

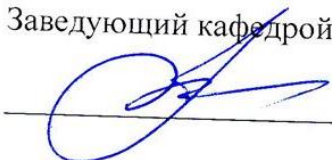
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева
Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры
«Системы автоматического управления»
«22» января 2020 г., протокол №6

Заведующий кафедрой



О.В. Горячев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Следящий электропривод мехатронных систем»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
15.03.06 Мехатроника и робототехника

с направленностью (профилем)
Мехатроника

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 150306-01-20

Тула 2020 год

Разработчик методических указаний

Горячев Олег Владимирович, зав. каф. САУ, д.т.н., проф
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Лабораторная работа №1

Вводное занятие. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ в лаборатории. Общий обзор лабораторных работ.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомление с инструкцией по технике безопасности при выполнении лабораторных работ. Общий обзор лабораторных работ.

Лабораторная работа №2

Анализ динамических характеристик элементов мехатронных систем с помощью электронного осциллографа ADS-2111M

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение принципов работы электронных осциллографов и методов анализа динамических характеристик элементов мехатронных систем с их использованием.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Назначение, принцип действия и классификация электронных осциллографов

Одним из направлений развития современного приборостроения является создание технических средств на основе объединения достижений современной микроэлектроники и информационных технологий. Особенное развитие получило создание интеллектуальных (программируемых) средств измерений на основе современных аппаратно-программных средств.

Указанные средства обладают следующими преимуществами:

- возможность обработки результатов измерений;
- отображение результатов измерения с использованием возможностей современных графических редакторов;
- повышение точности и быстродействия.

В качестве примера рассмотрим цифровые осциллографы (ЦО) – представляющие собой аппаратно-программные средства с очень высокими техническими характеристиками.

По возможностям обработки сигналов и быстродействию ЦО приближаются к специализированным сигнальным процессорам, а по возможностям отображения результатов обработки превосходят их.

Внешний вид осциллографа компании «Актаком» серии GDS с цветным ЖК индикатором представлены ниже

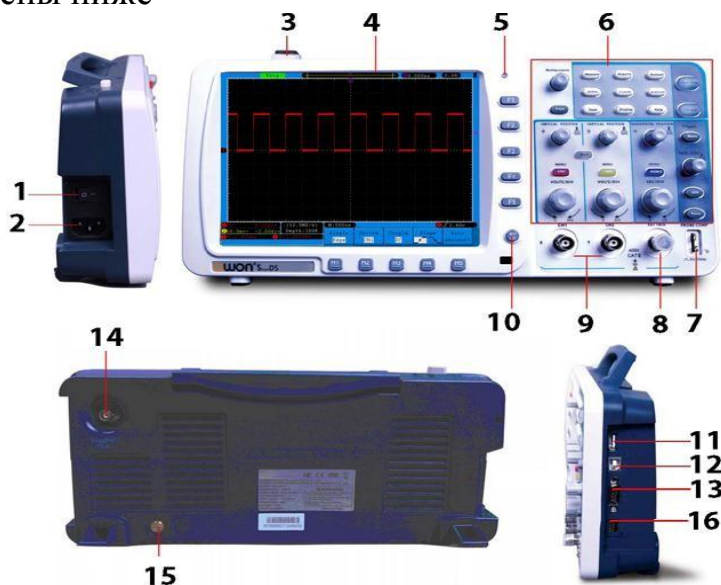


Рис. 1. Передняя и задняя панели прибора. Виды сбоку

- 1) Кнопка включения питания
- 2) Разъем для подключения кабеля питания (для моделей ADS-2031 и ADS-2031V расположена на задней панели)
- 3) Кнопка включения прибора
- 4) Индикатор сети
зеленый - прибор включен в сеть, батарея- полностью заряжена (при использовании батареи)
желтый - прибор включен в сеть, батарея - заряжается (при использовании батареи)
- 5) Область органов управления (рассмотрены на рис.2)
- 6) Разъем для компенсации пробника
- 7) Разъем для внешнего запуска прибора
- 8) Входные разъемы каналов CH1 и CH2
- 10) Кнопка включения/выключения меню
- 11) USB интерфейс для подключения внешнего запоминающего устройства
- 12) USB интерфейс для подключения к компьютеру
- 13) Разъем RS-232 (для моделей ADS-2xxxMV) или VGA (для моделей ADS-2xxxMV и ADS-2031V)
- 14) Разъем выхода Pass/Fail (кроме ADS-2031 и ADS-2031V)
- 15) Винт для подключения к "земле" (кроме ADS-2031 и ADS-2031V)
- 16) LAN интерфейс

1.2. Структура и принцип действия цифрового осциллографа

На рис. 21 в предельно упрощенном виде показана структурная схема цифрового осциллографа (ЦО).

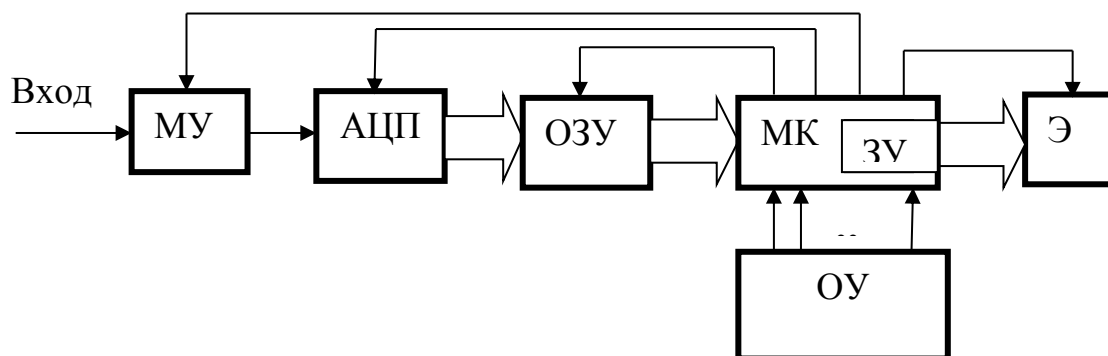


Рис. 2. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа (ЦО)

МУ – масштабирующее устройство (усилитель и делитель напряжения); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;

МК – микроконтроллер; ЗУ – запоминающее устройство; Э – экран; ОУ – органы управления (кнопки, ручки).

Пройдя через МУ, входное напряжение $u(t)$ преобразуется АЦП в дискретную последовательность кодовых слов N_i , отображающих мгновенные значения u_i этого напряжения. Каждое новое кодовое слово записывается в ОЗУ. При этом все предыдущие записанные отсчёты сдвигаются на одну ячейку (регистр сдвига), а самый первый N_1 исчезает, как бы «выталкивается». Если ОЗУ состоит из M ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится M последних, «свежих», кодовых слов. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие, например, когда какое-либо u_i впервые превысит заданный оператором уровень («запуск по уровню»). После этого содержимое некоторого количества ячеек ОЗУ переписывается в запоминающее устройство ЗУ, входящее в состав микроконтроллера МК.

Каждой ячейке ЗУ соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её абсциссу определяет номер ячейки, а ординату кодовое слово N_i , находящееся в этой ячейке.

Для хорошего изображения сигнала на экране вполне достаточно 2 точки на 1 мм. Средних размеров экран имеет высоту 100 мм и ширину 120 мм. Следовательно, на экране должны располагаться $200 \times 240 = 48\,000$ точек или более.

Таким образом, для формирования хорошего изображения АЦП должен иметь не менее 8 двоичных разрядов (256 точек по вертикали) и ЗУ должно содержать 256 ячеек.

Но количество ячеек ОЗУ может быть гораздо больше. Зачем?

ЦО позволяет делать замечательную вещь – запоминать в ОЗУ очень много кодовых слов, а потом «вытягивать» их порциями, соответствующими ширине экрана. В аналоговых осциллографах это, конечно, невозможно. Для обозначения запаса по оси времени («глубина памяти») иногда пользуются такой оценкой длительности сигнала, данные о котором записаны в ОЗУ: «число экранов». Например, «8 экранов» означает, что объём памяти ОЗУ не 256, а 2048 ячеек, в которых записано 2048 кодовых слов N_i . Каждое N_i – это 8-разрядный код, т.е. один байт, т.ч. «8 экранов» – это объём памяти в 2 килобайта. Можно вообразить очень широкий экран-ленту – в 8 раз шире натурального, но такой же высоты. На такой ленте было бы записано изображение всего сигнала. Длина этой ленты около одного метра.

Частоту дискретизации (частоту «выборок») можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.

Для изменения масштаба по вертикали, как и в аналоговых осциллографах, можно изменять коэффициенты усиления или деления соответственно входного усилителя или делителя напряжения.

В целом ЦО имеет больше сходства с компьютером, чем с аналоговым осциллографом. Он позволяет выполнять различные математические операции: растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье и проч.

1.3. Отображение сигнала на экране осциллографа

Основным недостатком всех цифровых осциллографов является, то, что они работают не в реальном масштабе времени. Что это означает?

На рис. 2 приведен схематический рисунок отображения сигнала аналоговым осциллографом, цветное поле обозначает область рисунка, отображаемую на экране (кадр). Задержка между кадрами составляет время обратного хода луча и регулируемую временную задержку (именуемую в России "стабильность" за рубежом "HOLD") запуска развертки для получения стабильной синхронизации. Это время достаточно мало по сравнению с временем развертки и поэтому если сигнал от кадра к кадру изменяется, это изменение немедленно отображается на экране, это и есть отображение сигнала в реальном времени. Динамика сигнала как по вертикали, так и по -горизонтали соответствует изменениям входного сигнала.



Рис. 3

Цифровой осциллограф использует абсолютно другой принцип работы. Входной сигнал, в размере выбранного кадра, пройдя все входные усилители и аттенюаторы поступает на АЦП, где преобразуется в цифровую форму и поступает во внутреннюю память для дальнейшей обработки (привязки к развертке, выводу на экран, измерение параметров и т.д.), время этой обработки достаточно велико по сравнению с временем кадра, задержка при выводе на экран получается достаточно большая, часть информации об изменении сигнала между кадрами теряется бесследно (см.рис.4). Это и есть отображение входного сигнала в нереальном масштабе времени - главный недостаток всех цифровых осциллографов. Его можно попытаться сгладить, но избежать нельзя!



Рис. 4

Итак, первое искажение сигнала возникает при дискретизации входного сигнала в АЦП. Чаще всего в цифровых осциллографах используются 8-и разрядные АЦП - это 256 отсчетов по амплитуде, что вполне достаточно для исследования сигнала.

Но как входной сигнал записывается в АЦП? Тут пути разных производителей расходятся. Самый простой способ - выбрать как можно большую частоту дискретизации (исходя из соображений целесообразности и полосы пропускания) и записать их в память. Такая дискретизация, с жестко установленным временем между точками дискретизации, называется **периодической (или регулярной)** и используется в осциллографах Tektronix.

При этом способе дискретизации генератор, задающий шаг дискретизации запускается однократно, его сигнал показан в виде импульсной последовательности на рис. 5.

Шаг дискретизации T_0 задается периодом импульсов, показанных на рис. 4, частота дискретизации равна

$$F_d = 1/T_0$$

Недостатком такого способа является то, что информация между точками дискретизации (красные точки наложенные на сигнал) теряется безвозвратно, не смотря на высокую скорость дискретизации (см. рис 5 и 6) и объем внутренней памяти, в которой происходит дальнейшая обработка ограничен (но об этом немного ниже). Достоинством - простота и самое главное возможность исследовать однократные сигналы с той же достоверностью, что и периодические.

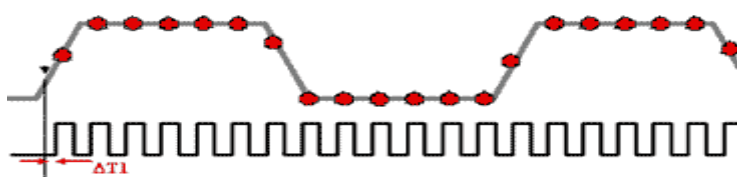


Рис. 5

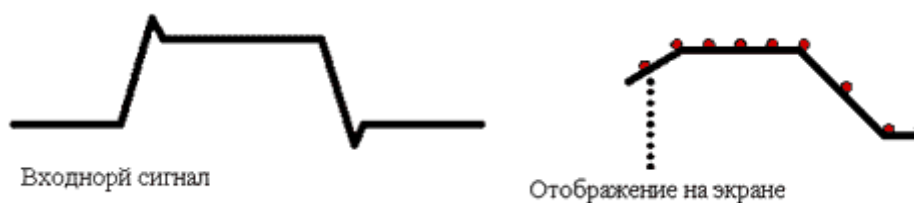


Рис. 6

Естественно, изменения сигнала между точками дискретизации не отображаются на экране, поэтому отображение сигнала на экране искажается, как показано справа на рис.6, этот "дефект заложен конструктивно".

3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования являются электрические цепи мехатронных элементов и систем.

Для выполнения работы необходим электронный осциллограф ADS-2111M, генератор сигналов специальной формы AWG-4110, набор частотнозависимых и частотонезависимых электрических цепей, мехатронные элементы и системы.

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.
2. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его соответствующими экспериментальными данными.
3. Изучить устройство и принцип работы электронного осциллографа ADS-2111M.
4. Провести измерения, указанные в п.5 настоящих указаний и занести полученные экспериментальные данные в отчет.

5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Тщательно ознакомиться с настоящей инструкцией и изучить устройство электронного осциллографа ADS-2111M.

2. Включить электронный осциллограф ADS-2111M и подготовить его к работе.

3. Собрать цепь, включающую частотно независимую электрическую цепь(рис. 3) генератор сигналов специальной формы и осциллограф:

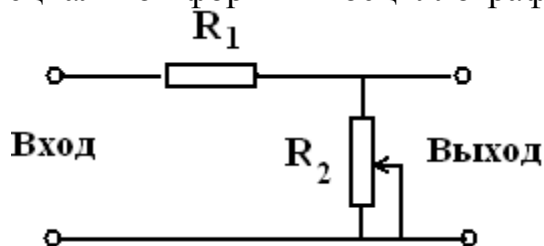


Рис. 7. Схема частотонезависимой электрической цепи.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов **"амплитуда"** и **"частота Hz"** установить выходное напряжение амплитудой 0,25В и частотой 100 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 7) это напряжение с генератора сигналов;

г) измерить напряжение на выходе схемы и определить коэффициент усиления цепи.

4. Снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику и переходный процесс нарастания напряжения цепи.

Собрать цепь, включающую частотнозависимую электрическую цепь (интегрирующего характера рис. 8), генератор сигналов специальной формы (синусоидальное напряжение подать на вход цепи) и осциллограф.

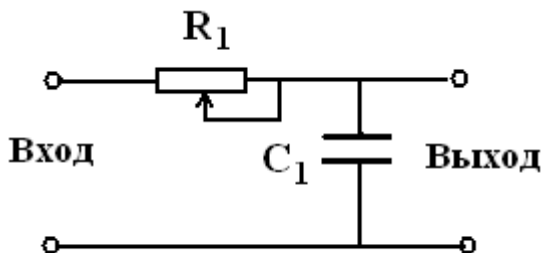


Рис. 8. Частотно зависимая электрическая цепь интегрирующего характера.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов **"амплитуда"** и **"частота Hz"** установить выходное напряжение амплитудой 1В и частотой 0,1 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

- в) подать на вход цепи (рис. 4) это напряжение с генератора сигналов;
 г) изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 0,1 – 30 Гц (0,1; 0,5; 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30 Гц), **при этом амплитуду сигнала не менять**, с помощью фигуры Лиссажу снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику цепи;

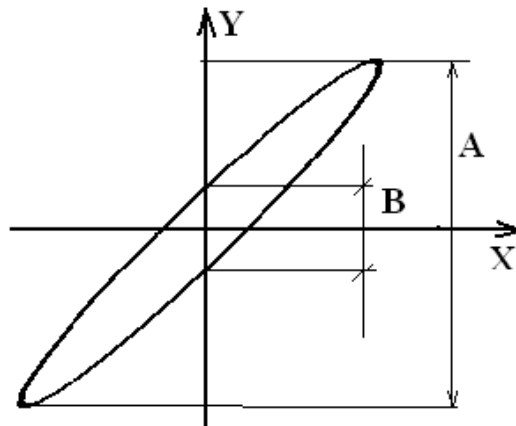


Рис. 9. К определению амплитудно-фазовой частотной характеристики цепи:

здесь A – амплитуда сигнала, $\varphi = \arcsin \frac{B}{A}$.

5 Снять переходный процесс нарастания напряжения цепи:

- а) установить на генераторе напряжение в форме меандра с амплитудой 1 В и частотой при которой на экране укладывается два периода колебаний (при этом должен быть установлен «ждущий» режим развертки;
 б) зарисовать переходный процесс и определить постоянную времени нарастания напряжения в схеме, учитывая калиброванную по длительности напряжение развертки (рис. 6).

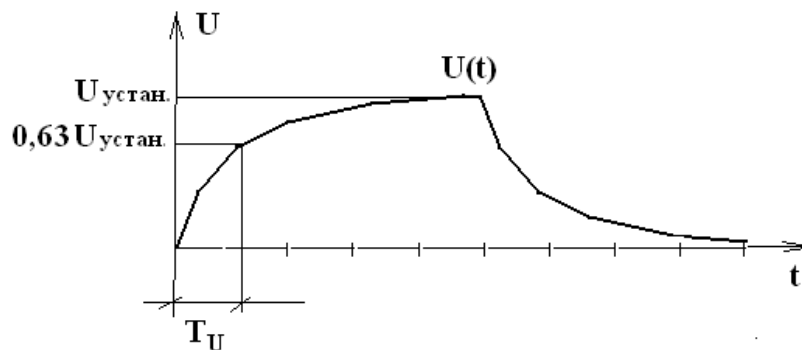


Рис. 10. К определению постоянной времени нарастания напряжения в схеме.

6. Собрать цепь, включающую частотнозависимую электрическую цепь (дифференцирующего характера рис. 11), генератор сигналов специальной формы (синусоидальное напряжение подать на вход цепи) и осциллограф.

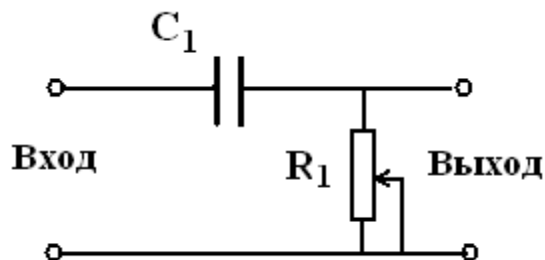


Рис. 11. Частотно-зависимая электрическая цепь дифференцирующего характера.

- а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111М с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов **"амплитуда"** и **"частота Hz"** установить выходное напряжение амплитудой 1 В и частотой 1 Гц, используя возможности осциллографа;
- б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111М с выходом схемы;
- в) подать на вход цепи (рис. 7) это напряжение с генератора сигналов;
- г) изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 1 – 400 Гц (1; 5; 10; 15; 20; 50; 100; 200; 400 Гц), **при этом амплитуду сигнала не менять**, с помощью фигуры Лиссажу снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику цепи.

5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.

Отчет о работе должен содержать:

1. Электрические схемы каждого опыта.
2. Таблицу (табл. 1) результатов измерений и расчетов.

Табл. 1

| Частота Гц (f_i) | $\omega_i = 2\pi f_i$ | $\lg \omega_i$ | A_i | $20 \lg A_i$ | B_i | φ_i |
|----------------------------|-----------------------|----------------|-------|--------------|-------|-------------|
| f_1 | Ω_1 | $\lg \omega_1$ | A_1 | $20 \lg A_1$ | B_1 | φ_1 |
| f_2 | Ω_2 | $\lg \omega_2$ | A_2 | $20 \lg A_2$ | B_2 | φ_2 |
| ----- | ----- | --- | - | --- | -- | - |
| -- | -- | --- | --- | | -- | -- |
| f_i | ω_i | $\lg \omega_i$ | A_i | $20 \lg A_i$ | B_i | φ_i |

3. Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики частотнозависимых электрических цепей. Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики частотно зависимых электрических цепей построить в масштабе **2 мм - 1 дБ, 50 мм - 1 декада, 1 мм - 1 градус на одном графике.**

4. Переходный процесс со всеми необходимыми построениями и определенной постоянной времени T_U .

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие типы осциллографы вы знаете?
2. Что такое аттенюатор и какую функцию он выполняет в осциллографе?
3. Для каких целей используется «ждущая» развертка?
4. Каким образом можно с помощью осциллографа измерить временные интервалы и амплитуду сигнала?

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа № 3

Изучение конструкций механических частей электрических следящих приводов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучение конструкций промышленных силовых и приборных электрических следящих приводов и их элементов, составление кинематических схем электродвигательных и муфтовых приводов и оценка влияния редуктора на динамические характеристики привода.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электрический следящий привод (ЭСП) представляет собой замкнутую динамическую систему, управляющую перемещением объекта регулирования. При этом регулируемая величина с той или иной степенью точности воспроизводит приложенное к системе управляющее воздействие.

ЭСП имеет в своем составе ряд основных устройств (рис. 1).

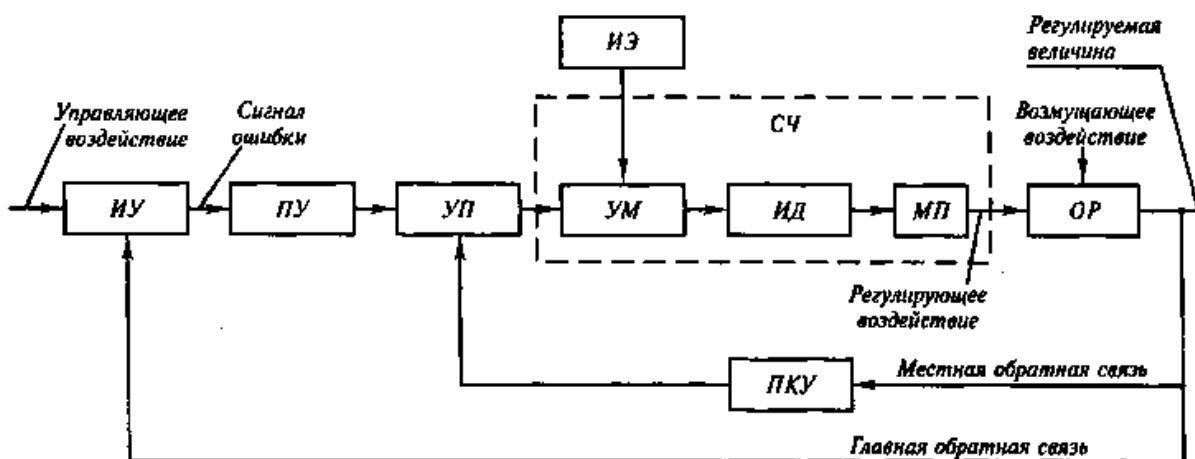


Рис. 1. Функциональная схема ЭСП

В измерительном устройстве (ИУ) производится сравнение текущего значения регулируемой величины (например, угла поворота объекта регулирования) с управляющим воздействием, и на основе этого сравнения формируется сигнал ошибки. В ИУ информация о текущем значении регулируемой величины поступает по каналу главной обратной связи (ОС). Схемы ИУ весьма разнообразны. Широкое применение получили ИУ с использованием сельсинов, синусно-косинусных вращающихся трансформаторов и потенциометров.

Преобразующее устройство (ПУ) СП служит для преобразования сигнала ошибки к виду, удобному для дальнейшего использования.

нем, например, может быть осуществлено преобразование сигнала ошибки переменного тока в сигнал постоянного тока, если последующие устройства СП работают на постоянном токе. В преобразующем устройстве сигнал ошибки

подвергается дальнейшей обработке, связанной с обеспечением нормального функционирования СП: в этом сигнале уменьшается уровень помех; для придания СП желаемых динамических свойств формируются составляющие, пропорциональные производным или интегралам от ошибки. Последние операции производятся в последовательном корректирующем устройстве, входящем в состав ПУ.

Предварительный усилитель (УП) предназначен для усиления по напряжению и мощности сигнала, поступающего с ПУ, до значений, достаточных для управления усилителем мощности УМ. В этом усилителе производится также сложение названного сигнала с сигналом, поступающим от параллельного корректирующего устройства (ПКУ).

Силовая часть СП состоит из усилителя мощности (УМ), исполнительного двигателя (ИД) и механической передачи (МП) (редуктора). УМ предназначен для управления потоком энергии, поступающим от источника энергии (ИЭ). В электрических СП находят применение электромашинные, магнитные и полупроводниковые усилители мощности.

Исполнительный двигатель (ИД) получает сигнал от усилителя мощности и через редуктор (в некоторых случаях редуктор отсутствует), перемещает объект регулирования (ОР). В ЭСП используются электрические двигатели постоянного тока, двухфазные (с мощностями до 200 Вт) и трехфазные асинхронные двигатели, а также комбинация приводной двигатель - электромагнитные муфты.

Механическая передача, связывающая исполнительный двигатель с выходным валом СП, во многом определяет свойства привода. Тип передачи, габариты и параметры зависят от ее кинематической схемы.

Рассмотрим кинематические схемы наиболее распространенных типов ЭСП, где в качестве исполнительных элементов используются электрические двигатели и системы электромагнитные муфты - приводной двигатель. Необходимо отметить, что, помимо силовой цепи, в кинематическую схему ЭСП входит еще ряд измерительных цепей, связывающих входной вал с измерителем рассогласования и др.

На рис. 2 приведена кинематическая схема редуктора силового ЭСП с двухканальной сельсинной синхронной связью. Такая схема содержит несколько кинематических цепей, различных по назначению и предъявляемым к ним требованиям.

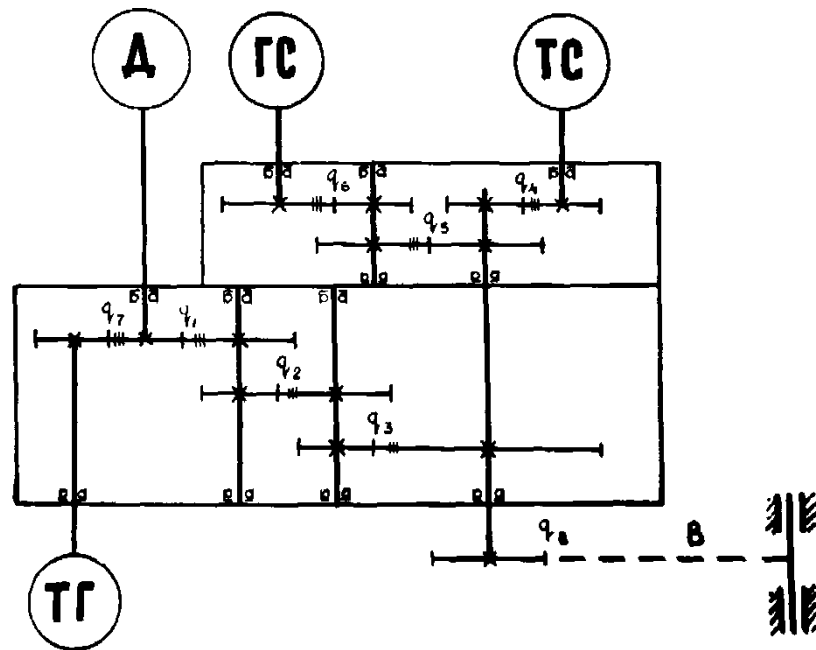


Рис. 2. Кинематическая схема редуктора ЭСП с сельсинной связью: силовая цепь Д - В; цепь грубого сельсина В - ГС; цепь точного сельсина В - ТО; цепь обратной связи по грубому каналу Д - ГС; цепь обратной связи по точному каналу Д - ТС; цепь тахогенератора Д - ТГ .

Разберем каждую из этих цепей.

1. Силовая цепь Д - В должна удовлетворять следующим требованиям:

- а) иметь необходимую для передачи момента прочность, жесткость и износостойчивость;
- б) обладать высокой точностью, т.к. ее выходная пара входит в цепь точного сельсина, а остальная часть - в цепь обратной связи;
- в) при требовании высокого быстродействия привода должна иметь минимальный приведенный момент инерции передачи.

В рассматриваемом примере передаточное отношение $q = q_1 q_2 q_3 q_4$

2. Цепь грубого сельсина принципиального значения не имеет, т.е. она не работает в режиме точного слежения. Передаточное отношение от выходного вала к грубому сельсину при неограниченном вращении вала должно равняться точно единице.

3. Цепь точного сельсина В - ТС предназначена для измерения угла поворота выходного вала следящей системы. Поэтому к цепи предъявляются весьма жесткие требования по точности. Цепь должна иметь минимальный люфт и поэтому должна быть возможно короткой. Передаточное отношение от точного сельсина к выходному валу должно равняться $q_T = q_B / q_4$. В большинстве следящих систем с сельсинной связью $q_T = 31$. Тогда $q_4 = q_8 / 31$

4. Цепь обратной связи по грубому каналу Д-ГС работает только при наличии больших углов рассогласования, поэтому требования к ней обычно не жесткие.

5. Цепь обратной связи по точному каналу Д - ТС должна быть насколько возможно короткой и точной, так как наличие люфта в этой цепи затрудняет

6. Цепь тахогенератора Д - ТГ обычно используется для коррекции динамических свойств СП, и обычно передаточное отношение этой цепи берется равным единице. Увеличение передаточного отношения приводит к уменьшению коэффициента передачи тахогенератора, а уменьшение - к увеличению приведенного момента инерции привода. Вообще наивыгоднейшим вариантом является использование двигателей с вмонтированными в них тахогенераторами. Такое решение приводит к фактической ликвидации цепи тахогенератора.

силовая цепь ПД - ведущие части ферропорошковых муфт; силовая цепь ведомые части муфт - В; цепь тахогенератора - ведомые части муфт - ТТ.

Силовая цепь ПД - ведущие части муфт должна иметь необходимую для передачи момента прочность, износоустойчивость и жесткость. Требования к точности невысокие. Передаточное отношение

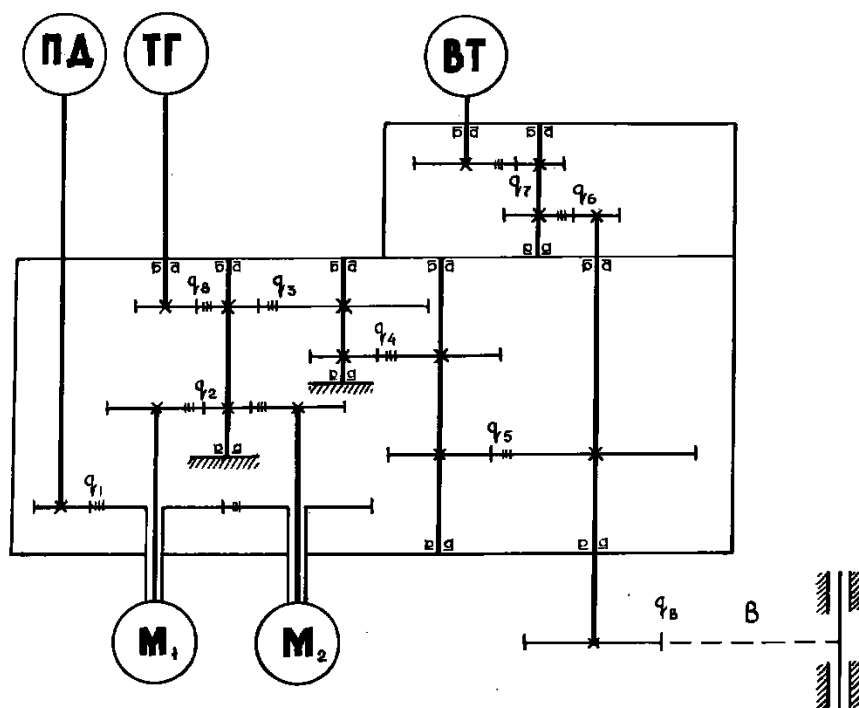


Рис. 3. Кинематическая схема редуктора ЭСП с электромагнитными муфтами

1. Определяется величинами номинальных - частот вращения ведущих частей муфт и приводного двигателя. Для отечественных ферропорошковых муфт номинальная скорость ведущих частей составляет 2000 об/мин.
2. Силовая цепь ведомые части муфт - В должна отвечать требованиям силовой цепи Д - В предыдущего примера.
3. Цепи обратной связи и тахогенератора должны отвечать требованиям цепей Д - ТС и Д - ТГ предыдущего примера. При разработке быстродействующих ЭСП

необходимо проектировать редуктор, оказывающий минимальное влияние на динамические характеристики системы.

Для этого он должен удовлетворять следующим требованиям.

1. Приведенный момент инерции редуктора к валу исполнительного двигателя должен быть минимальным, чтобы не создавать дополнительных нагрузок на исполнительный элемент.

2. Обладать минимальным значением момента трогания кинематической цепи редуктора. Это требование становится понятным, если учитывать, что сухое трение на систему регулирования влияет как нелинейность в статической характеристике кинематической цепи привода. Кроме того, трение покоя больше трения движения и момент трогания редуктора может нарушить плавность работы ЭСП, т.е. привести к скачкообразному изменению управляющего устройства воздействия.

3. Мертвый ход редуктора должен быть минимален и стабилен в процессе эксплуатации. Допустимая величина мертвого хода является расчетной величиной и должна быть меньше половины ошибки, допускаемой при слежении.

4. Жесткость кинематической цепи редуктора должна быть такая, чтобы частота собственных колебаний цепи находилась вне области рабочих частот (как правило, выше верхней частоты полосы пропускания системы). Угловая частота собственных колебаний системы, несущей на выходе сосредоточенную массу, определяется следующей формулой:

$$\omega_a = \sqrt{\frac{C_k}{J}} (c^{-1})$$

где C_k - жесткость системы; J - момент инерции сосредоточенной массы.

Суммарная жесткость C_k зависит от величины жесткости валов редуктора $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$:

$$\frac{1}{C_k} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Моменты инерции валов в предыдущей формуле не учитываются

ввиду их малости по сравнению с моментом инерции нагрузки.

Валы редуктора должны иметь достаточную жесткость, чтобы при динамических нагрузках противостоять закручивающим воздействиям и тем самым не допускать появления так называемого упругого люфта, который суммируется при реверсе с мертвым ходом и увеличивает угловое рассогласование между исполнительным элементом и регулируемым объектом.

Выражение для приведенного к валу двигателя момента инерции системы нагруженного привода с n - парной передачей имеет вид

$$J_n = J_{\partial\partial} + \frac{J_{ki}}{q_1^2} + \frac{J_{k2}}{q_1^2 q_2^2} + \dots + \frac{J_{ki}}{q_1^2 q_2^2 \dots q_i^2} + \dots + \frac{J_{kn}}{q_p^2} + \frac{J_n}{q_n^2},$$

где $J_{\partial\partial}$ - момент инерции ротора двигателя;

J_{ki} - момент инерции ведомого зубчатого колеса i -и пары

с учетом инерции вала и ведущего зубчатого колеса в блоке;

J_n - момент инерции нагрузки.

Выделим из последнего выражения часть приведенного момента, 'не зависящего от распределения передаточных отношений по параметра^ передачи, и назовем ее основным приведенным моментом инерции.

Оставшаяся часть выражения будет характеризовать величину приведенного к валу двигателя момента инерции n - парной передачи:

$$J_n' = \frac{J_{ki}}{q_1^2} + \frac{J_{k2}}{q_1^2 q_2^2} + \dots + \frac{J_{ki}}{q_1^2 q_2^2 \dots q_i^2} + \dots + \frac{J_{kn}}{q_p^2}.$$

Для примера рассмотрим зубчатое зацепление, состоящее из двух пар колес:

$$z_1 = 18, z_2 = 36, z_3 = 18, z_4 = 54, q_1 = 2, q_2 = 3.$$

Размеры зубчатых колес: модуль $m = 1$, длина зуба

$b = 5$ мм. Материал колес - сталь, удельный вес $\gamma = 8000$ кг/м³. Определим момент инерции, приведенный к первой оси.

Момент инерции зубчатых колес $J_{зк}$ находим по формуле однородного сплошного диска (моментом инерции осей пренебрегаем):

$$J_{зк} = m \frac{r^2}{2} = \frac{\pi r^2 b \gamma}{g} \frac{r^2}{2} = \frac{\pi b \gamma}{2g} r^4,$$

где m - масса зубчатого колеса;

r - радиус колеса;

g - ускорение свободного падения.

Вычислим ориентировочно моменты инерции на, первой, второй и третьей осях:

$$J_1 = \frac{\pi b \gamma}{2g} r^4 = \frac{3.14 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 8000}{2 \cdot 9.8} (9 \cdot 10^{-3})^4 = 4.2 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = 71.4 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad J_3 = 340.2 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции:

$$J_{np1} = J_1 + \frac{J_2}{q_1^2} + \frac{J_3}{q_1^2 q_2^2} = 4.2 \cdot 10^{-8} + \frac{71.4 \cdot 10^{-8}}{4} + \frac{340.2 \cdot 10^{-8}}{36} = 0.31 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции двигателя при этом составляет $2.0 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Отсюда видно,

что электромеханическая постоянная двигателя увеличится на 15 %.

3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования являются промышленные силовые и приборные следящие приводы.

Для выполнения работы необходим слесарный измерительный инструмент: отвертка, линейка, штангенциркуль.

4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.
2. Изучить принцип работы и функциональное назначение элементов следящего привода.
3. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его соответствующими кинематическими схемами и расчетами.
4. Изучить конструкции механических узлов приводов.
5. Для предложенной конструкции составить кинематическую схему, выполнить сборочный чертеж и определить приведенный к двигателю момент инерции редуктора.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкции исполнительных, информационных и Механических элементов ЭСП. Обратить внимание на способы установки и крепления в корпусах изделий этих элементов. Сделать эскизы крепления к редуктору двигателей типов СД-150, ДП2-26, 2АСМ-400, ДПМ-20, ДПР-52, вращающихся трансформаторов типов ВМ, МВТ-2, потенциометров типа ПТП.

Способы установки и крепления двигателей в корпусах редукторов двигателей, вращающихся трансформаторов, потенциометров дать в разрезе.

2. Составить кинематические схемы электродвигательного и муфтового приводов.

