на скоростях выше номинальной с помощью специального регулятора, воздействующего на цепь возбуждения, поддерживается равенство ЭДС двигателя номинальному значению. Поскольку ЭДС двигателя $e = K\Phi\Omega$ в условиях, когда $e = \text{const}$, а значение угловой скорости вращения задается входным сигналом, поток возбуждения будет изме-

няться обратно пропорционально скорости вращения двигателя.

Рассмотрим функциональную схему двухзонного регулирования угловой скорости вращения (рис. 2.2). Двигатель M питается от тиристорного преобразователя ТП, а его обмотка возбуждения LM – от тиристорного возбуждателя ТВ.

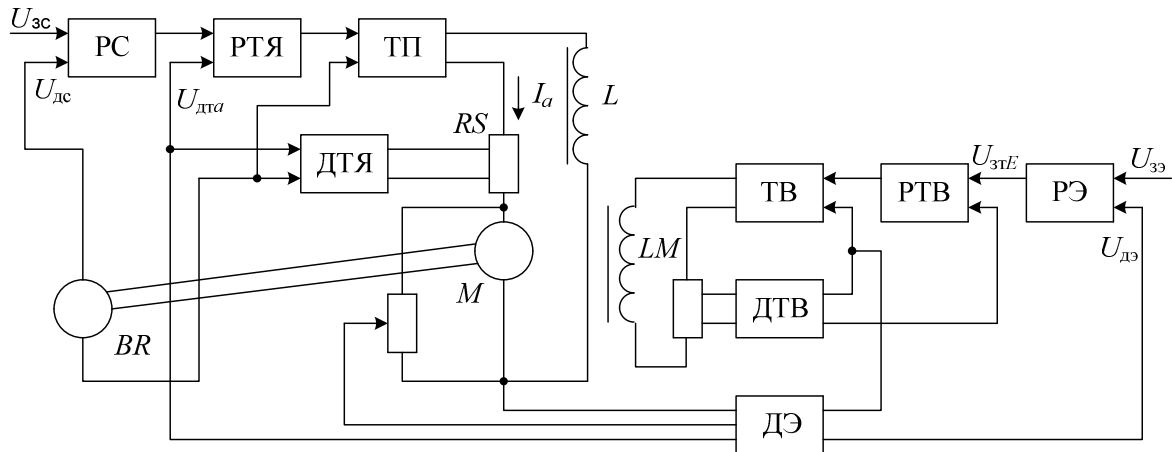


Рисунок 2.2 – Функциональная схема ЭП главного движения

Система управления электроприводом включает в себя две взаимосвязанные системы:

- воздействующую на напряжение ТП систему регулирования угловой скорости вращения с регулятором скорости вращения РС и подчиненным контуром регулирования тока якоря с регулятором тока якоря РТЯ;
- систему регулирования ЭДС с регулятором ЭДС РЭ и подчиненным контуром регулирования тока возбуждения с регулятором тока возбуждения РТВ. Подчиненный контур регулирования тока возбуждения замкнут по выходному напряжению датчика тока возбуждения ДТВ. Входным сигналом для контура тока возбуждения является выходное напряжение регулятора ЭДС, которое ограничено значением $U_{э,огр}$, соответствующим номинальному току возбуждения. На входе РЭ сравниваются постоянное значение задающего напряжения $U_э$ с напряжением $U_{дэ}$ датчика ЭДС (ДЭ). ДЭ настраивается таким образом, что он воспроизводит ЭДС с запаздыванием, равным постоянной времени якорной цепи двигателя. Так как при изменении направления вращения двигателя знак $U_{дэ}$ меняется на противоположный, а знак сигнала на входе РЭ изменяться не должен, то на выходе ДЭ предусмотрен блок выделения модуля.

Пока двигатель работает при угловой скорости вращения ниже номинальной, значение ЭДС двигателя меньше номинального значения. Задающее напряжение выбирается равным выходному напряжению ДЭ при номинальной ЭДС двигателя. Поэтому при $\Omega < \Omega_N$ выходное напряжение регулятора ЭДС равно напряжению ограничения. Благодаря этому ток возбуждения двигателя поддерживается равным номинальному значению. Когда угловая скорость вращения двигателя станет примерно равной Ω_N , а ЭДС двигателя достигает значения E_N напряжения $U_{зэ}$ и $|U_{дэ}|$ сравниваются, регулятор РЭ выйдет из ограничения и контур регулирования ЭДС замыкается. С этого момента система перейдет в режим поддержания постоянства ЭДС двигателя и дальнейшее увеличение частоты вращения происходит за счет ослабления потока возбуждения при $e = E_N = \text{const}$.

3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Каждый вид механической обработки характеризуется оптимальными значениями скоростей, усилий и мощностей, зависящих от материала детали, материала и геометрии режущего инструмента, которые определяются по эмпирическим формулам или по специальным картам технологических нормативов.

В процессе снятия стружки режущим инструментом возникает усилие, приложенное под углом к режущей кромке инструмента, которое можно представить в виде трех составляющих: F_z – тангенциальное усилие или усилие резания; F_y – радиальное усилие, создающее давление на суппорт (усилие поперечной подачи); F_x – осевое усилие или усилие подачи, преодолеваемое механизмом подачи (усилие продольной подачи).

Для расчета усилий при резании используются эмпирические формулы, значения коэффициентов и показателей степеней которых находятся по справочнику режимов резания. Усилие резания в электроприводах главного движения зависит от режимов резания (глубины резания, подачи, частоты вращения шпинделя), материала обрабатываемого изделия и режущих свойств инструмента. Поэтому при известном материале изделия, прежде всего, выбирают технологические режимы резания на каждом переходе обработки. Соответственно выбирают резцы, их тип, геометрию и способ охлаждения, определяют длины обработки и по справочникам режимов резания назначают глубины резания, подачи для каждого перехода, рассчитывают по эмпирическим формулам скорость и усилие резания.

В металлорежущих станках при расчетах режимов резания обычно подсчитывают мощность резания, далее с учетом потерь в передачах находят значение мощности на валу двигателя для каждого перехода обработки детали и на холостом ходу, а затем строят нагрузочные диаграммы в виде необходимой мощности двигателя за цикл работы.

Предварительно выбирают двигатель, исходя из среднего значения нагрузки за цикл с запасом на 20–30% по мощности $P_N \approx (1,2-1,3) P_{\text{ср}}$, где P_N – номинальная мощность двигателя; $P_{\text{ср}}$ – среднее значение необходимой мощности за цикл.

Выбранный двигатель проверяют на нагрев для полученной нагрузочной диаграммы методом средних потерь для асинхронного двигателя и методом эквивалентных значений для двигателей постоянного тока.

После проверки на нагрев двигатель следует проверить по допустимой кратковременной перегрузке.

В расчетном задании двигатель выбирается по наибольшему значению мощности резания P_z :

$$P_z = (F_z \cdot V) / 60, \quad (3.1)$$

где F_z – усилие резания (Н), V – скорость резания (м/мин).

