

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра автоматизации производственных процессов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА
С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
для студентов очной и заочной форм обучения
по дисциплинам «Моделирование систем управления» и
«Моделирование систем и процессов»
направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и
производств»,
направления 27.03.04 «Управление в технических системах»

Курган 2017

Кафедра автоматизации производственных процессов.

Дисциплина: «Моделирование систем управления»,

«Моделирование систем и процессов».

Составил: доц., канд. тех. наук Б.П. Лебединский

Утверждены на заседании кафедры

«20» октября 2016 г.

Рекомендованы методическим советом университета

«17» декабря 2015 г.

Цель работы: Изучение статических и динамических характеристик двухконтурных электроприводов подчиненного регулирования и методов настройки регуляторов тока и скорости.

Для систем электропривода современных станков и промышленных роботов наибольшее применение в настоящее время нашел электропривод постоянного тока с подчиненным регулированием параметров. Он характеризуется типовой структурой, стандартными настройками регуляторов и высокими показателями в статике и динамике.

Среди задач, для решения которых используются цифровые вычислительные машины на стадии первичного проектирования систем электропривода, значительный вес составляют задачи моделирования, представляющие собой основу машинных методов анализа и синтеза систем управления.

Как правило, решение дифференциальных уравнений, описывающих динамику системы электропривода, не может быть получено аналитическими методами. В этом случае целесообразно использовать численные методы решения дифференциальных уравнений и программные продукты моделирования VISSIM, MATLAB и др.

1. Математическая модель электропривода постоянного тока с подчиненным регулированием

Структурная схема тиристорного электропривода с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока якоря при неизменном потоке возбуждения изображена на рисунок 1.

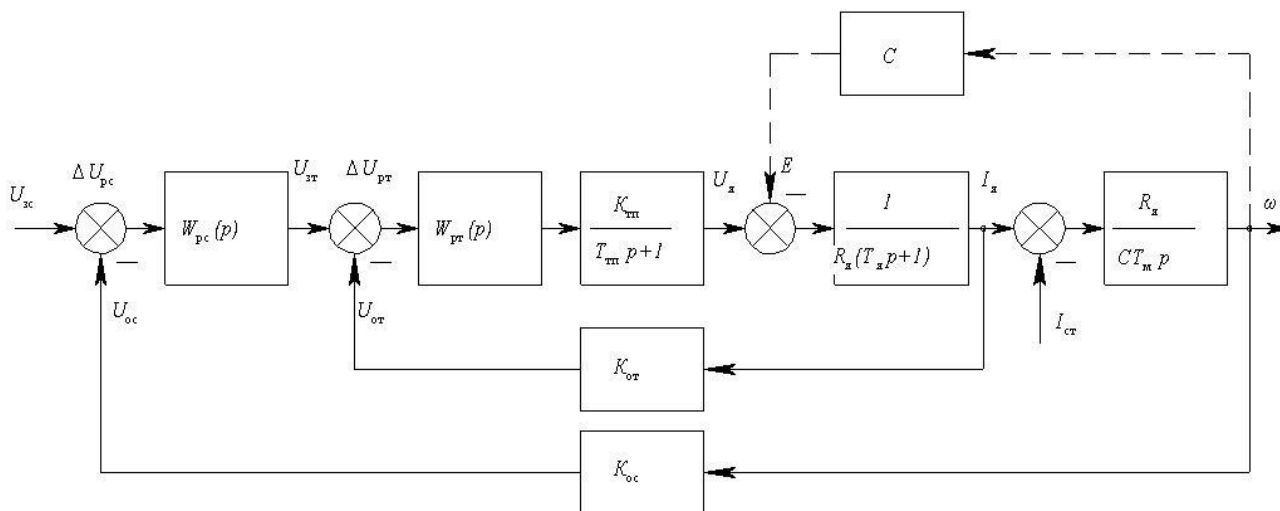


Рисунок 1. Структурная схема тиристорного электропривода с внешним контуром скорости и внутренним контуром тока якоря

Настройка регуляторов скорости и тока подробно изложена в литературе /1, 2, 3 и др./ . При настройке контура тока на технический (модульный) оптимум (ТО) передаточная функция регулятора тока имеет вид

$$W_{pT}(p) = \kappa_{pT} \frac{T_{pT}p + 1}{T_{pT}p} \quad (1)$$

где

$$\kappa_{pT} = \frac{T_{я} R_{я}}{2T_{тп}\kappa_{тп}\kappa_{от}}; \quad T_{pT} = T_{я}$$

- соответственно коэффициент передачи и постоянная времени регулятора тока $\kappa_{тп}$ и $T_{тп}$ - коэффициент передачи и постоянная времени тиристорного преобразователя.

Если регулятор скорости настроен на технический оптимум, то его передаточная функция

$$W_{pс}(p) = \kappa_{pс} = \frac{T_{м}\kappa_{от}c}{4T_{тп}\kappa_{от}R_{я}} \quad (2)$$

При использовании ПИ-регулятора скорости и настройке его на симметричный оптимум (СО) имеем

$$W_{pс}(p) = \kappa_{pс} \frac{T_{pс}p + 1}{T_{pс}p} \quad (3)$$

где $T_{pс} = 8T_{тп}$, а значение $\kappa_{pс}$ определяется выражением (2).