3. Для предложенного преподавателем электродвигательного следящего привода составить кинематическую схему, определить передаточные отношения ступеней и рассчитать приведенный момент инерции редуктора к двигателю.

Оценить конструкцию редуктора с точки зрения предъявляемых к ним требований.

6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать:

1. Кинематические схемы двух предложенных конструкций следящих приводов.
2. Эскизы крепления к редуктору двигателей, вращающихся трансформаторов и потенциометров с разрезами в местах посадки.

3. Все необходимые расчеты.

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

с.

Лабораторная работа №4

Изучение принципа действия и характеристик бесколлекторного двигателя (мотор-колеса) с датчиками Холла

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение принципа работы, схемной реализации, назначения электронных блоков и характеристик электродвигателя мотор-колеса при питании от силового контроллера

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Мостовая схема ключей

Двигатель имеет три вывода (три фазы) на которые нам придется подавать в разные моменты времени “+” или “-” питания. Это реализуется с помощью электронных ключей, включенных по мостовой схеме:

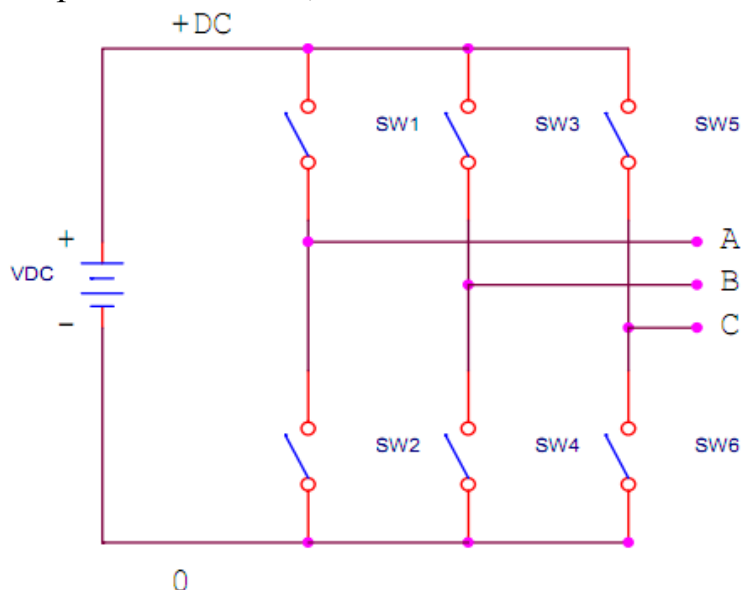


Рис. 1. Мостовая схема включения бесколлекторного двигателя

Замыкая ключ SW1 подаем “+” на фазу A, а замыкая SW6 подаем “-” на фазу C. Таким образом, ток потечет от “+” батареи через фазы A и C. Для обеспечения обратного направления, открываем SW5 и SW2. В этом случае ток потечет от “+” батареи через фазы C и A в обратном направлении. При работе двигателя одновременно должен быть открыт только один верхний ключ и один нижний ключ. При смене состояния нужно сразу выключить пару ключей, выждать время, необходимое для закрытия ключей, и только после этого включить другую пару ключей.

Диаграмма включения ключей

Напряжение на обмотки нужно подавать в зависимости от положения двигателя. Рассмотрим управление двигателем, где в качестве датчиков положения используются датчики Холла. Всего используют 3 датчика с дискретными выходами. Ниже приведена схема, согласно которой нужно подавать напряжение на обмотки в зависимости от сигналов с датчиков.

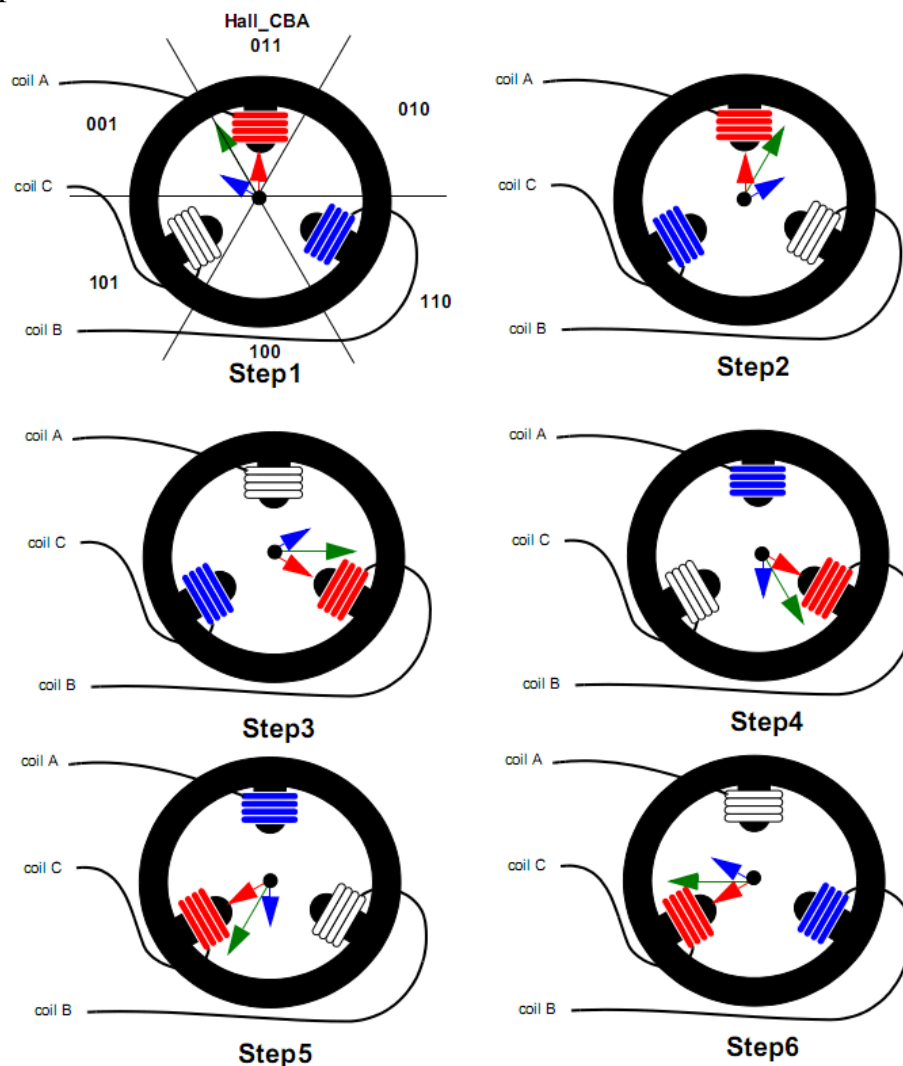


Рис. 2. Схема включения обмоток бесколлекторного двигателя в зависимости от сигналов с датчиков положения

Временная диаграмма подачи напряжения питания:

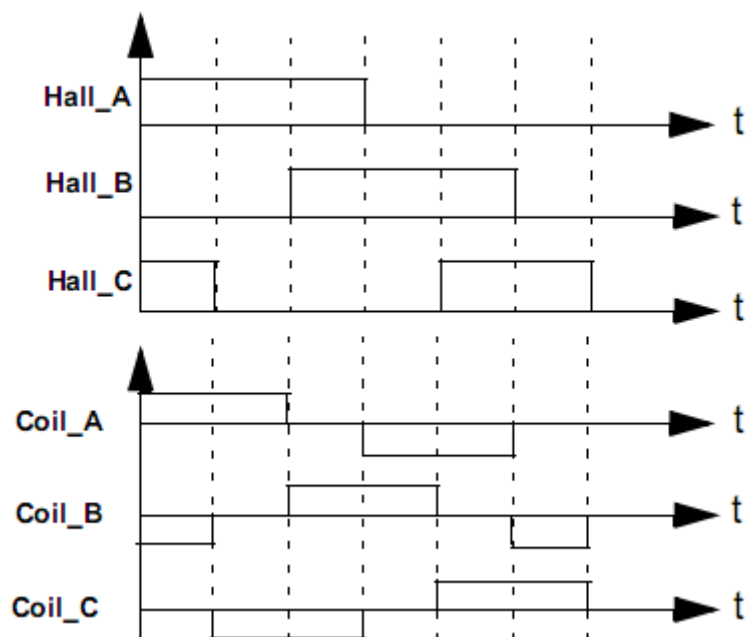


Рис. 3. Временная диаграмма подачи напряжения питания на обмотки бесколлекторного двигателя в зависимости от сигналов с датчиков положения

Таблица включения ключей в зависимости от сигналов датчиков Холла:

| Hall Sensors Value (Hall_CBA) | Phase | Switches |
|-------------------------------|-------|-----------|
| 101 | A-B | SW1 ; SW4 |
| 001 | A-C | SW1 ; SW6 |
| 011 | B-C | SW3 ; SW6 |
| 010 | B-A | SW3 ; SW2 |
| 110 | C-A | SW5 ; SW2 |
| 100 | C-B | SW5 ; SW4 |

Принцип работы 4-х полюсного двигателя:

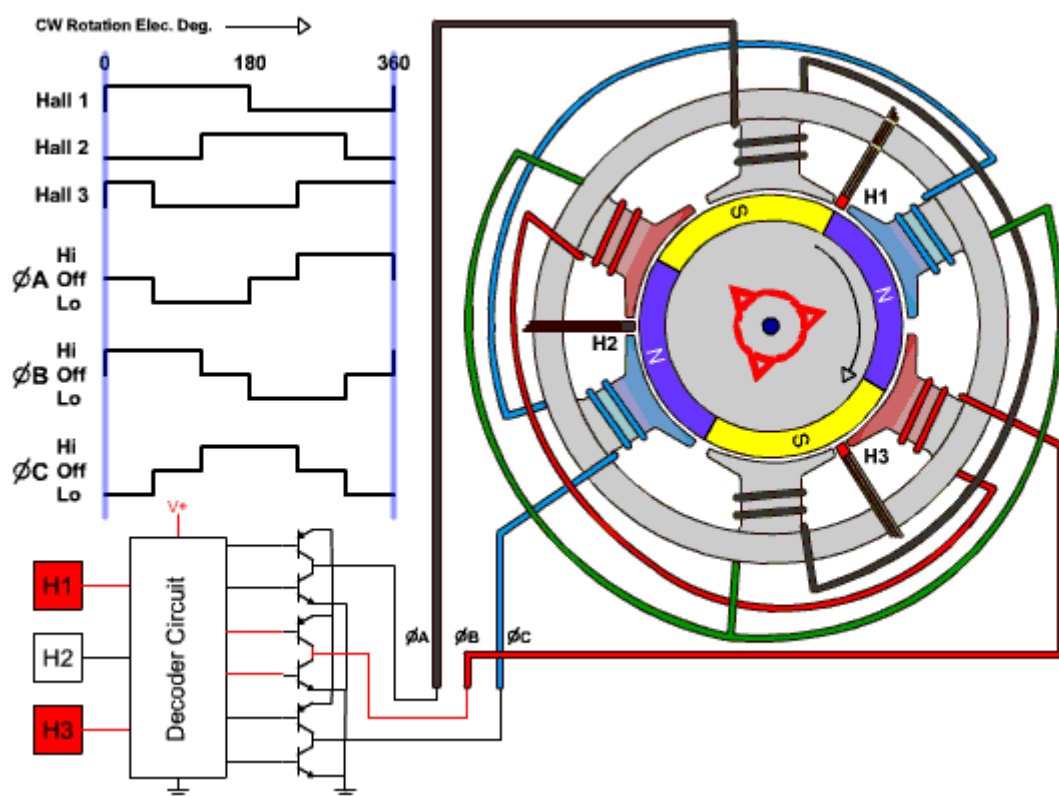


Рис. 4. Принцип работы 4-х полюсного бесколлекторного двигателя

ШИМ (PWM), частота, переходные процессы

При включении ключей, как показано на рис. выше, на двигатель подается полное напряжение питания. При этом двигатель развивает максимальные обороты (мощность). Чтобы обеспечить управление двигателем нужно регулировать напряжение питания двигателя. Изменение действующего напряжения осуществляется с помощью шиотно-импульсной модуляции (ШИМ). Т.е. ключи открыты не все время, а открываются, и закрываются с фиксированной частотой, но изменяемой скважностью:

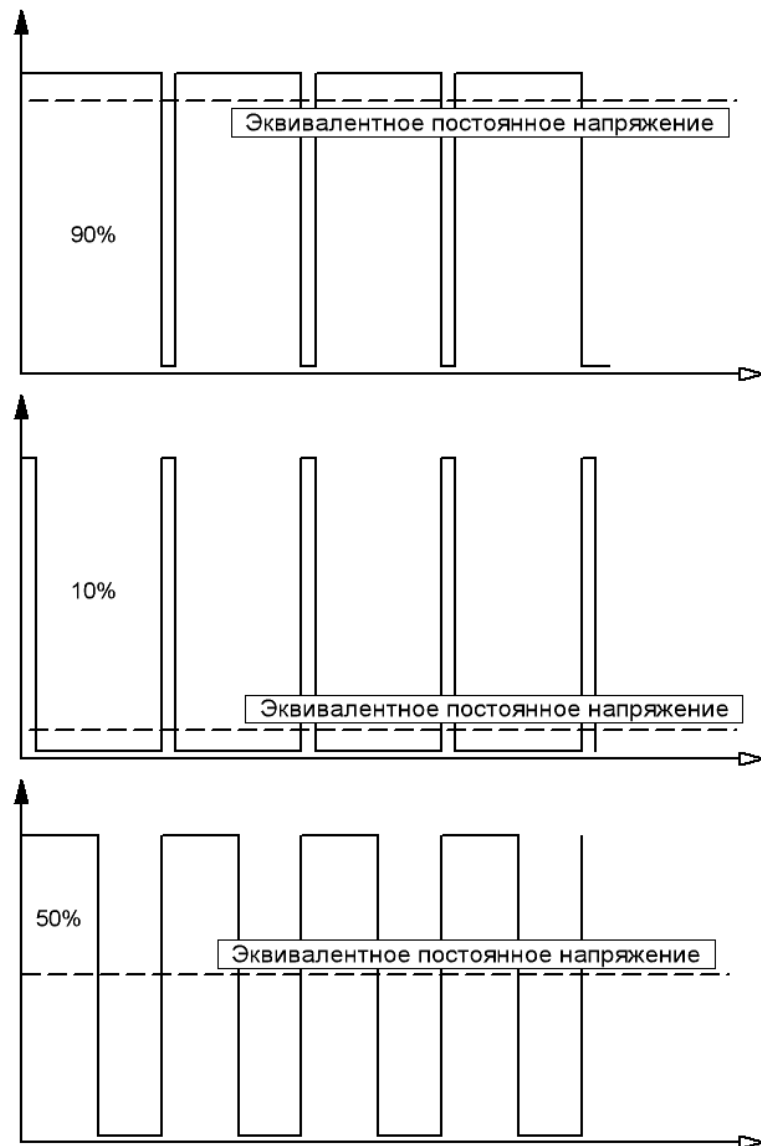


Рис. 5. Принцип реализации ШИМ

Таким образом, изменяется действующее напряжение от нулевого до напряжения питания. Чтобы добиться управления оборотами двигателя нужно наложить сигнал ШИМ на сигналы, подаваемые на ключи. Это можно реализовать, например, такой схемой:

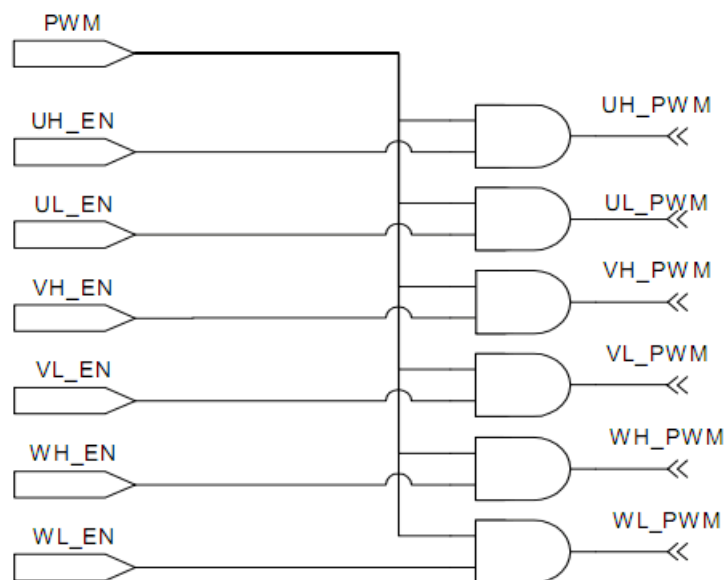


Рис. 6. Схема реализации ШИМ

Некоторые микроконтроллеры могут аппаратно формировать ШИМ сигнал на нескольких своих выводах. Можно формировать ШИМ для каждого из ключей программно. В этом случае схему можно упростить, и не использовать логических элементов. Частота ШИМ сигнала обычно бывает от 4 до 80 килогерц.

Во время включения и выключения ключей происходят переходные процессы, вследствие чего на ключах выделяется дополнительное тепло. Чем выше частота ШИМ сигнала, тем больше количество переходных процессов за единицу времени, и тем выше потери на ключах. Слишком малая частота может быть не эффективной или не обеспечивать необходимой плавности регулирования.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектом исследования является бесколлекторный двигатель с датчиками Холла в составе стенда. Для выполнения работы необходим низкочастотный осциллограф типа АКИП-4115/1А.

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить принцип работы и функциональное назначение элементов двигателя.
2. Изучить взаимодействие электронных узлов.

3. Исследовать работу силовой части привода при различных режимах функционирования привода.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями, представленными в настоящих методических указаниях.

2. Исследование фазового сдвига напряжения питания двигателя:

- а) подключить вход осциллографа КАН1 к разъёму V;
- б) подключить вход осциллографа КАН2 к разъёму W;
- в) включить стенд и подать напряжение 1.41 В;
- г) засинхронизировать изображения напряжений;
- д) проследить за формой напряжения и фазовым сдвигом, зарисовать его.

3. Исследование фазового сдвига напряжения на выходе датчиков Холла:

- а) подключить вход осциллографа КАН1 к разъёму Н1 :
- б) засинхронизировать изображение тока
- в) включить стенд и подать напряжение 1.41 В;
- г) засинхронизировать изображения напряжений
- д) за формой напряжения и фазовым сдвигом, зарисовать его.

4. Исследование тока на входе двигателя:

- а) подключить вход осциллографа КАН1 к разъёму Rш:
- б) включить стенд и подать ток 1 А
- в) засинхронизировать изображение тока;
- г) провести исследование формы тока при изменении его от 1 А до 6 А с интервалом 1А
- д) проследить за формой токов, зарисовать их.

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать:

- 1. Основные теоретические положения из настоящих методических указаний.
- 2. Блок-схему привода.

3. Графики тока, фазового сдвига напряжений питания двигателя и датчиков Холла.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие ключи должны быть открыты при работе двигателя с мостовой схемой включения ключей?
2. В зависимости от чего нужно подавать напряжение на датчики Холла?
3. Каким способом осуществляется измерение действующего напряжения питания двигателя?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №5

Экспериментальное исследование мотор-колеса при питании от силового контроллера

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния мотор-колеса при питании от силового контроллера. получение механических характеристик.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Принцип действия вентильного двигателя

Чтобы двигатель данного типа устойчиво вращался, необходимо, чтобы он развивал однонаправленный вращающий момент с минимумом пульсаций. Минимум пульсаций момента будет способствовать плавности хода двигателя.

В обмотку якоря от источника питания подается ток. В зависимости от распределения тока по катушкам в зубцовой зоне статора образуется полюсная система статора (электромагниты), создающие магнитный поток (поле) статора.

Магнитный поток возбуждения создается либо постоянными магнитами, либо обмоткой возбуждения.

Электромагнитный момент образуется при взаимодействии магнитного потока возбуждения и фазных токов.

При совместном действии потоков возбуждения и потоков от токов статора силовые линии магнитного поля в воздушном зазоре изгибаются.

Электромеханическая и механическая характеристики данного двигателя аналогичны характеристикам двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

1. Расчет и построение естественных электромеханической и механической характеристик двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

Естественные электромеханическая и механическая характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением при пренебрежении реакцией якоря являются прямолинейными и описываются уравнениями:

$$n = \frac{U_{НОМ}}{c \cdot \Phi_{НОМ}} - \frac{R_{я}}{c \cdot \Phi_{НОМ}} \cdot I \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$$
$$n = \frac{U_{НОМ}}{c \cdot \Phi_{НОМ}} - \frac{R_{я}}{k \cdot c \cdot \Phi_{НОМ}^2} \cdot M \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$$

Уравнения электромеханических и механических характеристик могут быть записаны и для скорости, если учесть, что

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

$$n = \frac{U_{\text{НОМ}}}{c \cdot \Phi_{\text{НОМ}}} - \frac{R_{\text{я}}}{c \cdot \Phi_{\text{НОМ}}} \cdot I \Rightarrow c \cdot \Phi_{\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{НОМ}} - R_{\text{я}} \cdot I}{n}$$

где n – частота вращения двигателя, $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение сети, [В];

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря двигателя, [Ом];

c , k – конструктивные коэффициенты двигателя;

$\Phi_{\text{НОМ}}$ – номинальный магнитный поток двигателя, [В];

ω – скорость двигателя, $\left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$;

$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} \text{ [Н} \cdot \text{м]}$ – номинальный момент.

В связи с прямолинейностью естественные характеристики могут быть построены по двум точкам, соответствующим номинальному и пограничному или пусковому режимам работы. Номинальному режиму работы отвечают точки с координатами:

$n = n_{\text{НОМ}}$ при $I = I_{\text{НОМ}}$ для электромеханической характеристики;

$n = n_{\text{НОМ}}$ при $M = M_{\text{НОМ}}$ для механической характеристики;

Вторые точки характеристик могут быть определены для пограничного или пускового режимов в естественных условиях.

Пограничному режиму соответствует $I = 0$ ($M = 0$), поэтому пограничная частота вращения двигателя n_0 как для электромеханической, так и для механической характеристик будет:

$$n_0 = \frac{U_{\text{НОМ}}}{c \cdot \Phi_{\text{НОМ}}} \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$$

Имея в виду, что

$$n_{\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{НОМ}} - I_{\text{НОМ}} \cdot R_{\text{я}}}{c \cdot \Phi_{\text{НОМ}}} \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$$

получим

$$n_0 = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} - I_{\text{НОМ}} \cdot R_{\text{я}}} \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$$

Пусковому режиму, в свою очередь, отвечает $n = 0$. Здесь на основании приведенных выше $n = f(I)$ и $n = f_1(M)$ можно написать:

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{R_{\text{я}}} \text{ [А];}$$

$$M_{\text{п}} = \frac{U_{\text{НОМ}} \cdot k \cdot \Phi_{\text{НОМ}}}{R_{\text{я}}} = k \cdot \Phi_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{не}} \text{ [Н} \cdot \text{м]}.$$

Значение $\kappa \cdot \Phi_{НОМ}$ для последнего выражения можно определить из формулы:

$$M_{НОМ} = \kappa \cdot I_{НОМ} \cdot \Phi_{НОМ} \Rightarrow \kappa \cdot \Phi_{НОМ} = \frac{M_{НОМ}}{I_{НОМ}}$$

Характеристики следует строить для одного направления вращения в диапазоне от идеального холостого хода до режима стоянки под током.

Общий вид механических характеристик вентильного двигателя представлен на рис. 1.

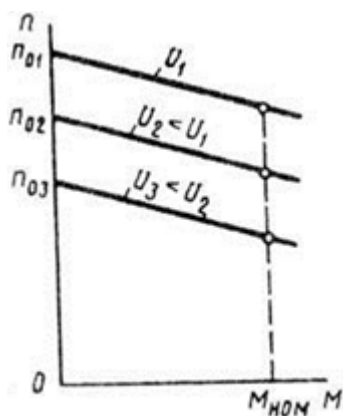


Рис.1. Механическая характеристика ВД

III. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Лабораторный стенд включает в себя следующие элементы:

Блок «ПИТАНИЕ СТЕНДА»

Он содержит в своем составе двухполюсный автомат дифференциальной защиты АД-12 (комбинированная схема с электронным модулем дифференциальной защиты и встроенным выключателем серии ВА47-29) с номинальным током 10 А и номинальным отключающим дифференциальным током 10 мА, представляющий собой быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток, со встроенной защитой от сверхтоков.

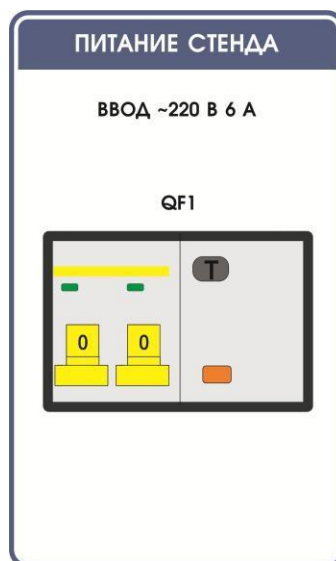


Рис. 2. Общий вид панели управления блока «ПИТАНИЕ СТЕНДА»

АД-12 обеспечивает три вида защиты – защиту человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждениях изоляции; предотвращение пожаров вследствие протекания токов утечки на землю; защиту от перегрузки и короткого замыкания. Аппарат сохраняет работоспособность при пониженном напряжении сети (до 50 В) и обладает высокой механической износостойкостью. В аппарате предусмотрена индикация срабатывания от дифференциального тока.

Блок «ЭЛЕКТРОПРИВОД»

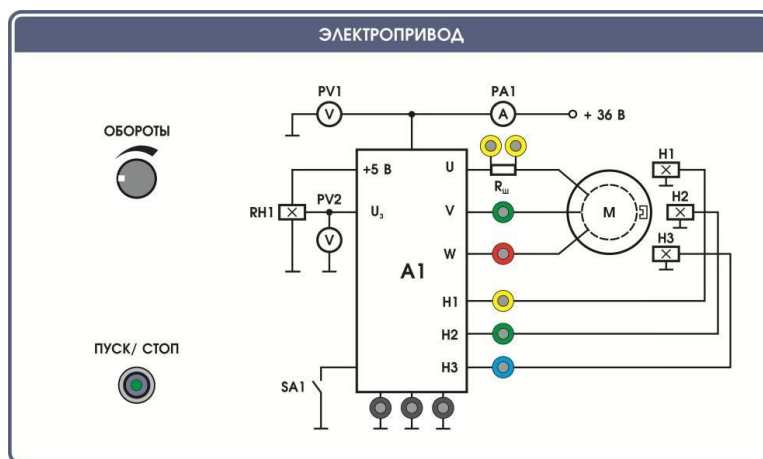


Рис. 3. Общий вид панели управления блока «ПИТАНИЕ СТЕНДА»

Блок содержит мнемосхему оборудования, контрольные гнезда, элементы управления и регулировки, точки включения измерительных приборов.

На схеме приняты следующие обозначения:

A1 – модуль управления (силовой контроллер привода мотора-колеса); M – мотор-колесо;

PA1 – амперметр постоянного тока, индицирующий ток потребления системы привода;

PV1 – вольтметр постоянного тока, индицирующий рабочее напряжение питания силового контроллера привода мотора-колеса;

PV2 – вольтметр постоянного тока, индицирующий напряжение задания контроллера привода мотора-колеса

SA1 – кнопка с фиксацией «ПУСК/СТОП», служащая для управления пуском/остановом мотора-колеса;

Rш – шунт 0,03 Ом, служащий для осциллографирования;

RH1 – датчик Холла с подвижным магнитом, обеспечивающий регулировку числа оборотов мотора-колеса;

H1, H2, H3 – встроенные в мотор-колесо датчики Холла мотор-колеса, обеспечивающие обратную связь по положению ротора.

U, V, W – обмотки электродвигателя мотора-колеса, сконфигурированные по схеме «звезда».

Включение/выключение двигателя мотора-колеса осуществляется при помощи кнопки SA1 «ПУСК/СТОП». Плавная регулировка частоты оборотов осуществляется при помощи ручки датчика Холла RH1 с вращающимся магнитом

«ОБОРОТЫ». Перед включением двигателя мотора-колеса нажатием кнопки

«ПУСК/СТОП» рекомендуется вывести ручку датчика Холла в крайнее против часовой стрелки положение. При регулировке частоты оборотов мотора-колеса необходимо помнить, что в силу особенностей входных электрических параметров силового контроллера привода, напряжение задания, регистрируемое вольтметром PV2, при котором начинается вращение мотора-колеса, составляет порядка 1,41 В. Данный режим является штатным.

Блок «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ТОРМОЗ»



Рис. 4. Общий вид панели управления блока «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ТОРМОЗ»

Блок предназначен для управления работой системы порошкового тормоза. Включение/выключение порошкового тормоза осуществляется при помощи кнопки «ВКЛ./ОТКЛ.». Плавная регулировка тока катушки электромагнитного тормоза осуществляется при помощи потенциометра «ТОРМОЖЕНИЕ». Перед включением электромагнитного тормоза рекомендуется вывести потенциометров крайнее против часовой стрелки положение.

Блок цифровых измерительных приборов

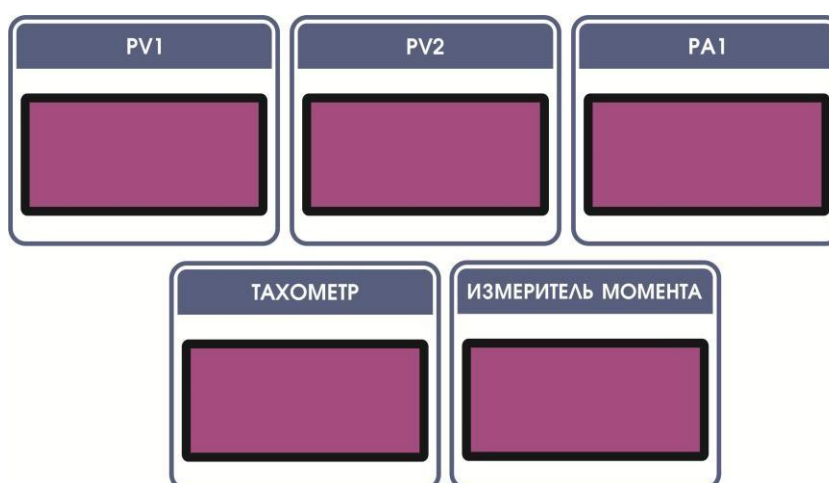


Рис. 5. Общий вид панели управления блока «ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ»

Блок содержит цифровые измерительные приборы, обеспечивающие измерение и индицирование следующих параметров установки:

РА1 – амперметр постоянного тока, индицирующий ток потребления системы привода, А;

PV1 – вольтметр постоянного тока, индицирующий рабочее напряжение питания силового контроллера привода мотора-колеса, В;

PV2 – вольтметр постоянного тока, индицирующий напряжение задания контроллера привода мотора-колеса, В;

- число оборотов электродвигателя, об/мин(тахометр);

- крутящий момент, Н·м (измеритель момента);

Погрешность измерения токов и напряжений составляет 2,5%.

Блок двухканального цифрового осциллографа

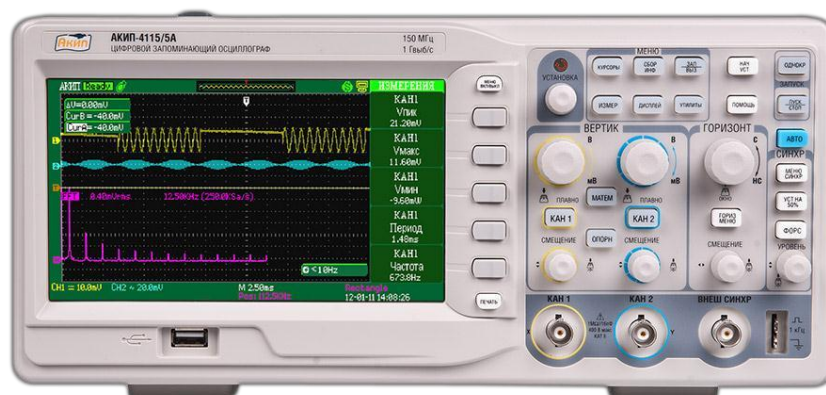


Рис. 6. Общий вид панели управления блока двухканального цифрового осциллографа

Осциллограф запоминающий цифровой серии АКПП-4115/1А предназначен для исследования и измерения параметров однократных сигналов и периодических сигналов в полосе частот 0...25 МГц. Осциллограф обеспечивает цифровое запоминание, цифровое измерение в диапазоне амплитуд от 2 мВ до 600В(с делителем) и временных интервалов от 2,5нс до 50с, автоматическую установку размеров изображения, автоматическое измерение амплитудно- временных параметров входного сигнала с выходом результата измерения на экран. Осциллограф обеспечивает возможность подключения к внешнему персональному компьютеру через USB или RS-232. Его технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1.

| | |
|--------------------------------|------------|
| Канал вертикального отклонения | |
| Число каналов | |
| Полоса пропускания (-3дБ) | 0...25 МГц |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Коэффициент отклонения(Коткл.) | 2 мВ/дел...10В/дел |
| Погрешность установкиКоткл. | ±3% |
| Время нарастания (не более) | 14нс |
| Входной импеданс | 1 МОм/13 пФ |
| Макс. входное напряжение | 400 В пик-пик (x10); катI |
| Связь по входу | Открытый, закрытый, земля |
| Коэффициент деления | 1х, 10х, 100х,1000х |
| Канал горизонтального отклонения | |
| Коэффициент развертки (Кразв.) | 25 нс – 50с/дел |
| Погрешность установкиКразв. | 0,01% |
| Режимы работы | Основной, окно, ZOOM окна, самописец(100 мнс...50 с/дел),X-Y |
| Синхронизация | |
| Источники | Каналы 1, 2,внешний |
| Режимы запуска развертки | Автоколебательный, ждущий, однократный |
| Виды синхронизации | Фронт/срез, длительность, ТВ, время нарастания/спада, попеременно(ALT) |
| Аналого-цифровое преобразование | |
| Разрешение по | 8бит |
| Макс. частота дискретизации | 500 МГц |
| Эквивалентная частота дискретизации | 10ГГц |
| Интерполяция | Линейная, Sin X /X |
| Объем памяти на канал | быстрая память: 16 кБ (32 кБ при объединении каналов) длинная память: нет |
| Режимы сбора данных | Стандартная выборка, усреднение (4 /.../ 256), пиковый детектор 10 нс, накопление (1 с, 2 с, 5с, бесконечн., выкл.), самописец (от 100мс/дел) |
| Курсорные измерения | |
| Режимы | ручной, авто измерения, слежение(трэк) |
| Виды измерений | ΔU ; ΔT ; $1/\Delta T$ |
| Автоматические измерения | |
| По вертикали | Пик-пик, амплитуда, максим., миним., «высокий» уровень, «низкий» уровень, среднее, с.к.з., выбросы на вершине и в паузе |
| По горизонтали | Частота; период; время нарастания и спада; +/- ширина импульса, +/- скважность, фаза |
| Измерение задержки | 8 видов (фаза и время): FRR, FRF, FFR, FFF, LRR,LRF, LFR,LFF |

| Дополнительные возможности | |
|------------------------------|--|
| Интерфейс | На передней панели: USB для сохранения данных на задней панели: USB и RS-232 для дистанционного управления |
| Математика | Сложение, вычитание, умножение, деление, БПФ (на участке 1 Кб), цифровые фильтры (ФВЧ, ФНЧ, полосовой, режекторный) |
| Документирование результатов | Сохранение 20 осциллограмм, 20 профилей настроек, 2 шаблонов допуск. контроля. Регистрация в память до 2500 кадров с регулируемой скоростью записи и воспроизведения |
| Общие данные | |
| ЖК-дисплей | TFT цветной (LCD, 480×234 точек), диагональ 17,8 см (8х18 дел); |
| Напряжение питания | 100...240 В (± 10 %), 50Гц |

Модуль мотор-колеса

Устройство содержит в своем составе, смонтированные на единой станине, мотор-колесо, порошковый тормоз и оптический преобразователь углового перемещения, валы которых соединены механически.

В качестве мотора-колеса применен вентильный двигатель постоянного тока номинальной мощностью 250 Вт и рабочим напряжением 36 В постоянного тока.

В качестве тормозящего устройства использован порошковый тормоз типа BR-35 с номинальным напряжением 24 В и током 0,9А.

В качестве преобразователя угловых перемещений использован оптический энкодер компании Autonics. Технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2.

| Двигатель мотор-колеса | |
|--|-----------------------------|
| Номинальная полезная мощность, Вт | 250 |
| Номинальное рабочее напряжение, В | 36 |
| Номинальный ток, А | 6,9 |
| Число полюсов | 16 |
| Число фаз | 3 |
| Номинальная частота вращения, мин-1 | 200 -270 |
| КПД, % | Более 80 |
| Режим работы | двигательный / генераторный |
| Наличие датчиков Холла/количество | Да/3 |
| Порошковый тормоз BR-35 | |
| Номинальная рассеиваемая механическая мощность, Вт | 250-280 |
| Номинальный тормозящий момент Нм | 35 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Номинальное напряжение катушки, В | 24 |
| Номинальный ток катушки, А | 0,9 |

Перед началом работ необходимо подключить модуль мотора-колеса к моноблоку посредством разъемов Х1-Х4. Далее следует посредством сетевого шнура с вилкой подключить моноблок к сети 220 В/50 Гц. После этого, убедившись, что кнопки установки находятся в не нажатом положении, а ручки потенциометра и датчика Холла находятся в крайних против часовой стрелке положениях, включить автоматический выключатель QF1. Предварительно убедившись в исправности установки (по показаниям приборов), можно запустить двигатель мотора-колеса, для чего необходимо нажать на кнопку SA1 до ее фиксации, после чего при помощи ручки датчика Холла RH1 выбрать напряжение задания свыше 1,41В, установив таким образом частоту оборотов мотора-колеса. Останов двигателя мотора-колеса производится в обратном порядке.

В процессе работы с установкой необходимо следить за током потребления силовым контроллером привода мотора-колеса. Долговременный ток (30 мин) не должен превышать значения 8 А, значение кратковременного тока (2 мин.) должно быть не более 11А. Превышение данных значений чревато поломками двигателя мотора-колеса и выходом из строя силового контроллера привода.