С учетом потерь на трение в передачах мощность на валу двигателя:

$$P_d = P_z / \eta_N, \quad (3.2)$$

где η_N – номинальное значение КПД передач от шпинделя к двигателю, куда входят редукторы, коробки скоростей и другие передачи.

Для токарных, фрезерных и сверлильных станков КПД при полной нагрузке составляет 0,7–0,8, для шлифовальных станков 0,8–0,9.

Предварительный выбор двигателя производится из условия:

$$P_N \geq (1,2–1,3) P_d. \quad (3.3)$$

Данные двигателей постоянного тока приведены в табл. А.1.

Скорость резания определяется соотношением:

$$v = \pi \cdot d \cdot n, \quad (3.4)$$

где d – диаметр изделия (м); n – частота вращения ротора (об/мин).

При вращательном главном движении в станках токарной группы, расточных фрезерных, сверлильных и шлифовальных вращающий момент на шпинделе от усилия резания равен:

$$M_p = \frac{F_z \cdot d}{2}. \quad (3.5)$$

Момент статического сопротивления на валу двигателя M_l определяется зависимостью:

$$M_l = \frac{M_p}{i \cdot \eta_N}. \quad (3.6)$$

Выбранный двигатель проверяем по моменту:

$$M_N \geq M_l. \quad (3.7)$$

где M_N – номинальный вращающий момент двигателя, Н·м; M_l – момент статической нагрузки, Н·м.

4. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭП ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

4.1. Определение параметров объекта регулирования

Двигатель постоянного тока описывается системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_a = R_{a\Sigma}(1 + pT_a) \cdot i_a + e \\ U_E = \frac{R_{E\Sigma}}{K_\Phi}(1 + pT_E) \cdot \Phi \\ e = K \cdot \Phi \cdot \Omega \\ M = K \cdot \Phi \cdot i_a \\ M - M_l = J \frac{d\Omega}{dt} \end{array} \right. , \quad (4.1)$$

где U_a – напряжение питания якорной обмотки, В; $R_{a\Sigma}$ – суммарное сопротивление якорной цепи, Ом; T_a – электромагнитная постоянная времени обмотки якоря, с; i_a – ток якорной цепи, А; e – ЭДС якорной цепи двигателя, В; U_E – напряжение питания обмотки возбуждения, В; $R_{E\Sigma}$ – суммарное сопротивление обмотки возбуждения, Ом; K_Φ – коэффициент линейризации кривой намагничивания, Вб/А; T_E – электромагнитная постоянная времени обмотки возбуждения, с; Φ – магнитный поток, Вб; K – конструктивный коэффициент двигателя; M – вращающий момент двигателя, Н·м; J – момент инерции электродвигателя, кг·м².

Структурная схема двигателя, соответствующая (4.1) приведена на рис. 4.1.

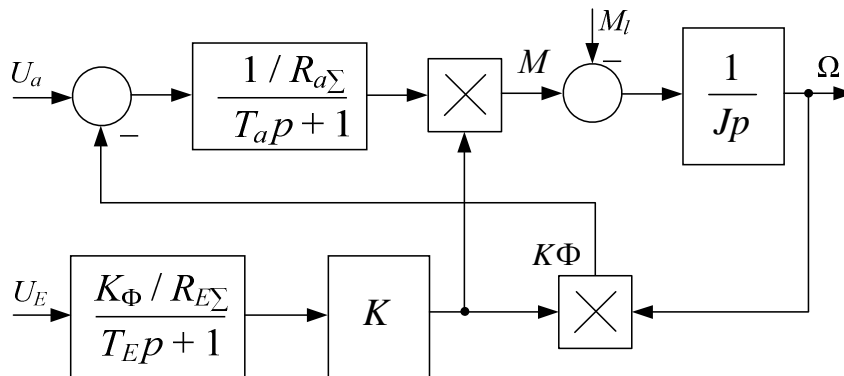


Рисунок 4.1 – Структурная схема двигателя

Номинальная угловая скорость двигателя, рад/с

$$\Omega_N = \frac{\pi \cdot n_N}{30}, \quad (4.2)$$

где n_N – номинальная частота вращения якоря двигателя, об/мин.

Максимальная угловая скорость двигателя, рад/с

$$\Omega_{\max} = \frac{\pi \cdot n_{\max}}{30}. \quad (4.3)$$

Значение конструктивного коэффициента двигателя:

$$K = \frac{p \cdot N}{2\pi \cdot a}, \quad (4.4)$$

где p – число пар полюсов; a – число параллельных ветвей; N – число витков обмотки якоря.

Суммарное активное сопротивление якорной цепи, Ом

$$R_{a\Sigma} = R_a + R_{adp}, \quad (4.5)$$

где R_a – сопротивление обмотки якоря, R_{adp} – сопротивление добавочных полюсов.

Индуктивность обмотки якоря, Гн

$$L_a = \frac{0,6 \cdot U_{aN}}{p \cdot \Omega_N \cdot I_{aN}}. \quad (4.6)$$

Электромагнитная постоянная времени обмотки якоря двигателя, с

$$T_a = \frac{L_a}{R_a}. \quad (4.7)$$

Для упрощения расчетов принимаем, что эквивалентная индуктивность якорной цепи равна:

$$L_e = 1,5 \cdot L_a. \quad (4.8)$$

Эквивалентное сопротивление якорной цепи, Ом

$$R_e = \frac{U_{aN} - K \cdot \Phi_N \cdot \Omega_N}{I_{aN}}. \quad (4.9)$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи, с

$$T_e = \frac{L_e}{R_e}. \quad (4.10)$$

Суммарный момент инерции электропривода, кг·м²

$$J_\Sigma = 1,2 \cdot J. \quad (4.11)$$

Электромеханическая постоянная времени механизма, с

$$T_m = \frac{J_\Sigma \cdot R_e}{(K\Phi)^2}. \quad (4.12)$$

Максимальное значение выпрямленной ЭДС преобразователя обмотки якоря (трехфазная мостовая схема)

$$E_{d0} = 2,34 \cdot E_{eff.2\phi} = 1,35 \cdot E_{eff.2}, \quad (4.13)$$

где $E_{eff.2\phi}$ – действующее значение фазной ЭДС вторичной цепи трансформатора, $E_{eff.2}$ – действующее значение линейной ЭДС вторичной цепи трансформатора.

Номинальное значение ЭДС двигателя, В

$$E_N = K \cdot \Phi_N \cdot \Omega_N. \quad (4.14)$$

На основании исходных данных построить кривую намагничивания обмотки возбуждения (рис. 4.2.).

