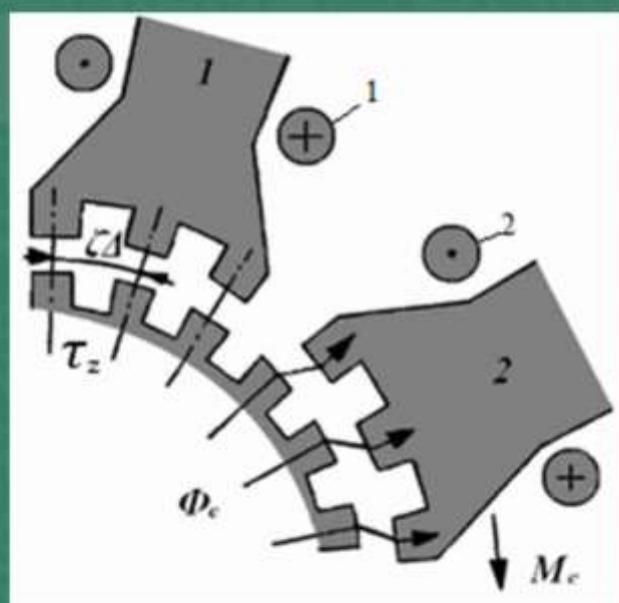


М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин, И. А. Иванов

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АНАЛОГОВОЙ И ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ

Учебное пособие



ООО «МЦ ЭОР»
Барнаул - 2021

УДК 681.51.01 (075.5)

Стальная М. И. Элементы систем аналоговой и дискретной автоматики. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин, И. А. Иванов. – Барнаул : ООО «МЦ ЭОР», 2021. – Режим доступа: <http://mceor.ru/21003>. ISBN 978-5-6044608-0-1

В учебном пособии рассматриваются наиболее часто используемые в УЧПУ элементы аналоговой и дискретной автоматики, начиная с датчиков, преобразующих устройств и кончая усилителями и электроприводами с микромашинами постоянного и переменного тока. В пособии рассмотрены также конструкция, принцип действия современных типовых элементов автоматики. Пособие предназначено для студентов, специализирующихся в области обслуживания, разработки и наладки станков и автоматических линий с ЧПУ

Рецензент: д.т.н., профессор А. А. Багаев,
ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет.

Рекомендовано Межрегиональным центром электронных образовательных ресурсов к государственной регистрации в качестве издания для вузов.
Сертификат № 21003

Рассмотрено и утверждено
на заседании кафедры ЭиАЭП
Протокол № 6 от 25.01.2021 г.

ISBN 978-5-6044608-0-1



© Стальная М. И., Еремочкин С. Ю., Иванов И. А., 2021
© ООО «МЦ ЭОР», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исторические сведения	6
2. Основные понятия. Классификация систем автоматики	8
2.1. Системы автоматического контроля	8
2.2. Система автоматического регулирования (САР).....	9
2.3. Система автоматического управления (САУ).....	9
2.4. Автоматические следящие системы.....	9
2.5. Системы автоматической защиты	9
2.6. Адаптивные системы	10
2.7 Практическая работа №1	10
3. Датчики	12
3.1. Датчики пути и положения рабочих органов.....	13
3.1.1. Электроконтактные датчики	13
3.1.1.1. Электроконтактный путевой датчик.....	13
3.1.1.2. Электроконтактный размерный датчик	14
3.1.2 Индуктивные датчики положения.....	14
3.1.3 Фазоимпульсные размерные датчики	17
3.1.4. Вращающиеся (поворотные) трансформаторы	19
3.1.5. Линейный индуктосин.....	21
3.1.6. Фотоэлектрические датчики перемещения	23
3.2. Датчики углового положения и фаз	24
3.2.1. Потенциометрический датчик	24
3.2.2. Сельсины.....	25
3.2.3. Дискретные датчики угла.....	27
3.2.3.1. Контактный датчик угла с кодовым барабаном.....	27
3.2.3.2. Цифровой датчик угла с индуктосином.....	29
3.2.4. Датчик чередования фаз	31
3.3 Практическая работа №2	33
3.4. Датчики скорости	36
3.4.1. Тахогенераторы	36
3.4.2. Реле контроля скорости	37
3.4.3. Цифровые датчики скорости.....	38
3.5. Силовые датчики	41
3.5.1. Электромеханические силовые датчики.....	41
3.5.2. Электрические силовые датчики	41
3.5.3. Тензометрические датчики	42
3.5.4. Пьезоэлектрические датчики	43
3.5.5. Реле давления.....	43
3.6. Датчики электрических величин	44
3.6.1. Дискретно-аналоговые датчики напряжения и датчики тока	44
3.6.2. Датчик напряжения	44
3.6.3. Датчик тока	45
3.6.4. Дискретные датчики наличия тока.....	46

3.7. Практическая работы №3	48
3.8. Электромагнитные датчики	54
3.9. Оптические полупроводниковые приборы	56
4. Преобразующие устройства.....	57
4.1. Реле времени.....	57
4.2. Реле счёта и выделение импульсов	58
4.2.1. Электромеханическое реле счёта импульсов.....	58
4.2.2. Электронное реле счёта импульсов.....	59
4.2.3. Реле для выделения одного импульса из импульсной последовательности.....	60
4.2.4. Практическая работа №4	62
4.2.5. Реле выделения пачки импульсов	63
4.3. Дешифраторы	64
5. Усилители	65
5.1. Электронные усилители	65
5.2. Магнитные усилители. Электромашинные усилители	69
5.3. Гидравлические усилители	70
6. Исполнительные элементы. Микродвигатели	72
6.1. Микромашины постоянного тока.....	72
6.1.1. Коллекторные микродвигатели постоянного тока с полым немагнитным якорем.....	73
6.1.2. Коллекторный микродвигатель постоянного тока с дисковым якорем	74
6.1.3. Бесконтактные (бесколлекторные) двигатели постоянного тока	75
6.1.4. Линейные двигатели постоянного тока (ЛДПТ).....	78
6.1.5. Тахогенераторы постоянного тока	79
6.2 Практическая работа №5	80
6.3. Асинхронные микродвигатели	81
6.3.1. Асинхронные двигатели с полым немагнитным ротором	81
6.3.2. Асинхронные тахогенераторы	84
6.3.3. Линейные асинхронные двигатели (ЛАД)	85
6.3.4 Универсальные коллекторные микродвигатели	86
6.4. Синхронные микродвигатели	88
6.4.1. Синхронные реактивные микродвигатели	88
6.4.2. Синхронные гистерезисные микродвигатели	90
6.4.3. Синхронные шаговые двигатели (СШД).....	91
6.4.3.1. Синхронные шаговые двигатели с постоянными магнитами на роторе (активного типа)	92
6.4.3.2. Реактивные синхронно-шаговые двигатели.....	95
6.4.3.3. Индукторные синхронно-шаговые двигатели.....	97
6.4.3.4. Линейные индукторные синхронно-шаговые двигатели.....	98
6.5. Практическая работа №6	102
Литература	104

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данном учебном пособии рассмотрены наиболее часто используемые датчики и электрическое оборудование в системах автоматики, как аналогового типа, так и дискретного типа. Описаны их принцип действия и возможную область применения. Материал изложен по принципу от простого к сложному, что позволяет лучше усвоить предлагаемый материал и приобрести новые знания. Конечно, все типы существующих датчиков рассмотреть в одном пособии невозможно, да и это не имеет особого смысла, т.к. каждый день появляются новые типы датчиков, однако основной принцип их работы (измерять, диагностировать и т.д.) остается неизменным. Мы постарались в этом учебном пособии как раз и рассмотреть основные принципы работы датчиков и оборудования на их основе.

Желаем успехов в овладении изложенным материалом.

1. ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Даже на заре развития человечества люди пытались сделать различные автоматические устройства, которые работали бы по типу «безлюдной технологии». Примером тому могут быть так называемые «египетские фокусы». Когда жрец, выходящий к народу, поднимал руки или произносил определенные слова, то за его спиной сами открывались ворота, зажигался священный огонь, и начинала петь птичка. Секрет весь состоял в том, что жрец был определенного веса, наступал на определенный камень, срабатывала система рычагов и веревок и двери открывались, одновременно падал и ударялся кремень о кремень, высекая искру над чашей с нефтью (парами нефти), поэтому над чашей зажигался огонь, одновременно сбрасывалось покрывало, под которым сидела канарейка. Вот она-то, как только темнота сменялась светом тут же, автоматически, начинала петь без участия человека, а все остальное было сделано руками человека. Эта автоматика использовалась для мистических целей.

Первыми автоматическими устройствами, сделанными человеком для практических целей, являются часы с храповым механизмом. Затем появляются рабочие машины - орудия, заменившие ручной труд человека и позволившие резко увеличить производительность труда. Такими были, например, прядильные и многочелночные ткацкие станки, изобретенные в первой половине XVIII века.

Первоначально; машины-орудия приводились в действие энергией животных или людей, или же водной энергией, однако уже во второй половине XVIII века эти способы приведения в действие машин-орудий не могли удовлетворить растущих потребностей развивающегося производства. Поэтому был разработан новый способ приведения в действие исполнительных механизмов - с помощью паровой машины (парового двигателя). Чтобы широко использовать паровые машины в промышленности, необходимо было оснастить их такими автоматическими устройствами, как автоматический парораспределительный механизм, регулятор уровня воды в котле, регулятор частоты вращения вала машины и т.д.

В 1765 году наш соотечественник И. И. Ползунов сконструировал и изготовил первый в мире автоматический регулятор для поддержания уровня воды в паровом котле. Через 20 лет в 1785 году Джеймс Уатт создает автоматический регулятор частоты вращения вала паровой машины. В 1775 г. Максвелл разрабатывает автоматический парораспределительный механизм, но механического действия.

Со второй половины XIX века использование электрической энергии чрезвычайно расширило возможности построения и применения сложных автоматических устройств. Электрические автоматические устройства начинают проникать в различные области техники. Так 1854 году К. И. Константинов создает электромагнитный регулятор частоты вращения вала паровой машины.

В конце 19-го века и в начале 20 века были предложены конструкции электромеханических приборов – реле и контакторов, используемых в системах управления.

В 1920 г. была разработана и применена для управления сельсинная пара, а в 1924 г. электромашинное управление с помощью ЭМУ (электромашинный усилитель). С 1930 года начинают использоваться тиратроны, и в тридцатых годах двадцатого века начали применять управляемые ионные ртутные преобразователи.

Этапы развития электронной автоматики показаны на рисунке 1. Из рисунка видно, что за последние десятилетия в автоматическом управлении для автоматизации технологических процессов начали широко применять средства вычислительной техники, оптоэлектроники и далее нейроэлектроники.

Вообще говоря, на первом этапе автоматизации осуществлялась автоматизация отдельного рабочего цикла, по типу полуавтоматов. Затем на втором этапе полностью автоматизировался весь рабочий цикл, а затем стали создаваться станки, обрабатывающие центры, затем станки с ЧПУ и технологические линии с ЧПУ (числовым программным управлением).

Третий этап автоматизации это - комплексная автоматизация, когда создаются гибкие производственные системы, обеспечивающие два базовых условия: гибкость, то есть оперативный переход на новый вид изделия, и «безлюдная» технология.

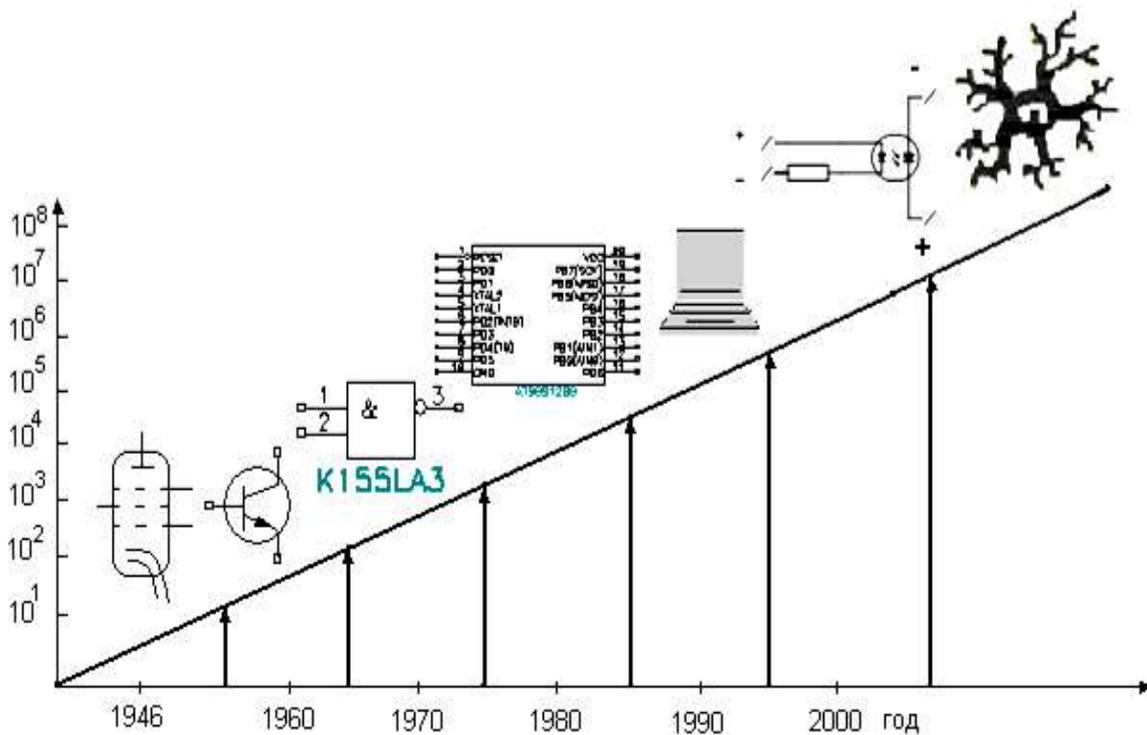


Рисунок 1.1 - Этапы развития электронной автоматики

Одними из основных элементов всех этих этапов и систем помимо общего силового электрооборудования являются, также и элементы аналоговой и дискретной автоматики, которые рассматриваются ниже.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Автоматизированные системы, применяемые при автоматизации производственных процессов, в зависимости от характера и объёма операций, выполняемых ими, можно разделить на:

- системы автоматического контроля и диагностики (САК и САД);
- системы автоматического регулирования (САР),
- системы автоматического управления (САУ),
- автоматизированные следящие системы (АСС);
- системы автоматической защиты (САЗ);
- адаптивные системы (АС).

2.1. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Как известно, автоматические системы чаще всего являются комбинированными, т.е. представляют собой совокупность нескольких систем, но почти в каждой из них участвует система автоматического контроля (САК) различных физических параметров, сведения о которых необходимы для управления объектом.

В общем виде блок-схему САК схематически можно представить следующим образом (рисунок. 2.1):

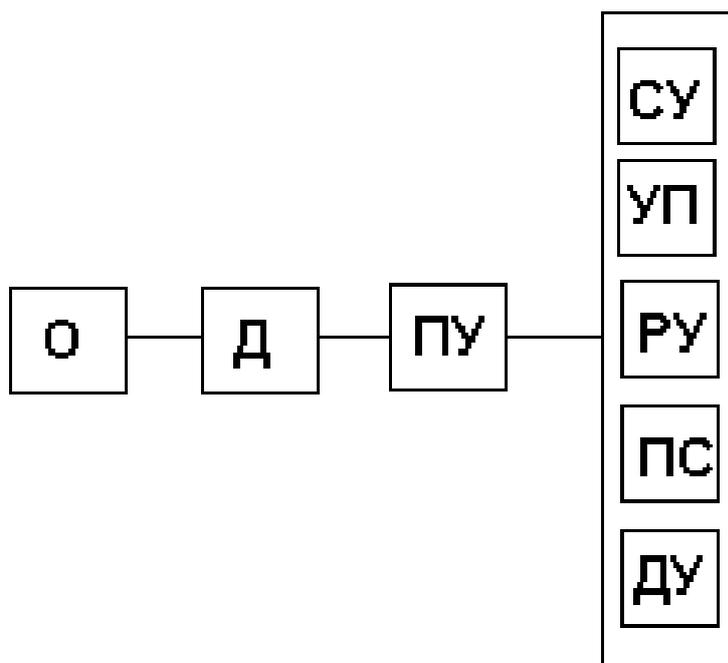


Рисунок 2.1 - Блок-схема САК

О - объект контроля, Д – датчик измеряет значение контролируемого параметра, ПУ – преобразующее устройство, преобразует сигнал с датчика в сигнал, удобный для усиления и передачи, СУ – сигнализирующее устройство, осуществляет автоматическую сигнализацию характерных или предельных максимальных значений параметров (сирена, лампочка, звонок), максимальных или минимальных значений параметра, УП - указывающий прибор (стрелочный, цифровой), показывает текущее значение параметра, РУ – регистрирующее устройство (самописец, графопостроитель, накопитель на магнитной ленте, осциллограф), ПС – прибор сортирующий, ДУ – диагностическое устройство.