Работа с электромагнитным тормозом: включение/выключение порошкового тормоза осуществляется при помощи кнопки с фиксацией «ВКЛ./ОТКЛ». Плавная регулировка тока катушки электромагнитного тормоза осуществляется при помощи потенциометра «ТОРМОЖЕНИЕ». Увеличение тока вызывает увеличение тормозящего момента и наоборот.

VI. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Снять механические и регулировочные характеристики для всех предложенных систем ИУ-Д для двух частот коммутации транзисторов.
2. Исследовать влияние схемы усилителя мощности и частоты коммутации транзисторов на механические и регулировочные характеристики систем ИУ-Д.

VII. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы следует тщательно ознакомиться с конструкцией стенда, расположением органов управления приборов я стенда, заготовить все необходимые таблицы.

1. Построение регулировочных характеристик $\Omega_{дв} = F(U_{упр})$:

- 1.1. Включить «Пуск/стоп», «Обороты».
- 1.2. Медленно поворачивать потенциометр «Обороты» до пуска двигателя (приблизительно 1,5 В)

1.3. Медленно увеличивать напряжение управления приводом «PV2» при ненагруженном двигателе через каждые 0,25-0,3 В. Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3

| № п/п | Напряжение управления приводом $U_{упр}$ «PV2», В | Измеритель момента нагрузки «ТОРМОЖЕНИЕ», Нм. | Амперметр постоянного тока РА1, А | Скорость вращения двигателя $\Omega_{дв}$ «Тахометр», об/мин |
|-------|---|---|-----------------------------------|--|
| 1 | 1,5 | ≈ 0 | | |
| 2 | 1,75 | ≈ 0 | | |
| 3 | 2,0 | ≈ 0 | | |
| ... | ... | ≈ 0 | ... | ... |
| | 3,5 | ≈ 0 | | |

1.4. Провести измерения регулировочных характеристик при заданном моменте

1.5. Включить электромагнитный тормоз (предварительно повернув потенциометр «Торможение» в крайнее положение против часовой стрелки)

1.6. Установить момент нагрузки приблизительно равным 2 Нм и не менять это значение в процессе измерений.

1.7. Провести снятие регулировочных характеристик двигателя в соответствии с пунктом I, а данные занести в таблицу аналогичную табл. №1.

1.8. Построить графики регулировочных характеристик для первого и второго измерений на одном графике ($\Omega_{дв} = F(U_{упр})$).

2. Снятие механических характеристик:

2.1. Медленно поворачивать потенциометр «Обороты» до пуска двигателя (приблизительно 1,5 В) и установить напряжение управления приблизительно 2 В.

2.2. Медленно, поворачивая потенциометр «Торможение», последовательно устанавливать нагрузку приблизительно 0,...,16.0 Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

| № п/п | Напряжение управления приводом $U_{упр}$ «PV2», В | Измеритель момента нагрузки «ТОРМОЖЕНИЕ», Нм. | Амперметр постоянного тока РА1, А | Скорость вращения двигателя $\Omega_{дв}$ «Тахометр», об/мин |
|-------|---|---|-----------------------------------|--|
| 1 | ≈ 2 | ≈ 0 | | |
| 2 | | ≈ 2 | | |
| 3 | | ≈ 4 | | |
| 4 | | ≈ 6 | | |
| 5 | | ≈ 8 | | |

| | | | | |
|---|---------------|--------------|--|--|
| 6 | | ≈ 12 | | |
| 7 | | ≈ 14 | | |
| 8 | | ≈ 16 | | |
| 1 | ≈ 3.5 | ≈ 0 | | |
| 2 | | ≈ 2 | | |
| 3 | | ≈ 4 | | |
| 4 | | ≈ 6 | | |
| 5 | | ≈ 8 | | |
| 6 | | ≈ 10 | | |
| 7 | | ≈ 12 | | |
| 8 | | ≈ 16 | | |

2.3. Построить графики механических характеристик для первого и второго измерений на одном графике ($\Omega_{\text{дв}} = F(M_{\text{дв}})$), при напряжении управления ≈ 2 и $\approx 3.5\text{В}$

VIII. Указания по оформлению отчёта

Отчёт должен содержать:

- теоретические сведения :
- результат измерений в виде таблиц и графиков, а также необходимые расчётные формулы.

IX. Контрольные вопросы

1. Назовите отличительные особенности вентильного двигателя.
2. Как образуется магнитный поток в вентильном двигателе?
3. Что происходит при совместном действии потоков возбуждения и потоков от токов статора с силовыми линиями магнитного поля в воздушном зазоре?

Библиографический список.

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. /

Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.

5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.

6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.

2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №6

Изучение импульсного способа управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ознакомление с принципами, положенными в основу импульсного способа регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока, и исследование характеристик системы "импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ИУ-Д)" в зависимости от частоты коммутации ключей системы выходного каскада усилителя электрической мощности.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сущность импульсного способа состоит в том, что изменение частоты вращения якоря двигателя достигается не за счет изменения напряжения управления, непрерывно подводимого к двигателю, а путем изменения времени, в течение которого к двигателю подводится номинальное напряжение. В результате этого работа двигателя состоит из чередующихся периодов разгона и торможения. Размах колебаний угловой скорости зависит от частоты следования импульсов: чем выше частота переключения, тем меньше колебания скорости. Пусть на якорь двигателя подается скачком последовательность однополярных импульсов напряжения. Кривую угловой скорости в функции времени легко построить, если рассматривать последовательность импульсов как одиночные импульсы напряжения, прикладываемые через определенные промежутки времени. Результирующая кривая является ломаной линией, состоящей из кусков экспонент, показывающих поведение двигателя на каждом участке (рис. 1, а, б).

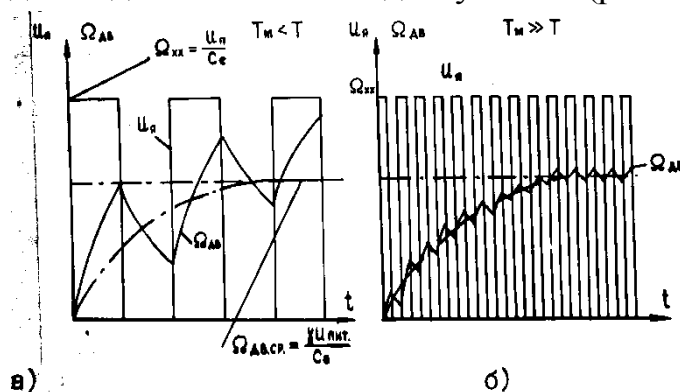


Рис. 1. Графики изменения угловой скорости двигателя:
а-при низкочастотном импульсном управлении;
б -при высокочастотном импульсном управлении

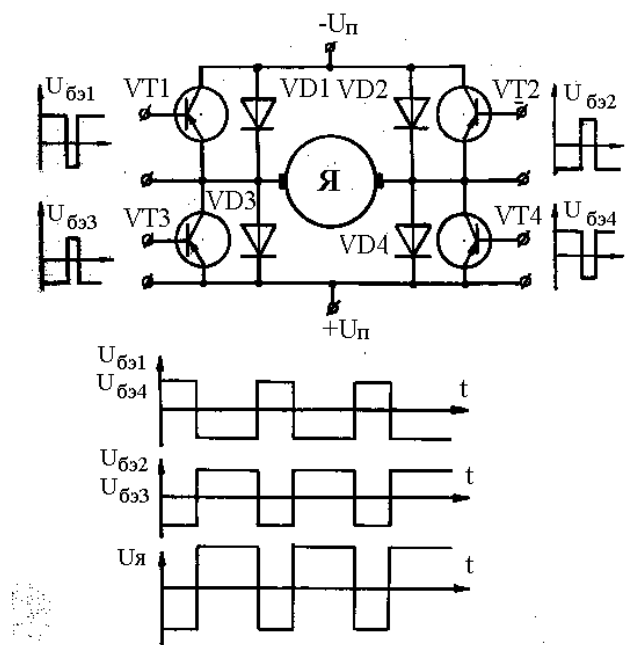
Из рис. 1,а видно, что, если на двигатель подана последовательность низкочастотных импульсов, то кривая разгона двигателя будет существенно отличаться от экспоненты, характеризующей разгон двигателя при приложении к нему скачком напряжения постоянного тока, величина которого равна γU_{Π} (γ - скважность, $\gamma = t_{\text{и}} / T$).

В случае же, когда на двигатель подана последовательность высокочастотных импульсов, то кривая разгона практически не отличается от разгона при приложении к якору напряжения постоянного тока.

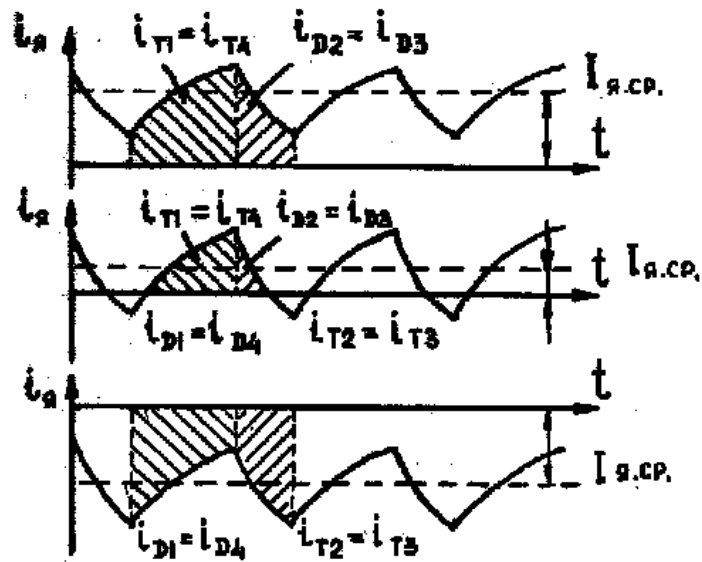
Исследование энергетических характеристик показывает, что частота коммутации должна выбираться такой, чтобы были малы колебания не только угловой скорости, но и тока якоря. Поэтому можно считать, что поведение двигателя в динамике при импульсном управлении практически будет такое же, как и при непрерывном управлении. Передаточная функция привода при этом будет иметь вид:

$$W_{\text{ИУ-Д}} = \frac{1/c_e}{p(T_M T_{\text{э}} p^2 + T_M p + 1)},$$

где $T_M = \frac{J_{\text{дв}} R_{\text{яэ}}}{c_e c_M}$ - электромеханическая постоянная времени;



А, Б)



В)

Рис. 2. Мостовая схема управления напряжением на якоре двигателя при симметричном законе коммутации транзисторов (а), эпюры напряжений (б) и токов (в)

$$T_g = \frac{L_{яэ}}{R_{яэ}} - \text{электромагнитная постоянная времени;}$$

C_e, C_m - коэффициенты противоЭДС и момента двигателя;

$R_{яэ}, L_{яэ}$ - активное сопротивление и индуктивность якорной цепи двигателя.

В реверсивных следящих приводах применяются различные законы коммутации ключей моста. При симметричном законе, когда ключи диагоналей моста коммутируются в противофазе, эпюры токов и напряжений в системе имеют вид рис. 2в.

При отсутствии угла рассогласования в приводе транзисторы VT1, VT4 и VT2, VT3 коммутируются в противофазе с

$\gamma = 0.5$. В результате напряжение на якоре имеет форму знакопеременных прямоугольных импульсов, при этом $U_{яср} = 0$.

В зависимости от знака угла рассогласования в приводе скважность, импульсов увеличивается или уменьшается по сравнению с $\gamma = 0.5$. Пусть знак рассогласования таков, что транзисторы VT1, VT4 коммутируются с $\gamma > 0.5$, тогда в схеме имеют место следующие электромагнитные процессы.

Если M_n и имеет достаточно большую величину, то в период насыщенного состояния VT1, VT4 и закрытых VT2, VT3 ток якоря под действием напряжения источника питания U_n нарастает по экспоненте с постоянной времени T_g замыкаясь по цепи $U_n - VT4 - Я - VT1 - U_n$ (двигательный режим). В следующий полу период, когда VT1, VT4 закрыты, а

VT2 и VT3 насыщены, ток якоря уменьшается, замыкаясь по цепи Я - VD3 - U_{π} - VD2 - Я (двигательный режим). Поддержание тока прежнего (положительного в принятой системе отсчета) направления происходит за счет энергии, запасенной в предыдущий полу период в магнитном поле якоря. Несмотря на то, что это двигательный режим этот полу период происходит возвращение запасенной в магнитном поле якоря энергии источнику питания, так как ток якоря протекает через источник в направлении, противоположном действию напряжения.

При малых и положительных моментах нагрузки во время закрытого состояния VT1, VT4 и открытого состояния VT2, VT3 ток якоря успевает уменьшиться до нуля, замыкаясь по цепи Я- VD3 - U_{π} - VD2 - Я (двигательный режим с рекуперацией энергии источнику питания). Затем ток якоря изменяет знак и под действием напряжения U_{π} нарастает по экспоненте, замыкаясь по цепи U_{π} - VT3 - Я - VT2 - U_{π} (режим торможения противовключением).

В следующий полу период при запираании VT2, VT3 и насыщении VT1, VT4 ток якоря некоторое время поддерживается в прежнем (отрицательном) направлении за счет энергии, запасенной в $L_{я\pi}$, протекая по цепи Я - VD4 - U_{π} - VD1 - Я (рекуперативное торможение), а затем ток изменяет свое направление и нарастает под действием U_{π} , протекая по цепи U_{π} - VT4 - Я - VT1 - U_{π} (двигательный режим).

При малых отрицательных моментах нагрузки электромагнитные процессы аналогичны предыдущим, но только среднее значение тока отрицательно.

' При больших значениях отрицательного момента угловая скорость двигателя, а следовательно, и противоЭДС, возрастает настолько, что в полу период насыщенного состояния VT1, VT4 ток якоря не успевает уменьшиться до нуля, протекая под действием запасенной в $L_{я\pi}$ энергии по цепи Я - VD4 - U_{π} - VD1 - Я (рекуперативное торможение). В следующий полу период (VT2, VT3 -насыщены) ток якоря, протекая в отрицательном направлении, нарастает под действием U_{π} . Ток якоря замыкается по цепи U_{π} - VT3 - Я - VT2 - U_{π} (режим торможения противовключением) и т.д. В этом случае двигатель реализует режим, эквивалентный рекуперативному торможению.

При работе двигателя в режиме торможения противовключением

и при $M_n > 0$ ток якоря в схеме протекает по тем же цепям, что и в двигательном режиме при $M_n > 0$. В полупериод насыщенного состояния VT1, VT4 двигатель работает в режиме торможения противовключением, в полупериод насыщенного состояния VT2 VT3- в режиме рекуперативного торможения.

Таким образом, ток якоря непрерывен при всех режимах работы двигателя, следовательно механические и регулировочные характеристики системы ИУ-Д линейны и описываются уравнением

$$M_{\text{дв.ср}} = \frac{U_n}{R_{\text{яэ}}} (2\gamma - 1) c_m - f \Omega_{\text{дв.ср}},$$

где $f = \frac{c_e c_m}{R_{\text{яэ}}}$ - жесткость механических характеристик.

При симметричном законе коммутации транзисторов напряжение на якоре имеет форму знакопеременных прямоугольных импульсов, поэтому пульсации тока якоря значительны и это приводит к большим дополнительным тепловым потерям мощности в двигателе.

Вследствие того, что все четыре транзистора коммутируются одновременно, могут существовать сквозные токи в обеих половинах схемы при любом знаке угла рассогласования в приводе.

3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 1) **АТН-1335** - источник питания системы,
- 2) **AWG-4110 (канал CH1 (CH2))** – генератор сигналов специальной формы (источник модулирующего напряжения $U_{\text{мод}}$);
- 3) **AWG-4110 (канал CH2 (CH1))** - генератор сигналов специальной формы (источник входного напряжения $U_{\text{вх}}$);
- 4) **ADS-2111M** - осциллограф;
- 5) **ЭП-4Р** - следящая система, силовая часть которой работает по системе "импульсный усилитель с симметричным законом коммутации ключей моста - двигатель".

4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.
2. Изучить принцип работы и функциональное назначение элементов следящего привода.
4. Исследовать качество переходных процессов по скорости двигателя при низкочастотном и высокочастотном импульсном управлении двигателем.
5. Изучить работу мостового импульсного усилителя мощности с симметричным законом коммутации транзисторов.
6. Экспериментально определять параметры математической модели следящей системы с импульсным усилителем мощности.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы следует тщательно ознакомиться с

конструкцией стенда, расположением органов управления приборов и стенда, заготовить все необходимые таблицы.

1. Исследование кривых разгона двигателя системы ИУ-Д в зависимости от частоты коммутации ключей:

1) установить напряжение генератора AWG-4110 (КАНАЛ CH1) , дающего напряжение модуляции 100 мВ с частотой 1000 Гц;

2) включить питание потенциометров обратной связи;

3) включить напряжение питания системы;

4) путем вращения потенциометра датчика обратной связи убедиться, что система следит нормально;

5) выключить систему, выключить питание потенциометров обратной » связи, установить напряжение модуляции AWG-4110 (КАНАЛ CH1) 3В с частотой 1000 Гц и подать на вход системы с генератора AWG-4110 (КАНАЛ CH2) прямоугольные импульсы с напряжением 2 В;

6) зарисовать диаграмму изменения скорости следящего вала с экрана осциллографа при положении переключателя стенда "осциллограф" Θ_c ;

7) выключить систему и уменьшить частоту напряжения модуляции AWG-4110 (КАНАЛ CH2) до 100 Гц и снова зарисовать кривую изменения скорости.

ВНИМАНИЕ !!! Систему включайте на более чем на 5-7 с.

2. Изучение функционирования мостовой схемы с симметричным законом коммутации:

1) установить с помощью AWG-4110 (КАНАЛ CH1) модулирующее напряжение 3 В с частотой 1000 Гц и выключить входное напряжение;

2) включая систему на короткое время, зарисовать вид тока в отдельных участках схемы, переключая переключатель осциллографа: $I_{дв}$, $I_{д1}$, $I_{д2}$, $I_{Т1}$, $I_{Т2}$;

3) диаграммы расположить друг под другом.

3. Изучение динамических характеристик системы ИУ-Д:

1) установить величину напряжения модуляции с частотой 1000 Гц и подать на вход системы прямоугольное напряжение с AWG-4110 (канал CH2) частотой 5 Гц и напряжением 2В;

2) прокалибровать осциллограф: включить метки времени, установить метки

10 мс; изменяя длительность развертки, установить ее в такое положение, чтобы расстояние между началами первой и второй меток составляло одно деление шкалы экрана осциллографа, затем выключить метки и в последующем потенциометр длительности не трогать;

3) включить систему и зарисовать переходный процесс по скорости двигателя;

4) проведя касательную по диаграмме скорости из момента переключения, определить постоянную времени системы T_m ;

5) переключив генератор входного сигнала в режим синусоидального сигнала, снять относительную амплитудно-частотную характеристику системы по скорости, а данные внести в таблицу;

6) построить относительную логарифмическую частотную характеристику в масштабе 2 мм - 1 дБ, 50 мм - I декада и аппроксимировать -ее апериодическим звеном; определить постоянную времени апериодического звена - электромеханическую постоянную систему ИУ-Д;

7) построить структурную схему следящей системы и записать численные значения коэффициентов усиления и постоянных времени.

| Частота, Гц (f_i) | $\omega_i = 2\pi f_i$ | $\lg \omega_i$ | A_i | A_i / A_1 | $20 \lg A_i / A_1$ |
|-----------------------------|-----------------------|----------------|----------|----------------|--------------------|
| 0,5 | | | A_1 | A_1 / A_1 | |
| 1.0 | | | A_2 | A_2 / A_1 | |
| 2.0 | | | A_3 | A_3 / A_1 | |
| 5,0 | | | A_4 | A_4 / A_1 | |
| 10 | | | A_5 | A_5 / A_1 | |
| 20 | | | A_6 | A_6 / A_1 | |
| 30 | | | A_7 | A_7 / A_1 | |
| 40 | | | A_8 | A_8 / A_1 | |
| 50 | | | A_9 | A_9 / A_1 | |
| 60 | | | A_{10} | A_{10} / A_1 | |
| 70 | | | A_{11} | A_{11} / A_1 | |

8) сравните полученный результат с результатом, полученным в п.4.

6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать блок-схему изучаемой системы и результаты измерений в виде графиков и диаграмм, располагаемых в порядке, предложенном в работе. Графики переходных процессов по скорости (п.1) можно зарисовать качественно.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит сущность импульсного способа регулирования частоты вращения двигателя?

2. Какие законы коммутации ключей в мостовой схеме управления двигателем Вы знаете? Нарисуйте эпюры напряжений на двигателе при этих способах коммутации.

3. Какие функции выполняют диоды в системе?

4. Чем объясняется зона нечувствительности разомкнутой системы и от

каких параметров она зависит?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №7

Исследование статических характеристик систем «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением»

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния схемы усилителя мощности, частоты и метода коммутации транзисторов, их выходных каскадов на механические и регулировочные характеристики нереверсивных и реверсивных электрических приводов, работающих по системе "импульсный усилитель - двигатель, постоянного тока с независимым возбуждением "(ИУ-Д).

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Структура выходных каскадов и методы коммутации ими во многом определяют характеристики двигателя, а с другой стороны, от параметров двигателя, угловой скорости его вращения и вида нагрузки зависит работа выходного каскада. Поэтому необходимо рассматривать -характеристики не отдельных элементов (усилителя и двигателя), а системы "усилитель - двигатель".

Принципиальная схема простейшей нереверсивной системы ИУ-Д представлена на рис. 1. Диаграмма напряжений и токов в этой системе представлена на рис. 1,б. Здесь и в последующих диаграммах обозначено: $U_{бэ}$ - напряжение база-эмиттер транзисторов; $U_я$ - напряжение на якоре двигателя; $i_я$ ток двигателя; $i_к$ -ток коллектора соответствующего транзистора; $i_д$ - ток соответствующего диода. Достоинством данной системы следует считать предельно малое количество элементов, а следовательно и самую низкую стоимость.

При теоретическом исследовании функционирования всех систем будем считать, что диоды являются идеальными вентилями, а транзисторы идеальными переключателями.

При появлении сигнала рассогласования в следящей системе на транзистор VT от модулятора длительности импульсов через промежуточные каскады усиления начинает поступать последовательность импульсов с относительной длительностью γ . Транзистор во время импульса будет открываться, подключая якорь двигателя к источнику питания. Под действием приложенного напряжения по цепи якоря дотечет ток, создающий момент, который приведет выходной вал привода в движение. Во время паузы, когда транзистор заперт, ток будет уменьшаться. Нарастание и спад тока, будут происходить по экспоненциальному закону. Поскольку частота коммутации выбирается достаточно высокой, пульсации угловой скорости двигателя

невелики. В зависимости от длительности импульса, определяемой величиной управляющего сигнала, и момента нагрузки могут быть два режима работы системы.

В одном режиме, который имеет место при больших моментах нагрузки, направленных навстречу движению ток якоря во время паузы не

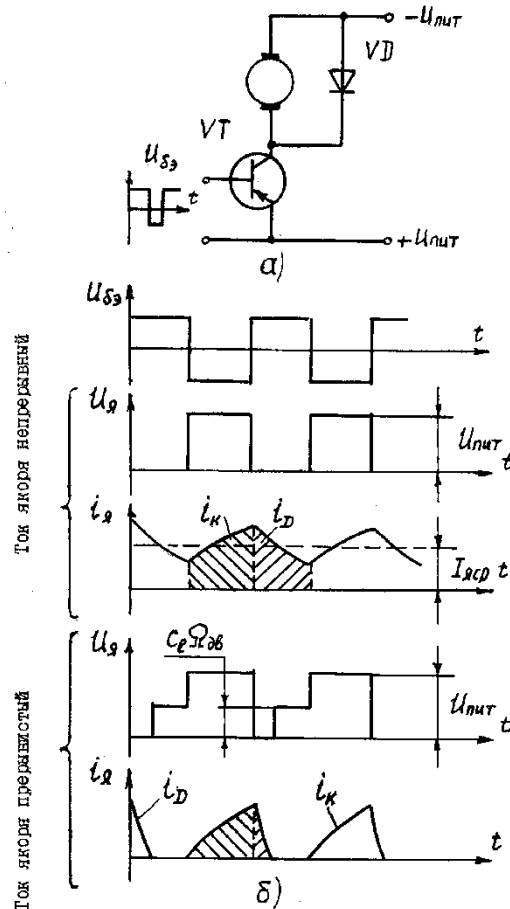


Рис.1. Простейшая неререверсивная система
ИУ-Д (а), эщры напряжений и токов (б)

успеваает уменьшиться до нуля и носит непрерывный характер. Механические характеристики в этом режиме линейны.

Другой режим соответствует прерывистым токам и имеет место при малых

моментах нагрузки, когда ток двигателя за время паузы успеваает уменьшиться до нуля. Прерывистый ток приводит к появлению нелинейных участков механических характеристик.

Общий вид механической характеристики простейшей неререверсивной системы показан на рис.2.

Из сказанного следует, что такая система имеет ряд недостатков:

- отсутствие режимов генераторного торможения;
- наличие участков с нелинейными механическими характеристиками, имеющими малую жёсткость;

- повышенные дополнительные потери в двигателе при работе - в режиме прерывистых токов.

Для устранения указанных недостатков в схему вводится ещё один транзистор VT2 (рис. 3), включённый параллельно якорю двигателя и работающий в противофазе с VT1. Для уменьшения инверсных токов в транзисторе VT1, которые возможны в данной схеме, шунтируется диодом VD1. В таком варианте выходного каскада при отсутствии угла рассогласования привода транзистор включён и вместе с диодом VD1 образуют контур, закорачивающий цепь якоря и обеспечивающий электродинамическое торможение при любом знаке момента и угловой скорости.

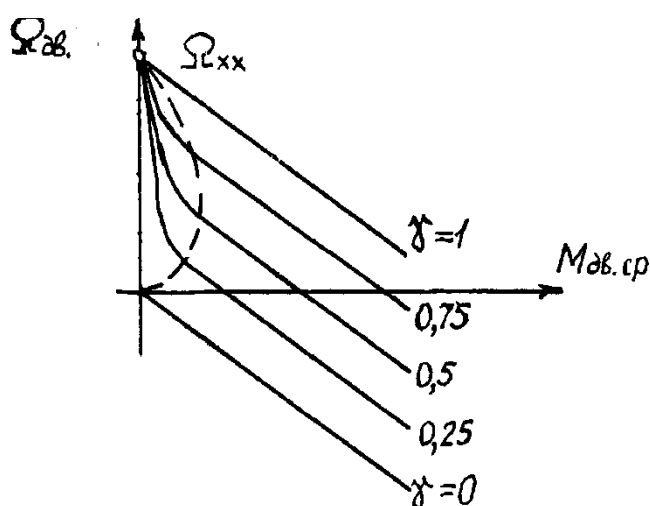


Рис. 2. Механические характеристики системы ИУ-Д, изображённой на рис. 1

Недостатком рассмотренной схемы, обеспечивающей линейные механические характеристики двигателя, является возможность появления сквозных токов через транзисторы в момент их переключения. Эти токи существенно увеличивают потери мощности в транзисторах. Для их исключения принимаются специальные меры.

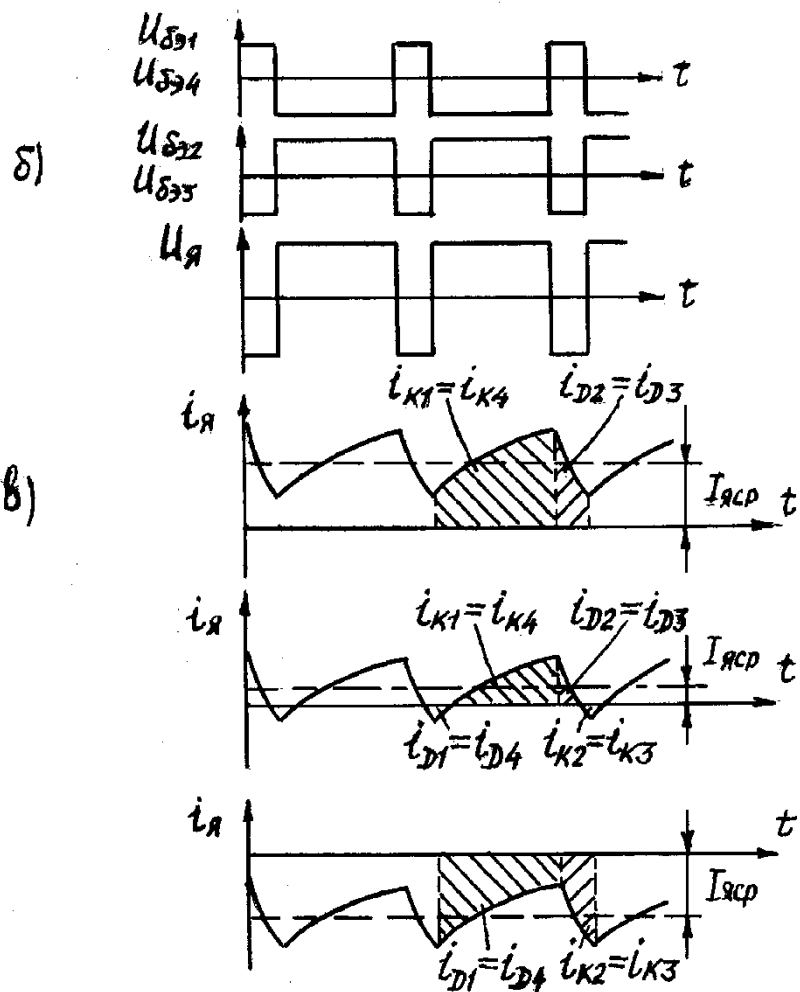
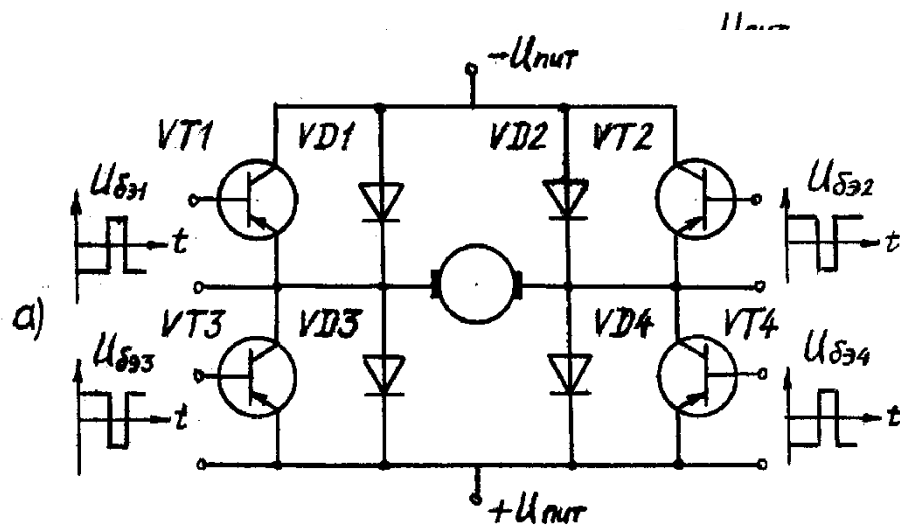


Рис. 4. Реверсивная система ИУ-Д с симметричным законом коммутации транзисторов (а), эпюры напряжений (б) и токов (в).

Рис. 3. Нереверсивная система ИУ-Д с динамическим торможением (а), эпюры токов и напряжений в ней (б)

Реверсивная.. мостовая схема ИУ-Д с симметричным законом коммутации транзисторов показана на рис. 4. В этой схеме ток якоря непрерывен при всех режимах работы двигателя, следовательно, механические и регулировочные характеристики системы ИУ-Д линейны.

При симметричном законе коммутации транзисторов напряжение на якоре имеет форму знакопеременных прямоугольных импульсов, поэтому пульсации тока якоря значительны и это приводит к большим дополнительным тепловым потерям мощности.

Вследствие того, что все четыре транзистора коммутируются одновременно, могут существовать сквозные токи.

3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ. •

Лабораторный стенд включает: импульсный реверсивный усилитель мощности, который может функционировать в различных режимах имитировать работу 3-х типов усилителей мощности; простейшего нереверсивного усилителя (схема А), нереверсивного усилителя с заворачивающим транзистором (схема В) и мостового реверсивного усилителя с симметричным законом коммутации (схема С); - задающий генератор прямоугольных импульсов регулируемой частоты и скважности для управления импульсным усилителем мощности, двигатель постоянного тока типа ДМ-2-26) и нагружающее устройство двигателя - электромагнитную муфту МГБ-1,6-3.

Ведомый вал муфты соединён с валом двигателя, а ведущий заторможен. Так как развиваемый муфтой момент торможения зависит только от тока управляющей обмотки и не зависит от скорости вращения ведомого вала, то, изменяя ток в обмотке управления, можно изменять момент нагрузки на двигатель. Миллиамперметр, проградуированный в величинах момента нагрузки, помещён на лицевой панели установки.

Скорость вращения двигателя измеряется с помощью фотодатчика, и частотомера, который фиксирует период колебаний между двумя последовательными перерывами светового потока специальным прерывателем, расположенным на валу двигателя.

Переключение режимов работы импульсного усилителя мощности (схемы А, В, С) осуществляется переключателями на лицевой панели. Там же выведены потенциометры, управляющие скважностью и частотой импульсов задающего генератора. Характер изменения напряжений и токов в каждом участке схемы исследуется с помощью осциллографа, который подключается попеременно к исследуемому участку с помощью переключателя, установленного на передней панели. В лабораторной работе используются:

- 1) осциллограф СИ-65,
- 2) цифровой измеритель частоты вращения двигателя ЦАТ-2М или

4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.

2. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его полученными экспериментальными характеристиками.

3. Снять механические и регулировочные характеристики для всех предложенных систем ИУ-Д для двух частот коммутации транзисторов.

4. Исследовать влияние схемы усилителя мощности и частоты коммутации транзисторов на механические и регулировочные характеристики систем ИУ-Д.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы следует тщательно ознакомиться с конструкцией стенда, расположением органов управления приборов и стенда, заготовить все необходимые таблицы.

1. Снятие механических характеристик простейшей нереверсивной (схема А), нереверсивной с динамическим торможением (схема В) и реверсивной с симметричным законом коммутации (схема С) систем ИУ-Д при различных частотах коммутации транзисторов выходных каскадов усилителей мощности:

1) включить осциллограф и цифровой измеритель частоты вращения и дать им прогреться в течение 5 мин;

2) установить длительность развертки осциллографа 0,5 мс и чувствительность 5 в/см;

3) подключить осциллограф к клеммам "Осциллограф" на стенде, а переключатель установить в положение " $U_{\text{бэл}}$ ";

4) включить напряжение питания стенда 36 В, 400 Гц;

5) установить ручкой "Частота*" частоту задающего генератора 0,5 кГц (период колебаний 4 клетки - 2 мс);

6) установить с помощью потенциометра "Скважность" скважность $\gamma = 0.9 (\gamma = t_u / T, t_u \text{ где время импульса, а } T - \text{ период его следования})$;

7) установить переключатель измерительного прибора стенда в положение " M_n ";

8) включить питание 27 В;

9) с помощью потенциометра M_n остановить значение $M_n = 0$;

10) установить переключатель работы схемы в положение "схема А";

11) нажать и держать кнопку включения (рядом с тумблером 27 В) двигателя при этом двигатель начнёт вращаться;

12) снять показания цифрового измерителя скорости и занести ее в таблицу, при этом показания ЦАТ-2М необходимо умножить на 2, т.к. по техническим причинам он дает заниженное вдвое значение частоты вращения, величину средней частоты вращения в системе СИ рассчитать по выражению:

$$\Omega_{\text{дв.средн}} = \frac{\pi n_{\text{дв}}}{30} \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

13) отключить двигатель, т.е. отжать кнопку;

14) переключить стенд на схему В;

15) включить двигатель и опять снять показания ЦАТ-2М - частоты вращения;

16) тоже самое сделать для схемы С;

17) установить с помощью потенциометра " M_n " " $M_n = (0.2, 0.5, 1, 2, \dots)$ " вплоть до полной остановки двигателя и повторить все измерения, а данные внести в таблицу;

18) повторить изменения для всех схем при тех же моментах для скважностей $\gamma = 0.7$ и $\gamma = 0.3$;

19) вернуть стенд в исходное положение "схема А", $M_n = 0$ и установить частоту задающего генератора 2 кГц (при длительности развертки 0.1мс

5 делений) и повторить все измерения;

19) по данным измерений построить графически механические характеристики всех систем ИУ-Д» причём для каждой частоты переключения на своём графике но в одинаковом масштабе.

2. Построение регулировочных характеристик:

1) используя данные предыдущих измерений и представив их в виде

$$\Omega_{\text{дв.ср}} = f(\gamma) \text{ при } M_n = \text{const},$$

построить регулировочные характеристики всех систем для значений $M_n = (0, 1.0, 2.0) \cdot 10^{-1} \text{ КГ*см}$;

12) представить результаты построения графически для каждой схемы и частоты переключения на своём графике, но в одинаковом масштабе.

6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчёт должен содержать:

- принципиальные схемы систем :
- результаты измерений в виде таблиц и графиков, а также необходимые расчётные формулы.

На основании результатов измерений и графиков необходимо сделать выводы:

а) как влияет частота коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности на ширину зоны прерывистых токов простейшей схемы ИУ-Д (схема А)?

б) Как влияет частота коммутации транзисторов на жесткость механических характеристик?

в) Чем объяснить влияние частоты коммутации транзисторов на жесткость механических характеристик?

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы коммутации транзисторов импульсных реверсивных усилителей мощности используются в технике и в чём они заключаются?

2. Какими достоинствами и недостатками обладает простейшая нереверсивная система ИУ-Д?

3. Можно ли при использовании нереверсивного усилителя мощности создать реверсивный привод?

8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.

2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.

3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.

4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.

5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 — 233 с.