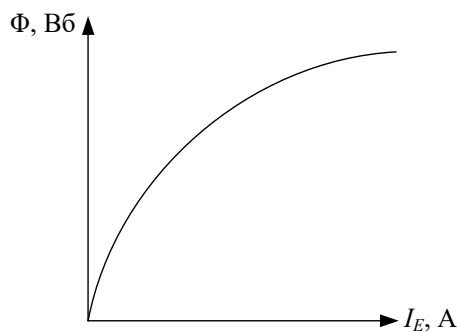


Рисунок 4.2 – Кривая намагничивания

Коэффициент линеаризации кривой намагничивания, Вб/А

$$K_\Phi = \Delta\Phi / \Delta I_E, \quad (4.15)$$

где ΔI_E – приращение тока возбуждения, $\Delta\Phi$ – соответствующее приращение магнитного потока.

4.2. Определение параметров контура регулирования угловой скорости при номинальном потоке возбуждения

Структурная схема контура регулирования угловой скорости вращения с подчиненным контуром тока якоря приведена на рисунке 4.3.

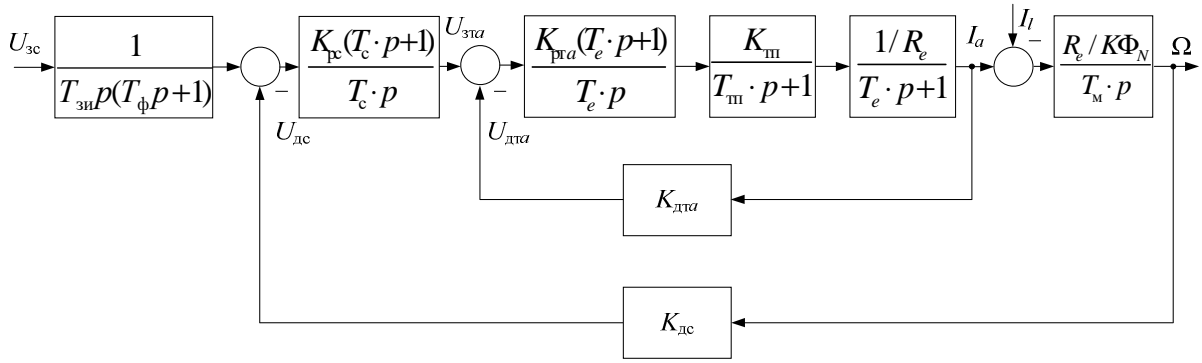


Рисунок 4.3 – Структурная схема контура регулирования угловой скорости

Коэффициент обратной связи по току якоря, Ом

$$K_{дта} = \frac{U_{зт\max}}{\lambda \cdot I_{aN}}, \quad (4.16)$$

где $U_{зт\max}$ – напряжение задания тока с учетом перегрузки, В $\lambda = 1,5 - 2,5$ – коэффициент перегрузки.

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя якоря

$$K_{тп} = \frac{E_{d0}}{U_y}, \quad (4.17)$$

где $U_y = 10$ В – напряжение управления тиристорного преобразователя.

Некомпенсируемую постоянную времени контура тока якоря примем равной времени тиристорного преобразователя, с

$$T_{\mu} = T_{тп} = 0,003 \text{ с}. \quad (4.18)$$

С целью настройки контура тока на модульный (технический) оптимум параметры регулятора тока якоря примем следующими:

$$T_{рт} = T_e. \quad (4.19)$$

Коэффициент передачи регулятора тока якоря

$$K_{рга} = \frac{T_e \cdot R_e}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{тп} \cdot K_{дта}}. \quad (4.20)$$

Коэффициент обратной связи по скорости, В с

$$K_{дс} = \frac{U_{зсN}}{\Omega_N} = \frac{U_{зс\max}}{\Omega_{\max}}, \quad (4.21)$$

где $U_{зсN}$ – напряжение задания номинальной скорости, $U_{зс\max}$ – напряжение задания максимальной скорости.

При настройке контура скорости на симметричный оптимум постоянную времени регулятора скорости примем $T_c = 8 \cdot T_\mu$.

Коэффициент передачи регулятора скорости при номинальном потоке

$$K_{pc} = \frac{K \cdot \Phi_N \cdot K_{дта} \cdot T_M}{4 \cdot T_\mu \cdot K_{дс} \cdot R_e} \quad (4.22)$$

С целью уменьшения перерегулирования в контуре скорости на его входе включают фильтр с постоянной времени, с

$$T_\phi = 8 \cdot T_\mu \quad (4.23)$$

Для задания допустимого темпа разгона и торможения привода на входе контура скорости устанавливается задатчик интенсивности.

4.3 Определение параметров контура регулирования возбуждения

Структурная схема контура регулирования ЭДС с подчиненным контуром тока возбуждения приведена на рис.4.4.

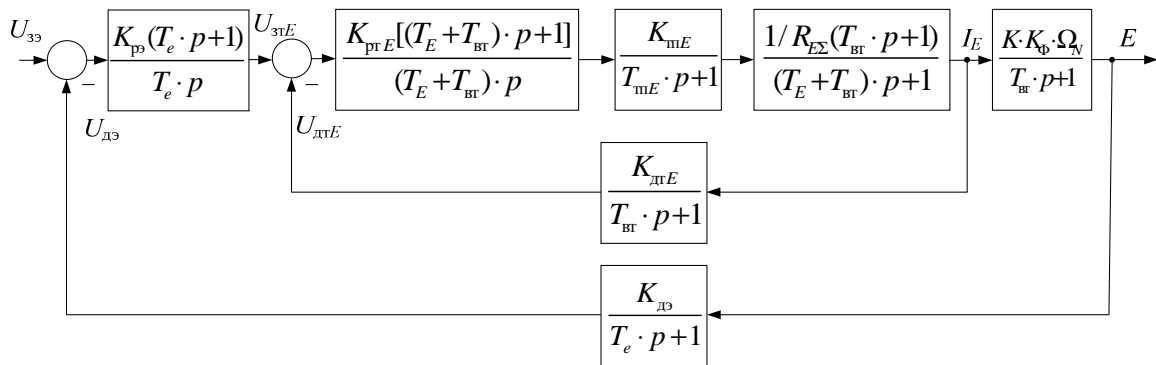


Рисунок 4.4 – Структурная схема контура регулирования ЭДС

Коэффициент обратной связи по току возбуждения

$$K_{дтE} = \frac{U_{зтE}}{I_{EN}} \quad (4.24)$$

где $U_{зтE}$ – напряжение задания тока возбуждения.

Суммарное сопротивление обмотки возбуждения

$$R_{E\Sigma} = 1,38 \cdot R_E \quad (4.25)$$

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя возбуждения (мостовая однофазная схема)

$$K_{тпЕ} = \frac{0,9 \cdot U_{\phi}}{U_y}, \quad (4.26)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора.

На рис. 4.4. цепь обмотки возбуждения двигателя представлена в виде двух передаточных функций, чтобы выделить сигнал тока возбуждения I_E .