Необходимо заметить, что система автоматического контроля (САК) самостоятельно не вмешивается в ход протекания технологического процесса.

2.2. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР)

САР - обеспечивает поддержание регулируемой величины (параметра) в заданных пределах или по заданному закону. В таких системах обязательно должно происходить сравнение задающего сигнала и сигнала, поступающего с САК; САР вмешивается в протекание технологического процесса.

2.3. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ)

САУ - называют систему, в которой организация целенаправленных действий осуществляется управляющим элементом, на который подается управляющий сигнал, С помощью САУ исключается участие человека в управлении операциями технологического процесса. Но для этого необходимо выработать программу действий, закодировать её и подать как пусковой сигнал, тогда САУ в заданной последовательности будет управлять ходом технологического процесса. Обычно САР является частью САУ.

2.4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ

АСС - это система, в которой выходная величина воспроизводит, с определенной точностью, входную величину, характер изменения которой может быть заранее не известен. Обычно это или системы автоматической индикации (радар) или системы автоматического позиционирования.

2.5. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

САЗ - система автоматической защиты рассматривается в специальных курсах. Это системы, которые предназначены как для автоматической защиты электрических систем, так и различных технологических процессов, и устройств.

2.6. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

АС - это самоприспосабливающиеся, самообучающиеся, самоорганизующиеся, самонастраивающиеся и оптимальные системы управления, у которых автоматически изменяется способ функционирования для осуществления наилучшего управления. АС делятся:

- на АС функционального регулирования, например, АС, где управляющее воздействие, является функцией скорости резания;

- на АС предельного (экстремального) управления, когда обеспечивается поддержание (регулирование) предельного минимаксного значения одного или нескольких параметров;

- на АС оптимального регулирования, при котором учитывается совокупность многих факторов и управление производится с помощью определенного критерия оптимальности. Например, обработка с максимальной производительностью должна производиться с наименьшей себестоимостью, а также при наименьших габаритах всей установки и т.п.

В данном курсе будет рассмотрено более подробно САК, так как без нее не обходится ни одна из вышеупомянутых систем управления. Первым элементом САК являются датчики.

2.7 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Система автоматического контроля (САК) аварийных режимов асинхронного короткозамкнутого двигателя

Задание:

1. Составить блок-схему САК аварийных режимов асинхронного короткозамкнутого двигателя на полупроводниковых элементах. Причем предусмотреть САК однофазных (1), двухфазных (2) и трехфазных (3) коротких замыканий (к.з.) в статорной цепи (рисунок 2.2).

2. Привести циклограммы работы устройства.

3. Привести необходимые расчеты R-С цепочки и счетчиков.

4. Привести принципиальные электрические схемы разработанных блоков САК на логических элементах. Отметить расположение датчиков (квадратами).

5. Дать описание работы, разработанных устройств САК

6. Оформить отчет.

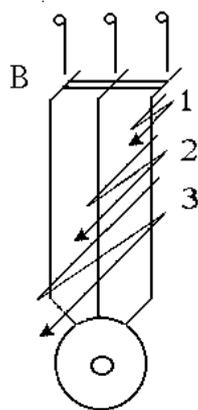


Рисунок 2.2 - Однофазные, двухфазные и трехфазные короткие замыкания

Варианты заданий:

Индекс	Наименование операции	№ варианта			
		1	2	3	4
А	Задержка времени t_1				
	а) способ выполнения	счетчик	R-C	эл.механ	счетчик
	б) длительность (с)	0,1	0,08	0,12	0,9
Б	Задержка времени t_2				
	а) способ выполнения	R-C	счетчик	R-C	эл.механ
	б) длительность (с)	0,05	0,03	0,04	0,025
В	Упреждающий контроль. Способ выполнения по...	I и U	∞	dI/dt	I и U
Г	Допустимая ошибка	10%	6%	7%	3%

Пояснение к выполнению работы

Так как однофазные короткие замыкания обычно самоустраняются и имеют сравнительно небольшие значения токов по отношению к двухфазным и трехфазным к.з., то сигнал об аварии типа однофазного к.з. должен появляться на выходе только по прошествии времени t_1 , необходимого для самоустранения этого к.з. Если самоустранения не происходит, то должен появиться сигнал на выходе. Сигнал на выходе о двухфазном к.з. должен появляться через время $t_2 \ll t_1$, т.к. токи при двухфазном к.з. значительно больше, чем при однофазном к.з., и вследствие этого, если будет большая выдержка времени, то может произойти выход из строя электрооборудования. Здесь выдержка времени минимальная и дается на фильтрацию случайных помех. Сигнал о возникновении трехфазного к.з. должен появляться на выходе САК без какой-либо задержки по времени. Кроме того, в САК для трехфазного к.з. необходимо предусмотреть вариант упреждающего контроля по скорости нарастания тока в статоре при минимальном значении напряжения. Кроме того, необходимо учесть ток в точке к.з., а напряжение в точке к.з. равно нулю.

3. ДАТЧИКИ

Датчики могут различаться: по исполнению - электромеханические, индукционные, фотоэлектрические, тензометрические, гидравлические и т. д.;

- по принципу действия – аналоговые, релейные, импульсные, циклические, пропорциональные, нелинейные, параметрические и генераторные;

- по назначению - позиционные, пути, положению, электрических величин, скорости;

- силовые;

- углового перемещения или рассогласования и т.д.

Но все эти датчики должны оцениваться следующими метрологическими признаками:

1 статической характеристикой - зависимостью изменения выходной величины от входной, то есть $Y_{\text{вых}} = F(X_{\text{вх}})$, в установившемся режиме.

2 чувствительностью - отношением приращения выходной величины к приращению входной величины в статическом режиме - $\Delta Y_{\text{вых}}/\Delta X_{\text{вх}}$, (рисунок 3.1).

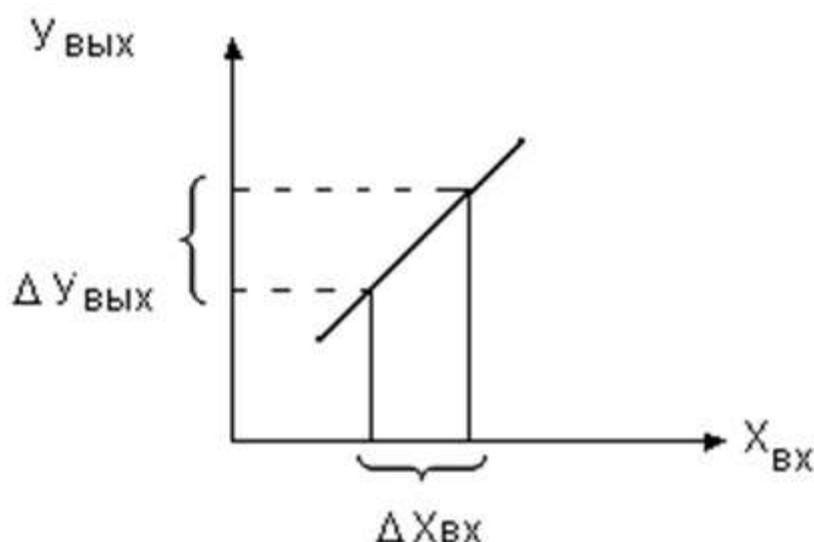


Рисунок 3.1 – Чувствительность датчика

3. Порогом чувствительности - наименьшим значением входной величины $\pm X_{\text{вх min}}$, которая вызывает появление сигнала на выходе; этот параметр связан с зоной нечувствительности, т.е. зоной, в пределах которой при наличии входного сигнала на выходе датчика сигнал отсутствует (рисунок 3.2).

4. Инерционностью (быстродействием) - временем, в течение которого выходная величина принимает новое установившееся значение, соответствующее новому значению входной величины.

5. Классом точности – величиной погрешности.

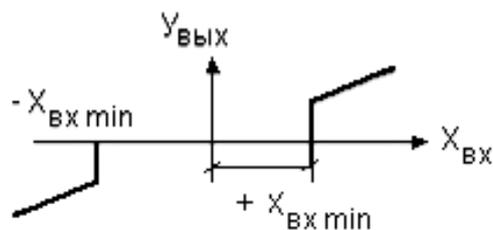


Рисунок 3.2 – Порог чувствительности датчика

Так как датчики рассматриваются как составная часть системы автоматики, то удобнее их классифицировать по назначению, а внутри класса по исполнению и принципу действия.

3.1. ДАТЧИКИ ПУТИ И ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Все эти датчики обеспечивают выработку управляющих сигналов в зависимости от пройденного пути или положения рабочих органов управляемого объекта.

3.1.1. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЕ ДАТЧИКИ

3.1.1.1. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЙ ПУТЕВОЙ ДАТЧИК

К электроконтактным (электромеханическим) путевым датчикам относятся конечные путевые выключатели, электро-переключатели, микропереключатели. На рисунке 3.3 показана конструкция электроконтактного конечного выключателя.

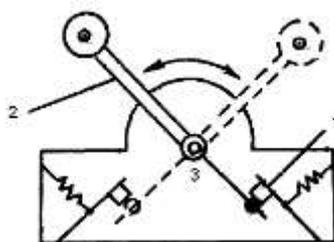


Рисунок 3.3 – Конструкция электроконтактного конечного выключателя

У датчика имеется шток или рычаг (2), который воздействует через механизм передачи 3 на контакты I. Принцип действия большинства таких датчиков основан на том, что их устанавливают на неподвижных частях рабочих органов в определенном положении, а движущиеся рабочие органы, на которых укреплены кулачки, достигнув заданного положения, воздействуют на датчики, вызывая их срабатывание.

3.1.1.2. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЙ РАЗМЕРНЫЙ ДАТЧИК

Электроконтактные дискретные размерные датчики для измерения больших перемещений с высокой точностью (рисунок 3.4) [4] состоят из контактных пластин, по которым перемещаются контактные щетки, выполненные в виде стальных шариков, свободно вращающихся в стальных втулках, с прижимными пружинами.

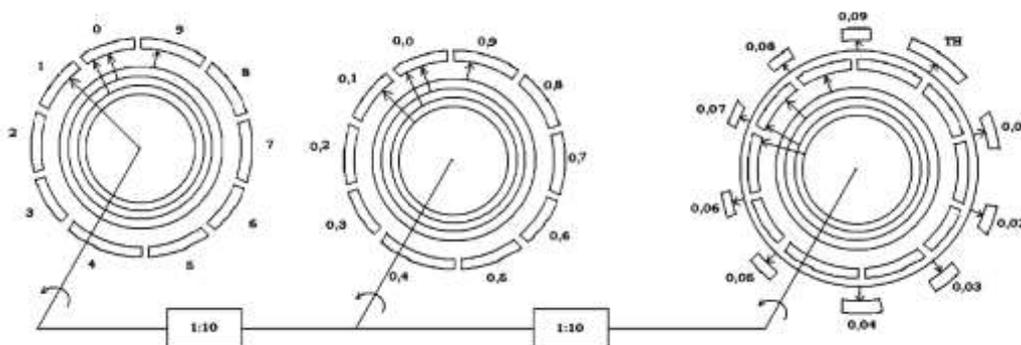


Рисунок 3.4 – Электроконтактные дискретные размерные датчики

Щетки смонтированы на валах, соединенных между собой зубчатой передачей с передаточным отношением 1:10. Для младшего разряда применено 10 щеток, соединенных друг с другом и расположенных на нониусной шкале, что позволяет делить окружность при наличии 10 щеток и контактных пластин на 100 делений (разрешающая способность младшего разряда). Подвод тока младшего разряда производится через сегмент ТН длиной, которая достаточна для обеспечения постоянного контакта щетки с сегментом. Следовательно, щетки первого и второго разряда поворачиваются на доли оборота, 3-го на целые обороты, а четвертого - шестого, соответственно на десятки, сотни, тысячи оборотов.

3.1.2 ИНДУКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ

Индуктивные датчики положения используют изменение индуктивности катушки с подвижным якорем вследствие изменения магнитной проницаемости.

Индуктивные датчики могут использоваться как датчики пути, положения и как размерные.

На рисунке 3.5 показан индуктивный датчик с подвижным якорем I, а на рисунке 3.6 - датчик трансформаторного типа с подвижным сердечником - I, соединенным с измерительным штоком 3. При изменении величины зазора б меняется индуктивное сопротивление соответствующей катушки и изменяется либо выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ (рисунок 3.5) либо наводимое напряжение во вторичной обмотке трансформатора (рисунок 3.6).

Если перемещать якорь I в схеме рисунке 3.5, то воздушный зазор δ будет изменяться, что вызовет изменение индуктивного сопротивления обмотки переменного тока, и выходное напряжение изменится. В схеме 3.6 при условии $\delta_1 = \delta_2$ токи $I_1 = I_2$, выходное напряжение равно $U=U_1-U_2=0$. Если $\delta_1 \neq \delta_2$, то или $I_1 > I_2$ или $I_1 < I_2$, что вызовет появление выходного напряжения, свидетельствующего о направлении перемещения. Таким образом, в индуктивных дифференциальных датчиках трансформаторного типа при изменении положения сердечника (плунжера) меняется взаимоиндукция между первичной и вторичной обмотками, что вызывает во вторичных обмотках изменение индуцированной ЭДС.

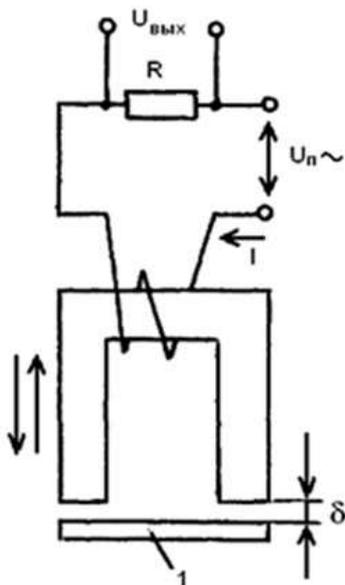


Рисунок 3.5 - Индуктивный датчик с подвижным якорем

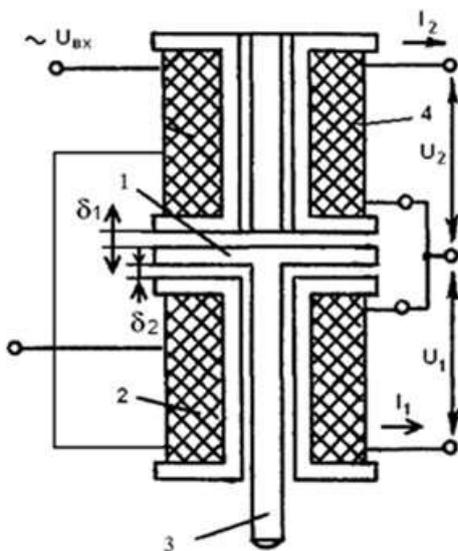


Рисунок 3.6 - Датчик трансформаторного типа с подвижным сердечником

На рисунке 3.7 приведена схема бесконтактного щелевого индуктивного датчика.

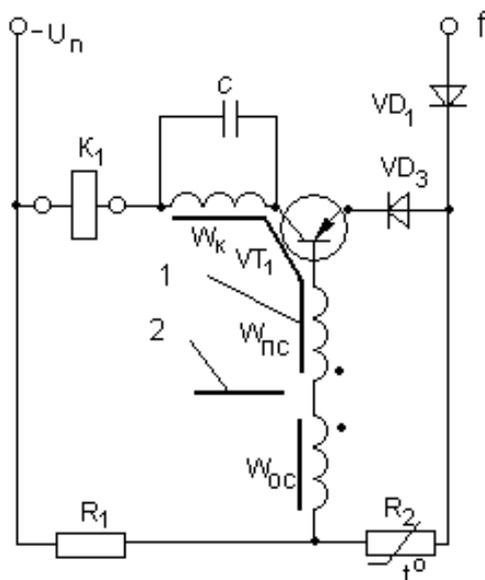


Рисунок 3.7 – Бесконтактный щелевой индуктивный датчик

Бесконтактный щелевой индуктивный датчик (рисунок 3.7) имеет один (но со щелью) ферритовый сердечник 1, с расположенными на нем обмотками. $W_{ос}$, $W_{пс}$, W_k . Сердечник и все элементы датчика, кроме реле K_1 размещены в одном корпусе. На одной части сердечника расположена обмотка W_k и обмотка положительной обратной связи $W_{пс}$ на другой части сердечника обмотка отрицательной обратной связи $W_{ос}$.