6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. — Москва: Библио-глобус, 2013. — 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №8

Изучение принципа действия и характеристик реверсивного следящего привода, работающего по системе «транзисторный импульсный усилитель-двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» (виртуальная)

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение принципа работы, схемной реализации, назначения электронных блоков и характеристик реверсивного привода постоянного тока, работающего по системе "транзисторный импульсный усилитель с симметричным законом коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением".

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В любом следящем приводе можно условно выделить два канала распространения сигналов:

- 1) **канал управления** (информационный канал), по которому передаются сигналы управления с входа привода к объекту управления;
- 2) **энергетический канал** (силовая часть), по которому преобразуемая энергия распространяется от источника питания к объекту управления.

В канал управления типичного приборного следящего электрического привода (ЭСП) входят: датчик рассогласования с использованием синусно-косинусных или линейных вращающихся трансформаторов (СКВТ или ЛВТ), фазочувствительный выпрямитель, сглаживающий фильтр, усилитель постоянного тока, последовательное корректирующее устройство, суммирующее устройство, модулятор длительности импульсов, усилитель мощности, исполнительный двигатель и редуктор.

В энергетический канал входят: выходной каскад усилителя мощности, исполнительный двигатель и редуктор. Для обеспечения высокого коэффициента полезного действия, выходные каскады мостового усилителя мощности работают в ключевом режиме. Наиболее часто в приборных ЭСП используется симметричный закон коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности. При этом законе транзисторы выходного каскада усилителя мощности, находящиеся в разных диагоналях мостовой схемы, коммутируются в противофазе.

Для обеспечения требуемых динамических свойств ЭСП используются последовательные корректирующие устройства, включаемые в цепь ошибки ЭСП и параллельные корректирующие устройства, включаемые в цепи местных обратных связей по скорости и по ускорению следящего вала. Местные обратные связи по скорости реализуются с помощью тахогенератора,

соединенного с валом исполнительного двигателя. Сигналы параллельных корректирующих устройств суммируются с сигналом последовательного корректирующего устройства в суммирующем устройстве.

Для анализа функционирования и синтеза приводов с различными структурами разработана виртуальная лабораторная работа, позволяющая реализовать системы, управляющие положением и скоростью объекта управления, а также реализовывать различного вида корректирующие последовательные и параллельные устройства. Функциональная схема, имеющего возможности реализовать все выше перечисленные устройства, показана на рисунке 1.

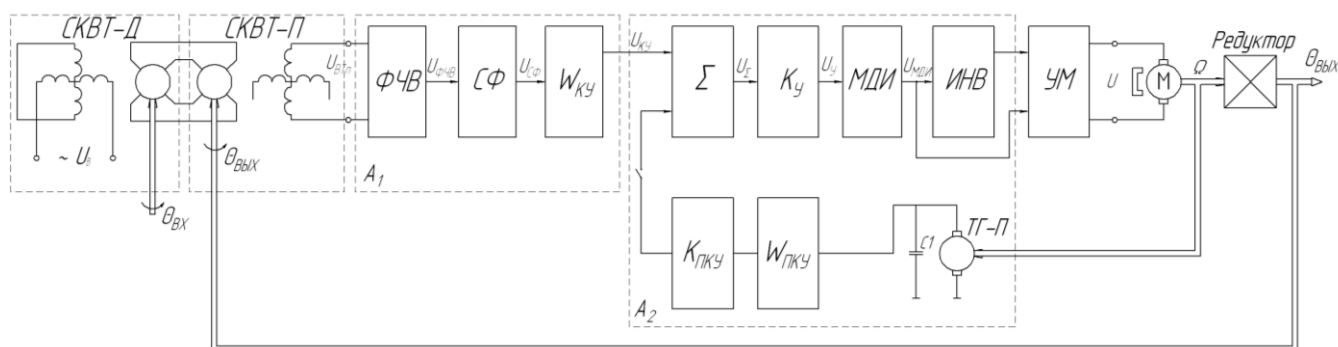


Рис.1. Функциональная схема следящего привода

Здесь:

СКВТ – Д и СКВТ – П – датчик рассогласования с использованием синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (SKVT);

ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель (DM)

СФ – сглаживающий фильтр (filter);

WкУ – последовательное корректирующее устройство (Correction Arrangement)

Σ – суммирующее устройство;

Kу – коэффициент усиления (Kу);

МДИ – модулятор длительности импульсов (MDI);

ИНВ – инвертор;

УМ – усилитель мощности (Kум);

ТГ-П – тахогенератор (Ktg);

KпкУ, WпкУ – параллельное корректирующее устройство (KпкУ, WпкУ);

М – двигатель (DPR52).

Здесь и в дальнейшем в скобках приведены обозначения, используемые в схемах моделирования.

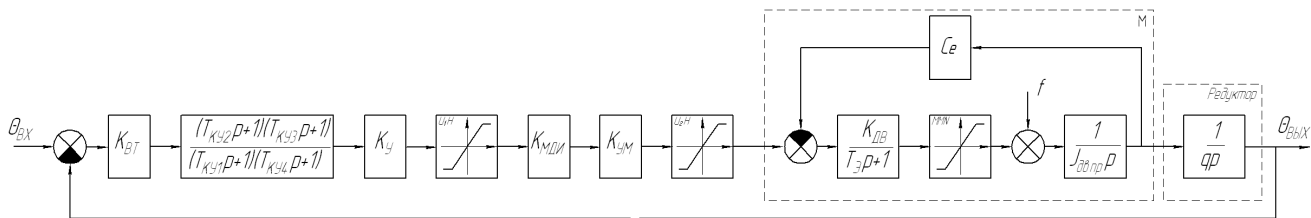


Рис.2. Структурная схема привода с последовательной коррекцией

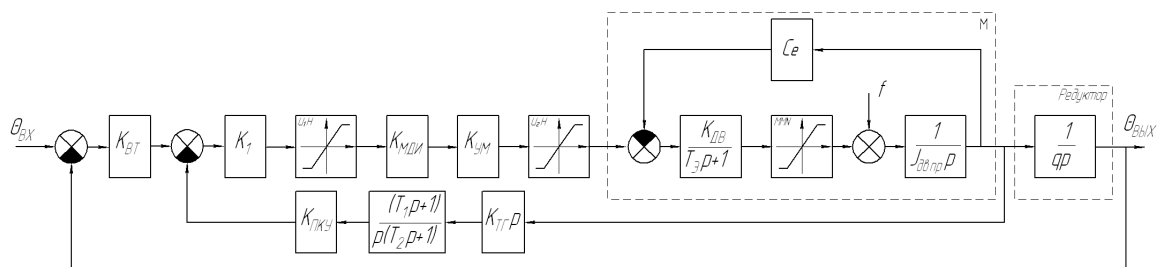


Рис.3. Структурная схема привода с параллельной коррекцией

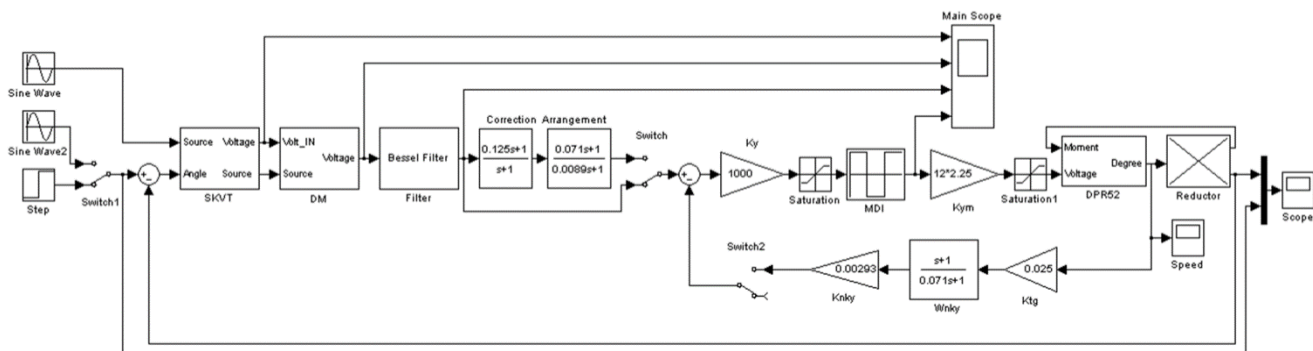


Рис.4. Схема моделирования следящего привода

Измеритель рассогласования на двух СКВТ (датчика с коэффициентом трансформации 1 и приемника с коэффициентом трансформации 0,56)

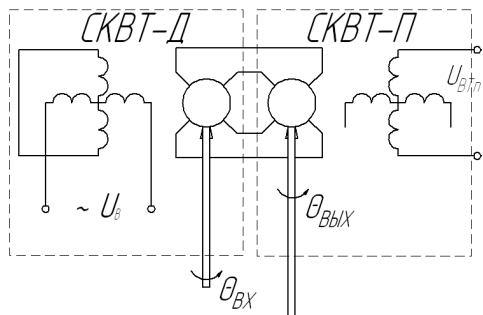


Рис.5. Принципиальная электрическая схема Датчика рассогласования на СКВТ



Рис.6.Схема моделирования

На СКВТ подается входной сигнал низкой частоты (Angle) или меандр(Step), а также несущий высокочастотный сигнал (Source). Сигнал на выходе формируется перемножением этих сигналов. В схеме моделирования учтены коэффициенты трансформации и напряжение, равное 27В 400 Гц.

Фазочувствительный выпрямитель (ФЧВ)

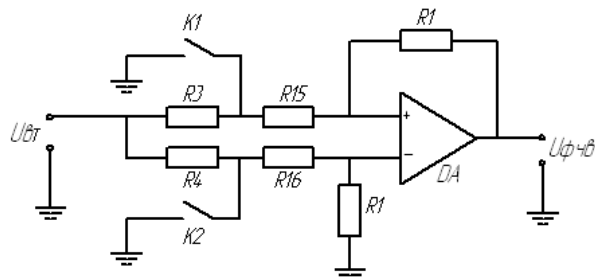


Рис.7. Принципиальная электрическая схема

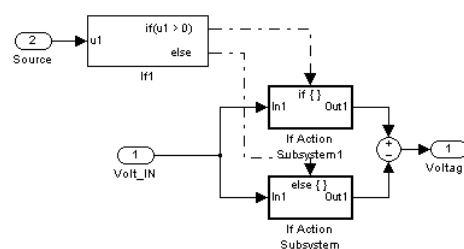
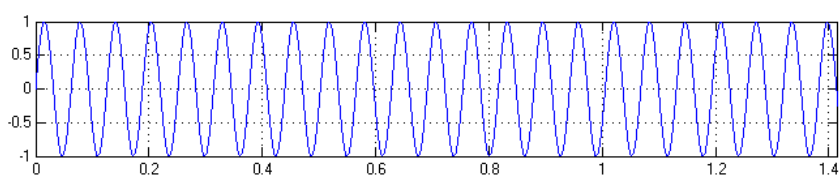


Рис.8. Схема моделирования

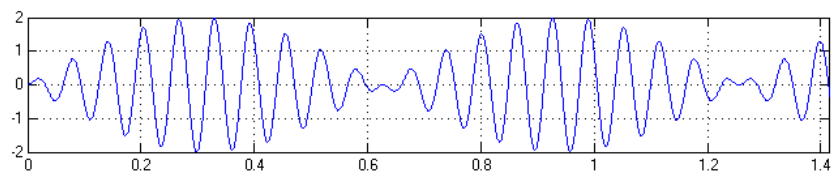
Фазочувствительный выпрямитель представляет собой схему демодулятора с коэффициентом усиления равным 1.

Электрическая схема работает следующим образом. При подачи на вход ключевой микросхемы К1 положительной полуволны напряжения возбуждения вращающегося трансформатора датчика он открывается и шунтирует инвертирующий вход операционного усилителя DA. Ключ К2 при этом закрыт и напряжение с СКВТ – П поступает на неинвертирующий вход операционного усилителя DA. При приходе отрицательной полуволны напряжения возбуждения СКВТ – П сигнал проходит по каналу инвертирующего входа DA. Модель ФЧВ состоит, из двух ключей, которые открываются при наступлении определенного условия, в данном случае это знак несущего сигнала (Source). Так для открытия первого ключа, необходимо положительное напряжение, для второго – отрицательное. Разница сигналов полученных таким образом, формирует сигнал на выходе фазочувствительного выпрямителя.

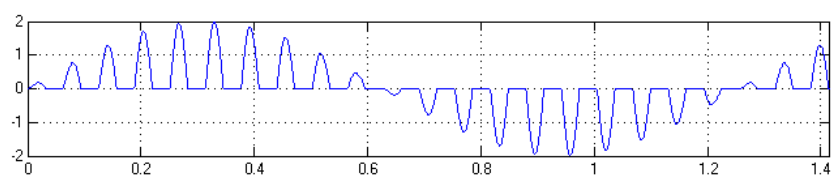
Диаграмма напряжений ФЧВ приведена на рисунке 9.



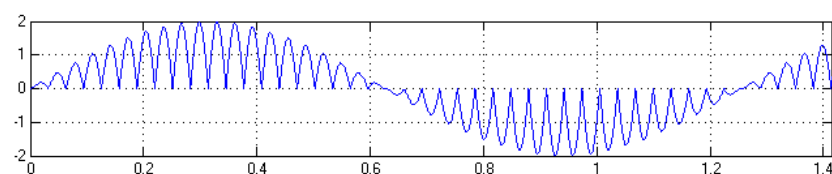
Несущий сигнал
(напряжение
возбуждения СКВТ)



Сигнал на выходе СКВТ



Сигнал на выходе ФЧВ
(однополупериодное
выпрямление)



Сигнал на выходе ФЧВ
(двухполупериодное
выпрямление)

Рис. 9. Диаграмма напряжений ФЧВ

Сглаживающий фильтр (СФ)

СФ на выходе демодулятора необходим для устранения несущей частоты и выделения полезного сигнала, несущего информацию об угле поворота.

В работе используется интегрирующий фильтр(2) и фильтр Бесселя (1) нижних частот третьего порядка с частотой среза 100Гц.

Фильтр Бесселя в отличие от апериодического фильтра обеспечивает наилучшее сглаживание входного сигнала за счет наличия более высокого порядка и небольшого фазового сдвига в области рабочих частот привода.

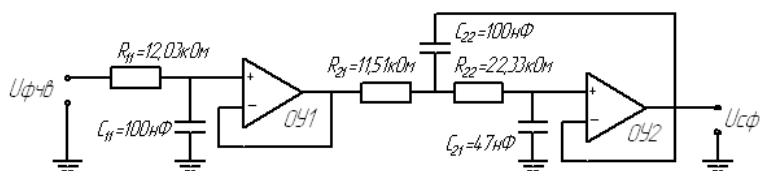


Рис.10. Принципиальная электрическая схема моделирования
фильтра Бесселя третьего порядка

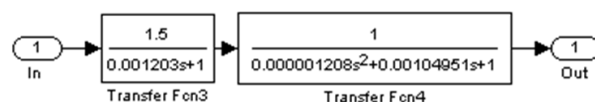


Рис.11. Схема

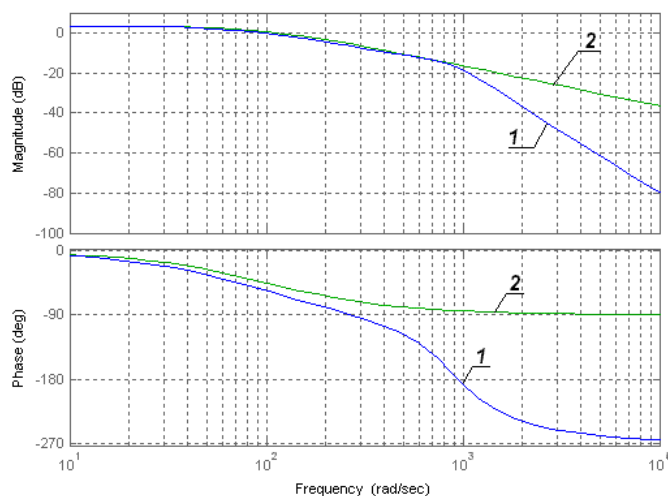


Рис.12. Частотные характеристики.

1 – ЛАФЧХ фильтра Бесселя

2 – ЛАФЧХ апериодического фильтра

Модулятор длительности импульсов

МДИ преобразует медленноменяющийся сигнал в последовательность прямоугольных импульсов, скважность которых пропорциональна величине сигнала. Частота следования импульсов выбирается, исходя из анализа энергетических характеристик системы ИУ-Д » (для данной системы это 5000 Гц). На вход триггера подается управляющее напряжение, пилообразное напряжение и напряжение смещения.

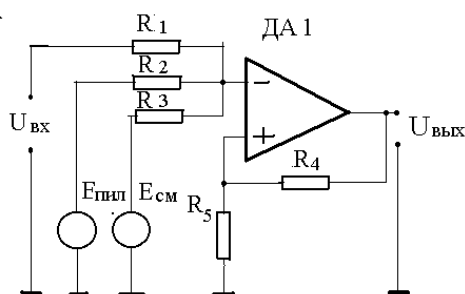


Рис.13. Принципиальная электрическая
моделирования
схема МДИ

Рис.14. Схема

Напряжение смещения выбирается таким образом, чтобы при нулевом входном сигнале для системы с симметричным законом управления скважность составляла $\gamma = 0,5$. В настоящее время в качестве пороговых элементов в МДИ используются специальные микросхемы - триггер Шмидта - микросхемы ТЛ, а для получения МДИ, имеющих большой коэффициент передачи в качестве пороговых элементов используют интегральные операционные усилители. Принципиальная схема такого МДИ представлена на рис. 13.

Генератор пилообразного напряжения $F_{\text{пил}}$ (Saw-edged signal) генерирует сигнал пилообразной формы, частота которого выбирается исходя из анализа энергетических характеристик системы «импульсный усилитель – двигатель, который сравнивается с сигналом, поступающим с усилителя. Происходит преобразование медленно меняющегося сигнала в периодическую последовательность прямоугольных импульсов с широтно-импульсной модуляцией.

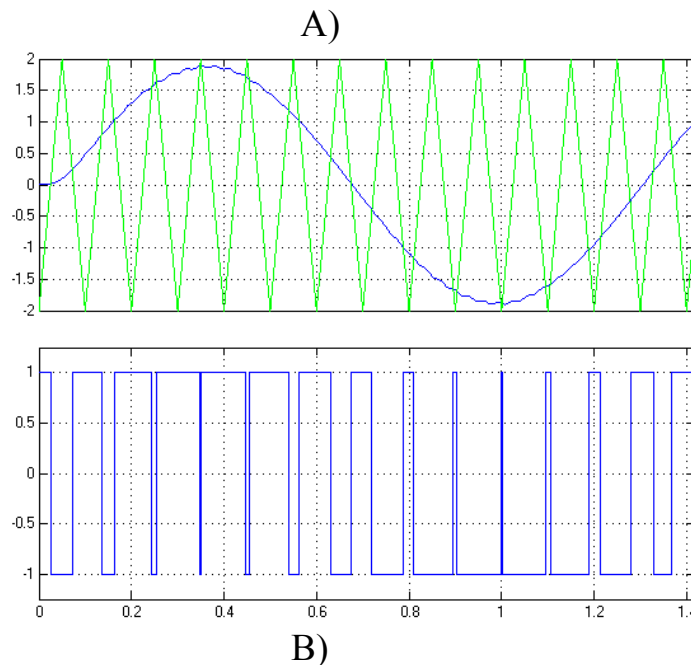


Рис.15. Диаграммы напряжений МДИ. А - сигналы на входе МДИ, В - сигнал на выходе МДИ

Остальные элементы следящего привода собраны в соответствии со структурными схемами рис. 2 и 3.

Контрольное тестирование с целью проверки изученного теоретического материала, изложенного выше, а также соответствующих разделов лекционного курса, и допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Откройте папку «Тесты к вирт. лаб. №1».
2. Запустите программу tester.exe. Пароль «718».
3. Ответьте на все поставленные вопросы.
4. В случае, если вы ответили более чем на 60% вопросов, то приступайте к выполнению работы.
5. Если количество правильных ответов было меньше 60%, то вновь изучите теорию и пройдите повторный курс тестирования.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования являются математические модели реверсивного электрического привода и его элементов, разработанных в среде MATLAB и

Simulink. Для выполнения работы необходим, современный компьютер с установленными: операционной системой Windows, пакетом MATLAB и программой «БАНКИР 7.5».

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить модель следящей системы, функциональное назначение и принципы работы отдельных элементов модели, их взаимодействие.
2. Исследовать динамические характеристики следящей системы: изучить влияние величины коэффициента усиления в прямой цепи, типа и характеристик сглаживающего фильтра на характер переходных процессов и частотные характеристики замкнутой системы.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение принципов работы отдельных элементов модели и их взаимодействие.

Все модели, используемые в работе, находятся в папке «work» пакета MATLAB, которые должны быть предварительно открыты.

1.1. Откройте файл «SKVT.mdl».

1.2. Запустите файл «SKVT.mdl» и изучите полученные диаграммы.

1.3. Используя возможности программы «simulink» просмотрите все параметры и коэффициенты трансформации СКВТ – Д и СКВТ – П. (Исходная частота напряжения возбуждения СКВТ взята нереальной для обеспечения лучшего понимания происходящего процесса.)

1.4. Измените типы СКВТ – Д и СКВТ – П по своему усмотрению, взяв их из таблицы 1 и занесите измененные параметры в модель SKVT.

Таблица 1. Технические данные ВТ серии 2,5БВТ

| Обозначение (тип) ВТ | Назначение ВТ | Напряжение возбуждения, В | | Z_{01} , Ом | К |
|-------------------------|----------------|------------------------------|---------------------|---------------|------|
| | | Номинальное | Рабочий диапазон | | |
| 2,5БВТ-Д | ВТДП-Д СКВТ | 12 | 0-12 | 200 | 0,56 |
| | | | | | |
| 2,5БВТ-П | ВТДП-П | 12 | 0-27 | 800 | 1 |
| 2,5БВТ-С | СКВТ | 12 | 0-12 | 200 | 0,56 |
| 2,5БВТ-Л | ЛВТ | 12 | 0-12 | 200 | 0,52 |
| 2,5БВТ-2 | СКВТ | 12 | 0-12 | 400 | 0,56 |

Диапазон рабочих частот напряжения возбуждения, Гц

380-21000

1.5. Используя функцию PrintScreen и графический редактор Paint, сохраните полученные процессы.

1.6. Запустите файл «DM.mdl» и изучите полученные диаграммы.

1.7. Используя возможности программы «Simulink» просмотрите все параметры напряжений возбуждения (source) и рабочего (Sine wave). Исходная частоты напряжения взяты теми же, что и в схеме «SKVT.mdl».

1.8. Измените величины этих напряжений и частот в соответствии с проделанным в предыдущем пункте и занесите измененные параметры в модель «DM.mdl».

1.9. Используя функцию PrintScreen и графический редактор Paint, сохраните полученные процессы.

1.10. Запустите файл «Shim.mdl» и проделайте те же операции, что и в предыдущих пунктах.

1.11. Запустите файл «model_sum.mdl» и проследите последовательно все процессы преобразования сигналов в измерителе рассогласования (СКВТ – Д и СКВТ – П), демодуляторе и модуляторе длительности импульсов.

2. Исследование динамических характеристик следящей системы: изучить влияние величины коэффициента усиления в прямой цепи, типа и характеристик сглаживающего фильтра на характер переходных процессов и частотные характеристики замкнутой системы.

2.1. Для изучения влияния коэффициента усиления по разомкнутому контуру (прямой цепи) на динамические характеристики следящей системы запустите файл «model. mdl».

2.2. Получите модель системы с последовательной коррекцией, установив ключи $S1$ и $S2$ в положение 1.

2.3. Установите ступенчатый входной сигнал $0.01B$

2.4. Устанавливая коэффициент усиления K_y 30, 300, 3000, изучите характер переходных процессов на выходе системы.

2.5. Используя функцию PrintScreen и графический редактор Paint, сохраните полученные процессы.

2.6. Сделайте выводы об устойчивости и точности системы

2.7. Получите модель системы с параллельной коррекцией, установив ключи $S1$ и $S2$ в положение 2.

2.8. Устанавливая коэффициент усиления K_y 30, 300, 3000, изучите переходные процессы в системе.

2.9. Используя функцию PrintScreen и графический редактор Paint, сохраните полученные процессы.

2.10. Сделайте выводы об устойчивости системы.

3. Изучение влияния сглаживающего фильтра на динамические характеристики следящей системы.

3.1. Поставьте ключи $S1$ и $S2$ в положение 1, $K_y = 300$

3.2. Установите ступенчатый входной сигнал $0.01B$

3.3. Для изменения типа фильтра, установите в блоке Filter значение параметра Type filter равным 1 или 2, который соответствуют фильтру Бесселя

или апериодическому фильтру. Изучите характер переходных процессов на выходе системы для данных типов сглаживающего фильтра.

3.4. Сохраните полученные процессы и сделать выводы о характере влияния сглаживающего фильтра на работу системы.

4. Изучение влияния частоты входного сигнала на динамические характеристики следящей системы.

4.1. Установите ключи $S1$ и $S2$ в положение 1, $K_y = 300$

4.2. Установите синусоидальный входной сигнал амплитудой 0.1 В и частотой 1 рад/с, изучите переходные процессы в системе.

4.3. Проведите аналогичные действия для частот 5 и 10 рад/с

4.4. Сохранить полученные процессы и сделать выводы.

5. Исследование частотных характеристик заданной системы.

Используя линеаризованную модель (Linear model) оценить ЛАФЧХ системы.

(Tools→Linear analysis; Simulink→Get Linearized Model; Plot type→Bode)

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать.

1. Блок-схемы привода.
2. Диаграммы напряжений во всех изученных элементах.
3. Переходные процессы и частотные характеристики системы.
4. Все необходимые выводы по работе.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить функциональное назначение и принципы работы элементов следящей системы?
2. Как осуществляется управление частотой вращения двигателя в данной следящей системе?
3. Какой сигнал и почему используется для осуществления обратной связи по скорости вращения вала двигателя?
4. Как влияет коэффициент усиления системы в прямой цепи на характер переходных процессов в системе?
5. Какие требования предъявляются к характеристикам сглаживающего фильтра?
6. Что произойдет с системой, если существенно увеличить коэффициент усиления в разомкнутом контуре?
7. На основе анализа каких характеристик привода определяется частота ШИМ выходного каскада усилителя мощности?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №9

Изучение энергетических характеристик систем «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением»

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния частоты и методов коммутации транзисторов выходных каскадов усилителей мощности на энергетические характеристики реверсивных приводов постоянного тока, работающих по системе "импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ИУ-Д)".

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Известно, что относительные потери мощности в двигателе привода, работающего по системе ИУ-Д, больше, чем потери в двигателе, работающем в системе генератор - двигатель т.е. при непрерывном управлении на некоторую величину ΔP_* , обусловленную пульсацией тока около его среднего значения.

ΔP_* максимальна потери при скважности $\gamma = 0.5$ и определяется выражением

$$\square P_{*|\gamma=0.5} = \frac{(1-\alpha^2)}{192} \left(\frac{T}{T_g} \right)^2 \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что $\square P_{*|\gamma=0.5}$ в системах с симметричным законом коммутации транзисторов выходного каскада в четыре раза больше, чем в системах с несимметричным.

Из выражения (1) также следует, что величина дополнительных потерь также зависит от отношения $\frac{T}{T_g}$. Зависимость дополнительных потерь от отношения $\frac{T}{T_g}$ для $\alpha = 0$ представлена на рис. 1.

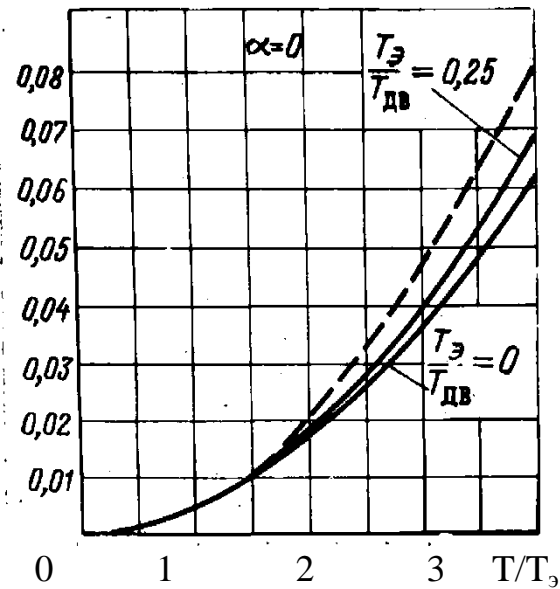


Рис. 1. Зависимость дополнительных потерь от отношения $T/T_э$ для $\alpha = 0$.

Здесь $T_{дв}$ - электромеханическая постоянная времени системы.

При малых частотах коммутации потери в двигателе, обусловленные пульсацией тока, могут достигать больших величин. Поэтому частоту коммутации выбирают обычно такой, чтобы дополнительные потери при $\gamma = 0.5$ составляли величину менее 10% от потерь в двигателе при номинальном режиме работы и непрерывном управлении. Частоту коммутации выбирают исходя из этого по формуле:

$$f_{ком} = \frac{1}{T} \geq 0.23 \frac{(1-\alpha)}{T_э \frac{M_{ном}}{M_n}} \quad (2)$$

где: $M_{ном}$ - номинальный момент двигателя;
 M_n - пусковой момент двигателя;
 $T_э$ - электромагнитная постоянная времени системы.

Величина относительных дополнительных потерь в двигателе зависит от среднего напряжения на его якоре.

Для симметричного закона коммутации ($\alpha = -1$)

$$\square P_* = \frac{1}{48} \left(\frac{T}{T_э} \right)^2 (1 - U_{ясп}^2)^2 \quad (3)$$

$$\text{где: } U_{\text{ясп}^*} = \frac{U_{\text{ясп}}}{U_n},$$

Для несимметричного закона коммутации ($\alpha = 0$)

$$\Delta P_* = \frac{1}{12} \left(\frac{T}{T_g} \right)^2 U_{\text{ясп}^*} (1 - |U_{\text{ясп}^*}|)^2 \quad (4)$$

Зависимость $\frac{48 \Delta P_*}{(T/T_g)}$ от $U_{\text{ясп}^*}$, рассчитанная по выражениям представлена на рис. 2.

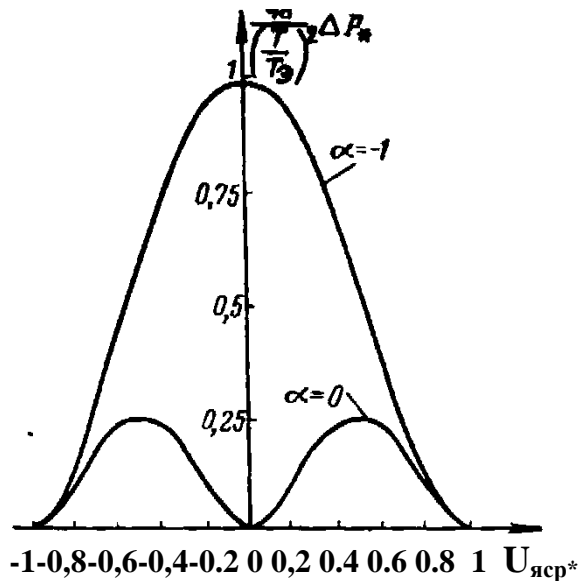


Рис. 2. Зависимость $\frac{48 \Delta P_*}{(T/T_g)}$ от $U_{\text{ясп}^*}$.

Эти кривые показывают, что при одинаковой частоте переключения дополнительные потери мощности при симметричном законе коммутации ключей моста значительно больше, чем при несимметричном, особенно при малых частотах вращения и малых моментах нагрузки.

Зависимости и выражения, представленные выше, получены при допущении об идеальности транзисторов выходных каскадов усилителей мощности. Мощные транзисторы, применяемые в оконечных каскадах импульсных усилителей, имеют время переключения (1-10) мкс. При частотах коммутации (2-10) КГц это соответствует времени (0.1-0.5) миллисекунды нахождения транзистора в линейной зоне. Это приводит к существенным потерям мощности в транзисторах чего нельзя не учитывать при расчете

характеристик системы ИУ-Д. Кроме того, кремниевые транзисторы имеют значительное (1 -3)В напряжение насыщения, что приводит к еще большим потерям мощности в усилителях.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Лабораторный стенд включает импульсные усилители мощности: простейший нереверсивный (схема А), нереверсивный с закорачивающим транзистором (схема Б) и мостовой реверсивный с симметричным законом коммутации (схема С); задающий генератор прямоугольных импульсов регулируемой частоты и скважности для управления импульсными усилителями мощности; двигатель постоянного тока типа ДМ - 2 - 26 и нагружающее устройство двигателя - электромагнитный гистерезисный тормоз (муфта типа МГБ -1.6-3, работающая как тормоз).

Ведомый вал муфты соединен с валом двигателя, а ведущий заторможен. Так как развиваемый муфтой момент торможения зависит только от тока управляющей обмотки и не зависит от скорости вращения ведомого вала, то, изменяя ток в обмотке управления, можно изменять момент нагрузки на двигатель. Миллиамперметр, проградуированный в величинах момента нагрузки, помещен на лицевой панели установки.

Частота вращения двигателя измеряется с помощью фотодатчика и частотомера, который фиксирует период колебаний между двумя последовательными прерываниями светового потока специальным прерывателем, расположенным на валу двигателя.

Переключение режимов работы импульсного усилителя мощности (схемы А, Б, С) осуществляется переключателем на лицевой панели. Там же выведены потенциометры, управляющие скважностью и частотой импульсов задающего генератора. Характер изменения напряжений и токов в каждом участке схемы исследуется с помощью осциллографа, который подключается попеременно к исследуемому участку схемы с помощью переключателя, установленного на передней панели. В лабораторной работе используются:

- 1) низкочастотный осциллограф типа С1-19Б;
- 2) цифровой измеритель частоты вращения двигателя ЦАТ-2М;
- 3) вольтметр постоянного тока магнитоэлектрической системы на 30В;
- 4) амперметр постоянного тока магнитоэлектрической системы на 1.5 А;
- 5) стенд для исследования энергетических характеристик системы ИУ-Д.

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Исследовать влияние частоты коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности на мощность, теряемую в системе ИУ-Д.
2. Исследовать влияние методов коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности на мощность, теряемую в системе ИУ-Д.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы тщательно ознакомиться с конструкцией стенда, расположением органов управления приборов и стенда, заготовить все необходимые таблицы,

1. Определение мощности, теряемой в системе ИУ-Д с несимметричным законом коммутации, при различных частотах (схема Б):

а) включить все электронные приборы и дать им прогреться в течении 5 мин.;

б) подключить осциллограф к клеммам "осциллограф" на стенде, а переключатель стенда установить в положение $U_{бэ1}$ или $U_{бэ2}$;

в) включить напряжение питания стенда 36В 400 Гц и установить ручкой "частота" частоту задающего генератора 0.5 кГц;

г) перевести переключатель на стенде в положение " $U_{дв}$ ", отключить осциллограф от стенда (не выключая его) и на его место подключить вольтметр;

д) установить переключатель измерительного прибора стенда в положение " M_n " и с помощью потенциометра установить значение $M_n = 0$;

е) включить питание - 27В, нажать на кнопку включения (рядом с тумблером 27В) и установить среднее напряжение на двигателе с помощью потенциометра "скважность" задающего генератора 5, 10, 15 и 18В;

ж) снять показания амперметров I_a , I_n (переключая тумблер в положение I_n и измерителя частота вращения двигателя, внести их в таблицу, при этом показания ЦАТ - 2М умножить на 2, так как по техническим причинам он дает заниженное вдвое значение частоты вращения;

з) произвести все вышеперечисленные измерения для всех значений напряжений с 5, 10, 15 и 18В), рассчитать $\Omega_{дв.ср}$ и ΔP

$$\Omega_{дв.ср} \left[\frac{рад}{с} \right] = \frac{\pi}{30} n_{дв.ср}$$

$$\square P = U_n I_n - M_n \Omega_{дв.ср} - R_{яср} I_{яср}^2, \text{ здесь } R_{я} = 12.5 \text{ ом.};$$

и) аналогично произвести измерения и расчеты для момента нагрузки 0.01 НМ;

Таблица

| Напряжение, В | 5 | 10 | 15 | 18 | 5 | 10 | 15 | 18 |
|------------------------------|---|----|----|----|------|------|------|------|
| $M, \text{кГсм} \cdot 10$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $M, \text{Н} \cdot \text{М}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| $N_{дв.ср}, \text{мин}^{-1}$ | | | | | | | | |

| | |
|---|--|
| $\Omega_{\text{дв.ср}}$, Рад/с | |
| $I_{\text{дв.ср}}$, А | |
| $U_{\text{дв.ср}} \cdot I_{\text{дв.ср}}$, А | |
| $I_{\text{п.ср}}$,А | |
| $I_{\text{п.ср}} \cdot U_{\text{п}}$, А*В | |
| $M_{\text{н}} \cdot \Omega_{\text{дв.ср}}$, НМ/с | |
| ΔP , ВА | |
| $U_{\text{п}}$, В | |

- к) установить частоту коммутации 2 кГц и снять энергетические характеристики системы для этой частоты и дайны? свести в таблицу;
л) представить графически зависимость $\Delta P = f(U_{\text{яср}})$ для двух частот 0.5 кГц, 2.0 кГц и $M_{\text{н}} = 0$, $M_{\text{н}} = 0.01$ НМ на одном графике.

2. Определение мощности, теряемой в системе ИУ - Д с симметричным законом коммутации (схема С);

- а) установить переключатель работы схемы в положение "схема С";
б) установить с помощью потенциометра "скважность" задающего генератора заданные напряжения;
в) произвести для заданных моментов нагрузки (табл.) определение дополнительных потерь в системе при постоянном $U_{\text{яср}}$ по вышеприведенной методике для частот 0.5 и 2.0кГц и данные занести в таблицу;
г) построить на одном графике зависимости $\Delta P = f(U_{\text{яср}})$ этих частот.

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальные схемы систем и результаты измерений в виде таблиц и графиков, а также необходимые выкладки и расчетные формулы.