Постоянная времени цепи обмотки возбуждения, с

$$T_E = \frac{2 \cdot p \cdot W_E \cdot K_{\phi}}{R_{E\Sigma}}, \quad (4.27)$$

где W_E – число витков обмотки возбуждения.

Постоянная времени контура вихревых токов $T_{вт} = 0,1 \cdot T_E$ принимается равной постоянной времени датчика обратной связи тока возбуждения $T_{вт} = T_{дтЕ}$.

Постоянная времени тиристорного возбудителя принимается равной некомпенсируемой постоянной времени $T_{\mu E} = T_{тпЕ} = 0,003$ с.

Контур тока возбуждения настраивается на модульный оптимум с ПИ-регулятором. Постоянная времени регулятора тока возбуждения

$$T_{ртЕ} = T_E + T_{вт}. \quad (4.28)$$

Коэффициент усиления регулятора тока возбуждения

$$K_{ртЕ} = \frac{(T_E + T_{вт}) \cdot R_{E\Sigma}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{тпЕ} \cdot K_{дтЕ}}. \quad (4.29)$$

Коэффициент обратной связи по ЭДС

$$K_{дэ} = \frac{U_{зэN}}{E_N}, \quad (4.30)$$

где $U_{зэN}$ – напряжение задания номинальной ЭДС.

Постоянная времени датчика обратной связи по ЭДС принимается равной электромагнитной постоянной времени двигателя $T_{дэ} = T_e$.

Настройка контура ЭДС также производится на модульный оптимум. При этом регулятор ЭДС может быть как ПИ, так и И. Использование ПИ-регулятора более целесообразно, так как при применении И-регулятора быстроедействие контура ЭДС для современных двигателей недостаточно с точки зрения допустимого отклонения ЭДС при разгоне. При этом постоянная времени ПИ-регулятора ЭДС может быть выбрана из условия ком-

пенсации электромагнитной постоянной времени обмотки якоря T_e или постоянной времени контура тока возбуждения. Пусть $T_{рз}=T_e$.

Тогда коэффициент усиления ПИ-регулятора ЭДС

$$K_{рз} = \frac{T_e \cdot K_{дтЕ}}{2 \cdot T_{\muз} \cdot K_{\Phi} \cdot K \cdot \Omega_N \cdot K_{дэ}}, \quad (4.31)$$

где $T_{\muз}=2 \cdot T_{\muЕ}$.

Настройку контура ЭДС можно производить для работы на максимальной скорости. При этом на скоростях $\Omega < \Omega_{\max}$ частота среза ЛАЧХ контура ЭДС будет уменьшаться пропорционально уменьшению $K_{\Phi}\Omega$. Для синтеза регулятора ЭДС на максимальную скорость в выражение (4.31) вместо Ω_N необходимо подставить значение Ω_{\max} .

Составим структурную схему системы двухзонного регулирования угловой скорости на основании функциональной схемы (рис. 2.2). Для этого необходимо объединить структурные схемы на рис. 4.3 и рис. 4.4. В результате получим двухканальную взаимосвязанную систему регулирования угловой скорости вращения (рис.4.4).

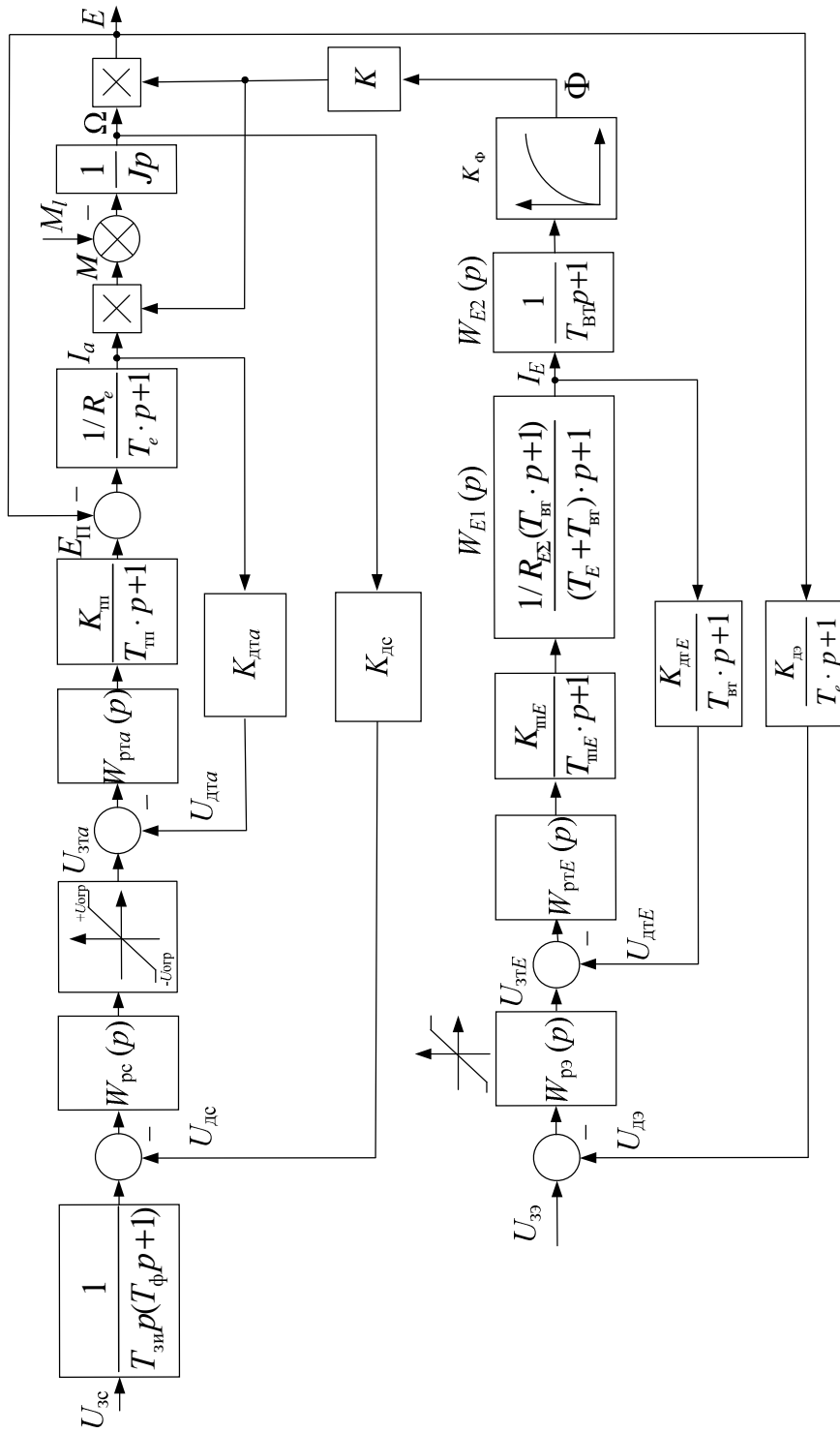


Рисунок 4.4 – Структурная схема системы двухзонного регулирования угловой скорости

5. РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Расчет динамических режимов необходимо выполнить при помощи пакета Matlab.