Обмотки положительной и отрицательной обратных связей включены навстречу друг другу. Значение коэффициента связи таково, что колебания в контуре $W_k - C$ не возникают.

При введении в зазор алюминиевого экрана 2, который несет на себе движущийся рабочий орган, связь между обмотками W_k и $W_{ос}$ ослабевает и возникает генерация колебаний в контуре $W_k - C$, которая, в свою очередь наводит в обмотке $W_{пс}$ переменную ЭДС, поступающую в цепь базы транзистора, он детектирует переменную составляющую тока базы. Транзистор открывается, вызывая срабатывание реле K_1 .

На рисунке 3.8 показан полупроводниковый датчик на основе магнитоуправляемого диода и его структурная схема, который имеет между анодом и катодом вставку 1, изменяющую сопротивление под влияние магнитного потока. При поднесении к магнитоуправляемому диоду магнита сопротивление вставки 1 увеличивается и магнитоуправляемый диод в прямом направлении «+»-«-» не пропускает ток. Для обратного напряжения (+)-(-) он заперт как обычно (с и без внешнего магнитного потока).

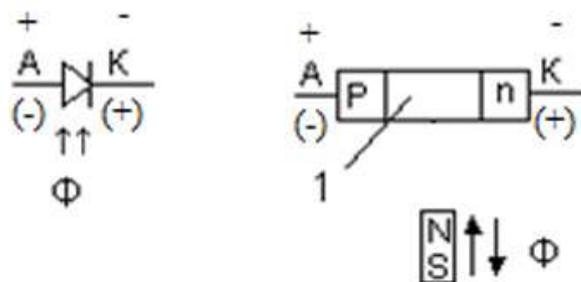


Рисунок 3.8 – Полупроводниковый датчик на основе магнитоуправляемого диода

На рисунке 3.9 показан полупроводниковый магнитоуправляемый датчик на основе магнитоуправляемой микросхемы (МУМС). При приближении электромагнита МУМС выдает сигнал.

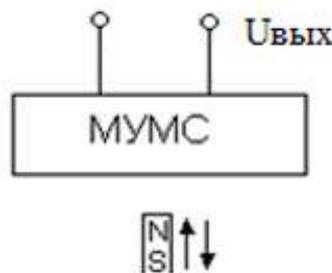


Рисунок 3.9 – Полупроводниковый магнитоуправляемый датчик на основе магнитоуправляемой микросхемы

3.1.3 ФАЗОИМПУЛЬСНЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ДАТЧИКИ

Фазоимпульсный индуктивный размерный датчик, показанный на рисунке 3.10, состоит из: 1, 2, 3 - основного, опорного, тактирующего датчиков, 4 - намагничивающих катушек, 5 - винта с шагом S , 6 - синхронного двигателя, 7 - зубчатой рейки, 8 - вторичной обмотки.

Основной сигнал $E_{ос}$ датчика вырабатывается за счет периодической модуляции магнитного потока Φ , создаваемого намагничивающими катушками 4 в магнитной системе, образованной винтами 5 с шагом S и зубчатой рейкой 7.

Периодическая модуляция потока Φ происходит благодаря периодическому изменению конфигурации зазора между боковой поверхностью винтов и рейкой при непрерывном вращении винта 5, который приводится в движение синхронным двигателем 6.

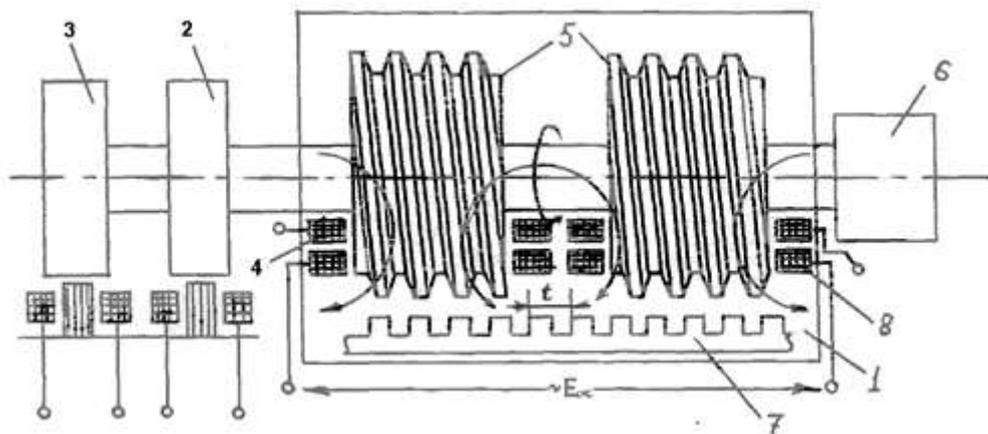


Рисунок 3.10 – Фазоимпульсный индуктивный размерный датчик

При смещении зубчатой рейки 7, которая закреплена на движущемся рабочем органе на расстояние ΔL , основной сигнал смещается во времени на ΔT , и новый сигнал с основного датчика E_{oc} будет идти пунктиром (рисунок 3.11). Для начальной установки основного сигнала и для дальнейшего сравнения служит опорный датчик 2, который вырабатывает сигнал E_o , не зависящий от положения рабочей зубчатой рейки.

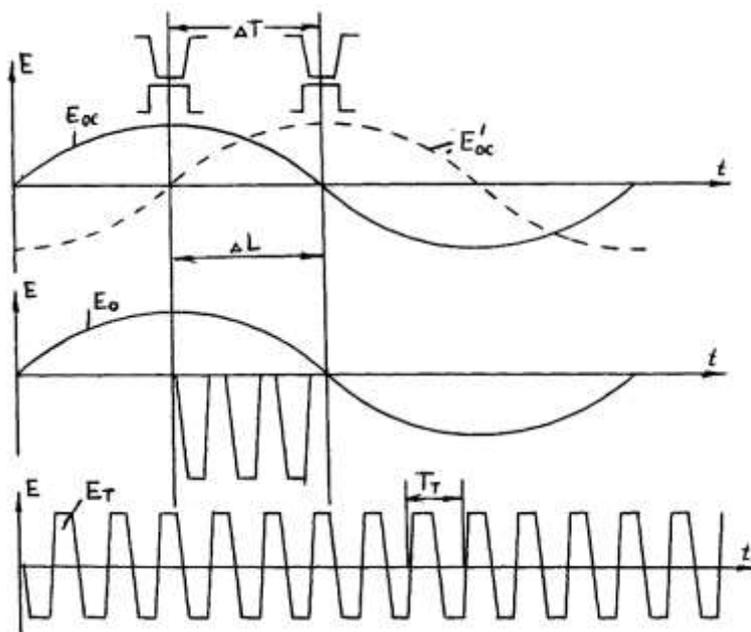


Рисунок 3.11 – Сигналы датчика

Для измерения фазового сдвига основного сигнала E_{oc} относительно опорного E_o служит тактирующий датчик 3. Ротор его укреплен на общей оси; сигнал этого преобразователя (тактирующая ЭДС E_T) имеет период в $50 \div 100$ раз меньше периода основного и опорного сигнала и жестко привязан по времени к опорному сигналу. Учитывая, что полный период изменения E_{oc} соответствует перемещению на один шаг зубчатой рейки, равному 1 мм, то максимальное значение

перемещения, которое может быть зарегистрировано (дискрета) соответствует $n = 1$ мм, поэтому минимальная дискрета $\Delta L = 1 \text{ мм} / 100 = 0,01 \text{ мм}$, где 100-это число полупериодов тактирующего датчика за период опорного датчика.

3.1.4. ВРАЩАЮЩИЕСЯ (ПОВОРОТНЫЕ) ТРАНСФОРМАТОРЫ

На статоре и роторе вращающегося трансформатора (ВТ) размещены по две обмотки, магнитные оси которых взаимно перпендикулярны (рисунок 3.12). Ротор вращающегося трансформатора может поворачиваться на некоторый угол φ , произвольный по отношению к статору, обмотки статора - неподвижны. Принцип действия основан на изменении коэффициентов взаимоиндукции между обмотками статора и ротора при повороте ротора.

В зависимости от схемы включения, выходным сигналом ВТ может быть амплитуда переменного напряжения или угол сдвига фаз между напряжениями. Соответственно этому режим работы ВТ называется или амплитудным, или режимом фазовращателя. Кроме того, различают синус - косинусные ВТ (СКВТ) и линейные ВТ (ЛВТ) у которых зависимость коэффициентов взаимоиндукции от углов поворота ротора носит характер или синусоиды (косинусоиды), или определяется линейной зависимостью коэффициентов взаимоиндукции от «угла» поворота – линейного перемещения.

В амплитудном режиме на одну из статорных или роторных обмоток подается постоянное по амплитуде переменное напряжение (напряжение возбуждения) - рисунок 3.12.

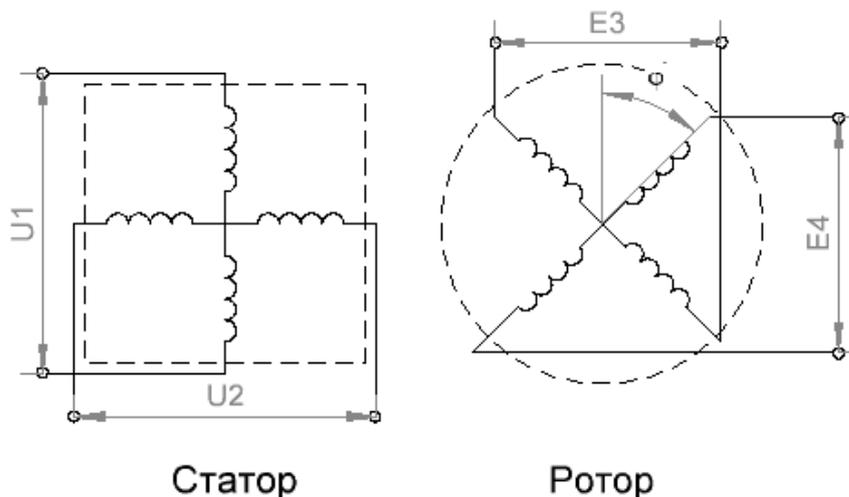


Рисунок 3.12 – Статор и ротор вращающегося трансформатора

При этом возникает пульсирующий магнитный поток, ось которого совпадает с осью обмотки, находящейся под напряжением возбуждения. Этот поток

индуцирует во вторичных обмотках ротора (или статора) ЭДС пропорциональную синусу (для соосной обмотки) или косинусу (для перпендикулярной обмотки) угла поворота. Если на статорные обмотки подать напряжения, или $U_1 = U_{1max} \sin \omega t$, или $U_2 = U_{2max} \cos \omega t$, то наведенная ЭДС в роторных обмотках будет соответственно:

$$\begin{aligned} E_4 &= E_{1max} \sin \omega t \cdot \sin \phi, \\ E_3 &= E_{1max} \sin \omega t \cdot \cos \phi, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} E_4 &= E_{2max} \cos \omega t \cdot \cos \phi, \\ E_3 &= E_{2max} \cos \omega t \cdot \sin \phi, \end{aligned}$$

где E_3 и E_4 – снимаемые значения ЭДС;

E_{1max} и E_{2max} - максимальные значения наводимых ЭДС при совпадении оси обмотки возбуждения с осью вторичной обмотки и при коэффициентах трансформации равных единице. При разных коэффициентах трансформации.

$$\begin{aligned} E_{1max} &= K_1 \cdot U_{1max}, \\ E_{2max} &= K_2 \cdot U_{2max}, \end{aligned}$$

где K_1 и K_2 - коэффициент трансформации между обмотками статора и ротора, соответственно.

При использовании СКВТ в режиме фазовращения, статорные обмотки (обе) включают в систему двух питающих напряжений со сдвигом фаз 90 эл. град. (рисунок 3.13):

$$\begin{aligned} U_1 &= U_{1max} \sin \omega t, \\ U_2 &= U_{2max} \cos \omega t. \end{aligned}$$

Благодаря этому, возникает магнитное поле, которое перемещается в пространстве с частотой ω при этом в роторных обмотках СКВТ индуцируется та же частота, но сдвинутая по фазе относительно питающего напряжения на угол, который зависит от угла ϕ поворота ротора СКВТ; тогда:

$$\begin{aligned} E_4 &= E_{1max} \sin \omega t \cdot \sin \phi + E_{2max} \cos \omega t \cdot \cos \phi, \\ E_3 &= E_{1max} \sin \omega t \cdot \cos \phi + E_{2max} \cos \omega t \cdot \sin \phi. \end{aligned}$$

При $E_{1max} = E_{2max}$ можно записать:

$$\begin{aligned} E_4 &= E_{1max} \cos(\omega t - \phi), \\ E_3 &= E_{1max} \sin(\omega t + \phi), \end{aligned}$$

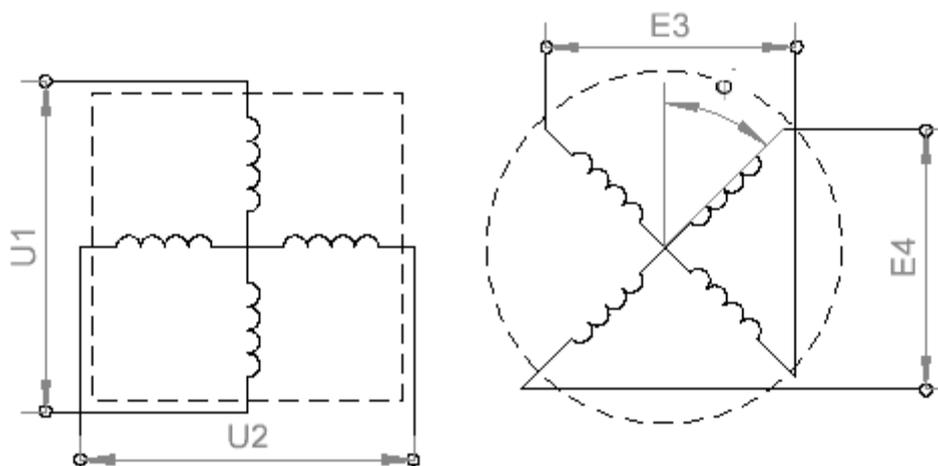


Рисунок 3.13 - использовании СКВТ в режиме фазовращения

Таким образом, ЭДС, индуцируемая в роторе сдвинута по фазе; это позволяет использовать СКВТ, работающий в режиме непрерывного вращения в качестве измерителя рассогласования в фазоимпульсных измерительных системах программного управления.

3.1.5. ЛИНЕЙНЫЙ ИНДУКТОСИН

Линейный индуктосин – это линейный СКВТ, это циклическое аналоговое устройство для прямого измерения линейных перемещений. Он состоит из линейной шкалы 1 и ползуна. 2 (рисунок 3.14).

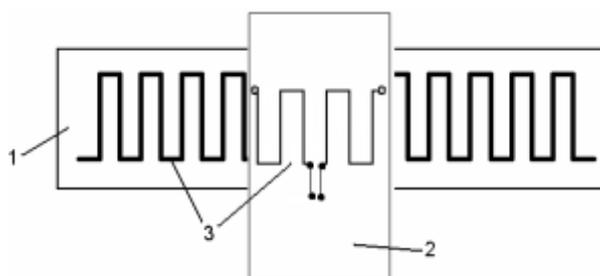


Рисунок 3.14 - Линейный индуктосин

Измерительная шкала 1 укреплена на неподвижной части и представляет собой стальную линейку, на которую фотоспособом нанесена зигзагообразная обмотка 3 с шагом 2 мм. Ползун 2, укрепленный на подвижной части, является якорем и состоит из двух таких же зигзагообразных обмоток, но более коротких, сдвинутых друг относительно друга на 1/4 шага (рисунок 3.15).