2. Подготовка исходных данных для исследования электропривода

Перед началом работы с программой VISSIM необходимо подготовить следующие данные:

1. Параметры электродвигателя

- номинальное напряжение $U_{н}$, В;
- номинальный ток и номинальный момент (для определения C) $I_{ян}$, А; $M_{н}$, н·м;
- максимальный ток $I_{я\max}$, А;
- номинальная скорость вращения $\omega_{н}$, рад/с;
- сопротивление якорной цепи $R_{я}$, Ом;
- электрическая постоянная времени (постоянная времени якорной цепи)

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}}, \text{ с};$$

- электромеханическая постоянная времени $T_{м}$, с. $T_{м} = \frac{J \cdot R_{я}}{C^2}$,

где $J = J_{д} + J_{мех}$ - суммарный момент инерции электропривода.

Принять $J_{мех} = J_{д}$.

2. Параметры тиристорного преобразователя:

- постоянная времени $T_{тп}$, с;
- коэффициент передачи $\kappa_{тп}$.

3. Параметры датчиков обратной связи:

- коэффициент передачи обратной связи по току $\kappa_{от}$, $\frac{В}{А}$;

- коэффициент передачи обратной связи по скорости $\kappa_{oc}, \frac{B \cdot c}{рад}$

4. Нагрузочные параметры:

- момент сопротивления на валу M_c , н м;
- время начала действия нагрузки $t_{нач}$, с.

5. Задающее напряжение на входе электропривода.

По рекомендации МЭК (международной электротехнической комиссии) максимальное задающее напряжение $U_{zc \max} = \pm 10 B$. Этому напряжению соответствует максимальная (или номинальная) скорость электропривода. При уменьшении напряжения U_{zc} пропорционально снижается скорость электропривода вплоть до нулевого значения при $U_{zc} = 0$.

Постоянная времени тиристорного преобразователя (ТП) определяется по выражению

$$T_{ТП} = \tau + T_{cy} ,$$

где $\tau = \frac{1}{2mf}$ - постоянная времени ТП, обусловленная его "чистым" запаздыванием; m - число пульсаций выпрямленного напряжения за период питающего напряжения сети; f - частота сети; T_{cy} - постоянная времени СИФУ. T_{cy} зависит от параметров, используемых тиристоры и подстроечных элементов СИФУ, ее величину приближенно принимают (0,003...0,005) с. Рекомендуется $T_{ТП}$ принимать равной (0,005...0,01) с.

Очень часто $T_{ТП} = T_{\mu}$, где T_{μ} - называют малой некомпенсируемой постоянной времени токового контура.

Коэффициент передачи ТП определяется по выражению

$$\kappa_{ТП} = \frac{U_{я \max}}{U_{рТ \max}}$$

где $U_{я \max}$ - максимальное напряжение, подаваемое на якорь электродвигателя. Рекомендуется принять $U_{я \max} = 1,5U_n$, а $U_{рТ \max} = 10 B$.

Параметры цепей обратной связи по току и скорости определяются из выражений

$$\kappa_{от} = \frac{U_{зТ \max}}{I_{я \max}}$$

$$\kappa_{ос} = \frac{U_{зс \max}}{\omega_{\max}}$$

$$U_{зТ \max} = 10 B; \quad U_{зс \max} = 10 B$$

I_{\max}, ω_{\max} - максимальные значения тока и скорости электропривода (если двигатель используется в пределах номинальных режимов, эти величины соответствуют его паспортным номинальным данным). В том случае, если использовать максимальные значения скорости и тока, то их вычислить в

соответствии с выражениями

$$\omega_{\max} \approx \frac{U_{я\max}}{C}; \quad I_{я\max} \approx (4 \dots 6)I_{ян.}$$

Момент сопротивления на валу двигателя принять равным номинальному значению.

$t_{\text{нач}}$ - время начала действия нагрузки - определяет момент времени, с которого к электроприводу прикладывается момент нагрузки;

$t_{\text{нач}} = (5 \dots 8)T_{\text{ТП}}$, если необходимо рассчитать переходные процессы электропривода при возмущении по нагрузке (в этом случае величина M_c может при задании варьироваться в широких диапазонах).

Задающее напряжение при расчете можно принять любым, например, от 1 до 10 В. Это связано с тем, что для линейных систем электропривода характер переходных процессов не зависит от уровня внешних воздействий.

3. Порядок выполнения работы

1. При подготовке к выполнению лабораторной работы вывести выражения для $k_{\text{рТ}}, T_{\text{рТ}}, k_{\text{рс}}, T_{\text{рс}}$ (формулы 1, 2, 3) и для заданного электродвигателя выполнить числовой расчет параметров двухконтурного электропривода.

2. Собрать наборную схему электропривода в программном продукте VISSIM. Параметры электропривода задать в сформированном «блоке задания данных».