Для проверки правильности расчета параметров системы регулирования необходимо исследовать переходные процессы в контурах:

- контуре тока якоря;
- контуре угловой скорости с подчиненным контуром тока якоря (рис. 4.3);
- контуре тока возбуждения;
- контуре ЭДС двигателя с подчиненным контуром тока возбуждения (рис. 4.4).

Провести моделирование при двухзонном регулировании скорости на основании структурной схемы (рис. 4.4).

Необходимо получить переходные процессы:

1. Разгон на холостом ходу до Ω_{\max} .
2. Разгон на холостом ходу в две ступени: от 0 до Ω_N и от Ω_N до Ω_{\max} .
3. Разгон до угловой скорости Ω_{\max} под нагрузкой $M_l = M_{lN} / D_{II}$
4. Разгон под нагрузкой в две ступени: от 0 до Ω_N при $M_l = M_{lN}$, и от Ω_N до Ω_{\max} при $M_l = M_{lN} / D_{II}$.

Расчеты должны быть выполнены при настройке ПИ-регулятора ЭДС на номинальную угловую скорость Ω_N .

Сигнал задания на вход контура скорости должен подаваться после окончания переходного процесса в контуре возбуждения, т.е. при номинальном магнитном потоке.

На графиках переходных процессов указать величину сигнала задания, условия моделирования, величины установившихся значений и показатели качества регулируемых координат. На печать должны быть выведены ток якоря, вращающий момент, угловая скорость, магнитный поток, ЭДС.

Примеры графиков переходных процессов при моделировании систем электропривода приведены в приложении Б (рис. Б.1– рис. Б.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин Б. Г. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами : учеб. пособ. для вузов / Б. Г. Коровин, Г. И. Прокофьев, Л. Н. Рассудов. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 352 с.
2. Михайлов О. П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : учебник для вузов. / О. П. Михайлов. – М. : Машиностроение, 1990. – 304 с.
3. Фишбейн В. Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока / В. Г. Фишбейн. – М. : Энергия, 1972. – 136 с.
4. Башарин А. В. Управление электроприводами / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л. : Энергоатомиздат, 1982. – 392 с.
5. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине "Автоматическое управление электроприводами" для студентов специальности 21.05 "Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов" / сост. Акимов Л. В. – Харьков : ХПИ, 1992. – 25 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ
Приложение А

Таблица А.1 – Исходные данные

Вариант	Усилие резания, F_z , Н	Скорость резания, V , м/мин	Диаметр изделия, d , м	Передаточное отношение редуктора, i	Диапазон регулирования скорости, D	
					1 зона	2 зона
1	3000	78	0,2	3	100	3,5
2	3500	69	0,5	3,5	100	3
3	3500	70	0,15	3	50	2,5
4	4000	60	0,1	2	100	2,75
5	4300	83	0,3	5,5	150	3
6	6500	77	0,4	10	250	2,5
7	6800	73	0,3	8	300	3
8	7000	66	0,4	8	100	2
9	8000	75	0,4	8	150	3
10	9000	75	0,4	12	500	2
11	9100	40	0,3	12	150	0,3
12	11000	40	0,3	10	200	2,5
13	14200	80	0,6	25	500	1,2
14	14700	78	0,6	27	400	2
15	15000	76	0,7	25	200	2
16	16000	72	0,4	20	450	1,5
17	18000	80	0,75	18	150	2
18	22000	82	0,75	32	500	1,75
19	32000	80	0,8	26	400	2
20	51000	75	0,85	43	500	1,5

Продолжение табл. А.1.

Вариант	Усилие резания, F_z , Н	Скорость резания, V , м/мин	Диаметр изделия, d , м	Передаточное отношение редуктора, i	Диапазон регулирувания скорости, D	
					1 зона	2 зона
21	3000	78	0,2	3	150	3
22	3500	69	0,5	3,5	150	2,5
23	3500	70	0,15	3	80	2
24	4000	60	0,1	2	150	2,5
25	4300	83	0,3	5,5	100	2,25
26	6500	77	0,4	10	200	2
27	6800	73	0,3	8	250	2,5
28	7000	66	0,4	8	120	1,5
29	8000	75	0,4	8	140	2,5
30	9000	75	0,4	12	200	1,5
31	9100	40	0,3	12	250	0,25
32	11000	40	0,3	10	220	2
33	14200	80	0,6	25	300	1,25
34	14700	78	0,6	27	300	2,5
35	15000	76	0,7	25	250	2,5
36	16000	72	0,4	20	350	1,75
37	18000	80	0,75	18	250	1,75
38	22000	82	0,75	32	400	1,5
39	32000	80	0,8	26	300	2
40	51000	75	0,85	43	400	1,5

Таблица А.2 – Технические данные двигателей постоянного тока

Характеристики / Тип двигателя		2П225					
P_N , кВт		7,5	11	15	22	37	37
I_N , А		40,9	58,6	79	114,7	189	94,2
U_N , В		220	220	220	220	220	440
n_N , об/мин		500	600	750	1000	1500	1500
M_N , кг·м		14,6	17,8	19,5	21,4	24,0	24,0
$2p$		4	4	4	4	4	4
$2a$		2	2	2	2	2	2
R_a , Ом		0,459	0,2721	0,1904	0,1193	0,0476	0,1904
$R_{дп}$, Ом		0,239	0,1448	0,0817	0,0522	0,0198	0,08172
N		702	594	468	396	234	468
f , (Гц) перемагничивания		16,66	20	25	33,33	50	50
J , кг·м ²		0,534	0,534	0,534	0,534	0,534	0,534
R_E , Ом		34,78	34,78	34,78	34,78	34,78	34,78
I_{EN} , А		3,04	3,25	3,36	2,99	3,81	3,86
Φ_N , Вб		0,01619	0,01629	0,01679	0,01499	0,01754	0,01762
W_E		835	835	835	835	835	835
n_{max} , об/мин		1800	2100	2500	2500	3000	1850
U_{EN} , В		146	156	161	143	182	185
Кривая намаг- ничивания $\Phi = f(i_E)$, Вб $i_E = I_{EN} \cdot K$, где $K = 1; 1,2;$ 0,8; 0,5	1	0,01619	0,01629	0,01679	0,01499	0,01754	0,01762
	1,2	0,0194	0,01955	0,02015	0,01799	0,02105	0,2115
	0,8	0,01295	0,01303	0,01343	0,01199	0,01403	0,01409
	0,5	0,00809	0,008146	0,00839	0,007498	0,00877	0,00881
η , %		78,8	81,6	83,3	85,3	87,8	88,2