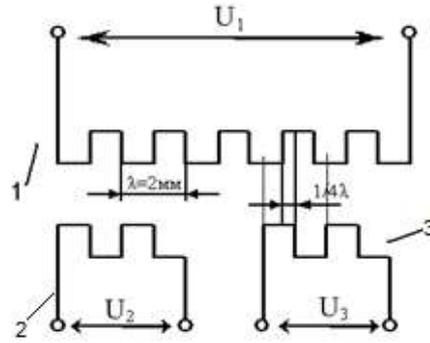


Рисунок 3.15 – Измерительная шкала и ползун

При подаче на статор переменного напряжения на выходе обмоток якоря индуцируется сигнал, изменяющийся по синусоидальному закону и при сдвиге ползунка относительно шкалы 1, амплитуда синусоидального напряжения будет меняться. Это будет амплитудный режим, здесь (рисунок 3.15) на вход 1 подается

$$U_1 = U_{1max} \sin \omega t.$$

На выходе 2 будет

$$E_2 = E_{2max} \sin \omega t \cdot \sin \varphi,$$

а на выходе 3 будет

$$E_3 = E_{3max} \sin \omega t \cdot \cos \varphi.$$

В фазовом режиме на 2 и 3 подается (рисунок 3.15) соответственно

$$U_2 = U_{2max} \sin \omega t,$$

$$U_3 = U_{3max} \cos \omega t,$$

тогда

$$E_1 = E_{1max} \cos(\omega t - \varphi).$$

Если на 2 и 3 подается

$$U_2 = U_{2max} \cos \omega t,$$

$$U_3 = U_{3max} \sin \omega t,$$

то

$$E_1 = E_{1max} \sin(\omega t + \varphi).$$

Для повышения точности преобразования применяют ВТ с электрической редуцией. Принцип электрической редуции заключается в том, что за малый

угол поворота ротора амплитуда или фаза выходного напряжения изменяется на один период, т.к. подходит следующая пара (полюсов) обмоток. При повороте ротора на 360° число периодов равно коэффициенту электрической редукции. Наибольшее распространение среди ВТ с электрической редукцией получили индукционные редуктосины и индуктосины.

Тогда, в общем случае:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{1max} \cos(\omega t - p\varphi), \\ E_2 &= E_{2max} \sin(\omega t + p\varphi), \end{aligned}$$

где φ - угол поворота кругового индуктосина, и φ - перемещение индуктосина в пространстве для линейного индуктосина, в этом случае, данный угол определится как:

$$\varphi = \frac{360X}{\lambda},$$

где X – величина перемещения ползуна линейного индуктосина пределах периода,

λ – период обмотки (шаг обмотки статора),

а для кругового индуктосина φ определяется как угол поворота;

p - число пар полюсов, для кругового индуктосина, а для линейного индуктосина $p = 1$, если на ползуне обмотка с тем же шагом λ , если шаг меньше, то $p > 1$.

Линейный индуктосин не имеет специальной ферромагнитной системы, поэтому для увеличения выходного сигнала частота питания принимается равной нескольким килогерцам. С индуктосином может непосредственно работать большинство микропроцессорных УЧПУ.

3.1.6. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Фотоэлектрические датчики по сравнению с индуктивными являются импульсными (дискретными), а не аналоговыми (непрерывными), поэтому могут обеспечивать большую точность и лучше согласуются с системами УЧПУ. Эти датчики позволяют получить информацию о величине и направлении перемещения. Величина перемещения определяется числом импульсов, направление - сдвигом фаз. Фотоэлектрический размерный датчик, показанный на рисунке 3.16 работает как обычное фотореле, устанавливаемое на рабочих органах в определенном положении.

Размерный датчик состоит из диска, который жестко с помощью червячной передачи соединен с ДРО (движущийся рабочий орган). На диске нанесены прорези (штрихи) с определенным шагом s .

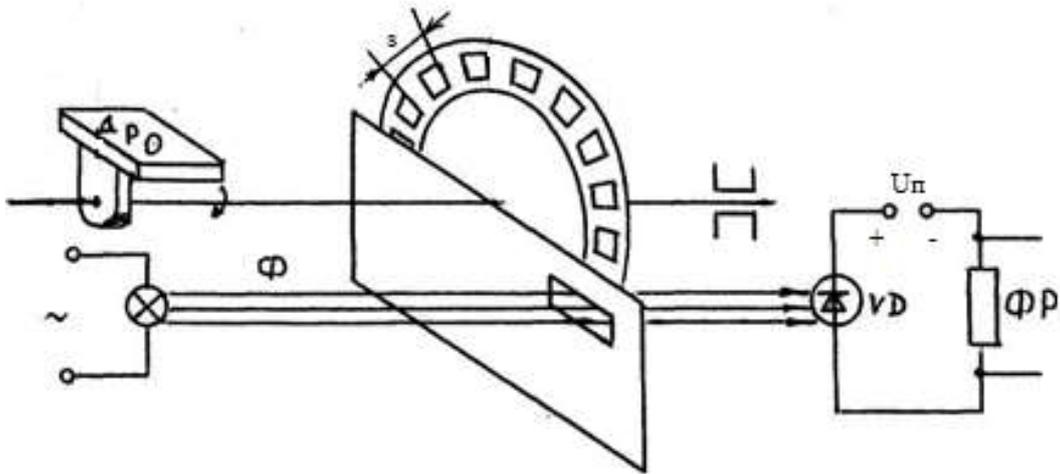


Рисунок 3.16 - Фотоэлектрический размерный датчик

При движении рабочего органа диск вращается и штрихи (прорези) на диске пропускают световой поток Φ , вызывая срабатывание фотодиода-фото-реле. Измеренное перемещение

$$\Delta L = \frac{ns}{N},$$

где n – число срабатываний реле,

s – шаг винта ДРО,

N – число отверстий (прорезей) на диске.

Направление движения ДРО можно определить с помощью схемы на логических элементах и второй дорожки с прорезями.

3.2. ДАТЧИКИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ФАЗ

Эти датчики создают управляющий сигнал в зависимости от углового положения или угла рассогласования между рабочими органами и фазами.

3.2.1. ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК

Потенциометрический датчик состоит из потенциометров П1 и П2 (рисунок 3.17), которые подключены параллельно к общему источнику питания $U_{п.}$ Подвижные контакты К1 и К2, соответственно, соединены механически с задающим (ЗРО) и исполнительным (ИРО) рабочими органами, напряжение, снимаемое с подвижных контактов потенциометров, является напряжением выходного сигнала $U_{вых.}$

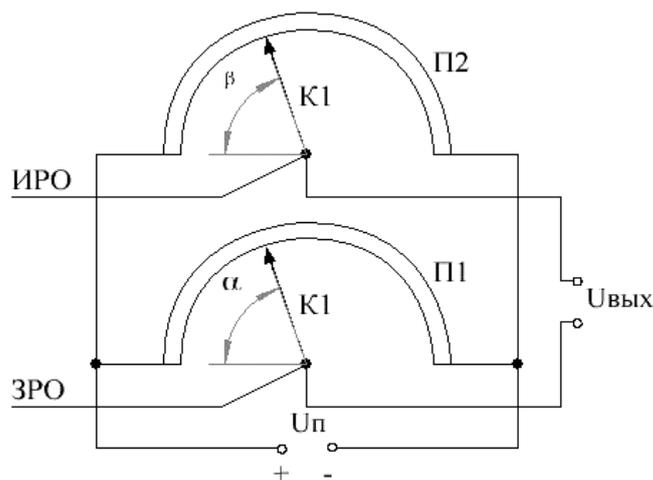


Рисунок 3.17 - Потенциометрический датчик

При согласованном положении рабочих органов, когда $\alpha = \beta$, напряжение $U_{\text{вых}} = 0$. При $\alpha \neq \beta$, $U_{\text{вых}} \neq 0$, причем сигнал $U_{\text{вых}}$ пропорционален углу рассогласования ($\alpha - \beta$), а знак сигнала определяет направление рассогласования.

3.2.2. СЕЛЬСИНЫ

Сельсины – датчики угла, это трансформаторы с воздушным зазором, и вращающейся вторичной обмоткой, у которых при угловом перемещении ротора происходит плавное изменение величины ЭДС, наведенной в обмотках ротора. Обычно сельсины работают в паре: СД - сельсин-датчик и СП - сельсин-приемник. На статоре расположена одна обмотка, на роторе - три, сдвинутые друг относительно друга в пространстве на 120 градусов и соединенные в звезду. Концы обмоток выведены на три контактных кольца, расположенных на валу ротора.

Различают два режима работы сельсинов. В том случае, когда пару сельсинов применяют для дистанционной передачи механических угловых перемещений режим работы называют индикаторным. В этом случае первичные однофазные обмотки обоих сельсинов подключают к сети однофазного переменного тока (рисунок 3.18), а вторичные, соединяют между собой соответственно. При одинаковом положении роторов сельсинов относительно статоров, в обмотках роторов ток не протекает.

Если СД повернут на некоторый угол α , то ЭДС у СД теперь будет определяться как $E_1 \sin \alpha$, а у СП ЭДС останется прежней, поэтому между роторными обмотками СД и СП потечёт уравнивающий ток. Взаимодействие токов ротора с потоками статоров вызовут моменты, которые будут стремиться повернуть роторы так, чтобы уменьшить рассогласование. Так как ротор СД повернут и закреплен, то он останется в прежнем, повернутом на угол α положении, а ротор СП повернется таким образом, чтобы восстановилось равновесие, то есть повернется тоже на угол α .

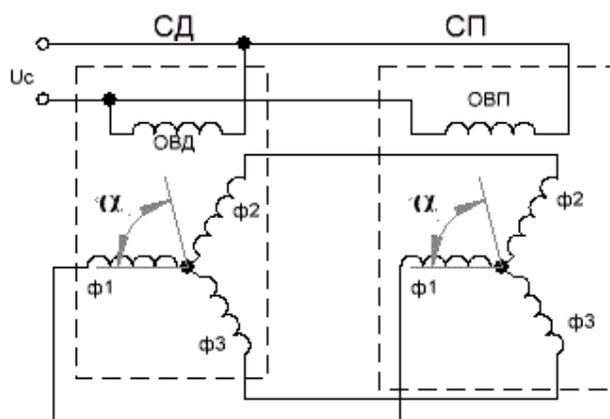


Рисунок 3.18 - Индикаторный режим работы сельсинов

Второй режим работы сельсинов - трансформаторный. В этом случае к сети переменного тока подключается только одна обмотка статора - а именно СД (рисунок 3.19), а со статорной обмотки СП снимается выходной сигнал $U_{\text{вых}}$, пропорциональный углу рассогласования роторов сельсинной пары. В трансформаторном режиме ротор СД может вращаться свободно, в зависимости от положения контролируемого объекта, а ротор СП закреплен неподвижно. Поэтому при изменении угла α СД на выходе СП появится напряжение отличное от первоначального.

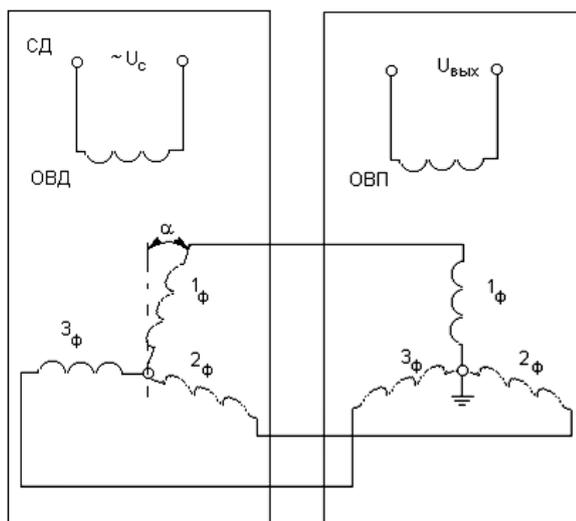


Рисунок 3.19 – Трансформаторный режим работы сельсинов

Использование сельсина в качестве аналогового датчика имеет ограниченные возможности в отношении точности. Практически измеряемый диапазон углов рассогласования - это плюс - минус 60 град. Если требуется измерить большие углы, то сельсины соединяются с рабочим валом через понижающий редуктор при этом точность измерения снижается.

3.2.3. ДИСКРЕТНЫЕ ДАТЧИКИ УГЛА

Эти датчики служат для измерения углов в больших диапазонах и с высокой точностью. Их функциональной выходной величиной является число, представленное в двоичной системе счисления с помощью электрических дискретных сигналов. Необходимая точность достигается соответствующим числом разрядов датчика.

3.2.3.1. КОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК УГЛА С КОДОВЫМ БАРАБАНОМ

Простейший цифровой датчик угла - контактный, с кодовым барабаном или кодовым диском представлен на рисунок 3.20.

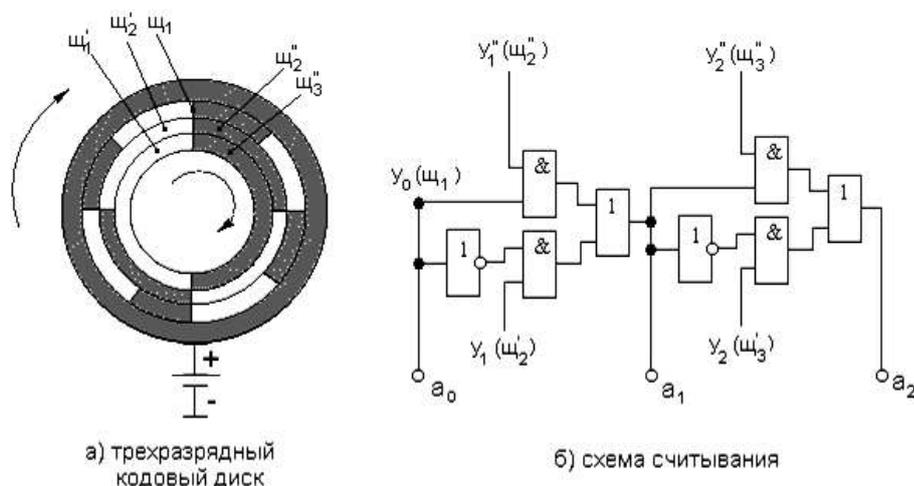


Рисунок 3.20 - Простейший контактный цифровой датчик угла

Кодовый диск жестко соединен с валом, угол поворота которого подлежит преобразованию в код. Кодовый рисунок диска состоит из концентрических колец (дорожек), каждое из которых имеет чередующиеся электрически проводящие (затененные) и непроводящие участки (рисунок 3.20, а). Кольцо с наименьшим радиусом, имеющее два участка, относится к старшему разряду выходного числа, а кольцо с наибольшим радиусом - к младшему разряду. В каждом последующем от центра кольце число участков удваивается, что соответствует в двоичном коде переходу от одного разряда к другому. К токопроводящим участкам подводится напряжение через внешнее кольцо.

Считывание осуществляется с помощью токосъемных щёток; если щётка на проводящем участке, то это 1, на непроводящем - 0.

На границе смены участков из-за конечной ширины щеток и их неточной установки по одной прямой появляется неоднозначность считывания, приводящая к ложным значениям выходной величины датчика. Для устранения этого,

применяют для каждого разряда (кроме младшего) две щетки, симметрично раздвинутые относительно прямой считывания. Выбор щетки для считывания выполняет логическая схема (рисунок 3.20 б) в зависимости от цифры предыдущего младшего разряда. При нулевом сигнале на щётке Щ1 ($y_0 = a_0 = 0$), считывание осуществляется с опережающей щетки Щ2¹, а при единичном сигнале ($a_0=1$)-с отстающей щетки Щ2". Аналогично выполняется считывание и на последующих разрядах в соответствии с алгоритмом

$$a_{i+1} = a_i y_{i+1} + \bar{a}_i y'_{i+1},$$

где a_i - значение предыдущего разряда.

Схема, реализующая этот алгоритм, приведена на рисунок 3.20, б. Любому углу поворота кодового диска в пределах 360° однозначно соответствует определенное сочетание единиц и нулей в выходных каналах датчика, т.е. определенный числовой эквивалент. При повороте трехдорожного кодового диска на 360° выходная величина изменяется от 000 до 111 что в десятичной системе означает изменение числа от 0 до 7 (рисунок 3.21). В пределах интервала дискретности, $\Delta\theta_0=360^\circ/2^n$, где n - интервал дискретности (в нашем случае $n = 3$). Датчик имеет «мертвую зону», т.е. не реагирует на изменение входной величины, и его характеристика управления приобретает ступенчатый вид (рисунок 3.22), и погрешность δ , вызванная дискретностью $\delta = \pm \Delta\theta/2$, тем меньше, чем больше число разрядов n в датчике. Так как на одном кодовом диске трудно реализовать число разрядов более 3-4-х, то для повышения точности датчика применяют несколько кодовых дисков, соединенных с входным валом через редуктор и поворачивающихся с различными скоростями. Контактная система съёма сигнала и погрешность измерительных редукторов лимитируют точностные показатели датчика.