На основании результатов измерений необходимо в конце каждого пункта сделать выводы:

- 1) о влиянии частоты коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности системы ИУ-Д на мощность, теряемую в системе;
- 2) о влиянии метода коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности системы ИУ-Д на мощность, теряемую в системе.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы коммутации транзисторов выходного каскада реверсивных усилителей мощности используются в технике и в чем они заключаются?
2. Что такое дополнительные потери мощности в двигателе при импульсном способе управления и чем они обусловлены?
3. При каком методе коммутации дополнительные потери мощности минимальны?
4. В некоторых случаях (см. табл.) ток, потребляемый системой ИУ-Д, меньше тока якоря двигателя ; чем это можно объяснить?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №10

Изучение принципа действия и характеристик реверсивного следящего привода, работающего по системе «Транзисторный импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением»

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение принципа работы, схемной реализации, назначения электронных блоков и характеристик реверсивного привода постоянного тока, работающего по системе "транзисторный импульсный усилитель с симметричным законом коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением".

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В любом следящем приводе можно условно выделить два канала распространения сигналов:

2) канал управления (информационный канал), по которому передаются сигналы управления с входа привода к объекту управления.

Элементами канала управления являются датчики рассогласования (измерительное устройство), корректирующие устройства, усилители напряжения и мощности, исполнительные элементы и механическая передача (силовой редуктор);

2) энергетический канал (силовая часть), по которому преобразуемая энергия распространяется от источника питания к объекту управления энергетический канал привода включает в себя источник питания, выходные каскады усилителя мощности, исполнительный двигатель, силовой редуктор.

Энергетический канал преобразует энергию источника питания в механическую энергию движения объекта управления, а канал управления обеспечивает управление энергией в энергетическом канале.

В канал управления типичного приборного следящего электрического привода (ЭСП) входят: датчик рассогласования с использованием синусно-косинусных или линейных вращающихся трансформаторов (СКВТ или ЛВТ), фазочувствительный выпрямитель, сглаживающий фильтр, усилитель постоянного тока, последовательное корректирующее устройство, суммирующее устройство, модулятор длительности импульсов, усилитель мощности, исполнительный двигатель и редуктор.

В энергетический канал входят: выходной каскад усилителя мощности, исполнительный двигатель и редуктор. Для обеспечения высокого коэффициента полезного действия, выходные каскады мостового усилителя мощности работают в ключевом режиме. Наиболее часто в приборных ЭСП используется симметричный закон коммутации транзисторов выходного

каскада усилителя мощности. При этом законе транзисторы выходного каскада усилителя мощности, находящиеся в разных диагоналях мостовой схемы, коммутируются в противофазе.

Для обеспечения требуемых динамических свойств ЭСП используются параллельные корректирующие устройства, включаемые в цепи местных обратных связей по скорости и по ускорению следящего вала. Местные обратные связи реализуются с помощью тахогенератора, соединенного с валом исполнительного двигателя, и с помощью резистора, включенного в цепь исполнительного двигателя. Сигналы параллельных корректирующих устройств суммируются с сигналом последовательного корректирующего устройства в суммирующем устройстве.

Блок - схема ЭСП, имеющего все выше перечисленные устройства, показана на передней панели лабораторного стенда.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектом исследования является реверсивный электрический привод, работающий по системе транзисторный импульсный усилитель с симметричным законом коммутации ключей выходного каскада усилителя мощности - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

Для выполнения работы необходим низкочастотный осциллограф, генератор колебаний специальной формы, источник питания постоянного тока 27В, 5А и источник переменного напряжения 36В, 400 Гц.

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить блок-схему следящей системы, установить функциональное назначение отдельных блоков и их взаимодействие.

2. Исследовать динамические характеристики следящей системы и изучить влияние коэффициента усиления по разомкнутому контуру на характер переходных процессов и частотные характеристики замкнутой системы.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение функционирования следящей системы:

а) осмотреть стенд и переключить все тумблера в положение "выкл";

б) установить коэффициенты усиления "КП1" и "КП2" минимальными (с помощью соответствующих потенциометров поворотом ручек влево до упора без нажима), а также "К" (поворотом ручки потенциометра вправо до упора);

в) установить синусоидальный входной сигнал $U = 1В$ с частотой 0.25Гц (генератор Г6-15);

г) включить систему в следующей последовательности: 220В, 36В 400 Гц и постоянное 27В;

д) снять диаграммы напряжений в точках 1,2,3,6,7,8 путем поворота переключателя "осциллограф" стенда и определить частоты сигналов, используя возможности осциллографа;

е) выключить систему в обратном порядке;

ж) используя диаграммы напряжений и блок-схему стенда, описать назначение и функционирование элементов привода;

з) определить электромеханическую постоянную времени системы: для чего установить длительность развертки осциллографа 20 мс в делении, выключить из гнезда питания 1 штекер 36В 400 Гц (т.е. разомкнуть обратную связь по углу вращения), установить частоту прямоугольного входного сигнала с генератора Г6-15 (3...5) Гц, 0.5В (5В с ослаблением 20 ДБ), включить систему в вышеприведенном порядке и зарисовать переходный процесс по скорости двигателя (осциллограф подключен к клеммам "осциллограф" стенда в положении б).

2. Изучение влияния коэффициента усиления по разомкнутому контуру (прямой цепи) на динамические характеристики следящей системы:

а) установить коэффициенты усиления "КП 1" и "КП 2" с помощью соответствующих потенциометров минимальными;

б) установить переключатель стенда "осциллограф" в положение 3 (угол поворота следящего вала);

в) на вход системы подать прямоугольный входной сигнал частотой 1 Гц и амплитудой 0.5В и снять с экрана осциллографа переходный процесс;

г) подать на вход системы синусоидальный входной сигнал с амплитудой 0.5В и в диапазоне от 0.5 до 8 Гц, через 0.5 Гц с помощью фигур Лисажу снять амплитудно-фазовую частотную характеристику;

д) установить входной сигнал согласно пункту "в", включить систему и увеличивая коэффициенты усиления "КП 1" и "КП 2" (поворачивая ручки потенциометров по часовой стрелке) до тех пор пока перерегулирование не станет близким к 25-30 %, а затем снять переходный процесс;

е) установить входной сигнал согласно пункту "г" и снять АФЧХ системы в диапазоне (0.5 - 10) Гц, через 0.5 Гц;

ж) построить на одном графике ЛАФЧХ и переходные процессы при двух коэффициентах усиления по разомкнутому контуру и сделать вывод о влиянии коэффициента усиления на качество переходного процесса и частотные характеристики системы.

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать.

1. Блок-схему привода.

2. Диаграммы напряжений во всех перечисленных точках.

3. Переходные процессы и частотные характеристики системы.
4. Все необходимые выводы по работе.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить функциональное назначение и принцип работы элементов следящей системы?
2. Как осуществляется управление частотой вращения двигателя в данной следящей системе?
3. Какой сигнал и почему используется для осуществления обратной связи по ускорению?
4. Что произойдет с системой, если существенно увеличит коэффициент усиления в разомкнутом контуре?
5. На основе анализа каких характеристик привода определяется частота ШИМ выходного каскада усилителя мощности?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.

2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №11

Изучение характеристик системы «электромашинный усилитель с поперечным полем - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением»

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить принцип работы электромашинного усилителя (ЭМУ), системы ЭМУ-Д, составить математическую модель системы и привить навыки по определению параметров модели с помощью эксперимента.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электрические следящие приводы (ЭСП), работающие - по системе "Электромашинный усилитель с поперечным полем - двигатель" (ЭМУ-Д) получили широкое применение в технике с 30-40 гг. В настоящее время в связи с развитием полупроводниковой техники область использования этих систем сократилась. Однако в ряде областей техники ЭСП, работающие по системе ЭМУ-Д, продолжают использоваться в диапазоне мощностей от сотен ватт до десятков киловатт. Это обусловлено рядом их достоинств. ЭСП с ЭМУ и двигателями обычного исполнения допускают значительные (в 2- 4 раза) кратковременные перегрузки по моменту, приводы со специальными двигателями позволяет увеличить перегрузку по моменту до 10 раз. При этом возможна форсировка скорости исполнительного двигателя (ИД) до 150% от номинальной.

При питании приводного двигателя от сети переменного тока ЭСП создает для сети симметричную нагрузку и не вносит искажений в форму кривой питающего напряжения.

ЭСП с ЭМУ можно использовать для управления объектами, подверженным пиковым моментным возмущением, при питании от сетей ограниченной мощности (передвижные дизельные электростанции, газовые турбины и т.д.). При этом энергия, потребляемая ЭСП, меньше необходимой, а дополнительная энергия поступает от вращающихся частей приводного двигателя ЭМУ и самого ЭМУ.

Принципиальная схема ЭСП, работающего по системе "ЭМУ-Д", представлена на рис. I.

В системе "ЭМУ-Д" электромашинный усилитель выполняет функции усилителя мощности. ЭМУ с поперечным полем представляет собой специальный генератор, отличающийся большим коэффициентом усиления. Коэффициент усиления ЭМУ по мощности составляет $10^3 - 10^4$. Якорь ЭМУ выполнен так же, как и якорь обычной машины постоянного тока. Статор имеет:

- а) одну или несколько обмоток управления;
- б) обмотку компенсации;

в) дополнительные обмотки, улучшающие условия коммутации,

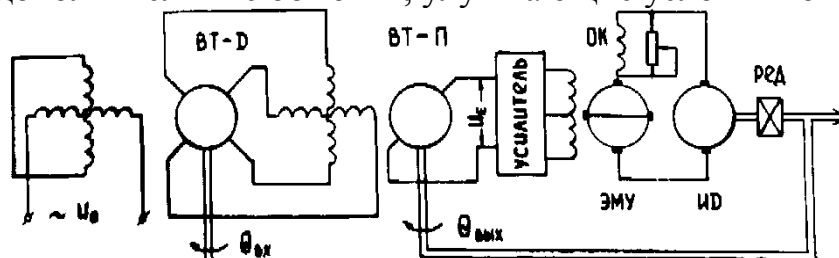


Рис. 1. Принципиальная схема ЭСП, работающего по системе "ЭМУ-Д"

На коллекторе якоря по продольной и поперечной осям расположены щетки. Щетки поперечной оси замкнуты накоротко. Принципиальная схема ЭМУ представлена на рис. 2.

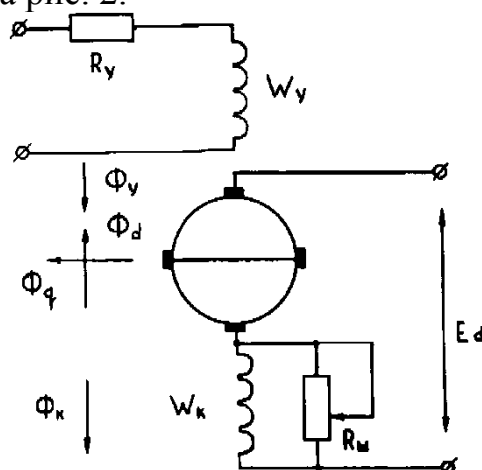


Рис. 2. Принципиальная схема ЭМУ

Обмотки, улучшающие условия коммутации, не оказывают существенного влияния на динамические характеристики системы, а только приближают коммутацию к идеальной, поэтому в дальнейшем при анализе динамики системы их учитывать не будем.

На обмотку управления подается напряжение U_y от предварительного усилителя, вызывающее небольшой поток управления Φ_y . Во вращающемся якоре на поперечных щетках наводится ЭДС. В замкнутом контуре поперечных щеток из-за малого сопротивления обмотки якоря протекает значительный по величине ток, который вызывает поперечный поток Φ_q , последний в свою очередь наводит рабочую ЭДС E_d на продольных щетках. При нагрузке рабочий ток создает поток реакции якоря Φ_d , направленный против потока управления и размагничивающий машину. Чтобы избежать существенного ослабления потока управления, последовательно в силовую цепь включена обмотка компенсации, которая создает поток Φ_k , направленный встречно потоку реакции якоря. Выражение для ЭДС, развиваемой ЭМУ, имеет вид

$$E_d = k_y i_y - \xi i_d,$$

где $\xi = \eta k_y$ - коэффициент компенсации ЭМУ.

Напряжение на выходе усилителя

$$U_d = E_{d0} - (\xi + R_d) i_d.$$

Из последнего выражения видно, что наклон внешние характеристики зависит от величины коэффициента компенсации. Различают следующие режимы компенсации.

1. Недокомпенсации $\xi > 0 \quad w_d > w_k$.
2. Режим полной компенсации по потокам $w_d = w_k$
3. Режим перекомпенсации $\xi < 0, \quad w_d < w_k$.

Если $\xi = -R_d$, то ЭМУ имеет абсолютно четкую внешнюю характеристику, напряжение на выходе равно E_{d0} и не зависит от тока нагрузки (режим полное компенсации по напряжению). Внешняя характеристика ЭМУ представлена на рис. 3.

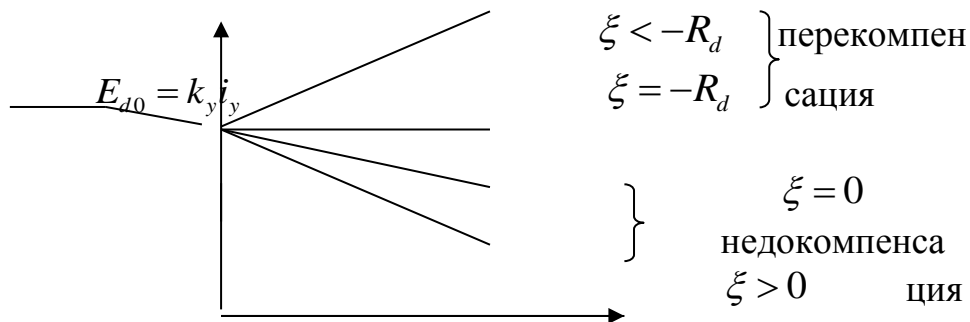


Рис. 3. Внешняя характеристика ЭМУ

Механические характеристики системы "ЭМУ-Д" представляют собой параллельные прямые линии и описываются уравнением

$$M_{\partial\theta} = M_n - f\Omega_{\partial\theta},$$

где:

$$M_n = \frac{c_m}{R_d + R_{я} + \xi} k_y i_y;$$

$$f = \frac{c_e c_m}{R_d + R_{я} + \xi}.$$

При описании динамики системы "ЭМУ-Д" в первом приближении можно пренебречь влиянием индуктивностей продольной цепи и обмотки управления, взаимоиндуктивностей обмотки управления и компенсаций, поперечной реакцией якоря, влиянием потоков рассеяния, вихревых токов и других явлений. Тогда динамические свойства системы "ЭМУ-Д" можно изучать с помощью передаточной функции:

$$W(p) = \frac{\varphi_{\partial\theta}(p)}{i_y} = \frac{k_y / c_e}{p \left[T_m T_q p^2 + \left(T_q + T_m + \frac{J_{\partial\theta} \xi}{c_e c_m} \right) p + 1 \right]},$$

$$T_m = \frac{J_{\partial\theta} R_{яэ}}{c_e c_m} - \text{электрохимическая постоянная времени системы};$$

$$T_q = \frac{L_q}{R_q} - \text{электромагнитная постоянная времени поперечной цепи}.$$

Если $\xi = 0$, то передаточная функция будет иметь вид

$$W'(p) = \frac{k_y / c_e}{p(T_m p + 1)(T_q + 1)}.$$

В следящих системах используются слегка недокомпенсированные ЭМУ, так как перекомпенсация приводит к тому, что звено второго порядка становится колебательным, а при дальнейшем увеличении $|\xi|$ ($\xi < 0$) и неустойчивым.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Лабораторная установка включает ЭСП, работающий по системе "ЭМУ-Д" и дополнительные элементы. Вал ИД соединен с тахогенератором типа ТГП-1. От различных участков электрической схемы ЭСП сделаны выводы к переключателю "осциллограф" для изучения прохождения сигналов управления по элементам схемы, в том числе и по силовой части.

Предусмотрен вариант исследования работы силовой части системы от внешнего источника сигнала. Для этого предусмотрен переключатель обмоток управления ЭМУ. Для исследования статических характеристик системы в стенде предусмотрен внутренний регулируемый источник постоянного тока (0- 27 В). Напряжение внутреннего источника и напряжение, развиваемое тахогенератором при исследовании статических характеристик, можно измерить встроенным двух предельным вольтметром с пределами 0-20 и 0-100 В .

Для выполнения работы необходимы:

- 1) низкочастотный генератор с диапазоном частот 0.05-20 Гц (Г6-26);
- 2) низкочастотный осциллограф (СІ-І9, С1-30);
- 3) вольтметр постоянного тока с пределом измерения до 100 В.

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить принцип работы системы "ЭМУ-Д" и познакомиться с техническими характеристиками её элементов.
2. Экспериментально снять регулировочные характеристики системы и определить коэффициенты передачи отдельных элементов.
3. Снять переходную и амплитудно-частотную характеристики по скорости двигателя и составить передаточную функцию нескорректированной следящей системы.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследование регулировочных характеристик системы "ЭМУ-Д" и определение коэффициентов передачи её элементов.

I. Построение зависимости $U_{\partial\partial} = f(U_y)$ - регулировочной характеристики ЭМУ:

- а) установить предел измерения вольтметра 100 В;
- б) установить переключатель стенда "осциллограф" в положение $U_{\partial\partial}$ и подключить к клеммам вольтметр;
- в) поставить переключатель обмоток управления в правое положение, а переключатель встроенного вольтметра - в положение U_y
- г) включить напряжение питания;
- д) задавая U_y потенциометром в пределах 0-15 В, через каждые 2 В, снять зависимость $U_{\partial\partial} = f(U_y)$ и изобразить её на графике;

е) по графику определить коэффициент усиления ЭМУ по напряжению k_y .

2. Определение зависимости $\Omega_{\partial\partial} = f(U_y)$:

а) отключить от стенда вольтметр;

б) установить $U_y = 0$;

в) переключить встроенный вольтметр на измерение напряжения тахогенератора, переключив переключатель вольтметра в положение U_{mz} ;

г) медленно увеличивая U_y , определить момент трогания двигателя, при этом U_{mz} станет отличен от нуля;

д) переключив вольтметр в положение U_y , найти напряжение управления, соответствующее моменту трогания двигателя;

е) начиная от напряжения управления трогания U_{ymp} , через каждые 2В до 18В снять зависимость $\Omega_{\partial\partial} = f_1(U_y)$, при этом частота вращения определить по формуле $\Omega_{\partial\partial} = U_{mz} / k_{mz}$;

ж) построить зависимости $\Omega_{\partial\partial} = f_1(U_y)$ и $\Omega_{\partial\partial} = f_2(U_{\partial\partial})$, для построения воспользуйтесь результатами предыдущих измерений;

з) по графику $\Omega_{\partial\partial} = f_2(U_{\partial\partial})$ определить коэффициент передачи двигателя.

2. Изучение динамических характеристик систем "ЭМУ-Д"

1. Снять переходный процесс по скорости ИД:

а) подключать к клеммам U_{mz} осциллограф CI-30, предварительно установив его чувствительность в положение 10 В/см, а развертку - в положение 0,1 с/см (при использовании другого осциллографа установить чувствительность и скорость развертки приблизительно соответствующие);

б) поставить переключатель обмоток управления в нейтральное положение;

в) установить $U_y = 10$ В;

г) подождя, пока появится луч осциллографа в крайнем левом положении, переключить переключатель обмоток ЭМУ в правое положение, т.е. подать на обмотку управления 10 В;

д) зарисовать с помощью кальки переходный процесс и, считая его апериодическим, определить по нему электромеханическую постоянную времени системы "ЭМУ-Д".

2. Снятие амплитудно-частотной характеристики системы:

а) поставить переключатель обмоток управления ЭМУ в нейтральное положение и подключить выход генератора синусоидального напряжения к

одной из обмоток управления. При этом генератор должен иметь на выходе 10 В;

б) подавая на обмотку правления напряжение с амплитудой 10 В и частотами

$f_i = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0$ и 20.0 Гц, снять относительную амплитудно-частотную характеристику по частоте вращения двигателя. Относительная амплитудная частотная характеристика строится при условии, что на частоте $f_1 = 0.05$ Гц не происходит завала амплитудной частотной характеристики. Данные занести в таблицу.

| Таблица | | | | |
|----------------|-----------------------|---------------|-------|-------------|
| f_i , Гц. | $\omega_i = 2\pi f_i$ | $Lg \omega_i$ | A_i | A_i / A_1 |
| 0,0 | 0,314 | -0,503 | A_1 | A_1 / A_1 |
| • • | • • • | • • • | • • | • • • |
| • • | • • • | • • • | • • | • • • |
| • • | • • • | • • • | • • | • • • |
| • | | | • | |
| 10 | 62,8 | 1,796 | A_8 | A_8 / A_1 |
| 20 | 125,6 | 2,098 | A_9 | A_9 / A_1 |

в) построить частотную характеристику системы в масштабе
2,0 см - 10 дБ;
1 декада - 5 см,

г) аппроксимировать построенную частотную характеристику передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1}{(T_m p + 1)(T_q + 1)}.$$

д) сравнить полученное значение электромеханической постоянной времени системы "ЭМУ-Д" с полученные в п.1 и объяснить возможное расхождение результатов;

е) используя выше подученные результаты, составить передаточную функцию системы "ЭМУ-Д" в виде:

$$W'(p) = \frac{k_y / c_e}{p(T_m p + 1)(T_q + 1)}.$$

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальную схему следящее системы "ЭМУ-Д", технические данные элементов системы и результаты измерений в

виде таблиц и графиков, а также необходимые выкладки и расчетные формулы, приведенные по пунктам выполнения работы.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Какую функцию выполняет ЭМУ в следящей системе?2.Перечислите достоинства и недостатки следящих приводов, работающих по системе "ЭМУ-Д".

3. Какие ЭМУ используются в ЭСП: недокомпенсированные, перекомпенсированные или полностью скомпенсированные по магнитным потокам?

4. Если бы при описании динамики системы "ЭМУ-Д" необходимо было бы учитывать "реакцию якоря", то в какой плоскости это было бы необходимо?

5. От каких факторов зависит напряжение управления трогания двигателя?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.

2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.

3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.

4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.

5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.

6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.

2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №12

Анализ динамических характеристик элементов мехатронных систем с помощью электронного осциллографа ADS-2111M (часть 2)

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальное исследование частотных характеристик мехатронных систем

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Назначение, принцип действия и классификация электронных осциллографов

Одним из направлений развития современного приборостроения является создание технических средств на основе объединения достижений современной микроэлектроники и информационных технологий. Особенное развитие получило создание интеллектуальных (программируемых) средств измерений на основе современных аппаратно-программных средств.

Указанные средства обладают следующими преимуществами:

- возможность обработки результатов измерений;
- отображение результатов измерения с использованием возможностей современных графических редакторов;
- повышение точности и быстродействия.

В качестве примера рассмотрим цифровые осциллографы (ЦО) – представляющие собой аппаратно-программные средства с очень высокими техническими характеристиками.

По возможностям обработки сигналов и быстродействию ЦО приближаются к специализированным сигнальным процессорам, а по возможностям отображения результатов обработки превосходят их.

Внешний вид осциллографа компании «Актаком» серии GDS с цветным ЖК индикатором представлены ниже

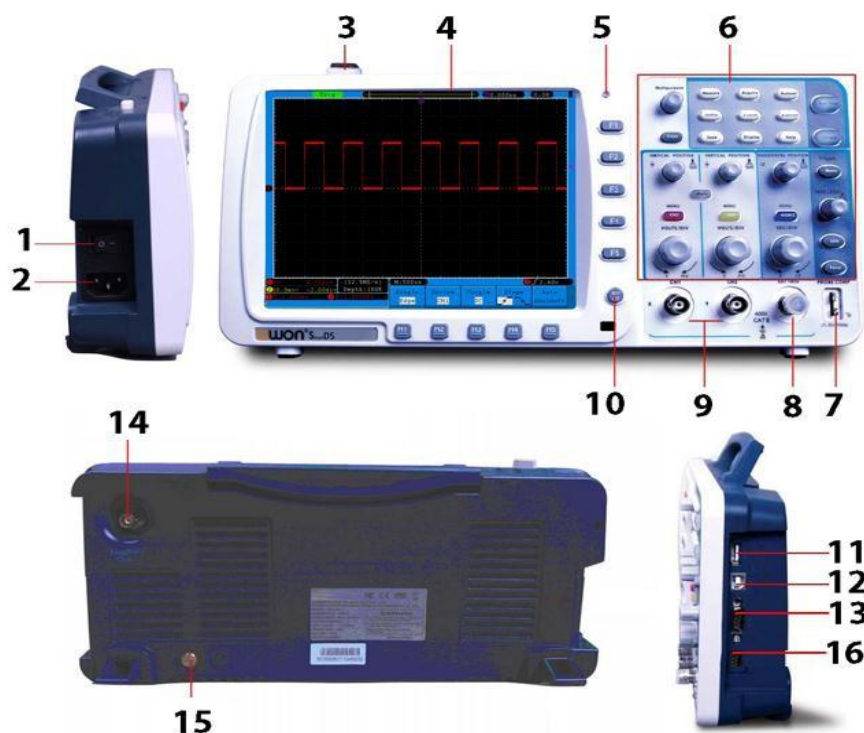


Рис. 1. Передняя и задняя панели прибора. Виды сбоку

- 9) Кнопка включения питания
- 10) Разъем для подключения кабеля питания (для моделей ADS-2031 и ADS-2031V расположена на задней панели)
- 11) Кнопка включения прибора
- 12) Индикатор сети
 зеленый - прибор включен в сеть, батарея - полностью заряжена (при использовании батареи)
 желтый - прибор включен в сеть, батарея - заряжается (при использовании батареи)
- 13) Область органов управления (рассмотрены на рис.2)
- 14) Разъем для компенсации пробника
- 15) Разъем для внешнего запуска прибора
- 16) Входные разъемы каналов CH1 и CH2
- 10) Кнопка включения/выключения меню
- 11) USB интерфейс для подключения внешнего запоминающего устройства
- 12) USB интерфейс для подключения к компьютеру
- 15) Разъем RS-232 (для моделей ADS-2xxxMV) или VGA (для моделей ADS-2xxxMV и ADS-2031V)

16) Разъем выхода Pass/Fail (кроме ADS-2031 и ADS-2031V)

15) Винт для подключения к "земле" (кроме ADS-2031 и ADS-2031V) 16) LAN интерфейс

1.2. Структура и принцип действия цифрового осциллографа

На рис. 21 в предельно упрощенном виде показана структурная схема цифрового осциллографа (ЦО).

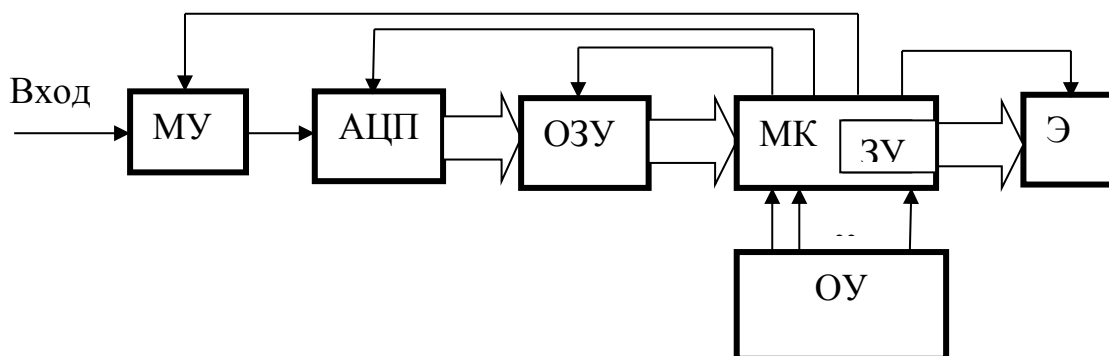


Рис. 2. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа (ЦО)

МУ – масштабирующее устройство (усилитель и делитель напряжения); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; МК – микроконтроллер; ЗУ – запоминающее устройство; Э – экран; ОУ – органы управления (кнопки, ручки).

Пройдя через МУ, входное напряжение $u(t)$ преобразуется АЦП в дискретную последовательность кодовых слов N_i , отображающих мгновенные значения u_i этого напряжения. Каждое новое кодовое слово записывается в ОЗУ. При этом все предыдущие записанные отсчеты сдвигаются на одну ячейку (регистр сдвига), а самый первый N_1 исчезает, как бы «выталкивается». Если ОЗУ состоит из M ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится M последних, «свежих», кодовых слов. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие, например, когда какое-либо u_i впервые превысит заданный оператором уровень («запуск по уровню»). После этого содержимое некоторого количества ячеек ОЗУ переписывается в запоминающее устройство ЗУ, входящее в состав микроконтроллера МК.

Каждой ячейке ЗУ соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её абсциссу определяет номер ячейки, а ординату кодовое слово N_i , находящееся в этой ячейке.

Для хорошего изображения сигнала на экране вполне достаточно 2 точки на 1 мм. Средних размеров экран имеет высоту 100 мм и ширину 120 мм.

Следовательно, на экране должны располагаться $200 \times 240 = 48\,000$ точек или более.

Таким образом, для формирования хорошего изображения АЦП должен иметь не менее 8 двоичных разрядов (256 точек по вертикали) и ЗУ должно содержать 256 ячеек.

Но количество ячеек ОЗУ может быть гораздо больше. Зачем?

ЦО позволяет делать замечательную вещь – запоминать в ОЗУ очень много кодовых слов, а потом «вытягивать» их порциями, соответствующими ширине экрана. В аналоговых осциллографах это, конечно, невозможно. Для обозначения запаса по оси времени («глубина памяти») иногда пользуются такой оценкой длительности сигнала, данные о котором записаны в ОЗУ: «число экранов». Например, «8 экранов» означает, что объём памяти ОЗУ не 256, а 2048 ячеек, в которых записано 2048 кодовых слов N_i . Каждое N_i – это 8-разрядный код, т.е. один байт, т.ч. «8 экранов» – это объём памяти в 2 килобайта. Можно вообразить очень широкий экран-ленту – в 8 раз шире натурального, но такой же высоты. На такой ленте было бы записано изображение всего сигнала. Длина этой ленты около одного метра.

Частоту дискретизации (частоту «выборок») можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.

Для изменения масштаба по вертикали, как и в аналоговых осциллографах, можно изменять коэффициенты усиления или деления соответственно входного усилителя или делителя напряжения.

В целом ЦО имеет больше сходства с компьютером, чем с аналоговым осциллографом. Он позволяет выполнять различные математические операции: растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье и проч.

1.3. Отображение сигнала на экране осциллографа

Основным недостатком всех цифровых осциллографов является, то, что они работают не в реальном масштабе времени. Что это означает?

На рис. 2 приведен схематический рисунок отображения сигнала аналоговым осциллографом, цветное поле обозначает область рисунка, отображаемую на экране (кадр). Задержка между кадрами составляет время обратного хода луча и регулируемую временную задержку (именуемую в России "стабильность" за рубежом "HOLD") запуска развёртки для получения стабильной синхронизации. Это время достаточно мало по сравнению с временем развёртки и поэтому если сигнал от кадра к кадру изменяется, это изменение немедленно отображается на экране, это и есть отображение сигнала в реальном времени.

Динамика сигнала как по вертикали, так и по -горизонтали соответствует изменениям входного сигнала.



Рис. 3

Цифровой осциллограф использует абсолютно другой принцип работы. Входной сигнал, в размере выбранного кадра, пройдя все входные усилители и аттенюаторы поступает на АЦП, где преобразуется в цифровую форму и поступает во внутреннюю память для дальнейшей обработки (привязки к развертке, выводу на экран, измерение параметров и т.д.), время этой обработки достаточно велико по сравнению с временем кадра, задержка при выводе на экран получается достаточно большая, часть информации об изменении сигнала между кадрами теряется бесследно (см.рис.4). Это и есть отображение входного сигнала в нереальном масштабе времени - главный недостаток всех цифровых осциллографов. Его можно попытаться сгладить, но избежать нельзя!



Рис. 4

Итак, первое искажение сигнала возникает при дискретизации входного сигнала в АЦП. Чаще всего в цифровых осциллографах используются 8-и разрядные АЦП - это 256 отсчетов по амплитуде, что вполне достаточно для исследования сигнала.

Но как входной сигнал записывается в АЦП? Тут пути разных производителей расходятся. Самый простой способ - выбрать как можно большую частоту дискретизации (исходя из соображений целесообразности и полосы пропускания) и записать их в память. Такая дискретизация, с жестко установленным временем между точками дискретизации, называется **периодической (или регулярной)** и используется в осциллографах Tektronix.

При этом способе дискретизации генератор, задающий шаг дискретизации запускается однократно, его сигнал показан в виде импульсной последовательности на рис. 5.

Шаг дискретизации T_0 задается периодом импульсов, показанных на рис. 4, частота дискретизации равна

$$F_d = 1 / T_0$$

Недостатком такого способа является то, что информация между точками дискретизации (красные точки наложенные на сигнал) теряется безвозвратно, не

смотря на высокую скорость дискретизации (см. рис 5 и 6) и объем внутренней памяти, в которой происходит дальнейшая обработка ограничен (но об этом немного ниже). Достоинством - простота и самое главное возможность исследовать однократные сигналы с той же достоверностью, что и периодические.

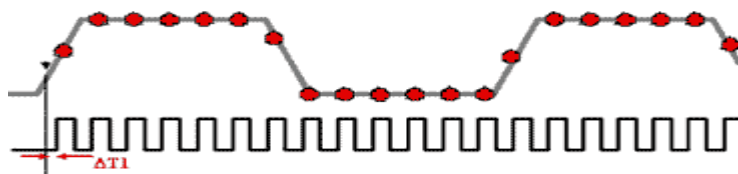


Рис. 5

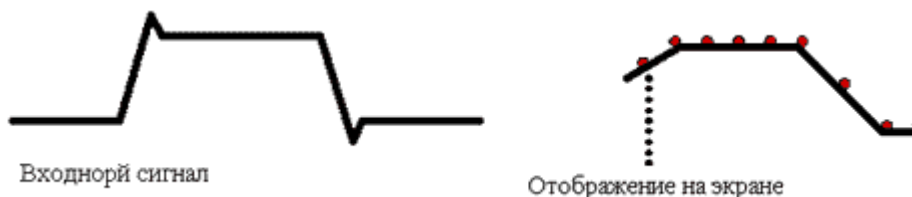


Рис. 6

Естественно, изменения сигнала между точками дискретизации не отображаются на экране, поэтому отображение сигнала на экране искажается, как показано справа на рис.6, этот "дефект заложен конструктивно".

3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования являются электрические цепи мехатронных элементов и систем.

Для выполнения работы необходим электронный осциллограф ADS-2111M, генератор сигналов специальной формы AWG-4110, набор частотнозависимых и частотнонезависимых электрических цепей, мехатронные элементы и системы.

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.
2. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его соответствующими экспериментальными данными.
3. Изучить устройство и принцип работы электронного осциллографа ADS-2111M.
4. Провести измерения, указанные в п.5 настоящих указаний и занести полученные экспериментальные данные в отчет.
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Тщательно ознакомиться с настоящей инструкцией и изучить устройство электронного осциллографа ADS-2111M.

2. Включить электронный осциллограф ADS-2111M и подготовить его к работе.

3. Собрать цепь, включающую частотно независимую электрическую цепь(рис. 3) генератор сигналов специальной формы и осциллограф:

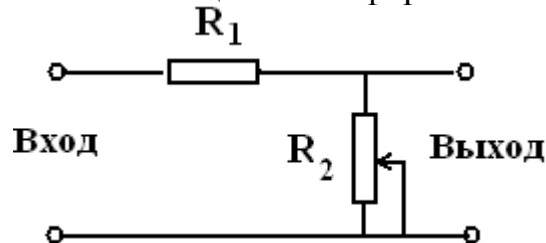


Рис. 7. Схема частотонезависимой электрической цепи.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов "амплитуда" и "частота Hz" установить выходное напряжение амплитудой 0,25В и частотой 100 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 7) это напряжение с генератора сигналов;

г) измерить напряжение на выходе схемы и определить коэффициент усиления цепи.

4. Снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику и переходный процесс нарастания напряжения цепи.

Собрать цепь, включающую частотнозависимую электрическую цепь (интегрирующего характера рис. 8), генератор сигналов специальной формы (синусоидальное напряжение подать на вход цепи) и осциллограф.

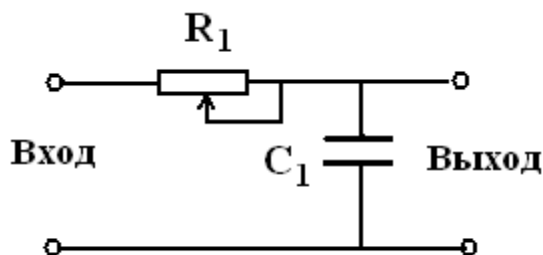


Рис. 8. Частотно зависимая электрическая цепь интегрирующего характера.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью

регуляторов "амплитуда" и "частота Hz" установить выходное напряжение амплитудой 1В и частотой 0,1 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111М с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 4) это напряжение с генератора сигналов;

г) изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 0,1 – 30 Гц (0,1; 0,5; 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30 Гц), **при этом амплитуду сигнала не менять**, с помощью фигуры Лиссажу снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику цепи;

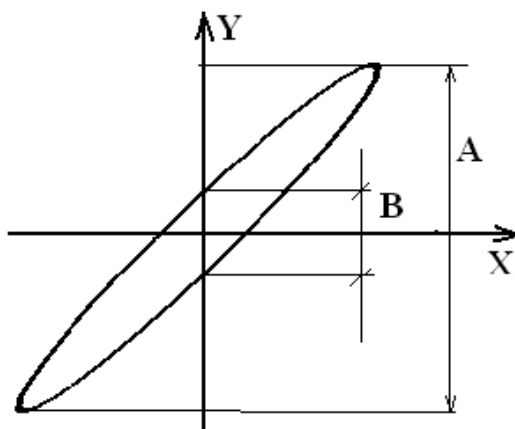


Рис. 9. К определению амплитудно-фазовой частотной характеристики цепи:

здесь A – амплитуда сигнала, $\varphi = \arcsin \frac{B}{A}$.