Продолжение табл. А.2

Характеристики/ Тип двигателя	2П250					2П225	
	P_N , кВт	7,5	15	18,5	37	55	7,5
I_N , А	58,62	79,7	97,4	189	279,7	82,7	
U_N , В	200	220	220	220	220	110	
n_N , об/мин	200	530	630	1060	1500	500	
M_N , кгМ	36,56	2,75	28,6	34,0	35,75	14,6	
$2p$	4	4	4	4	4	4	
$2a$	2	2	2	2	2	2	
R_a , Ом	0,7426	0,1965	0,152	0,0491	0,027	0,11937	
$R_{дп}$, Ом	0,4105	0,1081	0,0748	0,0232	0,0157	0,05528	
N	990	540	468	270	198	396	
f , (Гц) перемагничивания	6,66	17,66	21	35,33	50	16,66	
J , кг·м ²	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,534	
R_E , Ом	20,34	20,34	20,34	20,34	26,69	34,78	
I_{EN} , А	5,31	5,43	5,21	6,16	4,95	2,65	
Φ_N , Вб	0,01975	0,0203	0,0199	0,0214	0,0208	0,01417	
W_E	714	714	714	714	873	835	
n_{max} , об/мин	600	1500	2100	2500	2800	1800	
U_{EN} , В	149	152	146	173	182,3	127	
Кривая намаг- ничивания $\Phi = f(i_E)$, Вб $i_E = I_{EN} \cdot K$, где $K = 1; 1,2;$ 0,8; 0,5	1	0,01975	0,0203	0,0199	0,0214	0,0208	0,01417
	1,2	0,0237	0,0243	0,0239	0,0257	0,02498	0,01701
	0,8	0,0158	0,01624	0,01594	0,01713	0,01665	0,01134
	0,5	0,009878	0,010115	0,00996	0,010708	0,01041	0,00708
η , %	59,5	81,2	83	87	89,7	79,1	

Продолжение табл. А.2

Характеристики/ Тип двигателя		2П280		
P_N , кВт		45	75	110
I_N , А		231,4	377	547,7
U_N , В		220	220	220
n_N , об/мин		750	1000	1500
M_N , кгМ		585	731	715
$2p$		4	4	4
$2a$		2	2	4
R_a , Ом		0,0494	0,0215	0,01035
$R_{дп}$, Ом		0,0198	0,0104	0,00516
N		270	198	272
f , (Гц) перемагничивания		25	33,33	50
J , кг·м ²		2,2	2,2	2,2
R_E , Ом		28,03	25,25	21,64
I_{EN} , А		6,48	5,85	6,34
Φ_N , Вб		0,02992	0,0312	0,030809
W_E		844	761	705
n_{max} , об/мин		2000	2250	2600
U_{EN} , В		250	204	189
Кривая намагничивания $\Phi = f(i_E)$, Вб $i_E = I_{EN} \cdot K$, где $K = 1; 1,2; 0,8; 0,5$	1	0,02992	0,0312	0,03081
	1,2	0,03591	0,03744	0,03697
	0,8	0,02394	0,02496	0,02465
	0,5	0,01496	0,0156	0,0154
η , %		87,5	89,4	80,8

Приложение Б

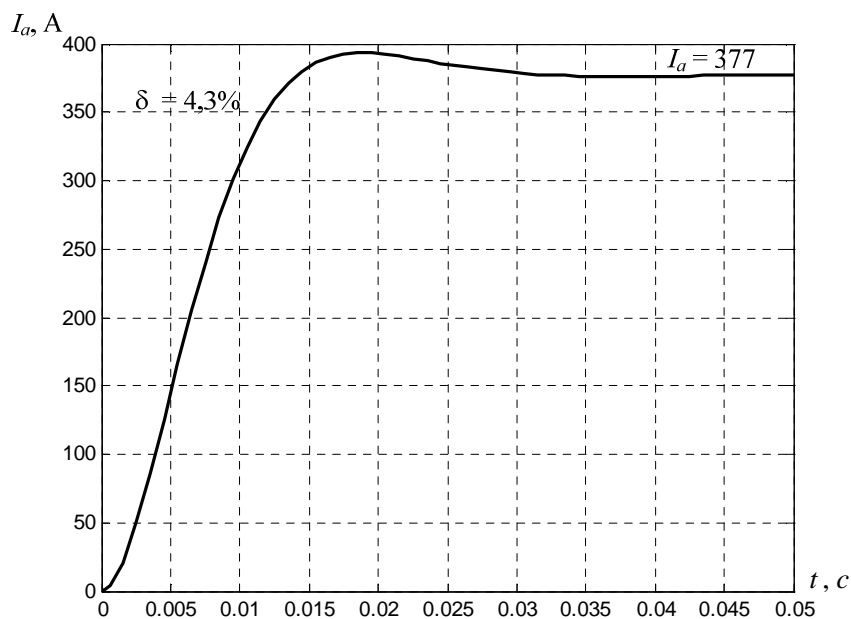


Рисунок Б.1 – Переходной процесс в контуре регулирования тока якоря

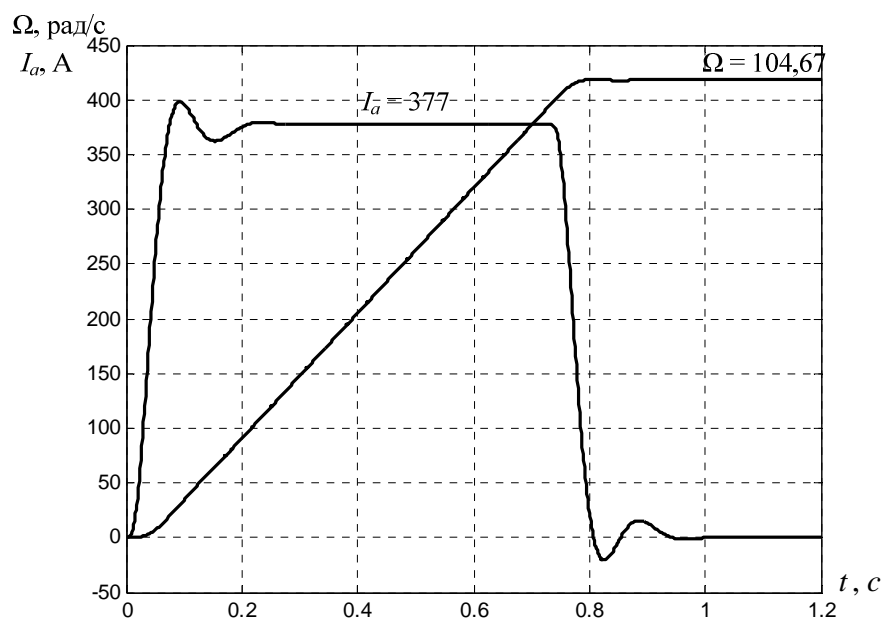


Рисунок Б.2 – Переходной процесс в контуре регулирования угловой скорости вращения