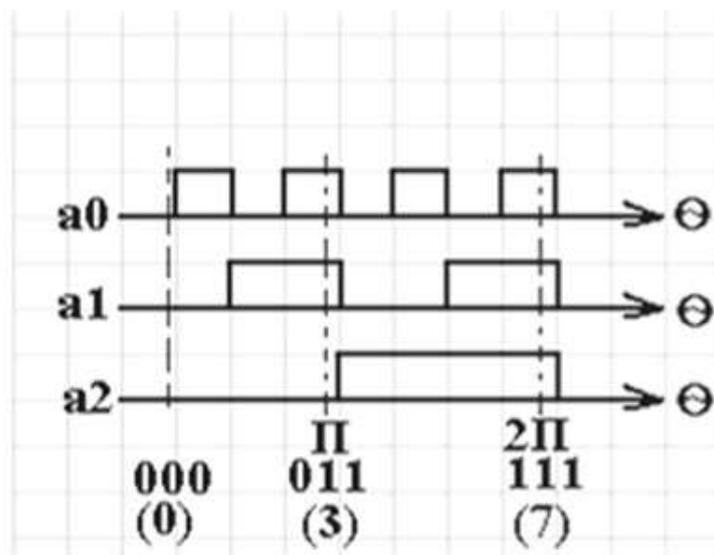


Рисунок 3.21 - Поворот трехдорожного кодового диска на 360°

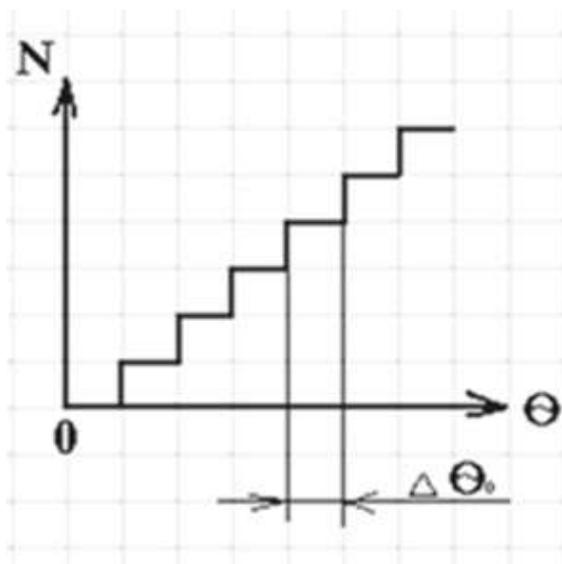


Рисунок 3.22 - Ступенчатый вид характеристики датчика

Точный отсчёт можно выполнить с помощью цифрового датчика угла, в котором основным преобразовательным элементом служит многополюсный СКВТ - индуктосин.

3.2.3.2. ЦИФРОВОЙ ДАТЧИК УГЛА С ИНДУКТОСИНОМ

Цифровой датчик угла с СКВТ, работающий в фазовом режиме (с индуктосином), показан на рисунок 3.23.

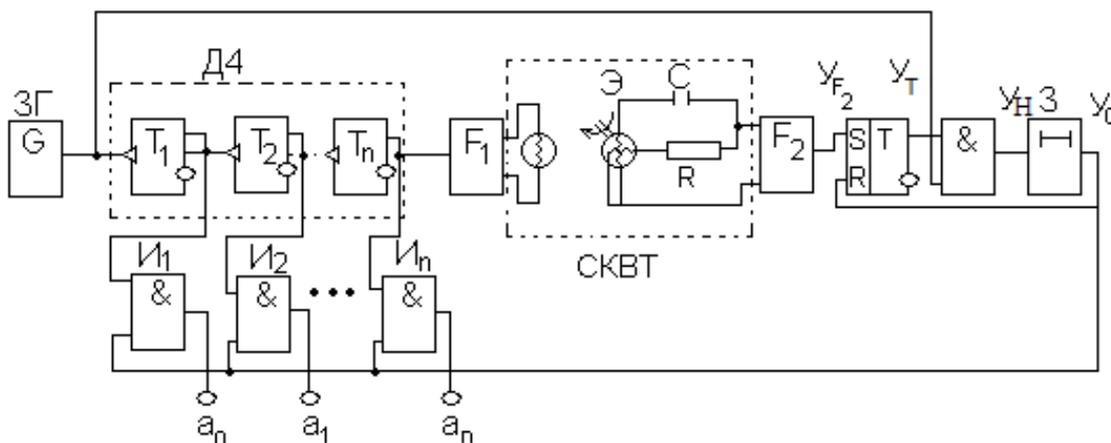


Рисунок 3.23 - Цифровой датчик угла с СКВТ

Ротор индуктосина (ИС), имеющий двухфазную обмотку, жестко (без редуктора) соединен с исполнительным валом. Неподвижный статор имеет однофазную обмотку. Разрешающая способность датчика угла при одном и том же числе разрядов повышается с увеличением числа пар полюсов P индуктосина, т.е.

$$\Delta\theta_0 = \frac{\theta_{max}}{2^n} = \frac{360}{P \cdot 2^n}$$

Рассмотрим работу схемы, представленной на рисунке 3.23 с помощью диаграмм, рисунок 3.24. (диаграммы несколько гипертрофированы для полного понятия принципа работы цифрового датчика угла).

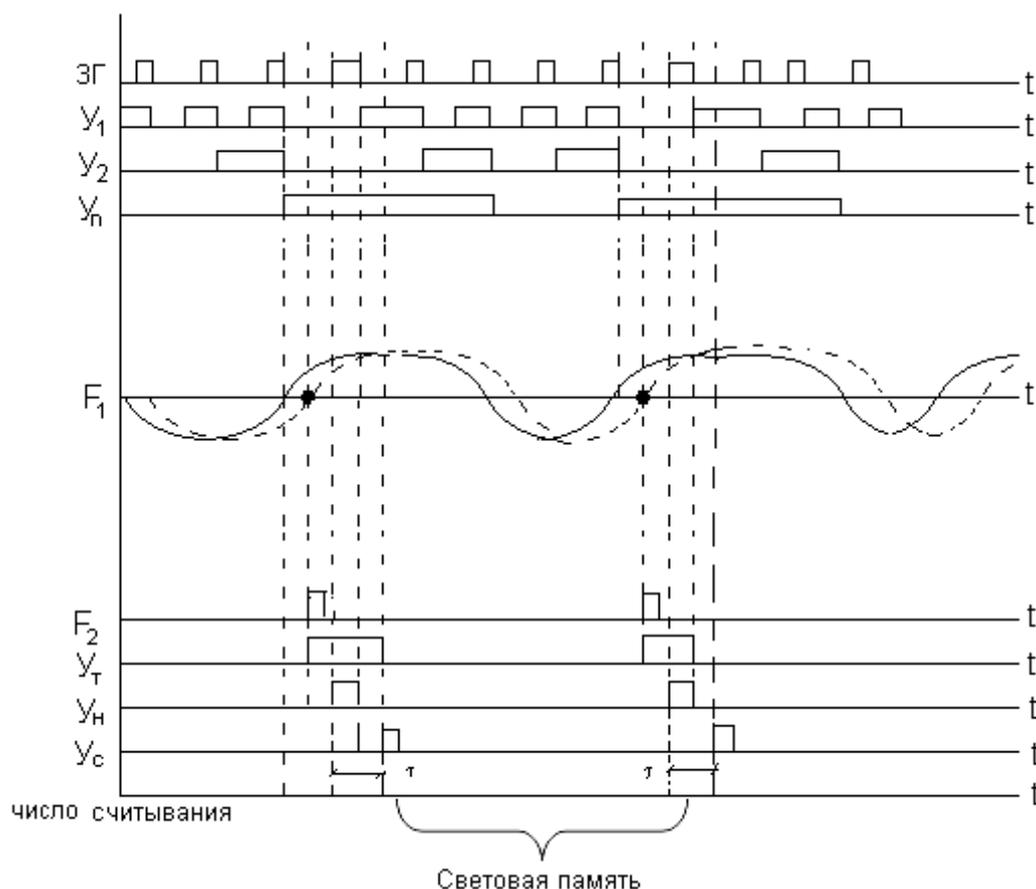


Рисунок 3.24 – Диаграммы работы цифрового датчика угла с СКВТ

Задающий генератор ЗГ вырабатывает импульсы неизменной частоты $f_{зг}$, которые поступают на триггерный n-разрядный счетчик - делитель частоты -ДЧ. Каждый триггер, работающий по заднему фронту поступающего сигнала, делит входную частоту пополам. Выходной сигнал последнего триггера T_n , имеющий форму прямоугольных колебаний с частотой $f_n = f_{зг}/2^n$ преобразуется формирователем F_1 в синусоидальную форму.

Выходное синусоидальное напряжение индуктосина (СКВТ) с фазой, пропорциональной углу, поворота вала подается на формирователь F_2 (блокинг-генератор), выдающий импульсы в момент перехода напряжения СКВТ через 0 от отрицательного значения к положительному. С помощью R-S триггера Т, элемента «И» и элемента задержки З считывающий импульс Y_c синхронизируется с импульсами ЗГ и задерживается на τ – время около полпериода $f_{зг}$. В результате этого, при вращении ротора индуктосина считывающий импульс, подаваемый на

вторые входы элементов совпадений $I_1 - I_n$, измеряет фазу скачкообразно на $\Delta\theta_0$, располагаясь в средних положениях между импульсами 3Γ и держится за счет световой памяти до следующего измерения. Этим достигается исключение неоднозначности считывания, таким образом, считывающий импульс никогда не попадает на фронты переключения триггеров $T_1 - T_n$. Моменты срабатывания элементов и считывания отмечены вертикальными штрихпунктирными линиями. Частота считывания равна частоте старшего разряда счетчика, т.е. $f_{сч} = f_n = f_{3\Gamma}/2^n$. Таким образом, чем более точный счетчик, тем он будет менее быстродействующим, и период считывания будет увеличен.

Двоичное n -разрядное число $A_n = a_{n-1} \dots a_0$, определяющее угол поворота индуктосина (θ), выделяется в моменты считывания на выходах элементов $I_1 - I_i$. Изменение скорости показания цифрового датчика угла происходит дискретно, на единицу младшего разряда через интервал времени Δt_0 , который обратно пропорционален скорости поворота индуктосина $d\theta/dt$, тогда

$$\Delta t_0 = \Delta\theta / \frac{d\theta}{dt}$$

Из двух цифровых датчиков угла может быть составлен цифровой датчик рассогласования.

3.2.4. ДАТЧИК ЧЕРЕДОВАНИЯ ФАЗ

При наладке систем управления ЧПУ и систем автоматизированного электропривода очень часто необходимо определять порядок чередования фаз или питающего напряжения, или порядок поступающих нескольких сигналов. Это можно сделать для определения порядка трех фаз используя датчик, функциональная схема которого показана на рисунке 3.25.

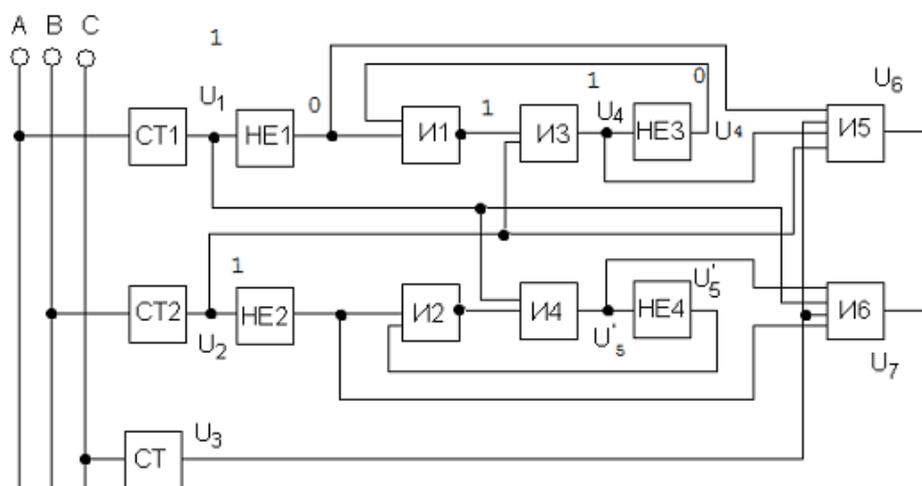


Рисунок 3.25 - Функциональная схема датчика чередования фаз

Датчик содержит три преобразователя со стабилитронами СТ1 ÷ СТ3, подключенных к трем фазам питающей сети, преобразующих положительную полуволну синусоидального напряжения в серию прямоугольных импульсов (рисунок 3.26). Датчик работает следующим образом. На входы СТ1, СТ2, СТ3 поступает напряжения А – В – С, соответственно, с выходов которых подаются серии импульсов длительностью 1/2 Т и периодом повторения Т.

Серия импульсов U_1 поступает на логические элементы НЕ1, И6, И4. С выхода элемента НЕ1 сигналы поступают на элемент И5 и на элемент И1 (И–НЕ), с выхода которого сигнал поступает на элемент И3. На второй вход элемента И3 поступает сигнал U_2 . На выходе элемента И3 будет единичный сигнал U_4 тогда, когда одновременно U_1 и U_2 равны единице (рис. 3.26, а). С выхода элемента И3 сигнал U_4 поступает на вход элемента НЕ3. С этого момента с выхода элемента НЕ3 начинает поступать нулевой сигнал на второй вход элемента И1, поэтому, хотя входной сигнал U_1 в момент времени t_2 пропадает, элемент И1 все равно выдает на выходе единицу. Вследствие этого элемент И3 будет на выходе выдавать единицу (U_4) – до тех пор, пока будет на втором его входе напряжение U_2 равно единице. Это напряжение U_4 наряду с другими $\overline{U_1}$, U_2 и U_3 поступает на вход элемента И5, который выдает на выходе И5 единицу (U_6) тогда, когда есть одновременно, U_4 , $\overline{U_1}$, U_2 , U_3 , т.е. они будут одновременно равны единице. Это произойдет в момент времени t_3 , и будет продолжаться до момента t_4 .

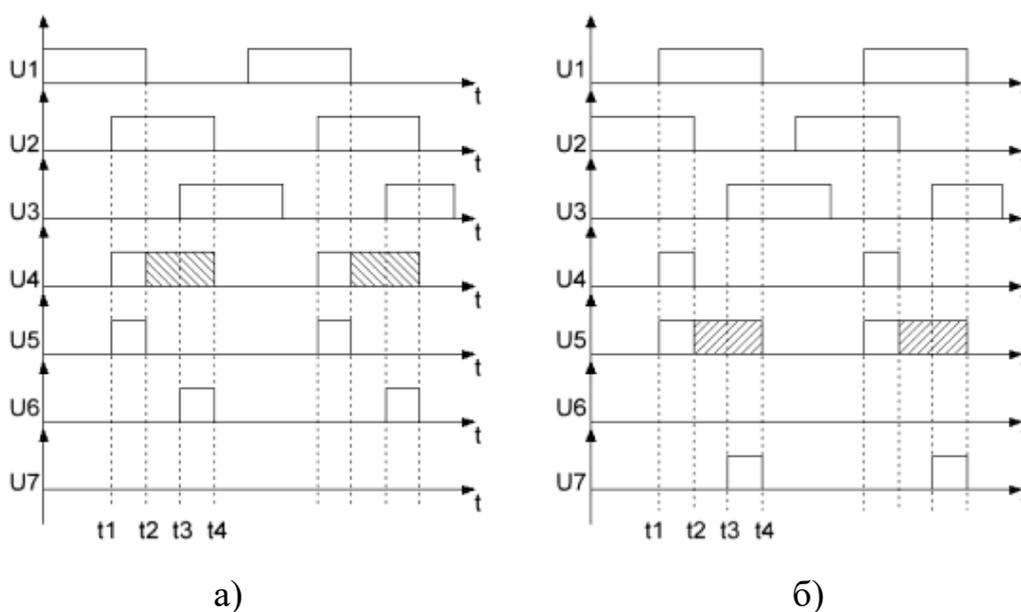


Рисунок 3.26 – Диаграммы поясняющие принцип работы датчика чередования фаз

Таким образом,

$$U_4 = U_2(U_1 + U_4), \quad U_6 = U_4 \overline{U_1} U_2 U_3$$

На элементе И6, на который подаются сигналы U_1 , $\overline{U_2}$, U_5 , и U_3 такой ситуации, когда все четыре сигнала одновременно равны единице при последовательности напряжения «А–В–С» не наступает, поэтому сигнал U_7 отсутствует, а на выходе элемента И5 идет пульсирующий единичный сигнал U_6 .