3. Проверить настройку контура тока. Для этого отсоединить от сумматора сигнал противо-ЭДС – E , и имитируя заторможенный электродвигатель. Отсоединить от регулятора скорости сигнал задания тока – $U_{зТ}$ и подать на контур тока единичный скачок. Подать на блок «Plot» сигнал $i_{я}(t)$ и определить реакцию токового контура на скачок задающего сигнала. При выполнении этого пункта на «Plot» не подавать сигнал $\omega(t)$, чтобы получить $i_{я}(t)$ в большом масштабе. Переходный процесс токового контура должен соответствовать настройке на ТО. Если это не выполняется, то необходимо проверить правильность расчета $k_{\text{рТ}}, T_{\text{рТ}}$. В случае необходимо провести их корректировку.

4. Собрать двухконтурную схему электропривода при использовании П-регулятора скорости. В этом случае контур скорости будет также настроен на ТО. Снять переходные процессы $\omega(t)$ и $i_{я}(t)$ при пренебрежении обратной связью по противо-ЭДС двигателя (сигнал E не подается на сумматор) и с её учетом. Сделать соответствующие выводы.

5. Использовать в контуре скорости ПИ-регулятор. В этом случае контур скорости будет настроен на СО. Снять переходные процессы в электроприводе с учетом и без учета обратной связи по противо-ЭДС двигателя. Сделать соответствующие выводы.

6. Как известно при настройке контура на СО (привести с соблюдением масштаба ЛАЧХ разомкнутого скоростного контура) в замкнутой системе электропривода перерегулирование $G=43\%$. Для снижения колебательности использовать:

6.1. Фильтр (инерционное звено с передаточной функцией $W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p+1}$) на входе электропривода. Определить динамические характеристики $\omega(t)$ и $i_{\text{я}}(t)$ при (3...4) значениях T_{ϕ} . Объяснить из каких соображений выбрать величину T_{ϕ} .

6.2. Корректирующее звено с $W_{\text{к}}(p) = \frac{T_1p+1}{T_2p+1}$ аналогично тому, как это было рекомендовано в лабораторной работе №2. Привести $\omega(t)$ и $i_{\text{я}}(t)$ при нескольких значениях постоянной времени T_1 (T_2 задать равной 0,001с).

7. Выставить расчетные значения $k_{\text{рГ}}, T_{\text{рГ}}, k_{\text{рс}}, T_{\text{рс}}$. Фильтр и корректирующее звено не использовать. Обратную связь по противо-ЭДС не учитывать. Получить результаты, совпадающие с результатами пункта 5.

8. Изменить $k_{\text{рс}}$ на 50% в сторону увеличения, а затем и уменьшения. Получить соответствующие переходные процессы $\omega(t)$ и $i_{\text{я}}(t)$. Сделать выводы. Показать как будет выглядеть ЛАЧХ при таких изменениях $k_{\text{рс}}$.

9. Изменить $T_{\text{рс}}$ также на 50% как в сторону увеличения, так и уменьшения. Получить соответствующие переходные процессы $\omega(t)$ и $i_{\text{я}}(t)$. Показать как будет отражено на ЛАЧХ такое изменение постоянной времени регулятора скорости. Сделать выводы.

4. Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Изобразить структурную схему электропривода и наборную схему в программном продукте VISSIM
3. Привести расчетные формулы и численные значения коэффициентов наборной схемы. $\omega(t)$
4. Показать осциллограммы $\omega(t)$ и $i_{\text{я}}(t)$ для пунктов (3..9) с вычислением времени переходного процесса - $t_{\text{пп}}$, перерегулирования – G% и максимального значения тока - $i_{\text{я max}}$ для каждой осциллограммы. Объяснить влияние настройки регулятора скорости на вид переходных процессов двухконтурного электропривода.
5. Сделать общие выводы о работе и рекомендации по настройке электропривода.

5. Контрольные вопросы

1. Объясните какую настройку замкнутого контура называют настройкой на ТО, а какую – на СО.
2. В каком случае в электроприводе целесообразно использовать П-регулятор скорости, а в каком – ПИ-регулятор?
3. В каком случае в двухконтурном электроприводе можно пренебречь обратной связью по противо-ЭДС двигателя?
4. Почему при использовании фильтра на входе электропривода снижается

величина перерегулирования скорости?

5. При уменьшении κ_{pc} будет ли уменьшаться время переходного процесса?

6. Какой вид будет иметь переходный процесс $\omega(t)$, если T_{pc} сделать очень большим ($T_{pc} \rightarrow \infty$) ?

Список литературы

1. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода: Учебное пособие. - 2-е изд. – Минск, Техноперспектива, 2007. -585с.
2. Онищенко Г. В. Электрический привод , 2-е изд.- М.: Издательский центр «Академия», 2008-288 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. - М: Энергоиздат, 1998.

Лебединский Борис Петрович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА
С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
для студентов очной и заочной форм обучения
по дисциплинам «Моделирование систем управления» и
«Моделирование систем и процессов»
направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и
производств»,
направления 27.03.04 «Управление в технических системах»

Авторская редакция

Подписано в печать 18.04.17	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,75	Уч. изд. л.0,75
Заказ №73	Тираж 25	Не для продажи

Библиотечно-издательский центр КГУ.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.