5 Снять переходный процесс нарастания напряжения цепи:

а) установить на генераторе напряжение в форме меандра с амплитудой 1 В и частотой при которой на экране укладывается два периода колебаний (при этом должен быть установлен «ждущий» режим развертки;

б) зарисовать переходный процесс и определить постоянную времени нарастания напряжения в схеме, учитывая калиброванную по длительности напряжение развертки (рис. 6).

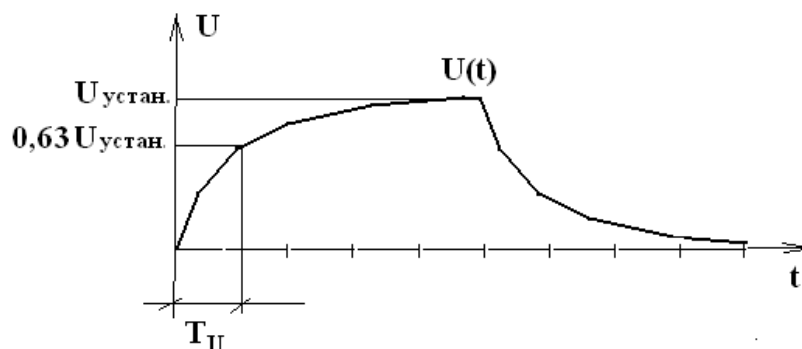


Рис. 10. К определению постоянной времени нарастания напряжения в схеме.

6. Собрать цепь, включающую частотнозависимую электрическую цепь (дифференцирующего характера рис. 11), генератор сигналов специальной формы (синусоидальное напряжение подать на вход цепи) и осциллограф.

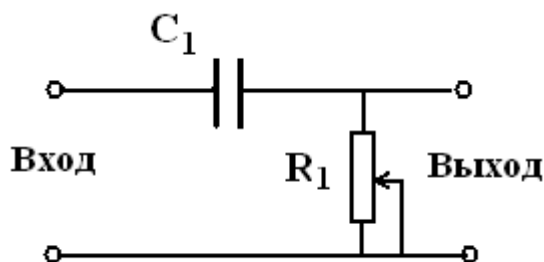


Рис. 11. Частотно-зависимая электрическая цепь дифференцирующего характера.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов **"амплитуда"** и **"частота Hz"** установить выходное напряжение амплитудой 1 В и частотой 1 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 7) это напряжение с генератора сигналов;

г) изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 1 – 400 Гц (1; 5; 10; 15; 20; 50; 100; 200; 400 Гц), **при этом амплитуду сигнала не менять**, с помощью фигуры Лиссажу снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику цепи.

5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.

Отчет о работе должен содержать:

1. Электрические схемы каждого опыта.
2. Таблицу (табл. 1) результатов измерений и расчетов.

Табл. 1

| Частота Гц (f_i) | $\omega_i = 2\pi f_i$ | $\lg \omega_i$ | A_i | $20 \lg A_i$ | B_i | φ_i |
|----------------------------|-----------------------|----------------|-------|--------------|-------|-------------|
| f_1 | Ω_1 | $\lg \omega_1$ | A_1 | $20 \lg A_1$ | B_1 | φ_1 |
| f_2 | Ω_2 | $\lg \omega_2$ | A_2 | $20 \lg A_2$ | B_2 | φ_2 |
| ----- | ----- | ---- | ---- | ---- | ---- | -- |
| | | -- | - | | - | -- |

| | | | | | | |
|-------|------------|----------------|-------|--------------|-------|-------------|
| f_i | ω_i | $\lg \omega_i$ | A_i | $20 \lg A_i$ | B_i | φ_i |
|-------|------------|----------------|-------|--------------|-------|-------------|

3. Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики частотнозависимых электрических цепей. Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики частотно зависимых электрических цепей построить в масштабе **2 мм - 1 дБ, 50 мм - 1 декада, 1 мм - 1 градус на одном графике.**

4. Переходный процесс со всеми необходимыми построениями и определенной постоянной времени T_U .

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие типы осциллографы вы знаете?
2. Что такое аттенюатор и какую функцию он выполняет в осциллографе?
3. Для каких целей используется «ждущая» развертка?
4. Каким образом можно с помощью осциллографа измерить временные интервалы и амплитуду сигнала?

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №13

Исследование характеристик электрического следящего привода переменного тока с частотным управлением

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение методов управления асинхронным трехфазным двигателем: их аппаратной реализации и характеристик двигателя при этих способах управления.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В современных следящих системах широко применяются бесколлекторные приводы переменного тока. В качестве двигателей используются синхронные и асинхронные двигатели с двухфазной или трехфазной статорными обмотками.

Системы управления асинхронным 3-фазным двигателем

1. Основные требования к системе управления асинхронным двигателем

Рассмотрим вопросы построения системы управления асинхронным 3-фазным электродвигателем.

Система управления асинхронным двигателем должна обеспечивать регулирование скорости привода в необходимых пределах и ее реверс.

Для этого в управляющей системе реализуется следующий закон управления по частоте f_c :

$$f_c = f_p \pm \varepsilon \quad (1)$$

В принципиальной схеме реализуются соответствующие им напряжения. Для получения скольжения в канал частотного управления вводится положительная обратная связь по скорости двигателя, благодаря чему появляется возможность управления этой координатой согласно схеме, показанной на рисунке 1.

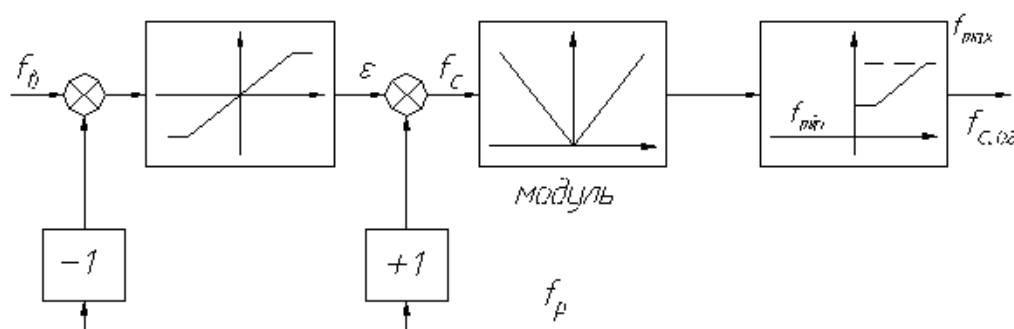


Рисунок 1 – Схема системы управления АД для получения скольжения S

f_b – желаемая или управляющая частота;
 ε – абсолютное скольжение ротора, определяемое как разность желаемой (управляющей) частоты и частоты ротора

Частота поля реализуется в определенном диапазоне:

$$f_{\min} \leq f_{c.o2} \leq f_{\max}$$

Обычно $f_{\min} = 0,1 f_{\max}$. Для управления с меньшими, чем при $f_{c1} = f_{\min}$ скоростями движения используется амплитудное управление.

В структуре управляющей системы обеспечивается частотно-амплитудное управление с реверсом и отдачей энергии в сеть.

Основным реализуемым параметром является частота, что следует из пропорциональности синхронной скорости частоте питающего напряжения:

$$\Omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{P_n} \quad (2)$$

Одновременно возникает необходимость регулирования напряжения источника питания. ЭДС обмотки статора асинхронного двигателя пропорциональна частоте и потоку.

$$E = k\phi \cdot f. \quad (3)$$

Пренебрегая падением напряжения на обмотках статора

$$\Delta U_1 = I_1 \sqrt{r_c^2 + x_c^2} \cong 0, \quad (4)$$

можно записать

$$U_1 \approx E_1 \approx k\phi \cdot f. \quad (5)$$

Изменение частоты питания позволяет регулировать скорость как выше, так и ниже основной Ω_0 .

При регулировании выше основной скорости (режим частотно-форсированного управления) частота питания может превышать номинальную не более чем в 1,5 – 2 раза, что обусловлено прочностью крепления обмотки ротора и ростом потерь в стали статора.

Регулирование скорости в сторону уменьшения возможно не более чем в 10 – 15 раз, что ограничено сложностью реализации источника питания с низкой частотой и увеличением неравномерности вращения на малых скоростях.

Нижний предел может быть уменьшен за счет использования обратных связей в системе управления асинхронным двигателем. Частота напряжения питания является независимым параметром, задаваемым входным сигналом привода переменного тока. Для 8-полюсного двигателя ($P_n = 4$) коэффициент пересчета параметров Ω [рад/с] в f [Гц] составляет

$$\frac{f}{\Omega} = \frac{4}{2\pi} . \quad (6)$$

Наилучшие динамические характеристики обеспечиваются в приводах, обладающих наибольшим располагаемым ускорением, определяемым максимальным развиваемым моментом асинхронного двигателя.

2. Законы управления двигателем и их реализация

Для приводов с моментом нагрузки, не зависящим от скорости, режим регулирования, основанный на поддержании максимального момента, обеспечивается системой управлений, реализующей линейный закон изменения напряжения от частоты питания (рисунок 14.2).

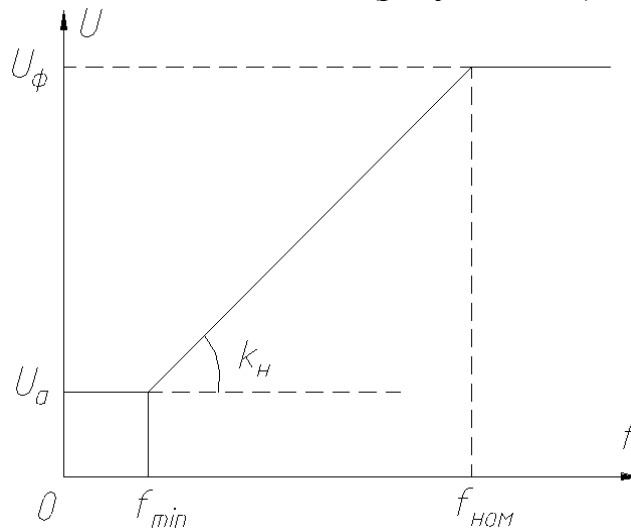


Рисунок 2 – График зависимости напряжения на обмотках АД от частоты напряжения питания

$$U_{\phi i} = U_a + k_n f . \quad (7)$$

Максимальный момент асинхронного двигателя

$$M_m = \frac{3U_{\phi}^2}{2\Omega_0 \left(r_c \pm \sqrt{r_c^2 + x_k^2} \right)} . \quad (8)$$

Синхронная скорость Ω_0 и индуктивное сопротивление x_k пропорциональны частоте питания, следовательно,

$$M_m \sim \frac{U_{\phi}^2}{f^2} \quad (9)$$

В установившемся режиме $M_m = M_n = const$ (M_n – момент нагрузки) поэтому отношение

$$\frac{U_{\phi}}{f} = const . \quad (10)$$

За верхний предел закона регулирования приняты параметры номинального режима, например: $U_{\phi} = 127 \text{ В}$, $f_{ном} = 400 \text{ Гц}$. Нижний предел регулирования частоты $f_{\min} = 40,0 \text{ Гц}$.

Параметры закона регулирования U_a и k_i определены по формулам

$$U_a = \sqrt{\frac{4\pi \cdot M_m}{mp} f_{\min} \left[r_c + \sqrt{r_c^2 + (x_k^{(t \min)})^2} \right]}. \quad (11)$$

Схема регулирования частоты и напряжения АД показана на рисунке 3.

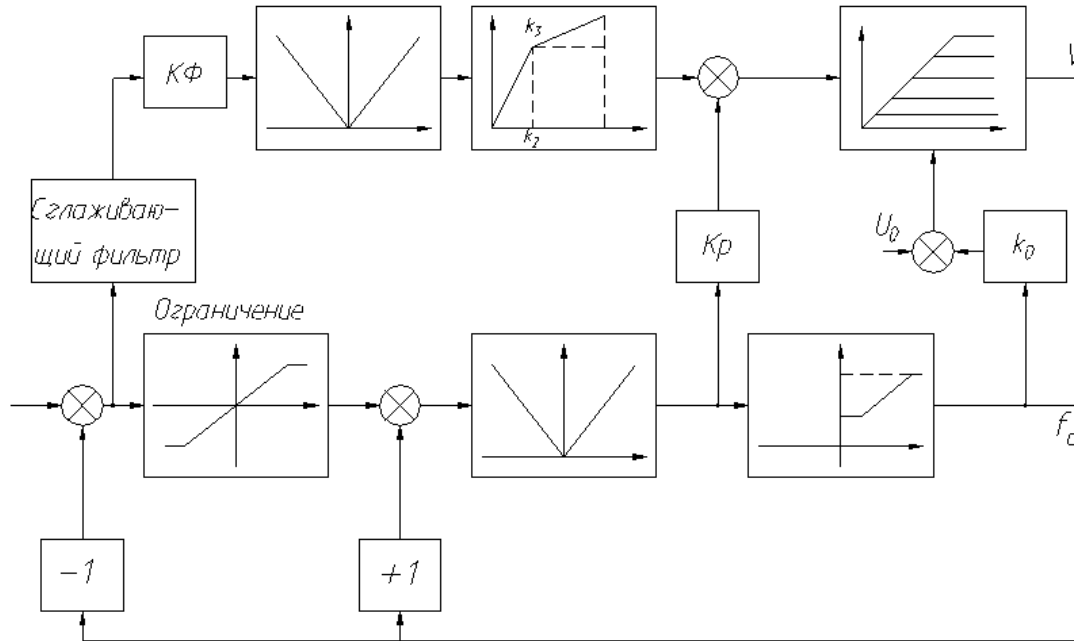


Рисунок 3 – Схема системы управления АД для регулирования частоты и напряжения

Возможность регулирования 3-фазным асинхронным двигателем по частоте и амплитуде наглядно иллюстрируется семейством механических характеристик.

Жесткость механических характеристик в рабочей зоне при регулировании по закону $\frac{U}{f} = \phi = const$ сохраняется сравнительно высокой. Величина критического момента в зоне больших частот сравнительно мало изменяется (M_{k1}, M_{k2}, M_{k3}). Лишь при низких частотах вследствие относительного увеличения падения напряжения в статоре происходит заметное уменьшение магнитного потока и как следствие, уменьшение критического момента (M_{k4}):

$$M_k = \frac{3}{2\omega_0} \cdot \frac{U_{\phi}^2}{r_c \pm \sqrt{r_c^2 + x_k^2}}, \quad x_k = x_c + x_p \quad (12)$$

Для больших частот величина r_c значительно меньше x_k и поэтому можно считать, что

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 x_k}. \quad (13)$$

Таким образом, так как $x_k = k_1 f_1$ и $\omega_0 = k_2 f_1$, то

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2k_1 k_2 f_1^2}, \quad (14)$$

поэтому $\frac{U_\phi}{f_1} = const$.

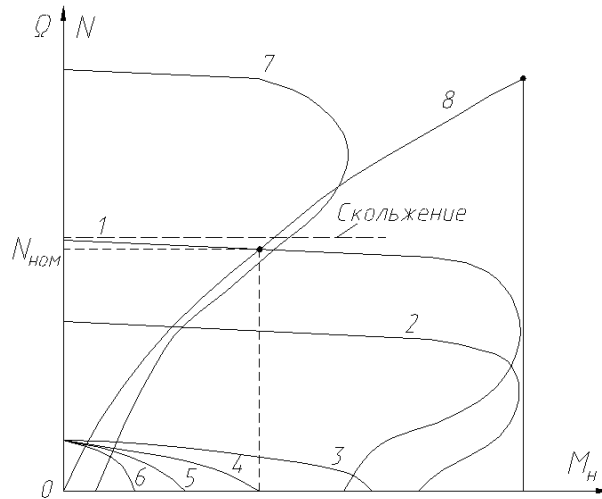


Рисунок 4 – Механические характеристики АД с частотно-амплитудным управлением

1, 2, 3 – механические характеристики с частотно-амплитудным управлением:

1 – $f_{c1} = f_{ном}$; $U_{c1} = U_{ном}$; 2 – $f_{c2} = 0,5f_{ном}$; $U_{c2} = 0,5U_{ном}$;

3 – $f_{c3} = 0,1f_{ном}$; $U_{c3} = 0,1U_{ном}$; 3, 4, 5, 6 – характеристики амплитудного

управления при $f_c = f_{c3} = 0,1f_{ном}$ и U_c от $0,1 \cdot U_{ном}$ до 0; 7 – характеристика с

форсированным по частоте управлением: $f_7 = 1,5f_{ном}$; $U_{c7} = U_{ном}$; 8 – мощность для номинального режима

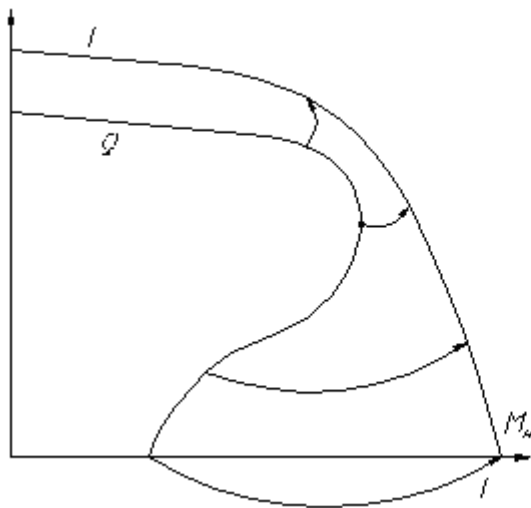


Рисунок 5 – Графики зависимостей скорости и токов в обмотках АД от момента нагрузки

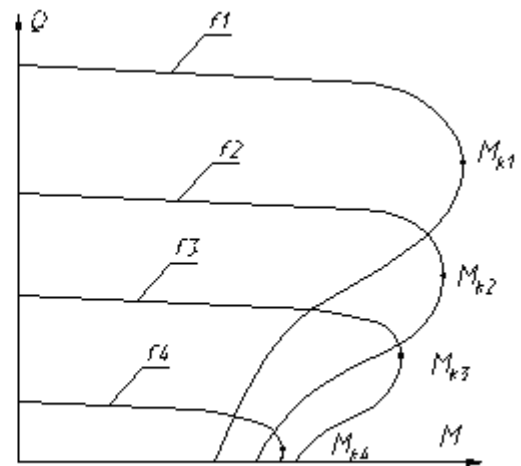


Рисунок 6 – Механические характеристики АД для различных частот напряжений питания

$$f_1 > f_2 > f_3 > f_4$$

При значительном снижении частоты это соотношение нарушается, т.к. реактивное сопротивление рассеяния $x_k = x_c + x_p$ становится сравнимым с сопротивлением статора r_c или даже меньше его. Влияние падения напряжения в статоре оказывается сильнее, и это приводит к уменьшению критического момента. Поэтому в схеме регулирования момента и скорости на вход регулируемого ограничения амплитудного канала подается постоянная составляющая U_0 , которая может изменяться в зависимости от требований к следящему приводу:

$$(x_k^{f_{\min}})^2 = \left[\left(\frac{m \cdot Pn \cdot U_\phi}{4\pi \cdot f_{ном} \cdot M_m} - r_c \right)^2 - r_c^2 \right] \frac{f_{\min}^2}{f_{ком}^2}, \quad (15)$$

где $f_{\min} = 40 \text{ Гц}$ и $f_{ном} = 400 \text{ Гц}$ для АД ДМЧЦ-63;

$$k_n = \frac{U_\phi - U_a}{f_{ном} - f_{\min}}, U_a = 18,7 \text{ В}, k_n = 0,3 \text{ для } U_c = 220 \text{ В}.$$

Дальнейшее регулирование осуществляется уменьшением напряжения питания $U_\phi < U_a$ при $f_{\min} = 40 \text{ Гц} = \text{const}$.

При изменении частоты изменяется и индуктивное сопротивление обмотки $x_L = \omega_c \cdot L_c$. Поэтому амплитуда регулируется в зависимости от частоты таким образом, чтобы токи не превышали допустимой величины $I_{доп}$, которая определяется:

- 1) насыщением магнитной системы;
- 2) допустимыми токами транзисторов в усилителе мощности.

Вводятся регулируемое ограничение k_0 , а также связь по частоте для обеспечения желаемой крутизны механической характеристики.

Подается дополнительное напряжение U_0 для увеличения мощности двигателя.

Рассмотрим семейство механических характеристик асинхронного двигателя при различных частотах питающего напряжения.

Из анализа характеристик видно, что 3-фазный асинхронный двигатель по частоте и амплитуде обеспечивает регулирование скорости в широком диапазоне с малой чувствительностью к нагрузке при частотно-амплитудном управлении 1, 2, 3.

Мощностная характеристика $N = \Omega M$ (8 на рисунке 14.4) при $f_{ном}$, $U_{ном}$ определяет значения номинальной $N_{ном}$ и максимальной мощности N_{max} .

Примерно до $M_{ном} = 0,75M_k$ (M_k – критический момент нагрузки)

скольжение ротора двигателя $S = \frac{\omega_c - \omega_p}{\omega_c}$ мало.

При $M_i > M_k$ ротор остановится.

Параметры фильтра и нелинейного корректирующего устройства (НКУ) канала амплитудного управления определены из условия обеспечения устойчивости и качества переходного процесса.

Корректирующий фильтр $W_{кор}(p) = k_1 \frac{T_2 p + 1}{T_1 p + 1}$,

где $k_1 = 20$, $T_1 = 0,133$ с, $T_2 = 0,033$ с.

НКУ: $k_2 = 1$, $k_3 = 0,3$.

Коэффициент усиления в частотном канале:

$$k_0 = 3,9; \quad \Omega_{ном} = \Omega_0(1 - S_H) = 591,6 \text{ рад/с},$$

$$\Omega_{kp} = \Omega_0(1 - S_{kp}) = \Omega_0 \left(1 - \frac{r_c}{\sqrt{r_c^2 + x_k^2}} \right) = 527 \text{ рад/с},$$

$$M_m = k_N \cdot k_{Mm} \cdot \frac{N_{ном}}{\Omega} = 2,05 \text{ Нм},$$

$$N_m = M_m \Omega_{kp} = 1080 \text{ Вт},$$

где k_N – коэффициент запаса по мощности; r_c, r_p – активное сопротивление статора (1,37 Ом) и ротора, приведенное к статору (2,22 Ом); x_k – суммарное индуктивное сопротивление статора и ротора (13,65 Ом).

Канал реверса обеспечивает направление вращения асинхронного двигателя. Релейный элемент НЭ1 определяет направление вращения электромагнитного поля в зависимости от знака ошибки и обеспечивает

разгон двигателя и торможение его противовключением на скоростях, меньших $0,125 \cdot \Omega_{\max}$, $\Omega = 78,5 \text{ рад/с}$, что соответствует частоте реверса $f_{np} = 50 \text{ Гц}$ при частоте питания АД $f_c = 400 \text{ Гц}$.

Для исключения торможения противовключением и, как следствие, опрокидывания двигателя на скоростях, больших $0,125\Omega$ ($\Omega = 78,5 \text{ рад/с}$ для ДМЧЦ-63), введены релейные элементы НЭ2 и НЭ3, исключающие прохождение сигнала $\Delta\Omega$ и, своим знаком определяющие направление вращения поля и разгон-торможение двигателя в режиме амплитудно-частотного управления.

Преобразователи частоты с амплитудно-частотным регулированием скорости вращения асинхронного 3-фазного двигателя

Усилитель мощности состоит из неуправляемого выпрямителя В и двух независимых регуляторов.

Регулятор напряжений включает в себя инвертор U, блок регулирования напряжения на входе автономного инвертора и блок динамического торможения асинхронного двигателя.

В основу системы управления асинхронного двигателя положена схема амплитудно-частотного регулирования с использованием преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока и неуправляемого выпрямителя (рисунок 6).

Преобразователь частоты состоит из неуправляемого выпрямителя (В), сглаживающего фильтра (СФ) и автономного инвертора (АИ) (рисунок 7).

Преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока осуществляет преобразование электрической энергии переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты.

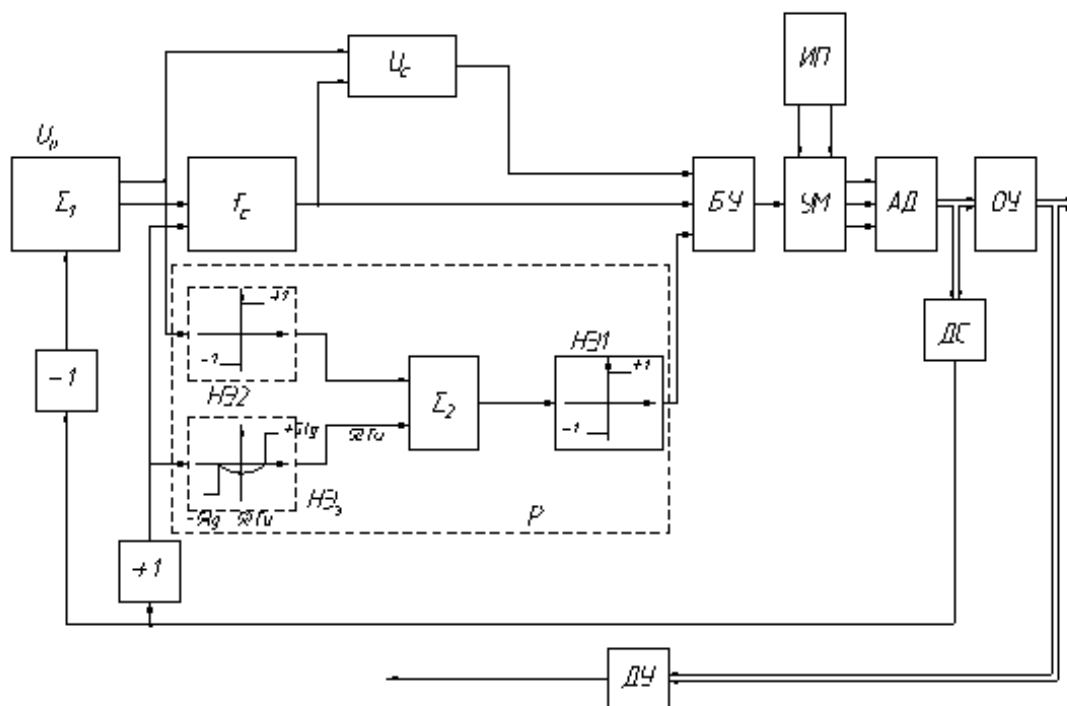


Рисунок 6 – Функциональная схема системы амплитудно-частотного управления АД

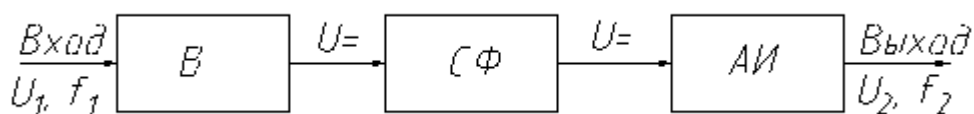


Рисунок 7 – Блок-схема преобразователя частоты АД с промежуточным звеном постоянного тока

Переменное напряжение U_1 (например 380 В) частотой f_1 (50 Гц) поступает на вход выпрямителя В, где выпрямляется, а затем сглаживается фильтром СФ и поступает на вход автономного инвертора АИ, имеющего выходное напряжение U_2 (540 В) с частотой f_2 (40 – 400 Гц). Автономный инвертор преобразовывает электрическую энергию постоянного тока в переменный, выходные параметры которого (форма, амплитуда, частота выходного напряжения) определяются схемой преобразователя, системой управления автономным инвертором и режимом его работы, в отличие от инвертора ведомого сетью, выходные частота и напряжение которого соответствуют параметрам сети.

В преобразователе с промежуточным звеном постоянного тока частота выходного напряжения не зависит от частоты питающей сети и может быть как больше, так и меньше.

Автономные инверторы выполнены на транзисторных ключах по трехфазной мостовой схеме и предназначены для усиления по мощности

выходных сигналов блока управления. В транзисторных ключах используются транзисторы типа 2П906 для $U_c \cong 220B$; $N_{ном} = 750Bm$, имеющие высокие коэффициенты усиления и быстродействие, что позволяет реализовать на ключе индивидуальную токовую защиту транзистора от бросков тока в цепи нагрузки. Для сети $U_c \cong 380B$; $N_{ном} = 750Bm$ применяются транзисторы 2Т839А (КТ839А) с предельным напряжением 1500 В и максимально допустимым током 10 А. Для двигателей с мощностью $N_{ном} > 750Bm$ в автономных транзисторах используется GВТН – транзисторы или силовые модули.

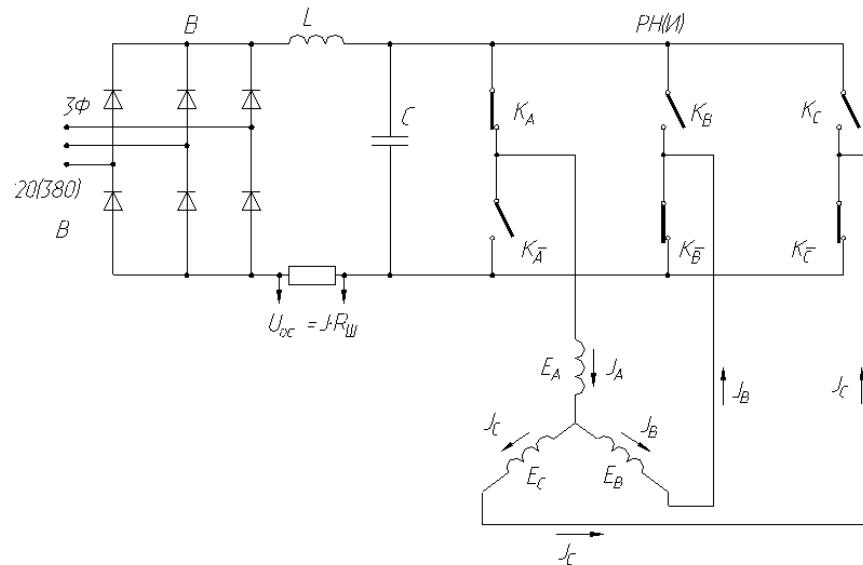


Рисунок 8 – Эквивалентная схема усилителя мощности привода переменного тока

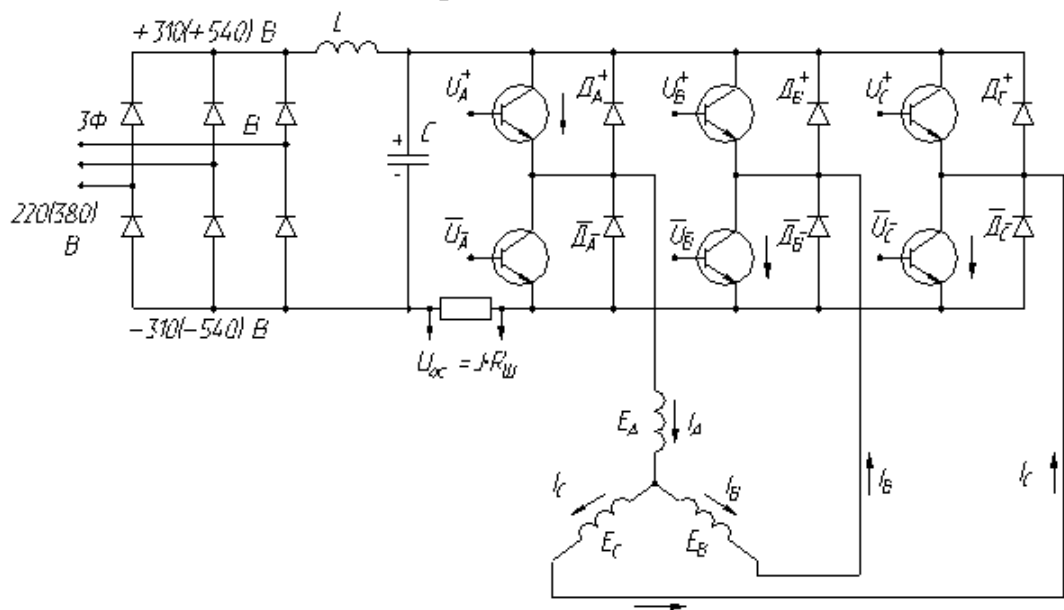


Рисунок 9 – Схема усилителя мощности привода переменного тока

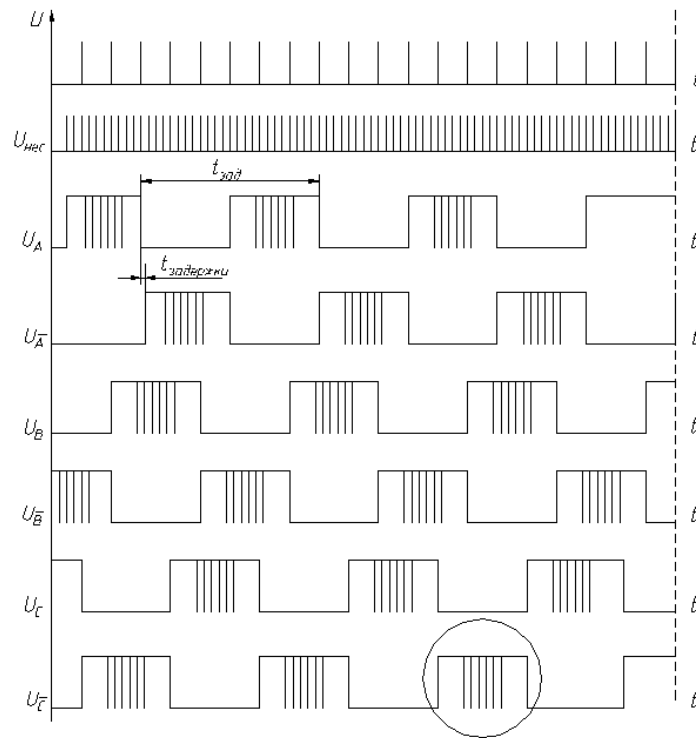


Рисунок 10 – Эпюры напряжений в обмотках усилителя мощности АД при амплитудно-частотном управлении

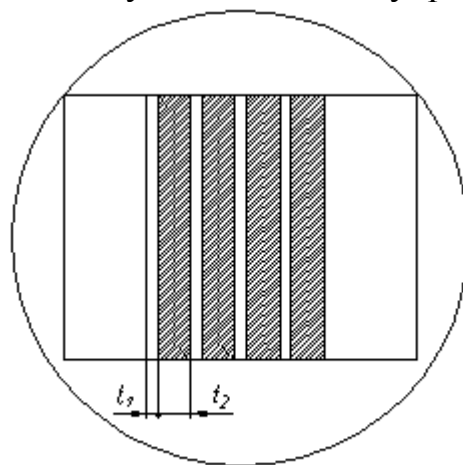


Рисунок 11 – Эпюра напряжений переключения транзисторных ключей усилителя мощности АД в режиме ШИМ

$$k = \frac{t_2 - t_1}{t_1 + t_2}, \quad f_{\text{зад}} = \frac{1}{t_{\text{зад}}} = 40 \dots 400 \text{ Гц}$$

$$f_{\text{нес}} = \frac{1}{t_1 + t_2} = 2500 \text{ Гц}.$$

Неуправляемый выпрямитель выполнен по схеме 3-фазного мостового выпрямителя на диодах со сглаживающим LC-фильтром. Он выпрямляет трехфазное напряжение переменного тока ($U_c = 380 \text{ В}$) в постоянное значение (540 В).

Блок регулирования напряжения на входе автономных инверторов выполнен на основе транзисторного ключа с транзистором типа 2П906 со сглаживающим LC-фильтром и модулем управления. Регулирование напряжения на входе автономного инвертора производится с целью снижения нагрузки по напряжению на ключи автономного инвертора при малых и средних скоростях регулирования асинхронного двигателя.

Блоки динамического торможения двигателя предназначены для дополнительного рассеяния кинетической энергии асинхронного двигателя при частотном торможении двигателя в диапазоне его скоростей вращения (420 – 628) рад/с и предназначен для ограничения напряжения на входе автономного инвертора в режиме частотного торможения: не более 350 В для сети с $U_c \cong 220 В$ и 610 В для сети с $U_c \cong 380 В$.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектом исследования является привод промышленной швейной машинки, работающий по системе "Автономный инвертор напряжения с амплитудно-частотным законом управления –асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором"- ЭА-ПШМ 31-01В7СХЛЧ.

Для выполнения работы необходимы:

- 1) низкочастотный осциллограф типа С1-57, С8-13;
- 2) частотомер ЧЗ – 34 или любой другой,
- 3) цифровой вольтметр В7-27А/1.

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить принцип работы и функциональное назначение элементов привода.
2. Изучить взаимодействие электронных узлов.
3. Исследовать работу силовой части привода при различных режимах функционирования привода.
4. Снять экспериментально некоторые статические и динамические характеристики привода.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Тщательно ознакомиться с настоящей инструкцией.
2. Исследование работы силовой части привода при включении:
 - а) подключить вход осциллографа к переключателю К2;
 - б) поставить переключатель в положение А1;
 - в) включить магнитный пускатель на стене и подать напряжение на

силовой трансформатор;

г) засинхронизировать изображение напряжения вторичной обмотки трансформатора, поставив переключатель режима синхронизации осциллографа в положение "сеть":

д) включить кнопку "пуск" на стенде и одновременно проследить за изменением формы напряжения и зарисовать его.

3. Исследование работы силовой части привода при изменении частоты вращения двигателя:

а) подключить осциллограф к анодам тиристоров выпрямительной и инверторной групп (точки 51 и 52), переключая К2. и зарисовать диаграммы этих напряжений при минимальной и максимальной частотах вращения двигателя, устанавливаемой с помощью задатчика частоты вращения двигателя;

б) провести аналогичное наблюдение за напряжением на двигателе (точка Я2).

4. Определение диапазона угла управления тиристоров:

а) подключить осциллограф к точкам У2, С1 и пронаблюдать форму напряжения на управляющем электроде тиристора и зарисовать ее при минимальной и максимальной частотам вращения двигателя;

б) по разнице положений импульса и на основании знания скорости развертки определить диапазон изменения угла управления.