Аналогичным образом работает второй канал датчика (рисунок 3.26, б).

С выхода, которого на элементе И6 появится пульсирующий сигнал U_7 только в случае, когда последовательность фаз сетевого напряжения будет «В–А–С», а на выходе элемента И5 в это время будет нулевой сигнал ($U_6 = 0$) т.е. неправильное чередование фаз.

Если при включении датчика на его выходах будут отсутствовать (присутствовать) оба сигнала U_6 и U_7 , то это говорит или об обрыве одной из фаз силовой части, или о неисправности самого датчика.

3.3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Датчик направления вращения и чередования фаз

Известно, что от порядка следования фаз зависит нормальная работа технологического оборудования и электродвигателей, а также направление вращения последних, поэтому контроль чередования фаз весьма актуален.

Задание:

1. Разработать датчик направления вращения магнитного поля статора многофазного асинхронного или синхронно-шагового двигателя в последовательности, заданной преподавателем (по вариантам). При этом датчик должен выдавать сигнал: о наличии напряжения на всех фазах; об обрыве одной из фаз; а также контролировать неисправность в самом датчике.

2. Датчик необходимо выполнить на логических элементах.

3. Привести циклограмму работы датчика при исправном вращении поля статора и неисправном вращении поля статора.

4. Привести алгебрологическую формулу, описывающую работу датчика.

5. Привести: а) структурную схему датчика; б) принципиальную электрическую схему разработанного датчика с учетом базиса ЛЭ; в) монтажную схему; г) печатную плату.

6. Составить таблицу диагностики и самодиагностики разработанного устройства. Дать карту комментариев неисправности.

7. Дать описание работы разработанного устройства.

8. Оформить отчет.

Пояснение к выполнению задания:

Часто необходимо в станках с числовым программным управлением (ЧПУ) определять порядок следования фаз питающего напряжения. От этого зависит: или направление вращения двигателя, или четкая работа систем управления по-

лупроводниковыми приборами (транзисторных и тиристорных преобразователей, выпрямителей), так и четкая последовательность в чередовании управляющих импульсов для систем управления технологическим процессами, или работы синхронно-шагового двигателя. Это можно сделать с помощью датчика чередования фаз, выполненного не на сложной схеме с применением счетчиков, триггеров и регистров, а в виде простой и компактной схемы, выполненной только на логических элементах.

Варианты задания:

Индекс	Наименование операции	№ варианта			
		1	2	3	4
А	Порядок чередования фаз	abcd	baecd	acdb	cdeaf
Б	Тип логических элементов	И-НЕ	ИЛИ-НЕ	И-НЕ	ИЛИ-НЕ
	Базис логических элементов	К155	К176	К565	К565
В	Число входов на ЛЭ	2	2	3	4
Г	Выходной сигнал о неисправности	звук	звук.	светозвук	светов.
	Характер выходного сигнала	прерыв.	прерыв.	прерыв.	прерыв.

Пример схемы для определения правильного чередования фаз АВС в трёхфазной системе представлен на рисунке 3.27.

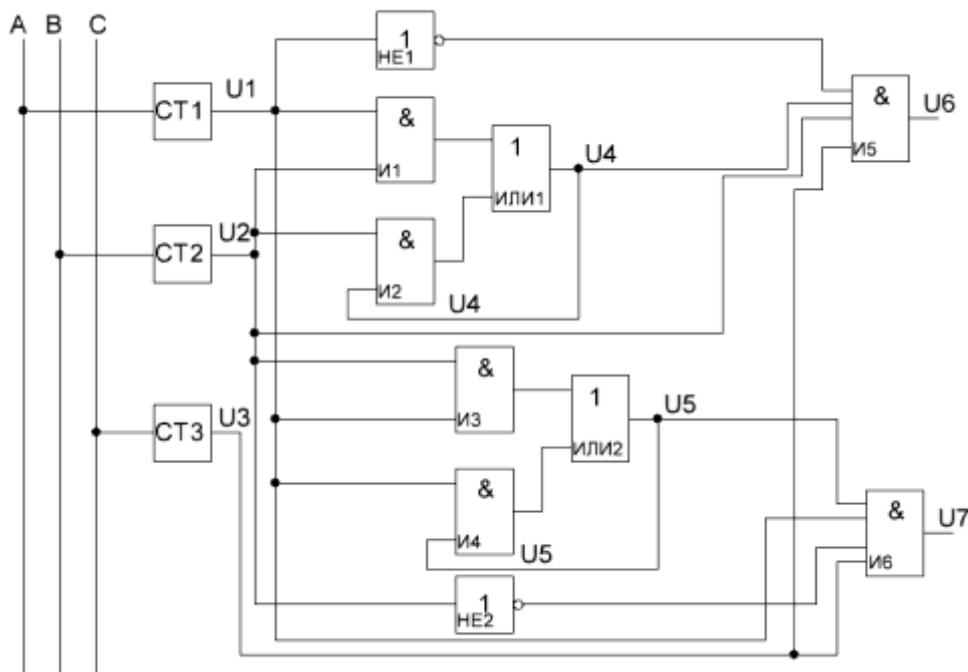


Рисунок 3.27 - Пример схемы для определения правильного чередования фаз

Датчик содержит три преобразователя со стабилитронами СТ1 ÷ СТ3, подключенных к трем фазам питающей сети, преобразующих положительную полуволну синусоидального напряжения в серию прямоугольных импульсов (рисунок 3.28). Датчик работает следующим образом. На входы СТ1, СТ2, СТ3 поступает напряжения А – В – С, соответственно, с выходов которых подаются серии импульсов длительностью 1/2 Т и периодом повторения Т (рисунок 3.28 а, б).

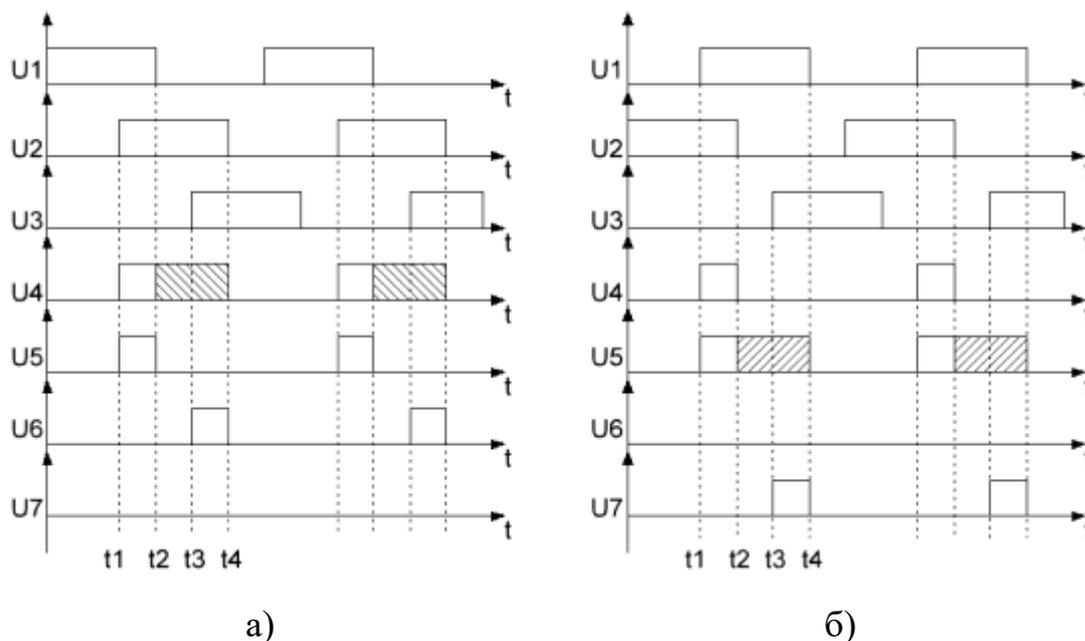


Рисунок 3.28 – Диаграммы работы датчика

Серия импульсов U_1 поступает на логические элементы НЕ1, И1, И2, И3, И4. С выхода элемента НЕ1 сигналы поступают на элемент И5. С выхода элемента И1 сигнал поступает на элемент ИЛИ1, с выхода которого сигнал поступает на элемент И5 и И2. На второй вход элемента И1 поступает сигнал U_2 . На выходе элемента ИЛИ1 будет единичный сигнал U_4 тогда, когда одновременно U_1 и U_2 равны единице (рис. 3а). Вследствие этого элемент ИЛИ1 будет на выходе выдавать единицу (U_4) – до тех пор, пока будет на втором его входе напряжение U_2 равно единице. Это напряжение U_4 наряду с другими $\overline{U_1}$, U_2 и U_3 поступает на вход элемента И5, который выдает на выходе И5 единицу (U_6) тогда, когда есть одновременно, U_4 , $\overline{U_1}$, U_2 , U_3 , т.е. они будут одновременно равны единице. Это произойдет в момент времени t_3 , и будет продолжаться до момента t_4 .

Таким образом,

$$U_4 = U_2(U_1 + U_4), \quad U_6 = U_4 \overline{U_1} U_2 U_3$$

На элементе И6, на который подаются сигналы U_1 , $\overline{U_2}$, U_5 , и U_3 такой ситуации, когда все четыре сигнала одновременно равны единице при последовательности напряжения «А–В–С» не наступает, поэтому сигнал U_7 отсутствует, а на выходе элемента И5 идет пульсирующий единичный сигнал U_6 .

Аналогичным образом работает второй канал датчика (рисунок 3.28 б).

С выхода, которого на элементе И6 появится пульсирующий сигнал U_7 только в случае, когда последовательность фаз сетевого напряжения будет «В–А–С», а на выходе элемента И5 в это время будет нулевой сигнал ($U_6 = 0$) т.е. наличие сигнала U_7 говорит о неправильном чередовании фаз.

Если при включении датчика на его выходах будут отсутствовать (присутствовать) оба сигнала U_6 и U_7 , то это говорит или об обрыве одной из фаз силовой части, или о неисправности самого датчика.

3.4. ДАТЧИКИ СКОРОСТИ

Датчики скорости выдают управляющие сигналы в зависимости от скорости, наибольшее распространение в машиностроении получили следующие датчики.

3.4.1. ТАХОГЕНЕРАТОРЫ

Тахогенераторы служат для измерения частоты вращения. Они могут быть постоянного и переменного тока, тахогенераторы постоянного тока могут быть с постоянными магнитами (рисунок 3.28) и с электрической обмоткой возбуждения. Оба вида тахогенераторов - это малогабаритные машины постоянного тока, у которых выходное напряжение определяется как $E_{\text{ВЫХ}} = C_e \Phi \omega$, где Φ – поток возбуждения (постоянная величина), C_e – конструктивный коэффициент машины, тоже величина постоянная, ω – частота вращения ротора; тогда $K_{\text{ТГ}} = C_e \Phi$, следовательно, $E_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{ТГ}} \omega$.

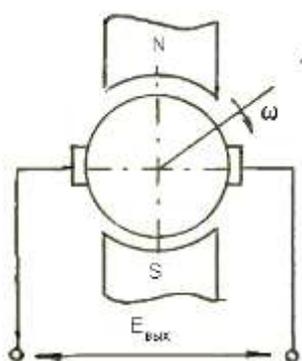


Рисунок 3.28 – Тахогенератор с постоянными магнитами

Большим недостатком этих датчиков являются коллекторные зубцовые колебания, и чем меньше измеряемая скорость, тем зубцовые колебания сказываются значительно на качестве выходного сигнала. Увеличение числа коллектор-

ных пластин ведет к уменьшению влияния зубцовых колебаний, но к увеличению габаритов и веса тахогенератора. Это всегда нежелательно по многим причинам (габариты, стоимость, быстродействие, увеличение измерительной погрешности).

Асинхронные тахогенераторы имеют специфическую конструкцию, отличную от обычных асинхронных двигателей и будут рассмотрены в другом разделе - микродвигатели.

3.4.2. РЕЛЕ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ

Реле контроля скорости (РКС) предназначены в основном для индикации направления или наличия скорости. РКС, показанный на рисунок 3.29, состоит из: постоянного магнита I, который находится на валу контролируемого механизма; кольца 2 - типа «беличье колесо». К кольцу 2 жестко присоединен толкатель 3, воздействующий на группу контактов К1 и К2, которые возвращаются в исходное положение под действием пружин 4 и 5.

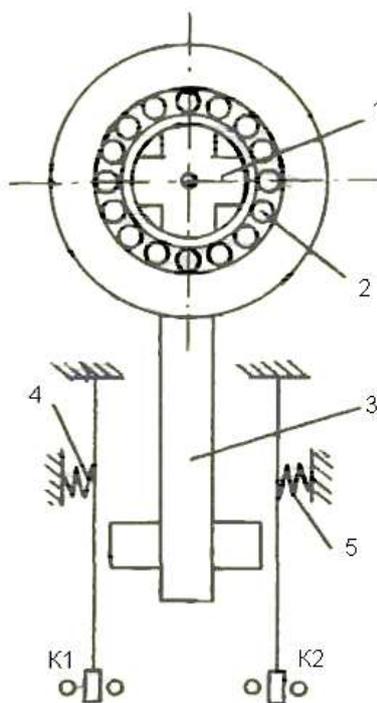


Рисунок 3.29 - Реле контроля скорости

При вращении вала механизма и вала датчика РКС вращающийся магнит наводит в обмотке, расположенной в кольце 2, ЭДС. Ток, протекая по обмотке, взаимодействует с магнитным потоком вращающегося магнита. В результате создается вращающий момент, который, поворачивая кольцо с толкателем, воздействует на контакты и вызывает их срабатывание.

3.4.3. ЦИФРОВЫЕ ДАТЧИКИ СКОРОСТИ

В современных системах АЭП с ЧПУ при большом диапазоне регулирования скорости и с высоким требованием к её стабилизации точность тахогенераторов постоянного и переменного токов может оказаться недостаточной. Для таких систем используются цифровые датчики скорости (ЦДС). Функционально в ЦДС можно выделить две основные части: импульсный преобразователь скорости - датчик импульсов (ДИ) - (рисунок 3.30, а), преобразующий аналогово-непрерывную угловую скорость вала в импульсы с частотой, пропорциональной скорости вращения и кодовый преобразователь - счётчик импульсов (СИ), формирующий на интервале измерения цифровой код A_n - выходной величины датчика скорости.

Датчик импульсов может быть выполнен на основе индуктосина или фотоэлектрического кодового диска. В любом варианте ДИ вырабатывает две серии импульсов, сдвинутых по фазе на 90° , которые используются для определения угловой скорости и её знака. На рис. 3.30, б изображен кодовый диск фотоэлектрического датчика импульсов. На двух дорожках расположены пропускающие свет щели. Свет от источников ИС1 и ИС2 через щели попадает на фотодиоды ФД1 и ФД2, которые при этом открыты и пропускают ток. Когда щель выходит из луча света, фотодиоды запирают цепь. При вращении диска с угловой скоростью ω ФД1 и ФД2 дают чередование сигналов с частотой

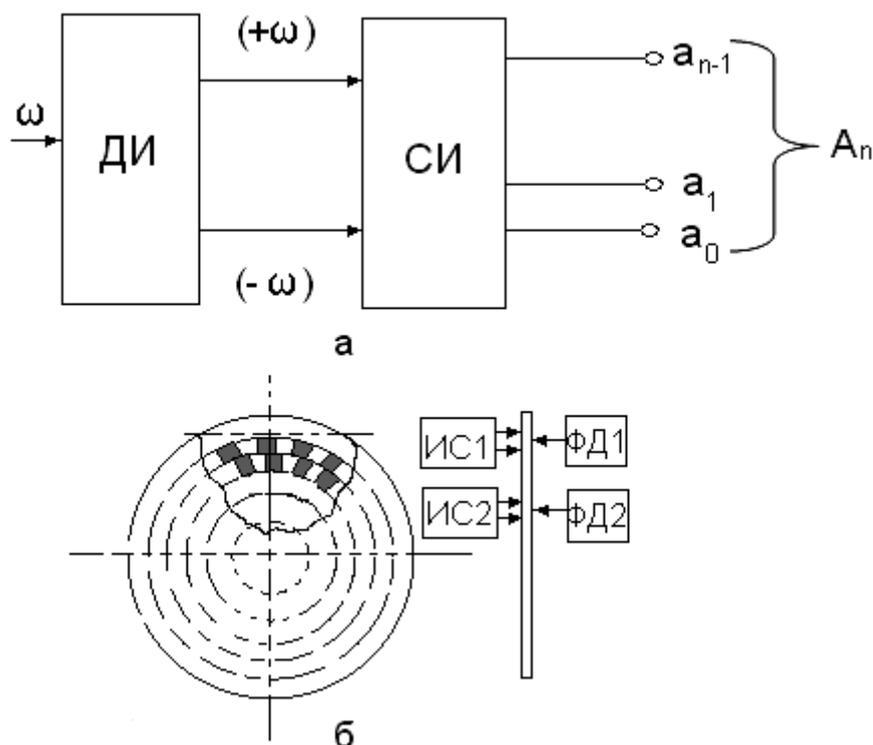


Рисунок 3.30 – Цифровой датчик скорости

$$f_{\text{дат.имп.}} = \frac{\omega}{2\pi} N_{\text{дат.имп.}}$$

где $N_{\text{дат}}$ – импульсная ёмкость кодового диска - число импульсов на один оборот датчика.