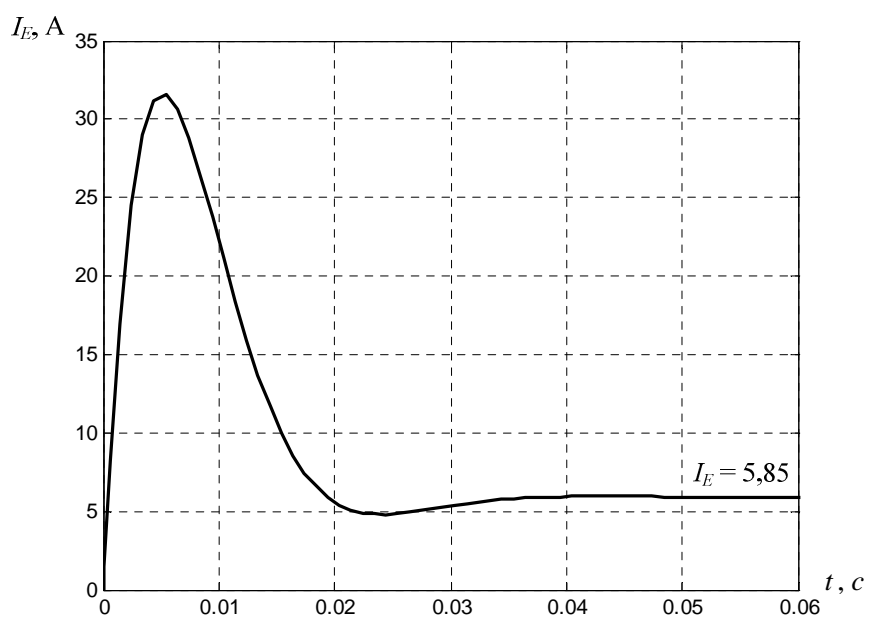


Рисунок Б.3 – Переходной процесс в контуре регулирования тока возбуждения

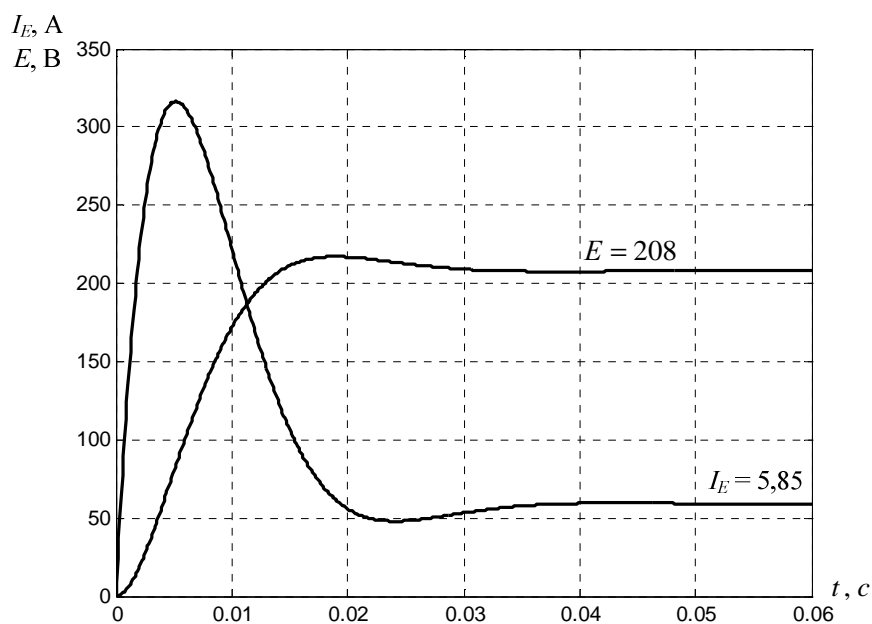


Рисунок Б.4 – Переходной процесс в контуре регулирования ЭДС при использовании ПИ-регулятора ЭДС и настройке на Ω_N

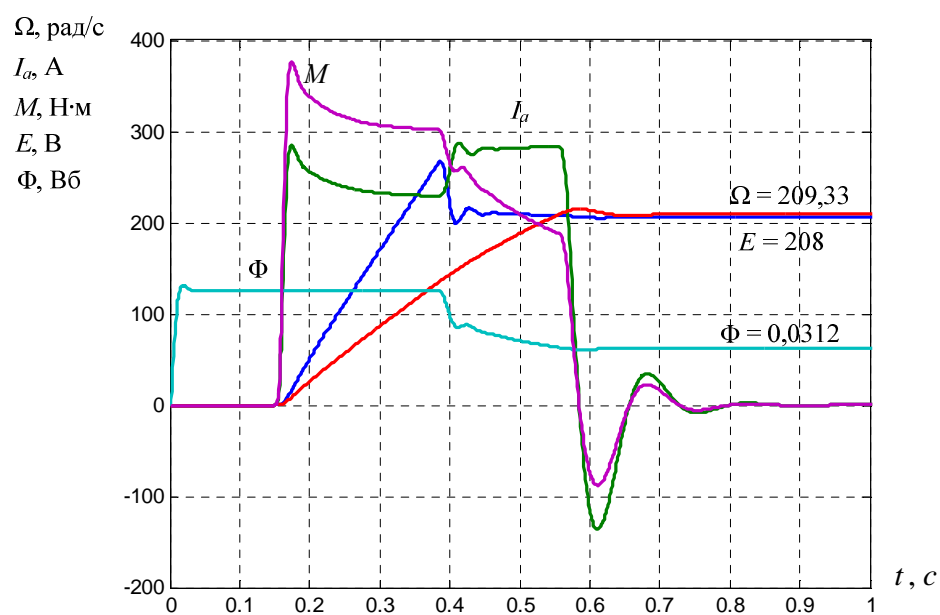


Рисунок Б.5 – Переходной процесс в системе двухзонного регулирования:
разгон на холостом ходу до Ω_{\max}

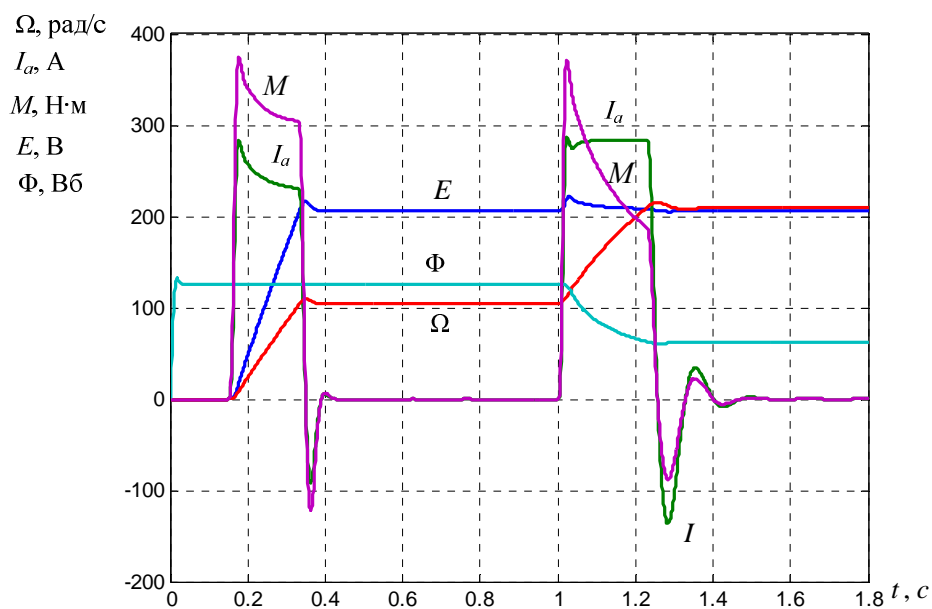


Рисунок Б.6 – Переходной процесс в системе двухзонного регулирования:
разгон на холостом ходу в две ступени от 0 до Ω_N и от Ω_N до Ω_{\max}