5. Изучение динамических характеристик привода:

а) переключить осциллограф к выходу напряжения тахогенератора (точки 10,20);

б) установить развертку 0.2 с/см;

в) установить частоту вращения двигателя 0.3-0.4 от номинальной (6-7 щелчков задатчика от крайнего левого положения);

г) поставить переключатель режима управления П2 в нейтральное положение (двигатель остановится);

д) поймав момент времени, когда луч осциллографа будет в крайнем левом положении, переключить П2 в верхнее положение и зарисовать процесс разгона, двигателя;

е) считая переходный процесс апериодическим, определить электромеханическую постоянную времени и сравните ее с паспортным для двигателя.

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать:

1. Блок-схему привода.
2. Диаграммы напряжений.
3. Переходный процесс изменения частоты вращения двигателя с необходимыми построениями для определения постоянной времени.

УП. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип линейного совместного управления тиристорными группами реверсивного привода?
2. Какие можно сделать выводы из п.2 проделанной работы относительно влияния привода на сеть питания?
3. Какие режимы работы тиристорной группы называются выпрямительным и инверторным?
4. Каково назначение дросселей $Dp1$ и $Dp2$?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №14

Изучение приводов с электромагнитными муфтами в системе управления огнём комплекса «Конкурс»

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение конструкции приводов специальных изделий в лабораторном модуле кафедры САУ. Приобретение навыков анализа конструкции, разработки структурных и функциональных схем.

II. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить принцип работы и функциональное назначение элементов системы.
2. Изучить взаимодействие элементов силовой подсистемы приводов с электромагнитными муфтами в системе управления огнём комплекса «Конкурс».

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Составить функциональную схему изделия;
2. Составить структурную схему изделия;
3. Сформировать математическое описание изделия.

IV. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать:

1. Функциональную схему изделия;
2. Структурную схему изделия;
3. Математическое описание изделия.

V. Библиография

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под

ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.

5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.

6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.

2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.

3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.

4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.

Лабораторная работа №15

Проектирование контура управления приводом постоянного тока (виртуальная)

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проектирование следящего электрического привода, изучение принципа работы, схемной реализации, назначения электронных блоков и характеристик реверсивного привода постоянного тока, работающего по системе "транзисторный импульсный усилитель с симметричным законом коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением".

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В любом следящем приводе можно условно выделить два канала распространения сигналов:

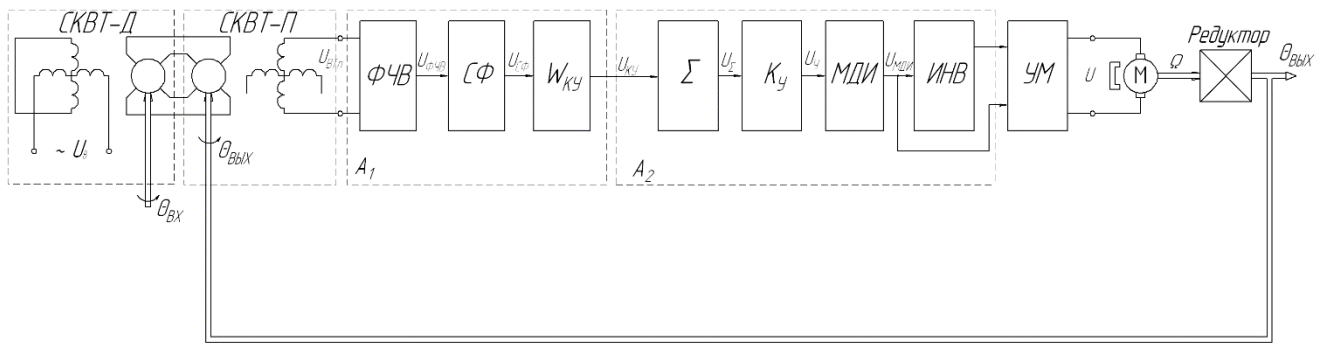
- 3) канал управления (информационный канал), по которому передаются сигналы управления с входа привода к объекту управления;
- 2) энергетический канал (силовая часть), по которому преобразуемая энергия распространяется от источника питания к объекту управления.

В канал управления типичного приборного следящего электрического привода (ЭСП) входят: датчик рассогласования с использованием синусно-косинусных или линейных вращающихся трансформаторов (СКВТ или ЛВТ), фазочувствительный выпрямитель, сглаживающий фильтр, усилитель постоянного тока, последовательное корректирующее устройство, суммирующее устройство, модулятор длительности импульсов, усилитель мощности, исполнительный двигатель и редуктор.

В энергетический канал входят: выходной каскад усилителя мощности, исполнительный двигатель и редуктор. Для обеспечения высокого коэффициента полезного действия, выходные каскады мостового усилителя мощности работают в ключевом режиме. Наиболее часто в приборных ЭСП используется симметричный закон коммутации транзисторов выходного каскада усилителя мощности. При этом законе транзисторы выходного каскада усилителя мощности, находящиеся в разных диагоналях мостовой схемы, коммутируются в противофазе.

Для обеспечения требуемых динамических свойств ЭСП используются последовательные корректирующие устройства, включаемые в цепь ошибки ЭСП.

Для анализа функционирования и синтеза приводов с различными структурами разработана виртуальная лабораторная работа, позволяющая выбирать электромеханические элементы привода, рассчитывать параметры механической передачи, проектировать электронную часть, а также проводить синтез контура управления положением объекта управления. Функциональная схема привода показана на рисунке 1.



СКВТ – Д и СКВТ – П датчик рассогласования с использованием синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (SKVT);
 ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель (DM)
 СФ – сглаживающий фильтр (filter);
 W_{KY} – последовательное корректирующее устройство (Correction Arrangement)
 Σ – суммирующее устройство;
 K_y – коэффициент усиления (K_y);
 МДИ – модулятор длительности импульсов (MDI);
 ИНВ – инвертор;
 УМ – усилитель мощности (K_{ум});
 ТГ-П – тахогенератор (K_{tg});
 М – двигатель .

Рис.1. Функциональная схема следящего привода

Здесь и в дальнейшем в скобках приведены обозначения, используемые в схемах моделирования.

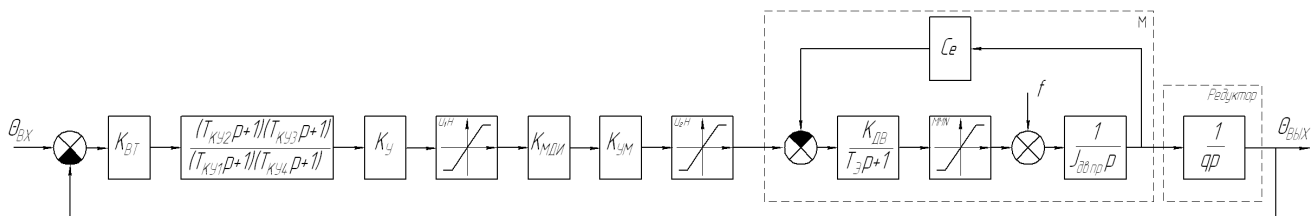


Рис.2. Структурная схема привода с последовательной коррекцией

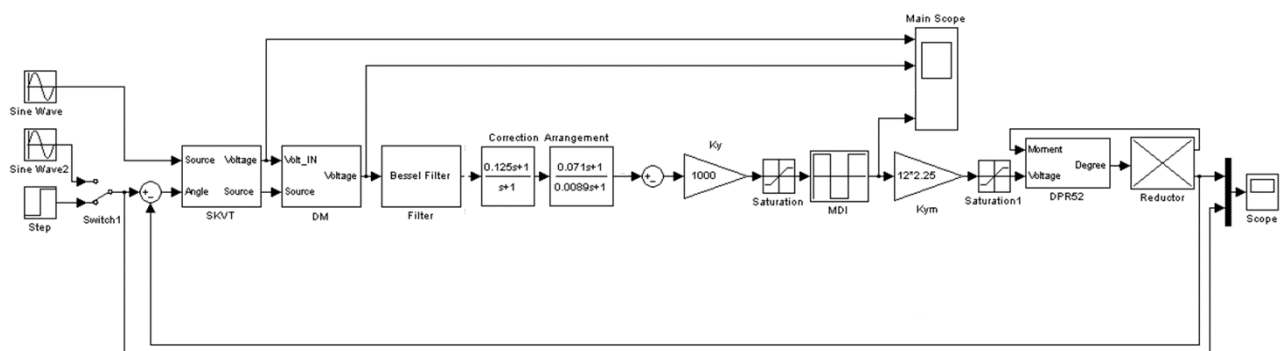


Рис.3. Схема моделирования следящего привода

Измеритель рассогласования на двух СКВТ (датчика с коэффициентом трансформации 1 и приемника с коэффициентом трансформации 0,56)

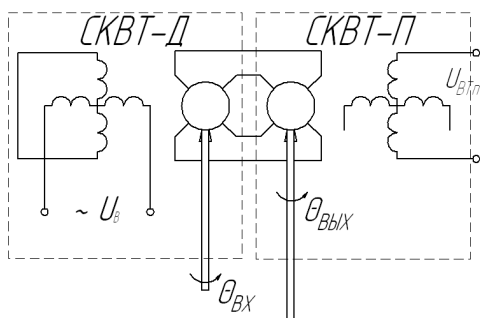


Рис.4. Принципиальная электрическая схема Датчика рассогласования на СКВТ

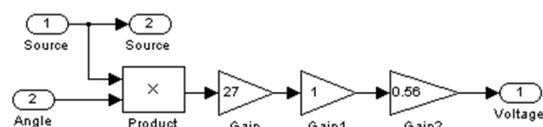


Рис.5.Схема моделирования

На СКВТ подается входной сигнал низкой частоты (Angle) или меандр(Step), а также несущий высокочастотный сигнал (Source). Сигнал на выходе формируется перемножением этих сигналов. В схеме моделирования учтены коэффициенты трансформации и напряжение, равное 27В 400 Гц.

Фазочувствительный выпрямитель(ФЧВ)

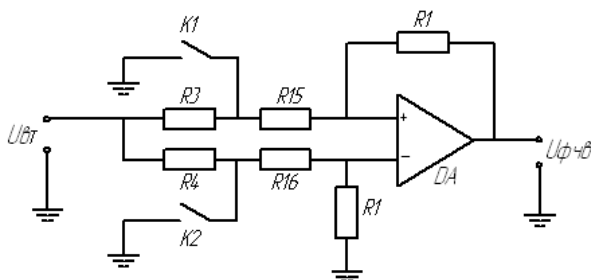


Рис.6. Принципиальная электрическая схема фазочувствительного выпрямителя

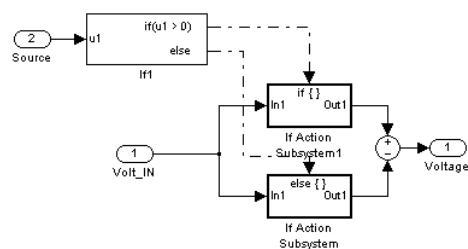


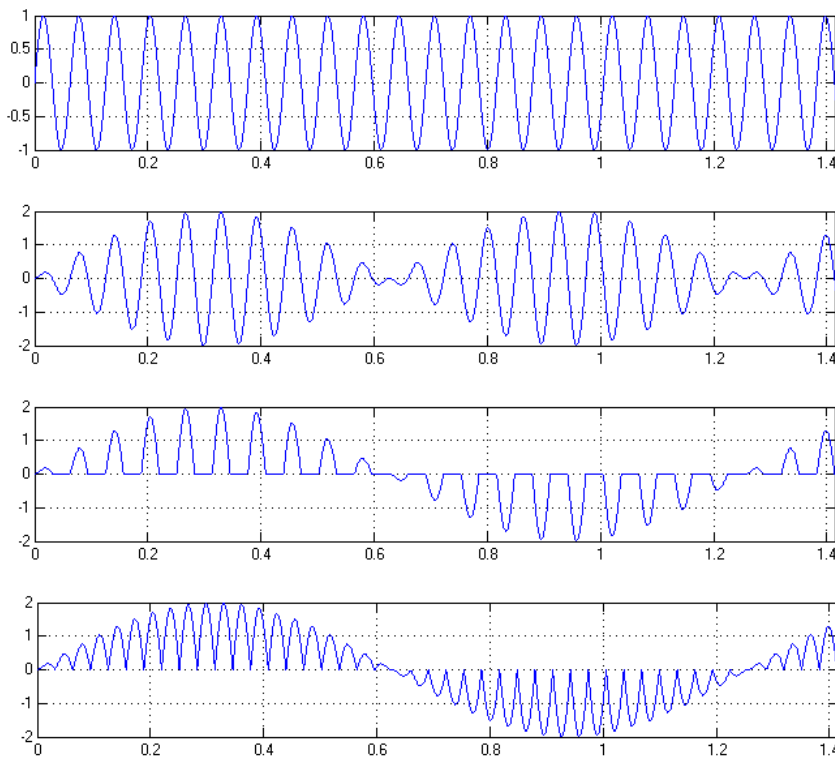
Рис.7. Схема моделирования

Фазочувствительный выпрямитель представляет собой схему демодулятора с коэффициентом усиления равным 1.

Электрическая схема работает следующим образом. При подачи на вход ключевой микросхемы K1 положительной полуволны напряжения возбуждения вращающегося трансформатора датчика он открывается и шунтирует инвертирующий вход операционного усилителя DA. Ключ K2 при этом закрыт и напряжение с СКВТ – П поступает на неинвертирующий вход операционного усилителя DA. При приходе отрицательной полуволны напряжения возбуждения СКВТ – П сигнал проходит по каналу инвертирующего входа DA. Модель ФЧВ состоит, из двух ключей, которые открываются при наступлении определенного условия, в данном случае это знак несущего сигнала (Source). Так для открытия первого ключа, необходимо положительное напряжение, для второго –

отрицательное. Разница сигналов полученных таким образом, формирует сигнал на выходе фазочувствительного выпрямителя.

Диаграмма напряжений ФЧВ приведена на рисунке 8.



Несущий сигнал
(напряжение
возбуждения СКВТ)

Сигнал на выходе СКВТ

Сигнал на выходе ФЧВ
(однополупериодное
выпрямление)

Сигнал на выходе ФЧВ
(двухполупериодное
выпрямление)

Рис.8. Диаграмма напряжений ФЧВ

Сглаживающий фильтр (СФ).

СФ на выходе демодулятора необходим для устранения несущей частоты и выделения полезного сигнала, несущего информацию об угле поворота.

В работе используется интегрирующий фильтр(2) и фильтр Бесселя (1) нижних частот третьего порядка с частотой среза 100Гц.

Фильтр Бесселя в отличие от апериодического фильтра обеспечивает наилучшее сглаживание входного сигнала за счет наличия более высокого порядка и небольшого фазового сдвига в области рабочих частот привода.

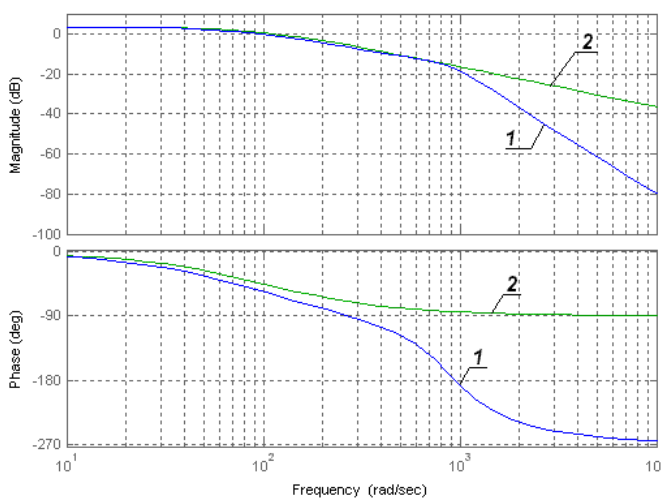
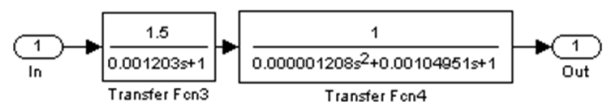
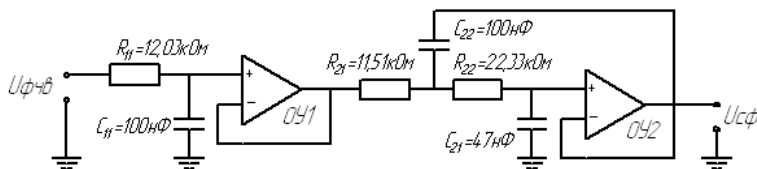


Рис.9. Принципиальная электрическая
схема
Рис.10. Схема
моделирования
фильтра Бесселя третьего порядка

Рис.112. Частотные характеристики.

1 – ЛАФЧХ фильтра Бесселя

2 – ЛАФЧХ апериодического фильтра

Модулятор длительности импульсов

МДИ преобразует медленноменяющийся сигнал в последовательность прямоугольных импульсов, скважность которых пропорциональна величине сигнала. Частота следования импульсов выбирается, исходя из анализа энергетических характеристик системы ИУ-Д » (для данной системы это 5000 Гц). На вход триггера подается управляющее напряжение, пилообразное напряжение и напряжение смещения.

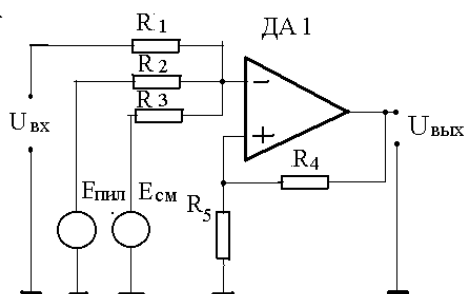


Рис.12. Принципиальная электрическая схема МДИ

Напряжение смещения выбирается таким образом, чтобы при нулевом входном сигнале для системы с симметричным законом управления скважность составляла $\gamma = 0,5$. В настоящее время в качестве пороговых элементов в МДИ используются специальные микросхемы - триггер Шмидта - микросхемы ТЛ, а для получения МДИ, имеющих большой коэффициент передачи в качестве пороговых элементов используют интегральные операционные усилители. Принципиальная схема такого МДИ представлена на рис. 12.

Генератор пилообразного напряжения $F_{\text{пил}}$ (Saw-edged signal) генерирует сигнал пилообразной формы, частота которого выбирается исходя из анализа энергетических характеристик системы «импульсный усилитель – двигатель, который сравнивается с сигналом, поступающим с усилителя. Происходит преобразование медленно меняющегося сигнала в периодическую последовательность прямоугольных импульсов с широтно-импульсной модуляцией.

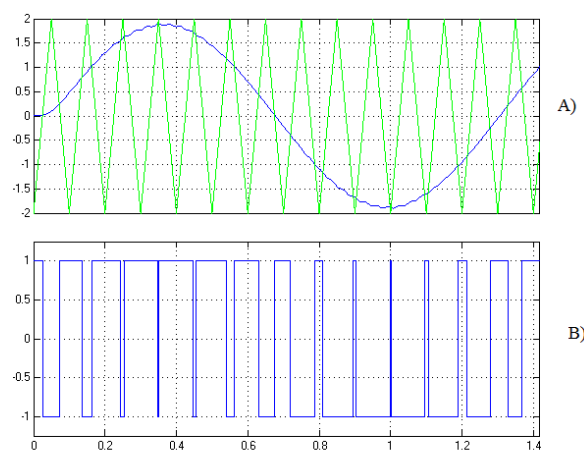


Рис.13. Диаграммы напряжений МДИ. А - сигналы на входе МДИ,
В - сигнал на выходе МДИ

Остальные элементы следящего привода собраны в соответствии со структурной схемой рис. 2 .

Задание на проектирование привода(примерное)

1. Выбор элементов системы.
2. Расчёт редуктора.
3. Составление нескорректированной структурной схемы системы.
4. Выбор схемы коррекции и расчёт корректирующих устройств.
5. Разработка принципиальной электрической схемы привода.
6. Расчёт переходных процессов при отработке начального рассогласования 0,01 рад и 0,1 рад.

Исходные данные:

- 1) Напряжения источников питания:

постоянного тока $28^{+3\%}_{-5\%} \text{ В};$

переменного тока $36^{+5\%}_{-5\%} \text{ В}, 400 \text{ Гц}.$

- 2) Характеристики объекта управления:

момент статического сопротивления нагрузки $2 \text{ [кг*м]};$

момент инерции нагрузки $15 \text{ [кг*м*с**2]};$

- 3) Характеристики задающего воздействия:

максимальная скорость отработки входного сигнала $0.5 \text{ [рад/с]};$

максимальное ускорение отработки входного сигнала $0.3 \text{ [рад/с**2]}.$

- 4) Требования к точности:

максимальная инструментальная ошибка $3 \text{ [рад]};$

максимальная скоростная ошибка $6 \text{ [рад]}.$

- 5) Требования к переходному процессу:

перерегулирование при скачкообразном упр. воздействии $20 \text{ [%]};$

время переходного процесса 0.8 [с].

6) Условия эксплуатации:

| | |
|-------------------------|------------------------|
| окружающая температура | +50° С |
| относительная влажность | 95 % при 35° С |
| вибрации | 200 Гц с ускорением 5g |
| одиночные удары | 20g |
| срок службы не менее | 1000 часов. |

Выбор двигателя постоянного тока и передаточного числа редуктора.

Методика выбора ИД и передаточного числа редуктора производится по заданным значениям максимальной скорости максимального ускорения выходного вала СП.

Приборная следящая система является маломощным ЭСП, в котором нашли применение двигатели постоянного тока серии ДПР с возбуждением от постоянных магнитов и малоинерционные двигатели постоянного тока серий ДП и ЭДМ.

1. Определим необходимую мощность двигателя для ЭСП по формуле (1)

$$P_{тр} = 2 \Omega_{н макс} (M_c + J_n * E_{н макс}), \quad (1)$$

Где $\Omega_{н макс}$ – заданная максимальная угловая скорость нагрузки, рад/с;

$E_{н макс}$ – заданное максимальное угловое ускорение нагрузки, рад/с²;

M_c – момент сопротивления объекта управления, Н·м

J_n – момент инерции нагрузки, Н м с²

$$P_{тр} = 2 * 0,5 * (2,0 + 15 * 0,3) = 12,5 (\text{Вт})$$

По требуемой мощности удовлетворяют микродвигатели серии ДПР. Из них по заданному сроку службы эсп ($t_{сл} \geq 1000 \text{ч}$) удовлетворяет ДПР-72-Н1/Н2-03 у которого соответственно 1000 часов.

2. Питательное напряжение для ДПР-62-03 $I_n = 27 \text{В}$ $I_c = 28 \text{В}$,

Должно выполняться неравенство:

$$U_c - 5 \text{В} < U_n < U_c + 5 \text{В}$$

$$23 \text{В} < U_n < 33 \text{В}, \text{ что удовлетворяет условию задания.}$$

Тогда питающее напряжение на двигателе с учетом неполного напряжения сети будет равно: $U_d = U_c - 1,4 = 28 - 5,4 = 22,6 (\text{В})$

Производим анализ этого типа двигателя.

ДПР-72-Н1/Н2-03

Определим пусковой момент двигателя в системе «импульсный усилитель-двигатель» (ИУ-Д).

$$M_{n\partial} = (U_{\partial} - 2 \times U_{mp.n}) \times \frac{M_n}{U_{\partial}} \quad (2),$$

$U_{mp.n}$ — напряжение насыщения транзисторов,

$$U_{mp.n} = 2B;$$

M_n — пусковой момент двигателя

$$M_{пд} = (22,6 - 2 \times 2) \cdot 0,38 / 22,6 = 0,313 \text{ Нм}$$

Тогда номинальная скорость двигателя в системе ИУ-Д определяется по формуле (3):

$$\omega_{\partial} = \omega_n \frac{(M_{n\partial} - M_n')}{M_n - M_n'} \quad (3)$$

ω_n — номинальная угловая скорость двигателя, рад/с;

M_n' — номинальный момент нагрузки на двигателе, Нм;

M_n — пусковой момент двигателя, Нм.

$$\omega_{\partial} = 471 \frac{(0,38 - 0,04)}{(0,156 - 0,04)} = 378,2 \text{ (рад/с)}.$$

Оптимальное передаточное число редуктора определяется из выражения (4):

$$i_{opt} = \frac{\omega_{\partial}}{\Omega_{н.макс}} \quad (4)$$

$$i_{opt} = \frac{378,2}{0,5} = 756,4$$

Зная передаточное число редуктора можно определить число кинематических пар по (5.а) и (5.б) и КПД редуктора по (6). А зная КПД редуктора можно рассчитать потребляемую мощность двигателя с учётом КПД редуктора (7).

$$S_{mp} = \frac{\lg i_{opt}}{\lg 6} \quad (5.a) \quad S_{тр} = 3,44$$

$$n = \text{Re}(S_{mp} + 1) \quad (5.б) \quad n = 4$$

Число кинематических пар — 4.

$$\eta_p = 0,95^n \quad (6)$$

$$\eta_p = 0,95^4 = 0,8145$$

$$P_{mp\eta_p} = 2 \times \Omega_{н.макс} \left(\frac{M_c}{\eta_p} + J_H \times E_{н.макс} \right) \quad (7)$$

$$P_{тр} = 2 * 0,5 * (2,0 / 0,8145 + 15 * 0,3) = 6,95 (\text{Вт})$$

Определим номинальную мощность двигателя в системе ИУ-Д:

$$P_{дв} = 0,04 * 378,2 = 15,12 (\text{Вт}) \quad (8)$$

Получим, что $P_{дв} > P_{мр_{нр}}$, т.е. по мощности двигатель ДПР-72-Н1/Н2-03 удовлетворяет требованиям задания.

Определим время переходного процесса двигателя:

$$t_p = (1,4 * J_{я} + \frac{J_H}{i_{омт}^2}) * \frac{\omega_{д}}{M_{нд} - M'_H} \quad (9)$$

$J_{я}$ - момент инерции якоря двигателя, Нмс²

$$t_p = (1,4 * 7,8 * 10^{-6} + \frac{8}{756,4^2}) * \frac{378,2}{0,152 - 0,04} = 0,05 (\text{с})$$

А заданное время регулирования $t_{рз} = 0,5 \text{ с}$

Вывод: двигатель типа ДПР-72-Н1/Н2-03 удовлетворяет требованию задания по всем пунктам, т.е. по сроку службы, по напряжению питающей сети, по мощности и по быстродействию.

Выбор информационно-измерительных элементов.

Чувствительные элементы, применяемые в следящих системах, чрезвычайно многообразны. К наиболее распространённым можно отнести сельсины, синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы, потенциометры, магнесины, емкостные датчики. При помощи этих элементов создают следящие системы, работающие в пределах от 0° до 360°. Ошибка системы в статических режимах, как и в любых других режимах, зависит от управляющих и возмущающих воздействий, от параметров систем и их отклонений, а также от погрешностей элементов системы.

В качестве датчика рассогласования используем синусно-косинусный вращающийся трансформатор 2,5 ВТ. Он удовлетворяет требованиям по точности, т. е. его ошибка не превышает 3', коэффициенты передачи СКВТ – датчика и СКВТ – приемника соответственно равны 0,56 и 1, а питающее напряжение $U_{пит} = 27 \text{ В}$. Однако это не означает, что мы получим требуемую точность. Необходимо экспериментальное определение инструментальной ошибки передачи, работающей в реальных условиях, с учетом влияния соединительной линии между датчиком и приемником.

В СП в качестве датчика главной обратной связи используется датчик углового положения объекта регулирования.

Проектирование редуктора.

Механическая передача, связывающая исполнительный двигатель с выходным валом привода, во многом определяет динамические свойства привода. Тип передачи, габариты и параметры зависят от ее кинематической схемы.

Проектирование кинематической схемы механической передачи автоматизированного привода связано с решением следующих задач.

Определение общего передаточного отношения кинематической цепи передачи.

Расчет кинематических пар цепи редуктора.

Необходимость обеспечения высокой точности и быстродействия привода при минимальных габаритах и весе осложняет проектирование передач; кратковременность же режима работы, характерная для многих летательных аппаратов, создает условия, облегчающие расчет передачи на износ.

Исходными данными для расчета кинематической цепи являются требования по габаритам и весу передачи, к. п. д., точности, приведенному моменту инерции передачи.

Первое требование относится ко всем видам передач и предусматривает ее рациональную компоновку, рациональный выбор числа пар и их передаточных отношений, применение минимально допустимых модулей и числа зубьев колес, использование материалов с высокими механическими качествами; второе и третье предусматривают, в первую очередь, простоту передачи, минимально допустимое число пар и возможность использования высокоточных методов механической обработки; последнее иногда является решающим для особо быстродействующих приводов.

При рассмотрении материала приняты следующие допущения, облегчающие расчет передачи.

1. Коэффициент полезного действия передачи принимается равным единице. Такое допущение возможно для прямозубых цилиндрических пар, изготовленных по высокому классу точности. Реальное значение к. п. д. Такой пары равно 0,96—0,99; к. п. д. Всего редуктора редко бывает меньше 0,9.

2. При выборе модуля пары используется формула для расчета зуба на изгиб в которой с учетом реальных условий осредняются значения коэффициентов, определяемых характером нагрузки и формой зуба

$$d = \sqrt{\frac{8Mz}{B[\sigma]}}, \quad (1)$$

где d —диаметр начальной окружности зубчатого колеса;

M — момент на валу зубчатого колеса;

z — число зубьев колеса;

B — ширина зуба ведомого колеса;

$[\sigma]$ —допустимое напряжение при расчете зубьев на выносливость.

Расчет ширины зуба ведется для ведомого колеса. Более тяжелые

условия, в которых работает зуб ведущего колеса по сравнению с зубом ведомого колеса, учитываются увеличением его ширины

$$B_{ш} = B_k + (2 \div 4)m, \quad (2)$$

где m —модуль пары;

$B_{ш}$ —ширина зуба ведущего колеса;

B_k — ширина зуба ведомого колеса.

Указанное допущение очень часто оправдывается и тем, что при подборе модуля, соответствующего нормальному ряду, приходится увеличивать его значение по сравнению с расчетным. Кроме того для пар, располагаемых ближе к двигателю, расчетное значение модуля часто получается много меньше, чем реально допустимое, из условий технологии нарезания зубьев точных передач. Это условие особенно характерно для маломощных приводов.

Вводя коэффициент ширины зуба

$$k_B = \frac{B}{m}, \quad (3)$$

найдем приближенные формулы для модуля

$$m = \sqrt{\frac{8M}{k_B[\sigma]d}} \quad (4)$$

Величина коэффициента ширины зуба обычно определяется из условия

$$4 \leq k_B \leq 12$$

При этом с ростом модуля коэффициент k_B обычно уменьшается. Для приближенного расчета можно принимать: для выходной пары $k_B=4—5$; для пар редуктора $k_B=8—10$.

3. Материал всех пар передачи считается одинаковым, а величина $[\sigma]$ постоянной. На летательных аппаратах для зубчатых пар используются высоколегированные стали, для которых допустимое напряжение на выносливость

$$[\sigma] = 4 \cdot 10^8 \div 6 \cdot 10^8 \text{ Н / м}^2 (40 \div 60 \text{ кгс / мм}^2)$$

4. При расчете оптимальных передаточных отношений пар зубчатой передачи, исходя из ее минимальной инерционности, момент инерции блока i -го ведомого колеса и $i+1$ -го ведущего колеса принимается равным моменту инерции цилиндра с диаметром, равным диаметру начальной окружности ведомого колеса, и высотой, равной ширине зуба колеса. Такое допущение приводит к ошибке в оценке инерционности всей передачи.

Общая методика расчета кинематической цепи.

Расчет кинематической цепи приборной или измерительной передачи

имеет свою специфику и проводится по методике, отличной от рассмотренной выше. Особенности приборной передачи, влияющими на методику расчета, являются:

- 1) Малая величина момента нагрузки на выходном валу.
- 2) Отсутствие в большинстве случаев выходной пары.
- 3) Высокая точность передачи.

Из-за малости нагрузки на выходном валу приборные передачи обычно являются мелко модульными. В большинстве случаев

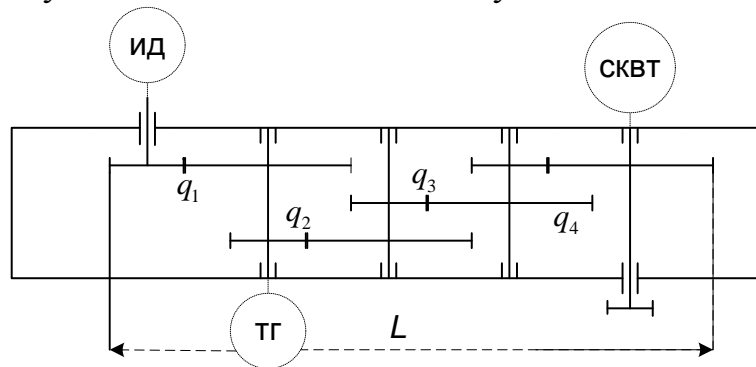


Рис. 2. Кинематическая схема четырехпарного редуктора с одинаковыми передаточными отношениями пар.

Расчетная величина модуля даже последней пары бывает много меньше минимально допустимого. Поэтому передачи такого типа обычно имеют постоянный модуль для всех пар, равный минимальному из нормального ряда. Учитывая опыт проектирования мелко модульных приборных передач, число зубьев шестерен можно принять также постоянным.

Ниже приводятся две методики расчета кинематических цепей приборных передач. В основе первой лежит стремление получить минимальные габариты редуктора в плоскости зубьев колес, а в основе второй — минимальную толщину редуктора.

Расчет при постоянном передаточном отношении пар.

Равенство передаточных отношений пар приводит к соотношению, позволяющему в соответствии с числом пар редуктора выбрать их передаточное отношение

$$q_i = \sqrt[n]{q_p}. \quad (5)$$

Число пар редуктора выбирается из условия минимума длины кинематической цепи L (рис. 2)

Для редуктора с n парами можно написать систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} q_i^n &= q_p; \\ mn(z_{ш} + z_k) &= 2L; \\ q_i &= \frac{z_k}{z_{ш}}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Исследование этой зависимости на минимум позволяет рекомендовать определять число пар редуктора в зависимости от его общего передаточного отношения в соответствии с графиком (рис. 3). Задавшись $z_{ш}$ (целесообразно $z_{ш}=20$) и определив по выражению (8) q_i можно найти все необходимые параметры цепи.

Недостатком данного метода составления кинематической цепи является необходимость расположения цепи минимум в три ряда.

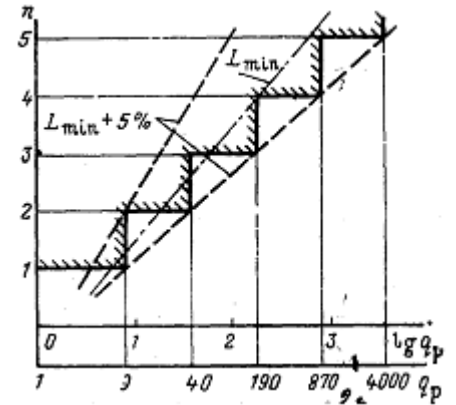


Рис. 3. Число пар редуктора при минимальной длине кинематической цепи.

Расчет двухрядного редуктора.

При расположении кинематической цепи редуктора в два ряда получаются наиболее короткие валы блоков шестерен и, следовательно, наименьшая толщина редуктора. При двухрядном расположении пар в редукторах с $n > 2$ необходимо обеспечить зазор между головками зубьев ведущего и ведомого колеса двух смежных пар. Согласно рис. 6 в общем случае должно выполняться условие

$$m_{(i-1)}(z_{k(i-1)} + 2) + m_{(i+1)}(z_{ш(i+1)} + 2) + 2\Delta \geq m_i(z_{ki} + z_{шi}).$$

Для .приборной передачи можно принять $m_i = \text{const}$ и $z_i = z_{ш \min}$. Величину зазора достаточно принять $\Delta = m_i$. Тогда

$$z_{ki} = z_{k(i-1)} + 6$$

Таким образом, для всех пар число зубьев последующего колеса должно быть на шесть больше числа зубьев предыдущего колеса. Порядок расчета следующий:

1) Определяется среднее передаточное отношение пар по формуле

$$q_{cp} = \sqrt[n]{q_p}, \quad (7)$$

где n — можно выбирать по графику (см. рис 5).

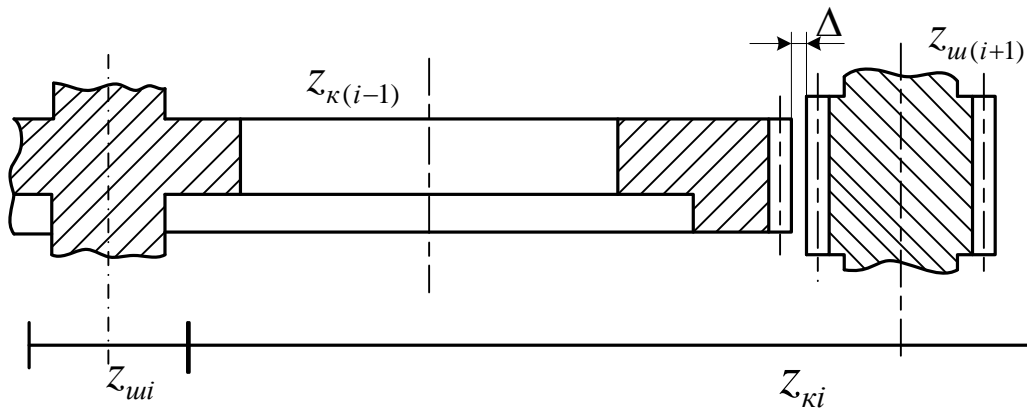


Рис. 4. Обеспечение зазора между головками зубьев.