Токовый сигнал фотодиода изменяется по форме, амплитуде и частоте при изменении скорости вращения. Поэтому для получения стабильных сигналов с неизменной амплитудой в состав датчика импульсов (рисунок 3.31) входит электронный узел формирования выходных импульсов. В усилителе У1 токовый сигнал фотодиода ФД усиливается и симметрируется по полярности U_{y1} . Второй усилитель, собранный на транзисторах VT1 и VT2 и работающий с использованием положительной обратной связи (ПОС) в детекторно-релейном режиме, дает на выходе прямоугольные импульсы с постоянной амплитудой, равной U_1 (рисунок 3.32), но с переменной продолжительностью T , зависящей от частоты вращения фотодиска. Выходной импульс с неизменной амплитудой и неизменной продолжительностью τ , но разной частоты, формируется с помощью одновибратора S, вырабатывающего выходной сигнал по переднему фронту входного сигнала.

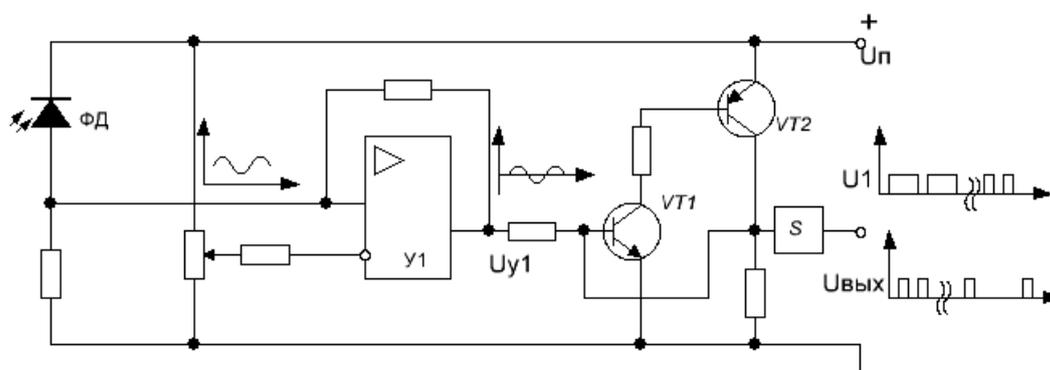


Рисунок 3.31 - Электронный узел формирования выходных импульсов

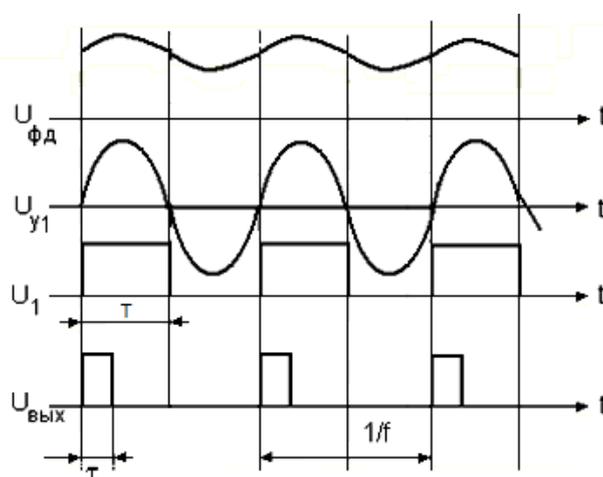


Рисунок 3.32 – Диаграммы работы цифрового датчика скорости

Аналогичный узел имеется и для импульсов второй дорожки кодового диска с фотодиодом ФД2. Для определения направления вращения в датчике имеется специальная логическая схема. Выделение импульсов на каналах положительной скорости (направление «вперед» $U_{\text{вых В}}$) или отрицательной скорости (направление «назад» $U_{\text{вых Н}}$), осуществляется логическим узлом (рисунок 3.33). На первом выходном канале импульсы $U_{\text{вых В}}$. Появляются при таком направлении вращения, при котором сигнал U_2 опережает по фазе на 90° сигнал U_1 , и элемент совпадения И1 открыт для импульсов $U_{\text{вых В}}$. При другом направлении вращения, когда U_2 отстает по фазе на 90° от U_1 , элемент И2 открыт для импульсов $U_{\text{вых Н}}$, которые поступают на второй выходной канал $U_{\text{вых Н}}$. Формирование цифрового кода на выходе ДС с помощью дополнительного счётчика может выполняться двояко.

На заданном периоде измерения $T_{\text{изм}}$. счетчик может подсчитывать число импульсов «n», которое будет характеризовать среднее значение скорости.

$$N = n_{\text{д.и.}} \cdot T_{\text{изм}}$$

Так как младшему разряду соответствует один импульс, то разрешающая способность ЦДС составляет $N_{\text{общ}}:1$, а точность измерения $\delta = 1/N_{\text{общ}}$, где $N_{\text{общ}}$ – общее число прорезей на один оборот диска.

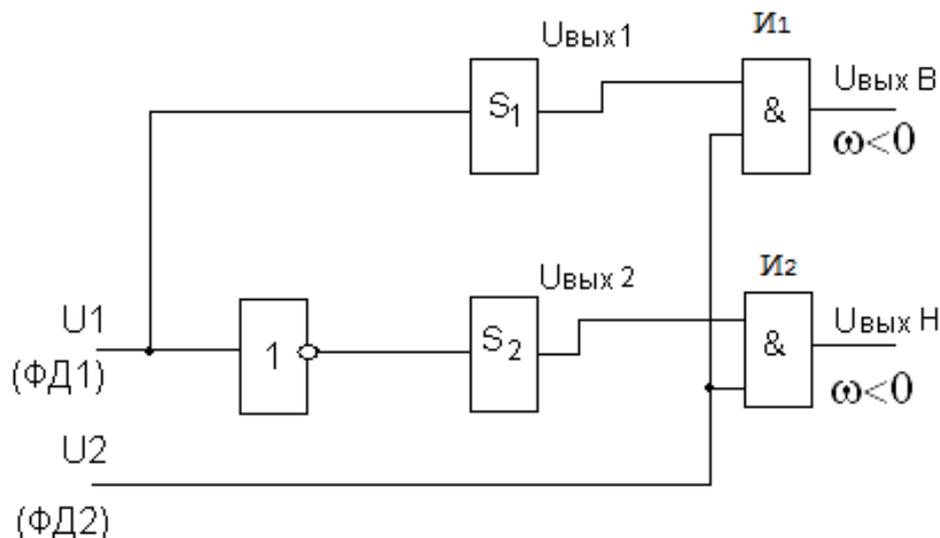


Рисунок 3.33 - Логическая схема определения направления вращения

Однако, при малой скорости в заданных интервалах попадает малое число импульсов «n» от датчика и точность измерения падает. Например, в $T_{\text{изм}}$ попадает 2, 5 или 4, 3 импульса и, кроме этого, возрастает расхождение между средним и мгновенным значением скорости. Можно увеличить $T_{\text{изм}}$, но тогда на высоких скоростях надо будет использовать счетчик очень большого объема.

Другой вариант формирования цифрового кода состоит в подсчете числа высокочастотных опорных импульсов, уместяющихся в интервале времени

между двумя импульсами, поступающих от датчика скорости, однако, при высокой частоте вращения (скорости) точность падает, так как в интервал времени между импульсами от датчика попадает малое число опорных импульсов, а на низкой частоте вращения в интервале между импульсами, поступающих с датчика попадает большое число опорных импульсов.

3.5. СИЛОВЫЕ ДАТЧИКИ

Силовые датчики обеспечивают выработку сигналов в зависимости от сил, создаваемых в рабочих органах.

3.5.1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИЛОВЫЕ ДАТЧИКИ

Один из видов электромеханических датчиков показан на рисунке 3.34, где кулачковая муфта 1 под действием силы F замыкается со своей полумуфтой под действием пружины 2. Полумуфта через рычаг 3 воздействует на микропереключатель 4. При возникновении на валу заданных сил, сдвинутая полумуфта, воздействуя через рычаг на микровыключатель, вызывает его срабатывание.

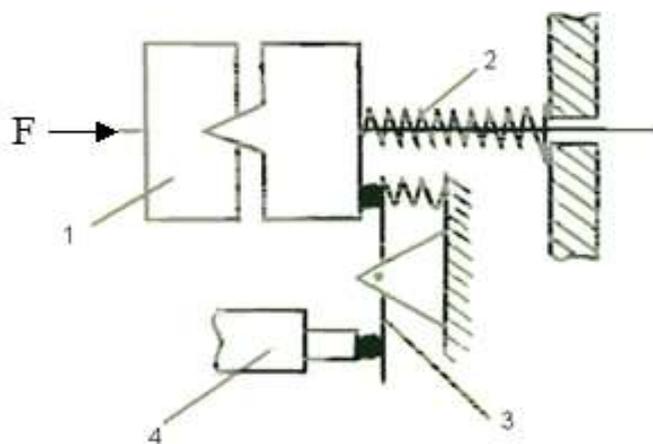


Рисунок 3.34 – Электромеханический датчик

3.5.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛОВЫЕ ДАТЧИКИ

Электрический датчик типа силовое «токовое» реле состоит (рисунок 3.35) из токовой катушки 1, рычага 2 пружины 3 и контактов К1 и К2. Токовая катушка включена в цепь электродвигателя, приводящего в движение рабочий орган, момент сопротивления ($M_c \equiv I_{дв}$) которого контролируется через величину тока.

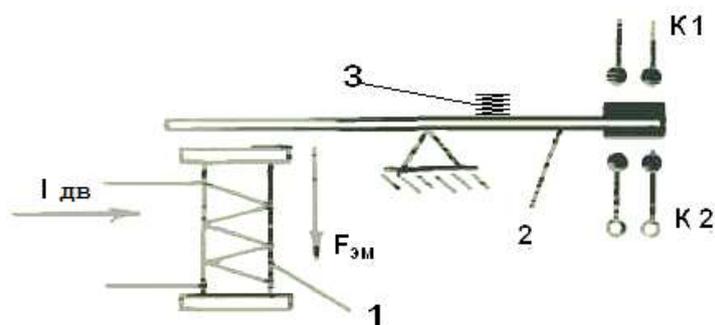


Рисунок 3.35 - Электрический датчик силовое «токовое» реле

При увеличении M_c в рабочем органе, увеличивается ток двигателя, который приводит к увеличению силы тока в токовой катушке реле, и электромагнитная сила $F_{эм}$ токовой катушки становится больше, чем сила пружины 3 и замыкает контакты К1.

3.5.3. ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Тензометрические датчики сопротивления предназначены для определения упругих деформаций (растяжения, сжатия, изгибающих и крутящих моментов) деталей в линейном и плоском состоянии при воздействии на них статических и динамических нагрузок. Основной конструкции датчиков служит константановая проволока диаметром 0,05 мм, сложенная зигзагообразной решеткой между склеенными полосками бумаги или пленки (рисунок 3.36).

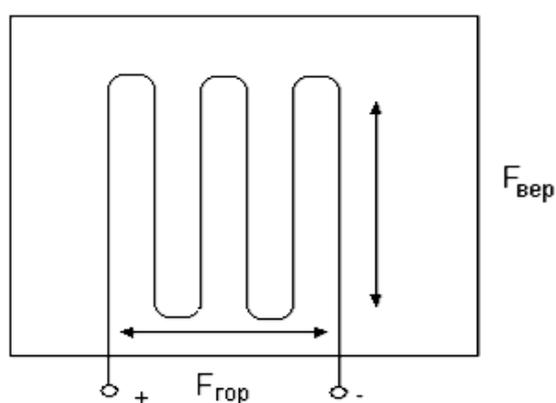


Рисунок 3.36 - Тензометрический датчик сопротивления

Для измерения деформаций датчик приклеивается к поверхности измеряемой детали. При воздействии вертикальной деформации $F_{вер}$, показанной на рисунке 3.36, будет растягиваться проволока, при этом увеличивается её длина L и уменьшается сечение S , что ведет к увеличению сопротивления проволоки

$$R = \rho \frac{L}{S},$$

где ρ - удельное сопротивление.

При воздействии горизонтальной деформации проволока в местах изгиба растянется, но при этом общая длина и толщина практически не изменяется, сопротивление тоже практически не меняется, поэтому горизонтальную деформацию этот датчик не измеряет.

Кроме проволочных делают тензодатчики из фольги толщиной 0,4-1 мм. По сравнению с проволочными, здесь рабочий ток значительно выше, следовательно, повышается чувствительность датчиков.

3.5.4. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Пьезоэлектрические датчики служат для измерения сил и представляют собой (рисунок 3.37) кварцевую пластину - 1, к которой с двух сторон напылены или приклеены токопроводящим клеем электроды 2, с которых снимается выходное напряжение.

Два электрода и кварцевый диэлектрик образуют конденсатор, на электродах которого присутствуют электрические заряды, возникающие вследствие прямого пьезоэлектрического эффекта, при сжатии кварцевой пластины силой P . Выходное напряжение датчика изменяется от единиц милливольт до единиц вольт.

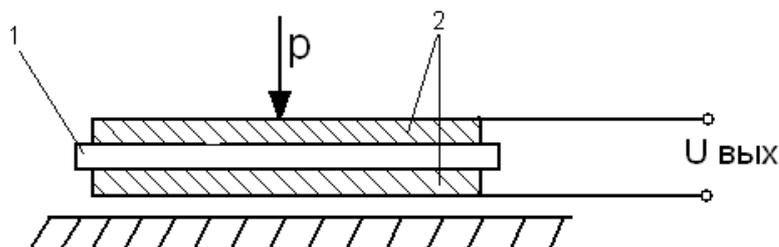


Рисунок 3.37 - Пьезоэлектрический датчик

3.5.5. РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ

На рисунке 3.38 представлен один из типов электрогидравлических реле давления. Изменение нагрузки в рабочих органах вызывает изменение давления в гидросистеме (Г С) и, следовательно, изменение давления в плоскости датчика. Происходит прогибание мембраны 1, при этом, рычаг 2 сжимает пружину 3, воздействует на микропереключатель 4, вызывая его срабатывание. Сила срабатывания регулируется винтом 5.

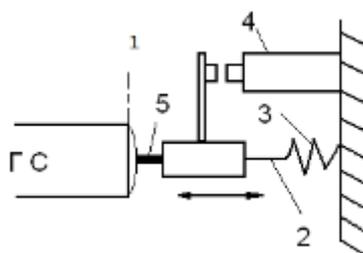


Рисунок 3.38 - Электрогидравлическое реле давления

3.6. ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В системах АЭП контролируемые и регулируемые координатами являются не только механические величины углов поворота, скорость, сила и т.д., но и электрические величины, такие как I , U , ЭДС, P . Для измерения этих величин используются соответствующие датчики. К числу таких можно отнести датчики тока (ДТ) и датчики напряжения (ДН). На их основе строятся датчики ЭДС и мощности.

В состав большинства датчиков электрических величин должны входить: входная измерительная цепь, потенциальный разделитель, усилительное, преобразующее и согласующее устройства.

3.6.1. ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫЕ ДАТЧИКИ НАПРЯЖЕНИЯ И ДАТЧИКИ ТОКА

Аналоговыми датчиками напряжения и тока являются обычные вольтметры и амперметры. Их устанавливают непосредственно (или довольно близко) в местах измерения этих параметров.

В случае, если необходимо передать значения этих параметров на увеличенные расстояния, используют дискретно-аналоговые ДН и ДТ вследствие их большей защищенности от различных электрических помех, что увеличивает точность показания приборов. Однако такие датчики имеют более сложную структуру. Дискретно-аналоговые ДН и ДТ с дистанционной передачей измеряемых величин на большие расстояния могут быть реализованы следующим образом.