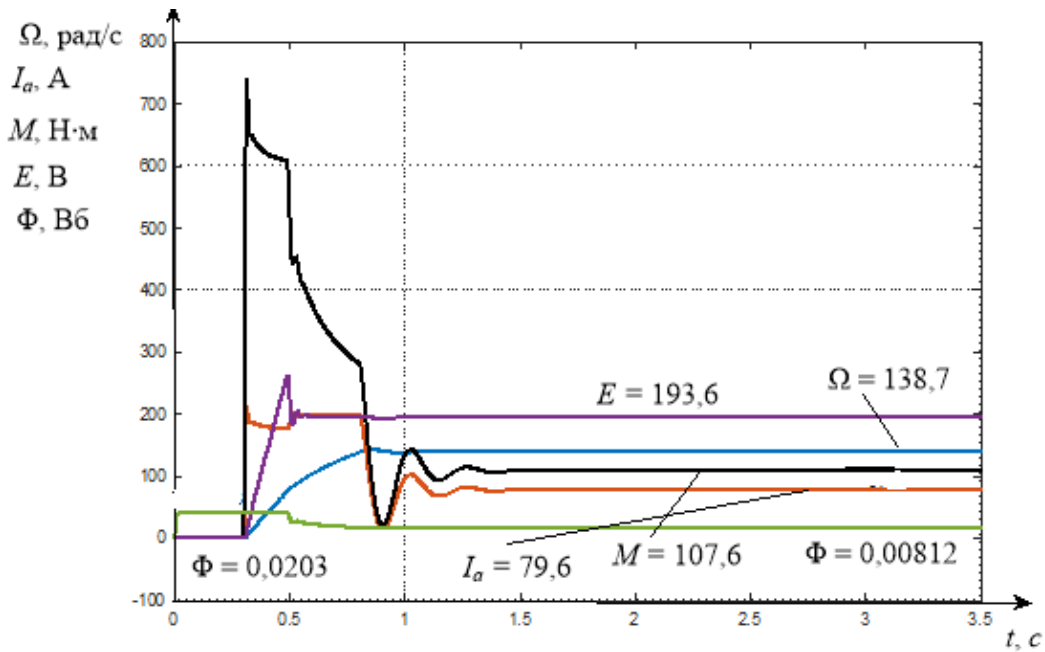


Рисунок Б.7 – Переходной процесс в системе двухзонного регулирования:
разгон под нагрузкой $M_l = M_{IN}/D_{II}$ до Ω_{max}

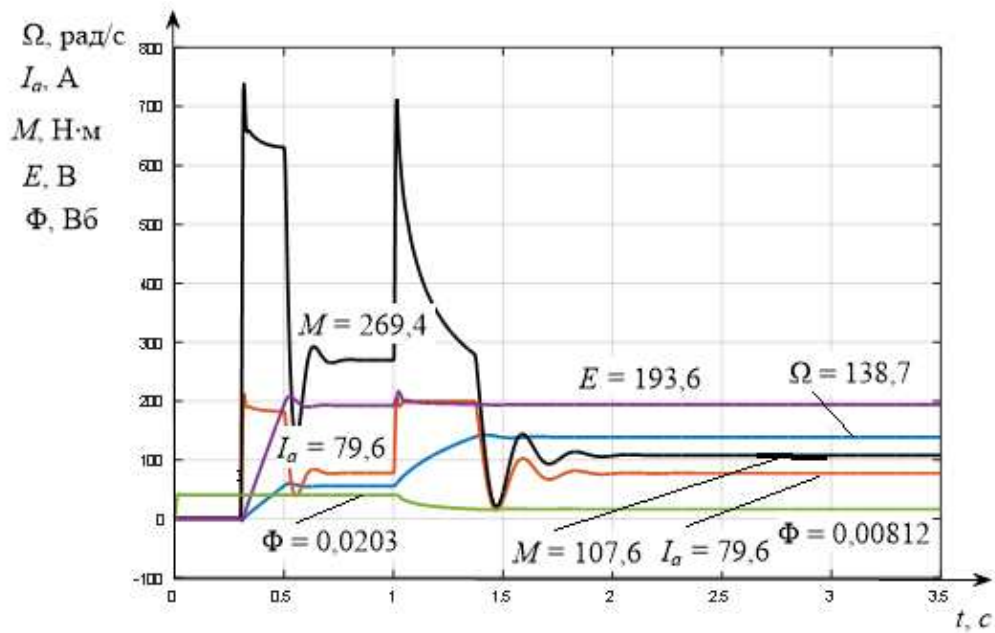


Рисунок Б.8 – Переходной процесс в системе двухзонного регулирования:
разгон под нагрузкой в две ступени от 0 до Ω_N при $M_l = M_{IN}$
и от Ω_N до Ω_{max} при $M_l = M_{IN}/D_{II}$

СОДЕРЖАНИЕ

Вступление	3
1. Задание	4
2. Функциональная схема электропривода главного движения	5
3. Расчет мощности и выбор электродвигателя	8
4. Синтез системы двухзонного регулирования частоты вращения ЭП главного движения	10
4.1. Определение параметров объекта регулирования	10
4.2. Определение параметров контура регулирования угловой скорости при номинальном потоке возбуждения	12
4.3. Определение параметров контура регулирования возбуждения	14
5. Расчет динамических режимов с помощью ЭВМ	18
Список литературы	19
Приложения	20

Навчальне видання

Синтез системи двозонного регулювання частоти обертання
електроприводу головного руху металорізальних верстатів

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання
з курсу «Числове програмне керування мехатронними системами»
для студентів спеціалізацій

141.09 – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
141.10 – Мехатроніка та робототехніка,
в тому числі для студентів іноземців

Російською мовою

Укладач АНІЩЕНКО Микола Васильович

Роботу до видання рекомендував проф. Мілих В. І.

В авторській редакції

План 2019 р., п. 18.

Підписано до друку

2019 р. Гарнітура Таймс

Самостійне електронне видання