2) Определяется среднее число зубьев колеса по формуле

$$z_{к.ср} = z_{ср} z_{ш} \quad (8)$$

3) Определяется число зубьев колес всех пар по формулам:

для нечетного числа пар

$$\left(z_{к.ср.} - \frac{n-1}{2} 6 \right) \leftarrow \dots \leftarrow (z_{к.ср.} - 6) \leftarrow z_{к.ср.} \rightarrow (z_{к.ср.} + 6) \rightarrow \dots \rightarrow \left(z_{к.ср.} + \frac{n-1}{2} 6 \right)$$

для четного числа пар

$$\left(z_{к.ср.} - 3 - \frac{n-2}{2} 6 \right) \leftarrow \dots \leftarrow (z_{к.ср.} - 9) \leftarrow (z_{к.ср.} - 3) \longleftrightarrow (z_{к.ср.} + 3) \rightarrow (z_{к.ср.} - 9) \rightarrow \dots \rightarrow \left(z_{к.ср.} + 3 + \frac{n-2}{2} 6 \right)$$

4) Проверяется полученное передаточное отношение редуктора по формуле

$$\frac{z_{к1} z_{к2} \dots z_{к(n-1)} z_{кn}}{z_{ш}^n} = q_p' \quad (9)$$

Если q_p' отличается от заданного q_p его можно скорректировать увеличением числа зубьев колес на единицу, начиная с последнего.

Расчет характеристик редуктора.

Из исходных данных видно, что передаточное число редуктора равно $q_i = 756,4$. По рисунку 3 определяем число кинематических пар редуктора, получаем $n=4$. Тогда передаточное отношение редуктора в соответствии с числом кинематических пар редуктора можно определить с помощью зависимости (5) и равно.

$$q_i = \sqrt[4]{756,4} = 5,2$$

Задавшись $z_{ш}=20$, найдем среднее число зубьев колеса по формуле (8):

$$z_{к.ср.} = 5,2 \cdot 20 = 104$$

Пусть $z_{к.ср.}=104$. Число зубьев для остальных кинематических пар редуктора определяются по формуле для редуктора с четным количеством пар. В нашем случае данная зависимость может быть приведена к виду

$$(z_{к.ср.} - 9) \leftarrow (z_{к.ср.} - 3) \leftarrow z_{к.ср.} \rightarrow (z_{к.ср.} + 3) \rightarrow (z_{к.ср.} + 9),$$

тогда

$$z_{к1}=92, z_{к2}=106, z_{к3}=108, z_{к4}=104.$$

Проверим полученные значения по соотношению (9), имеем

$$\frac{92 \times 106 \times 108 \times 104}{20^4} = 756,4$$

Т.к. q'_p не отличается от заданного, то корректировку не производим.

Модуль каждой кинематической пары определяется формулой (4). Тогда коэффициент ширины зуба k_b примем равным 4, допустимое напряжение на выносливость $[\sigma]$ - 400 н/мм². Откуда, с учетом принятых допущений, имеем

$$m_1 = \sqrt{\frac{8 \times 3000}{4 \times 400 \times 92}} = 0.4 \quad m_2 = 0.4$$

$$m_3 = \sqrt{\frac{8 \times 3000}{4 \times 400 \times 106}} = 0.4 \quad m_4 = \sqrt{\frac{8 \times 3000}{4 \times 400 \times 104}} = 0.4$$

Ширина зубьев зубчатых колес определяется соотношением (3), тогда

$$B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 0,4 \cdot 4 = 1,6$$

А для нахождения ширины зубьев шестерен используется выражение (2), тогда

$$B_{ш1} = B_{ш2} = B_{ш3} = B_{ш4} = 1,2 + 0,4 \cdot 4 = 2,8$$

Делительные диаметры зубчатых колес и шестерен определяется соотношением

$$d_i = m_i \times z_i,$$

-диаметры шестерен

$$d_{ш1} = d_{ш2} = d_{ш3} = d_{ш4} = 0,4 \cdot 20 = 8$$

-диаметры зубчатых колес

$$d_{к1} = 0.4 \cdot 92 = 36.8$$

$$d_{к2} = 0.4 \cdot 104 = 41.6$$

$$d_{к3} = 0.4 \cdot 106 = 42.4$$

$$d_{к4} = 0.4 \cdot 108 = 43.2$$

Межцентровые расстояния можно найти, решив систему уравнений (6), получим формулу вида

$$L = \frac{z_{ш} + z_{к}}{2},$$

тогда

$$L_1 = \frac{8 + 36.8}{2} = 22.4$$

$$L_2 = \frac{8 + 41.6}{2} = 24.8$$

$$L_3 = \frac{8 + 42.4}{2} = 25.2$$

$$L_4 = \frac{8 + 43.2}{2} = 25.6$$

С учетом рассмотренных ранее допущений запишем выражение для приведенного к валу двигателя момента инерции системы нагруженного привода с n-парной передачей

$$J_n = J_{дв} + \frac{J_{к1}}{q_1^2} + \frac{J_{к2}}{q_1^2 \times q_2^2} + \dots + \frac{J_{ки}}{q_1^2 \times q_2^2 \times \dots \times q_i^2} + \dots + \frac{J_{к,n}}{q_p^2} + \frac{J_n}{q_n^2},$$

где $J_{дв}$ - момент инерции ротора двигателя;

$J_{ки}$ - момент инерции ведомого зубчатого колеса i - той пары с учетом инерции вала и ведущего зубчатого колеса в блоке;

J_n - момент инерции нагрузки.

Выделив из вышеуказанного выражения часть приведенного момента, независящего от распределения передаточных отношений по парам передачи, и назовем ее основным приведенным моментом инерции

$$J_{дв} + \frac{J_n}{q_p^2} = J_0.$$

Оставшаяся часть выражения будет характеризовать величину приведенного к валу двигателя момента инерции n-парной передачи.

Момент инерции ведомого зубчатого колеса i -той пары можно рассчитать по формуле

$$J_{ки} = \frac{\pi \times B_i \times \rho \times (m_i \times z_i)^4}{2 \times g},$$

где ρ - плотность материала зубчатого колеса.

Для нашего случая плотность материала зубчатого колеса ρ примем равным 8000 кг/м^3 , тогда

$$J_{k1} = \frac{3.14 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3}{2 \cdot 9.8} \times (22.4 \cdot 10^{-3})^4 = 4.5 \times 10^{-6}$$

$$J_{k2} = \frac{3.14 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3}{2 \cdot 9.8} \times (24.8 \cdot 10^{-3})^4 = 6.6 \times 10^{-6}$$

$$J_{k3} = \frac{3.14 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3}{2 \cdot 9.8} \times (25.2 \cdot 10^{-3})^4 = 7.1 \times 10^{-6}$$

$$J_{k4} = \frac{3.14 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3}{2 \cdot 9.8} \times (25.6 \cdot 10^{-3})^4 = 9.3 \times 10^{-6}$$

А основной приведенный момент инерции равен

$$J_0 = 0,36 + \frac{15}{756^2} = 3,4 \times 10^{-5}$$

Тогда

$$J_n = 3,4 \times 10^{-5} + \frac{4.5 \times 10^{-5}}{5.2^2} + \frac{6.6 \times 10^{-5}}{5.2^2 \times 5.2^2} = 3.566 \cdot 10^{-5}$$

Увеличение момента инерции нагрузки произошло на

$$X = \frac{3.566 \times 10^{-5}}{3.4 \times 10^{-5}} \times 100\% = 104.8\%$$

$$\Delta = 104,8\% - 100\% = 4,8\%.$$

Значит, основной приведенный момент инерции увеличился на 4,8%.

Анализ результатов расчета показывает, что при минимальном приведенном моменте инерции наблюдается рост передаточных отношений от входа к выходу кинематической передачи.

Для полного анализа полученных результатов найдем приведенную электромеханическую времени, определяемую по формуле:

$$T_M = \frac{J_{\partial\partial} \times R_{\partial\partial}}{C_e^2} \left(1 + \frac{J_{\partial\partial}}{J_{\partial\partial}} \right).$$

За величину $J_{\partial\partial}$ принимаем значение, полученное при расчете приведенного момента инерции привода с учетом разработанного редуктора, а за величину $J_{\partial\partial} \times R_{\partial\partial} / C_e^2$ примем значение электро - механической постоянной времени $T_{\partial\partial}$, равную 0,015. Откуда будем иметь

$$T_M = 0,015 \times \left(1 + \frac{3,4 \times 10^{-5}}{0,36 \times 10^{-5}} \right) = 0,0808$$

Анализируя полученные значения, можно сделать вывод, что редуктор увеличивает электромеханическую постоянную двигателя на

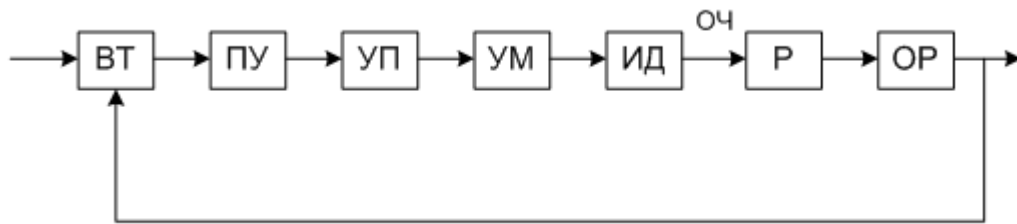
$$\Delta = \frac{0,0808}{0,015} \times 100\% - 100\% = 403\%$$

за счет увеличения приведенного момента инерции на валу двигателя, где 0,0808 - приведенная электромеханическая постоянная времени.

Синтез контура привода.

Составление структурной схемы системы.

Функциональная схема ЭСП имеет вид:



ВТ - вращающий трансформатор;

ПУ - преобразующее устройство;

УП - усилитель предварительный;

УМ - усилитель мощности;

ИД - исполнительный двигатель;

Р - редуктор;

ОР - объект регулирования;

СЧ - силовая часть;

ПКУ - последовательное корректирующее устройство.

Рис. 5. Функциональная схема ЭСП.

Для облегчения составления структурной схемы следящей системы примем допущения:

1) нет люфтов;

2) нет потерь в механической передаче на трение.

Тогда функциональную схему можно представить в виде упрощенной структурной схемы, изображенной на рисунке:

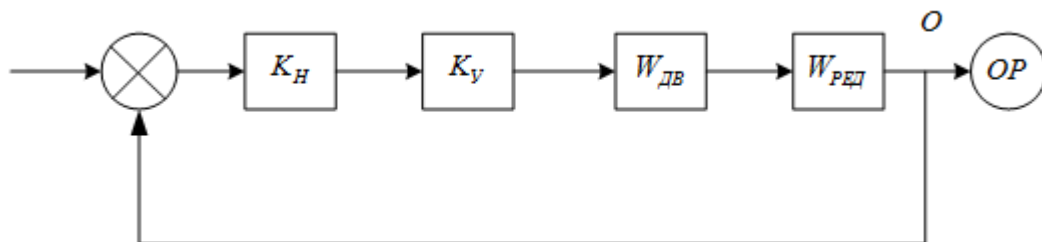


Рис. 6. Структурная схема ЭСП.

Определим коэффициент трансформаторной дистанционной передачи угла K_{up} .

$$U_{вых} = U_{\epsilon} \times n_{\delta} \times n_n \times \sin(\theta_{\epsilon x} - \theta_{вых}) \approx K_{up} \times \Delta\theta,$$

где:

$$K_{up} = U_{\epsilon} \times n_{\delta} \times n_n ;$$

$$U_{\epsilon} \leq 12B ; n_{\delta} = 0,56 ; n_n = 1,0 ;$$

$$K_{up} = 6,72 ;$$

Добротность системы определяется как.

$$K_{\Omega} = \frac{\dot{\phi}}{x_{\text{дин}}} = \frac{0,5}{4 * 3,14} * 60 * 180 = 441,7$$

Передаточная функция двигателя имеет вид:

$$W_{\partial\partial}(p) = \frac{K_{\partial\partial}}{p(T_M \times T_{\partial} p^2 + T_M p + 1)};$$

$K_{\text{дв}}$ - коэффициент усиления двигателя;

T_M - приведенная электромеханическая постоянная времени;

$$K_{\partial\partial} = \frac{1}{C_e},$$

где C_e - величина противо-ЭДС.

Найдем C_e из следующей зависимости:

$$T_{\partial\partial} = \frac{J_{\partial\partial} \times R_{\text{я}}}{C_e \times C_M} = \frac{J_{\partial\partial} \times R_{\text{я}}}{C_e^2}, \text{ при } C_e = C_M.$$

$$C_e = \sqrt{\frac{J_{\partial\partial} \times R_{\partial\partial}}{T_{\partial\partial}}};$$

где $J_{\text{дв}}$ - момент инерции якоря,

$R_{\text{дв}}$ - сопротивление якоря;

$T_{\text{дв}}$ - электромеханическая постоянная времени.

$$T_M = T_{\partial\partial} \left(1 + \frac{J_{\text{прп}} + \frac{J_{\text{н}}}{i^2}}{J_{\partial\partial}} \right);$$

где $\frac{J_{\text{н}}}{i^2}$ - приведенный к валу двигателя момент инерции нагрузки;

$J_{\text{прп}}$ - приведенный к валу двигателя момент инерции нагрузки.

$$J_{\text{прп}} = \left(\frac{J_{\text{н}}}{i^2} + J_{\text{я}} \right) \times 0,15 = \left(\frac{15}{756,4^2} + 7,4 \times 10^{-6} \right) \times 0,15 = 4,34 \cdot 10^{-5};$$

откуда

$$T_M = 0,015 \times \left(1 + \frac{3,4 \times 10^{-5}}{0,36 \times 10^{-5}} \right) = 0,0808$$

Т.к. $T_{\partial} \ll T_M$, то передаточная функция двигателя принимает вид:

$$W_{\partial\partial}(p) = \frac{K_{\partial\partial}}{p(T_M p + 1)}.$$

Тогда

$$K_{\partial\partial} = \sqrt{\frac{0,0808}{0,36 \times 10^{-6} \times 2,9}} = 25,8 \frac{B}{\text{рад} \times c}$$

Передаточная функция редуктора имеет следующий вид:

$$W_{ред}(p) = \frac{1}{i} = K_p ;$$

где K_p - коэффициент передачи редуктора.

$$K = \frac{1}{756,4} = 0.00132$$

Преобразуем структурную схему к виду:

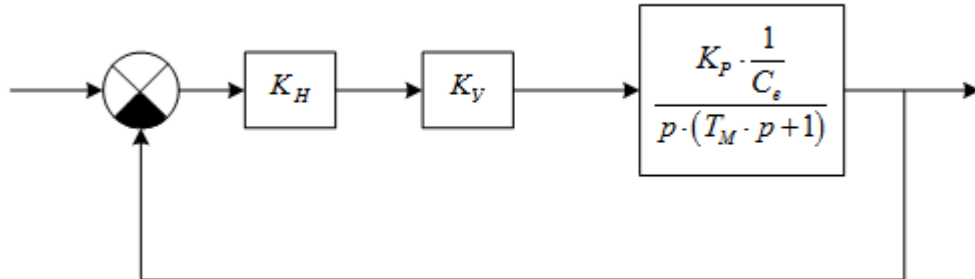


Рис. 7. Структурная схема ЭСП.

Имея все значения, структурная схема принимает вид:

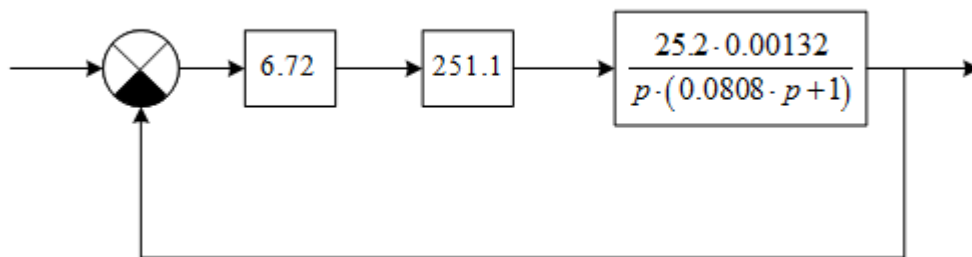


Рис.8. Структурная схема ЭСП.

По полученной структурной схеме можно построить располагаемую ЛАЧХ.

$$\lg \frac{1}{T_m} = 0.096$$

$$20 \lg K_{дв} = 28,2$$

Для того, чтобы правильно рассчитать корректирующие устройства, необходимо определить запретную зону, т.е. зону, где желаемая ЛАЧХ ни в коем случае не должна оказаться.

Выбор схемы коррекции и расчет корректирующих устройств.

Одной из основных задач синтеза следящего привода является определение передаточных функций последовательных корректирующих устройств, которые при заданной передаточной функции неизменяемой части обеспечит системе требуемые динамические свойства.

Частотную характеристику системы, которая имеет заданные динамические свойства, назовем желаемой ЛАФЧХ.

1. Расчет желаемой частотной характеристики.

1) строится низкочастотная часть ЛАЧХ, исходя из условий требуемой точности, наклон ее определяется порядком астатизма системы, а положение по высоте – контрольными точками A_{k1} и A_{k2} .

Первая контрольная точка A_{k1} находится, исходя из допустимой скоростной ошибки. Ордината ее:

$$L_1 = 20 \lg k_{\Omega} = 53.8$$

Абсциссу ее откладывают на частоте $\omega = 1$, ордината первой низкочастотной асимптоты ЛАХ разомкнутой системы любого порядка астатизма на частоте $\omega = 1$ равна передаточному коэффициенту разомкнутой системы.

Вторая контрольная точка A_{k2} строится из требований к динамической точности по формулам:

$$\omega_k = \frac{\varepsilon_{\max}}{\Omega_{\max}} = \frac{0.3}{0.5} = 0.6$$

$$\lg \omega_k = 0$$

$$L_a(\omega_k) = 20 \lg \left(\frac{\omega^2}{\varepsilon_{\max} \times \varepsilon_{\Sigma}} \right) = 20 \lg \left(\frac{0.25}{0.3 \times 6 \times 0.017 / 60} \right) = 53.5$$

где $x_{уст \max}$ – максимальная амплитуда ошибки устоявшегося режима.

2) Строится среднечастотная часть ЛАЧХ, исходя из требований к устойчивости и быстродействию системы.

Для этого через точку на оси частот, соответствующую частоте среза ω_{cp} (или, если это возможно, правее этой точки), проводится прямая с наклоном $20 \text{ дБ} / \text{дек}$. Желаемая частота среза определяется по формулам:

$$\omega_{cp.жел} \geq \frac{a\pi}{t_0},$$

где a – коэффициент, определяемый по заданной величине перерегулирования δ . Значения коэффициента a приведены ниже.

| | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| $\sigma, \%$ | 15 | 20 | 25 | 30 |
| a | 1.7 | 2.2 | 3.0 | 4.0 |

Для того, чтобы система была устойчива, $\omega_{cp.жел}$ выбираем равной, 33 тогда $\lg 33 = 1.52$

Частоты излома ω' и ω'' среднечастотной ЛАХЧ определяются по приближенным соотношениям:

$$\omega'' \approx (2 \div 4) \omega_{cp.жел};$$

$$\omega' \approx \frac{\omega_{cp.жел}^2}{\omega''}.$$

Тогда для определения ω'' примем равным $4\omega_{cp.жел}$, откуда:

$$\omega'' \approx 4 \times 33 = 132$$

$$\lg \omega'' \approx 2.12$$

$$\omega' \approx \frac{33^2}{132} = 8.25$$

$$\lg \omega' = 0.9$$

Среднечастотная часть желаемой ЛАЧХ сопрягается с низкочастотной прямыми, имеющими наклон -20, -40 или (в крайнем случае) -60 дБ/дек.

3) Высокочастотная часть ЛАЧХ строится с учетом простоты технической реализации корректирующего устройства. Следует иметь в виду, что за пределами $2\omega < -20$ дБ/дек система не обрабатывает никаких воздействий. Поэтому любая попытка скорректировать систему ниже этого уровня является бесполезной. Ниже этого уровня желаемая ЛАЧХ системы должна полностью совпадать с ЛАЧХ нескорректированной системы.

Расчет последовательного корректирующего устройства.

ЛАХ последовательного корректирующего устройства находится вычитанием ординат ЛАХ нескорректированной системы из ординат желаемой ЛАХ.

При введении последовательного корректирующего звена структурная схема системы будет иметь вид:

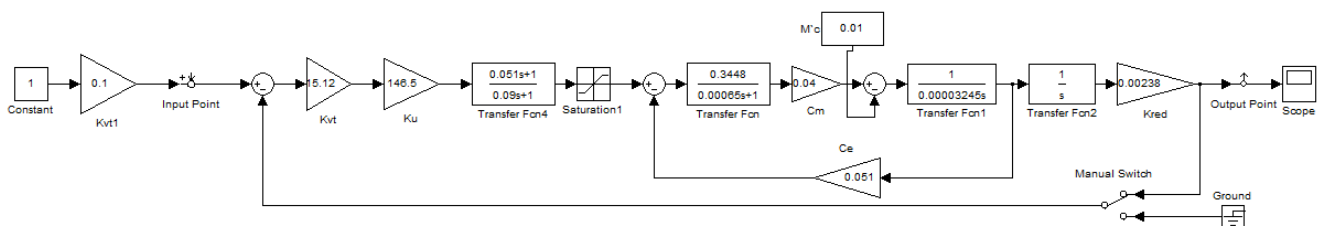


Рис. 9. Схема моделирования в среде Matlab.

$$K_{ПК} = 0,96$$

$$T_1 = \frac{1}{\omega_p} = \frac{1}{0.6} = 1.667$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega'} = \frac{1}{8.25} = 0.12$$

$$T_3 = \frac{1}{1/T_M} = \frac{1}{1/0.0808} = 0.0808$$

$$T_4 = \frac{1}{\omega''} = \frac{1}{132} = 0.007$$

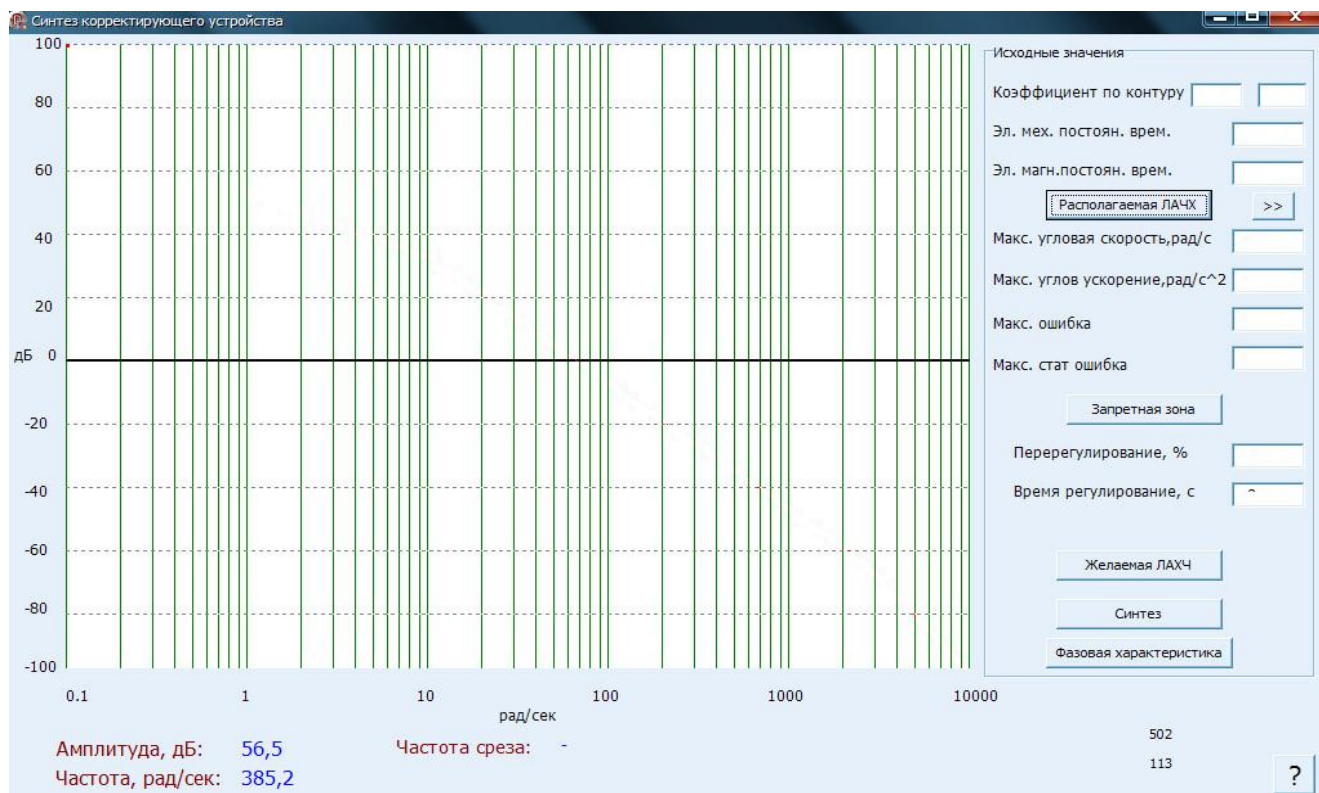
$$W_{нк}(p) = \frac{\kappa_{нк}(T_{2p} + 1)(T_{3p} + 1)}{(T_{1p} + 1)(T_{4p} + 1)}.$$

Расчет последовательного корректирующего устройства с использованием специализированного ПО

В данной лабораторной работе была разработана, в качестве приложения программа для автоматизированного выбора двигателя, расчета характеристик редуктора и синтеза корректирующего устройства.

Такой подход в значительной степени облегчает проектирование и уменьшает количество потраченного времени. Так как в качестве метода синтеза корректирующего звена выбран метод – логарифмических амплитудно-частотных характеристик, пользователь может визуально наблюдать за построением располагаемой, желаемой ЛАЧХ и также за синтезом. Данное приложение имеет возможность передавать полученный результат в среду MATLAB, в частности в пакет Simulink. Где находится модель следящего привода, что делает процесс проектирования очень удобным.

Руководство использования программы Aries.



1. Запустить программу Aries.
2. Для выбора двигателя нажать кнопку «>>>»
3. Ввести исходные данные в блок «Выбор двигателя»
4. Выбрать транзисторы, нажав кнопку «>>>»
5. Выбрать двигатель, нажав кнопку «Расчет мощности двигателя»
6. После выбора из базы нажать «Ок» или «Добавить» для добавления в базу.
7. Провести анализ в системе «ИУ-Д» нажав кнопку «Анализ двигателя».
8. Для расчета редуктора нажать кнопку «>>>» в блоке «Анализ двигателя»
9. В появившемся окне нажать «Расчет» и «Ок»
10. Принять двигатель нажав «Принять двигатель»
11. Построить располагаемую ЛАЧХ нажав «Располагаемая ЛАЧХ»
12. Построить запретную зону нажав «Запретная зона»
13. Построить желаемую ЛАЧХ нажав «Желаемая ЛАЧХ»
14. Провести синтез, нажав «Синтез»
15. В появившемся окне нажать «В MatLab»

Процесс построения идет последовательно, каждому этапу соответствует свое окно.

Первым этапом является выбор двигателя, полученные исходные данные вводятся в соответствующие окна Рис.10, после чего следует нажать на кнопку «Расчет мощности двигателя» и происходит расчет мощности.

Рис. 10

По полученному результату происходит выбор двигателя из базы, после выбора двигателя следует провести анализ его работы в системе «ИУ-Д». Для этого следует нажать кнопку «Анализ двигателя». После анализа двигателя стоит перейти к расчету редуктора, для этого достаточно на кнопку «>>>» и появится окно Рис.11.

Рис.11

Чтобы продолжить расчеты требуется нажать на кнопку «Расчет» и далее после расчета «Ок» Рис.11. Также в этом окне требуется ввести значения коэффициентов усиления и другие параметры системы.

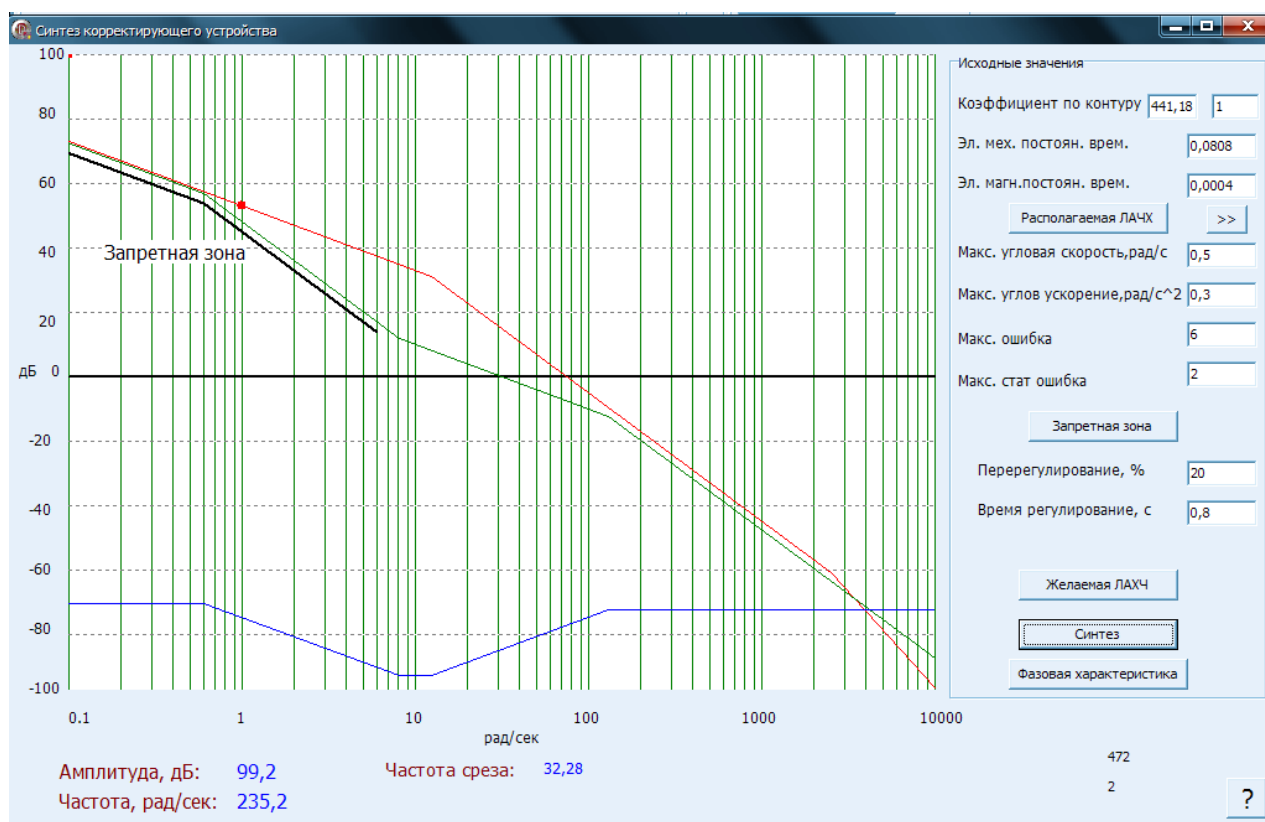
Если не возникли ошибки в расчетах можно принимать двигатель для этого нажать на кнопку «Принять двигатель» Рис. 10.

Все основные расчеты проведены теперь осталось построить располагаемое ЛАЧХ. Для этого надо нажать на кнопку «Располагаемая ЛАЧХ».

Затем запретную зону кнопка «Запретная зона».

Затем желаемую ЛАЧХ кнопка «Желаемая ЛАЧХ».

И последние осуществить синтез кнопка «Синтез».



Контрольное тестирование с целью проверки изученного теоретического материала, изложенного выше, а также соответствующих разделов лекционного курса, и допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Откройте папку «Тесты к вирт. лаб. №1».
2. Запустите программу tester.exe. Пароль «718».
3. Ответьте на все поставленные вопросы.
4. В случае, если вы ответили более чем на 60% вопросов, то приступайте к выполнению работы.
5. Если количество правильных ответов было меньше 60%, то вновь изучите теорию и пройдите повторный курс тестирования.

III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования являются математические модели реверсивного электрического привода и его элементов, разработанных в среде MATLAB и Simulink. Для выполнения работы необходим, современный компьютер с установленными операционной системой Windows XP, MATLAB 6.5, программой «БАНКИР 7.5» и специализированное ПО.

IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3. Изучить модель следящей системы, функциональное назначение и принципы работы отдельных элементов модели, их взаимодействие
4. Проектирование и расчет редуктора.
5. Исследовать динамические характеристики следящей системы: изучить влияние величины коэффициента усиления в прямой цепи, типа и характеристик сглаживающего фильтра на характер переходных процессов и частотные характеристики замкнутой системы.

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение принципов работы отдельных элементов модели и их взаимодействие. Все модели, используемые в работе, находятся в папке «work» пакета MATLAB, которые должны быть предварительно открыты.

Откройте файл «SKVT.mdl».

Запустить файл «SKVT.mdl».

Изучите полученные диаграммы.

Используя возможности программы «simulink» просмотрите все параметры и коэффициенты трансформации СКВТ – Д и СКВТ – П.

(Исходная частота напряжения возбуждения СКВТ взята нереальной для обеспечения лучшего понимания происходящего процесса.)

Измените типы СКВТ – Д и СКВТ – П по своему усмотрению, взяв их из таблицы 1 и занесите измененные параметры в модель SKVT.

Таблица 1. Технические данные ВТ серии 2,5БВТ

| Обозначение (тип) ВТ | Назначение ВТ | Напряжение возбуждения, В | | Z_{01} , Ом | К |
|-------------------------|----------------|------------------------------|---------------------|---------------|------|
| | | Номинальное | Рабочий диапазон | | |
| 2,5БВТ-Д | ВТДП-Д СКВТ | 12 | 0-12 | 200 | 0,56 |
| | | | | | |
| 2,5БВТ-П | ВТДП-П | 12 | 0-27 | 800 | 1 |
| 2,5БВТ-С | СКВТ | 12 | 0-12 | 200 | 0,56 |
| 2,5БВТ-Л | ЛВТ | 12 | 0-12 | 200 | 0,52 |
| 2,5БВТ-2 | СКВТ | 12 | 0-12 | 400 | 0,56 |

Таблица 2. Технические данные ВТ серии 5БВТ

| Обозначение (тип) ВТ | Назначение ВТ | Напряжение возбуждения, В | | Z_{01} , Ом | К |
|-------------------------|---------------|------------------------------|---------------------|---------------|------|
| | | Номинальное | Рабочий диапазон | | |
| ЛШЗ.010 | ЛВТ | 40 | 0-40 | 200 | 0,72 |
| | ВТДП-Д | | | | |
| ЛШЗ.010 | ВТДП-П | 27 | 0-27 | 200 | 0,96 |

Таблица 3. Технические данные ВТ серии ВТ-5

| Обозначение (тип) ВТ | Назначение ВТ | Напряжение возбуждения, В | | Z_{01} , Ом | К |
|-------------------------|---------------|------------------------------|---------------------|---------------|------|
| | | Номинальное | Рабочий диапазон | | |
| КФЗ.031.048 | СКВТ | 40 | 0-40 | 200 | 0,53 |
| ЛШЗ.010.527 | ВТДП-Д | | | | |
| КФЗ.031.049 | СКВТ | 40 | 0-40 | 200 | 0,96 |

Диапазон рабочих частот напряжения возбуждения, Гц 380-21000

Используя функцию PrintScreen и графический редактор Paint, сохраните полученные процессы.

Запустите файл «DM.mdl».

Изучите полученные диаграммы.

Используя возможности программы «simulink» просмотрите все параметры напряжений возбуждения (source) и рабочего (Sine wave).

(Исходная частоты напряжения взяты теми же, что и в схеме «SKVT.mdl»).

Измените величины этих напряжений и частот в соответствии с проделанным в предыдущем пункте и занесите измененные параметры в модель «DM.mdl».

Используя функцию PrintScreen и графический редактор Paint, сохраните полученные процессы.

Запустите файл «Shim.mdl».

Проделайте те же операции, что и в предыдущих пунктах.

Запустите файл «model_sum.mdl».

Проследите последовательно все процессы преобразования сигналов в измерителе рассогласования (СКВТ – Д и СКВТ – П), демодуляторе и модуляторе длительности импульсов.

2. Изучение влияния сглаживающего фильтра.

3.1. Ключи $S1$ и $S2$ в положение 1, $K_y = 300$

3.2. Установите ступенчатый входной сигнал 0.01В

3.3. Для изменения типа фильтра, установите в блоке Filter значение параметра Type filter равным 1 или 2, который соответствуют фильтру Бесселя или апериодическому фильтру. Изучите характер переходных процессов на выходе системы для данных типов сглаживающего фильтра.

3.4. Сохраните полученные процессы и сделать выводы о характере влияния сглаживающего фильтра на работу системы.

4. Влияние частоты входного сигнала на динамические характеристики следящей системы.

4.1. Ключи $S1$ и $S2$ в положение 1, $K_y = 300$

4.2. Установите синусоидальный входной сигнал амплитудой 0.1 В и частотой 1 рад/с, изучите переходные процессы в системе.

Проведите аналогичные действия для частот 5 и 10 рад/с

4.3. Сохранить полученные процессы и сделать выводы.

5. Используя линеаризованную модель (Linear model) оценить ЛАФЧХ системы. (Tools→Linear analysis; Simulink→Get Linearized Model; Plot type→Bode)

VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет о работе должен содержать.

- 1) Задание на проектирование
- 2) Блок-схему привода.
- 3) Выбранные элементы
- 4) Диаграммы напряжений во всех изученных элементах.
- 5) Переходные процессы и частотные характеристики системы.
- 6) Все необходимые выводы по работе.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить функциональное назначение и принцип работы элементов следящей системы?

2. Как осуществляется управление частотой вращения двигателя в данной следящей системе?

3. Какой сигнал и почему используется для осуществления обратной связи по скорости вращения вала двигателя?

4. Как влияет коэффициент усиления системы в прямой цепи на характер переходных процессов в системе?

5. Какие требования предъявляются к характеристикам сглаживающего фильтра?

6. Что произойдет с системой, если существенно увеличит коэффициент усиления в разомкнутом контуре?

6. На основе анализа каких характеристик привода определяется частота ШИМ выходного каскада усилителя мощности?

VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с. :ил.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304с.
3. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
4. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приводы/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
5. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.
6. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

Дополнительная литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины : Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
3. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев .— 4-е изд.,испр. — М. : РадиоСофт, 2002 .— 393с. : ил.
4. Алиев, И.И. Электрические аппараты : справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов .— М. : ИП РадиоСофт, 2007 .— 256с. : ил.