3.6.2. ДАТЧИК НАПРЯЖЕНИЯ

Датчик напряжения типа ДН-2АИ представлен на рисунке 3.39.

Входной сигнал датчика напряжения ДН с делителя $R1-R2$ поступает на 2-полупериодный модулятор M . Коммутация входного сигнала с частотой генератора тактовых импульсов (ГТИ) осуществляется в модуляторе M двумя двухтранзисторными ключами $D1$ и $D2$. Трансформатор $T2$ выполняет функцию потенциального деления и передает выходной сигнал модулятора на вход демо-

дулятора ДМ. Два однополупериодных выходных сигнала ДМ снимаются с коллектора транзисторных ключей ДЗ и подаются через фильтр С5 – R17 на инверсный и через фильтр С6-R18 на прямой входы выходного усилителя ДА2. В зависимости от полярности входного напряжения датчика $U_{вх}$ открыт один из ключей ДМ, и напряжение демодулятора подается, соответственно, на один из входов ДА2. В результате знак выходного напряжения усилителя ДА2, снимаемого с фильтра R19, С7, определяется в зависимости от полярности входного напряжения датчика. Изменение $U_{вх}$ по абсолютному значению приводит к изменению амплитуды напряжения модулятора и, соответственно, выходного напряжения датчика.

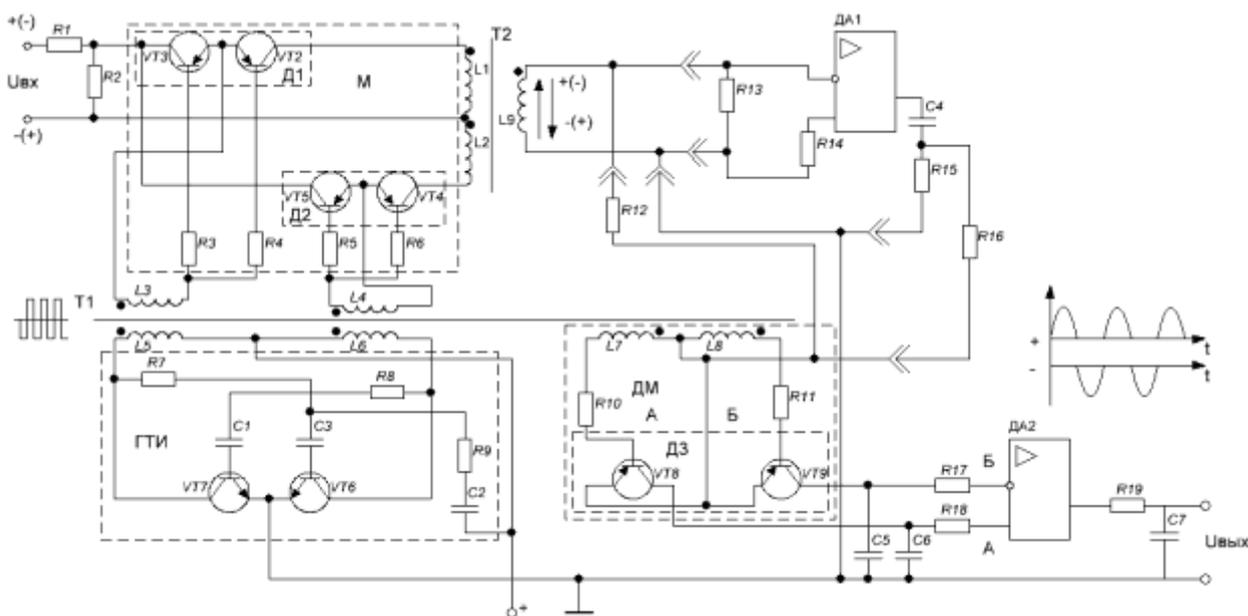


Рисунок 3.39 - Датчик напряжения ДН-2АИ

ГТИ - генератор тактовых импульсов собран по схеме мультивибратора с перекрестными положительными обратными связями, образованными R-C цепочками R7-C3 и R8-C1. Питание на схему подается от источника постоянного напряжения через фильтр R9 - C2. Начальное условие работы генератора обеспечивается подачей положительного напряжения через резистор R9 и конденсатор C2 на базу одного из транзисторов. Необходимая частота колебаний 30-40 кГц определяется постоянными времени цепей обратных связей (ОС) и индуктивностью трансформатора Т1.

3.6.3. ДАТЧИК ТОКА

Вышеописанный датчик напряжения преобразуется в схему датчика тока ДТ, если вторичную обмотку трансформатора Т2 отсоединить от демодулятора и подключить к входному резистору R13 усилителя ДА1, а выходной сигнал ДА1, снимаемый с R16, подать на вход ДМ тем самым еще раз усилить слабый

входной сигнал $U_{\text{вх}}$ порядка 75 мВ, снимаемый с шунта, включенного в измеряемую цепь. Эти датчики не только показывают величину изменяющегося тока или напряжения, но и полярность измеряемого сигнала.

3.6.4. ДИСКРЕТНЫЕ ДАТЧИКИ НАЛИЧИЯ ТОКА

Рассмотренные дискретно-аналоговые ДН и ДТ имеют сложную структуру. Сложность структуры ДН и ДТ сохраняется и в цифровых датчиках. Однако имеются более простые дискретные датчики без усилителей и многоразрядных АЦП. Эти датчики дают информацию только о факте наличия или отсутствия контролируемой величины. Примером такого датчика может служить (рисунок 3.40) датчик наличия тока в вентильной группе тиристорного преобразователя (ТП).

Принцип действия датчика таков. Он реагирует на состояние тиристоров V1, V2, V3, проводящих или не проводящих ток. Если тиристоры V1 – V3 заперты, то мостовая вентильная группа V4-V6 пропускает ток, и через оптопары V7- V9 проходит ток; тогда проходит ток и через резистор R4 к минусу питающего напряжения, при этом напряжение относительно земли на базе V10 = 0 и V10, V11 - заперты. $U_{\text{вых}} = U_{\text{max}}=1$. Если хотя бы один из тиристоров проводит ток, то соответствующая цепь V4-V6 оказывается замкнутой накоротко. Ток через светодиод соответствующей оптопары равен 0, тогда на базе V10 большое положительное напряжение, транзистор V10 открывается тогда и V11 открывается и $U_{\text{вых}} = 0$.

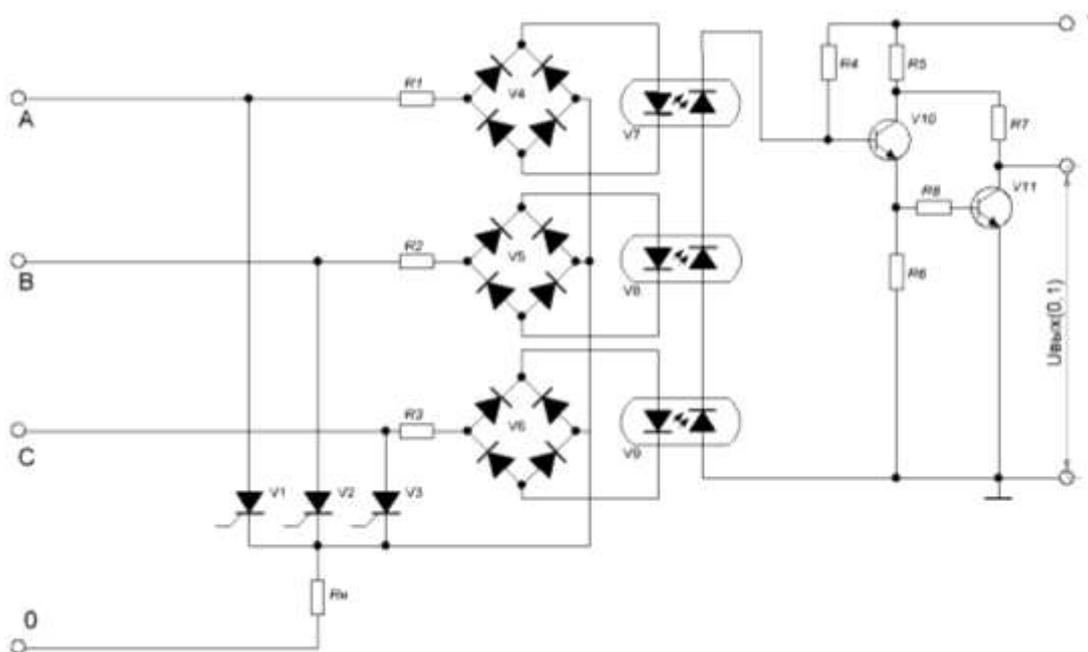


Рисунок 3.40 - Датчик тока тиристорного преобразователя (ТП)

Рассмотренный датчик тока хорошо работает тогда, когда ток имеет непрерывный характер, а это значит, что угол управления тиристорного преобразователя меньше 60 эл. градусов, и что нет участков времени, когда все тиристоры закрыты. При работе электропривода на низких скоростях, а это бывает необходимо при отработке весьма малых перемещений в станках с ЧПУ, угол управления тиристорного преобразователя становится значительно больше 60 эл. градусов, следовательно, тиристорный преобразователь начинает работать с малыми величинами напряжений, и появляются временные участки одновременно закрытых тиристоров V1-V3. Поэтому рассмотренный выше датчик может давать сбои в работе. Кроме того, V4-V9 должны быть высоковольтными, а это не всегда приемлемо. В таких случаях более предпочтительно использовать дискретный датчик наличия тока, одинаково работающий как при больших, так и при малых напряжениях и токах.

Идея такого датчика заключается в следующем (рисунок 3.41 а, б). Если тиристор V закрыт (рисунок 3.41 а), то на зажимах УЭ-К (управляющий электрод - катод) нет никакого напряжения ни в положительный, ни в отрицательный полупериод питающего напряжения. Если тиристор открыт управляющим импульсом U_y (рисунок 3.41 б) и по тиристорному протекает ток, то на УЭ-К имеется падение напряжения $U_{y-к}$ (рисунок 3.41, б). Это напряжение небольшое, порядка 0,8-1,2 В, стабильно и не зависит ни от величины протекающего тока, ни от напряжения, но зато, как только кончается протекание тока, так тут же исчезает и напряжение $U_{y-к}$. Датчики тока, использующие этот принцип, широко применяются в различных тиристорных преобразователях. В случае если произойдет К.З. в тиристоре – тиристор спечется, «прошнуровывается», то падение напряжения на переходе УЭ-К исчезнет, даже если через этот тиристор будет протекать значительный ток. Это свойство тиристора также можно использовать для контроля рабочего состояния тиристора.

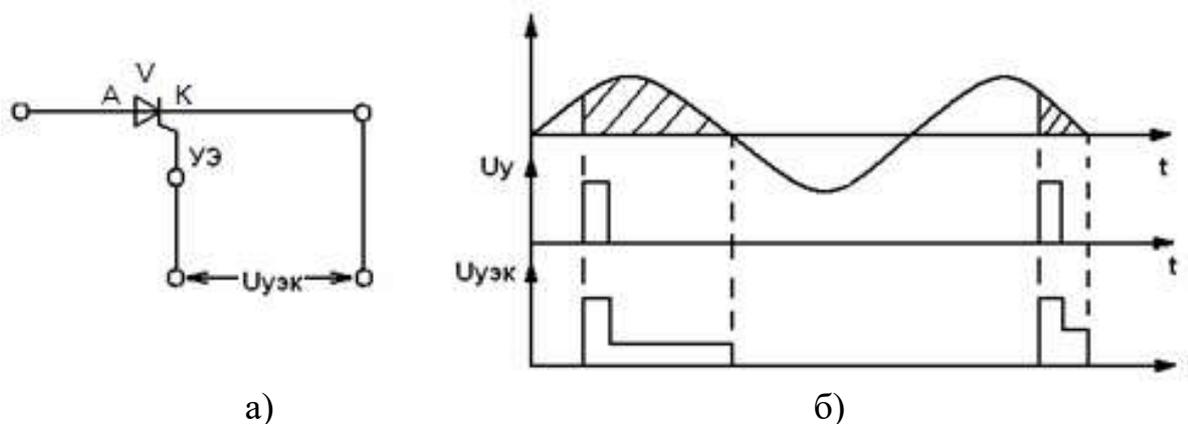


Рисунок 3.41 – Принцип работы датчика тока

3.7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТЫ №3

Система автоматического контроля исправности мощного тиристорного преобразователя

Задание:

1. Разработать САК исправного состояния мощного тиристорного преобразователя в соответствии с вариантом, заданным преподавателем.
2. САК должна информировать о следующих аварийных режимах:
 - к.з. одного из тиристорov в ветви;
 - к.з. всей ветви тиристорного плеча;
 - диодное состояние одного из тиристорov в ветви;
 - обрыв ветви (одного из тиристорov в ветви).
3. Привести тактовую диаграмму работы разработанного устройства и алгебологическую формулу, описывающую работу САК.
4. Составить структурно-логическую схему САК и дать описание работы.
5. Составить принципиальную электрическую схему САК с учетом заданного базиса ЛЭ. Дать описание работы устройства.
6. При разработке САК использовать датчики тока и напряжений оригинальной или типовой конструкции. Дать описание работы датчика.
7. Оформить отчет.

Варианты задания:

Индекс	Наименование раздела	Варианты			
		1	2	3	4
А	Тип тиристорного преобразователя	нул.	мост	нул.	мост
	Фазность ТП	2	3	3	2
Б	Число параллельных ветвей «m» в плече ТП	2	3	4	3
В	Число «n» тиристорov в ветви	4	2	4	3
Г	База используемых в САК логических элем.	K555	K531	K176	K155
Д	Информацию о неисправности выдать в виде	звук сигн.	звук сигн.	свет. сигн.	транспорант звук

Пояснение к выполнению задания.

Схемы тиристорных преобразователей.

Тиристорные преобразователи могут выполняться по нулевой (рисунок 3.42) или мостовой (рисунок 3.43) схемам.

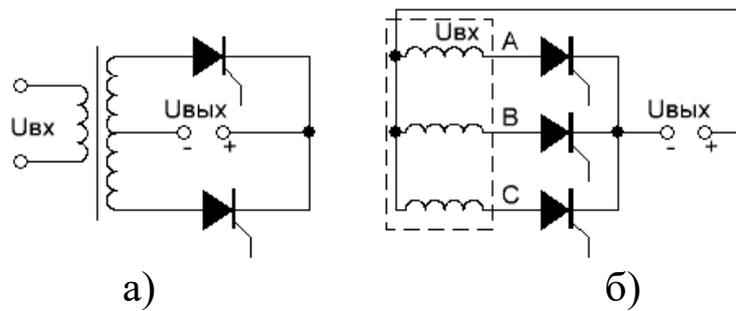


Рисунок 3.42 - Тиристорный преобразователь по нулевой схеме

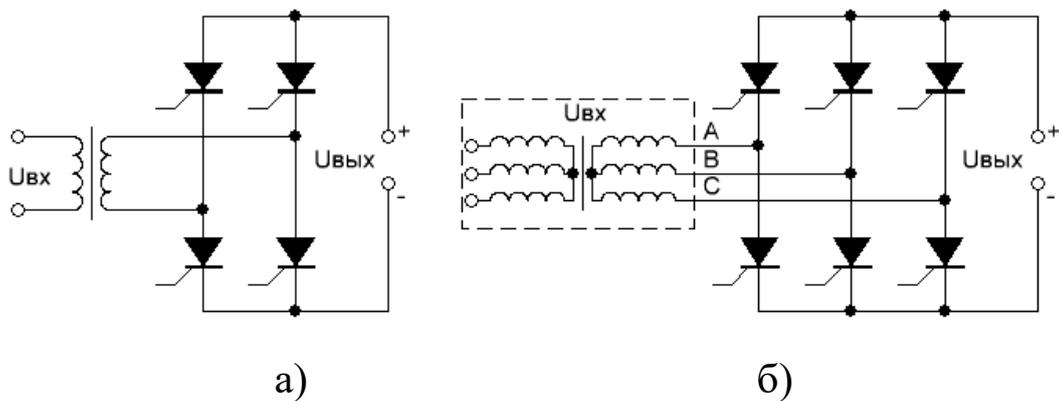


Рисунок 3.43 - Тиристорный преобразователь по мостовой схеме

Каждый из тиристорных преобразователей состоит из «плеч». Тиристоры в каждом плече мощного ТП могут соединяться в зависимости от величины питающего переменного напряжения - последовательно, а в зависимости от величины выпрямленного тока - параллельно (рисунок 3.44), образуя « n » последовательно соединенных тиристоров в каждой из « m » параллельных ветвей.

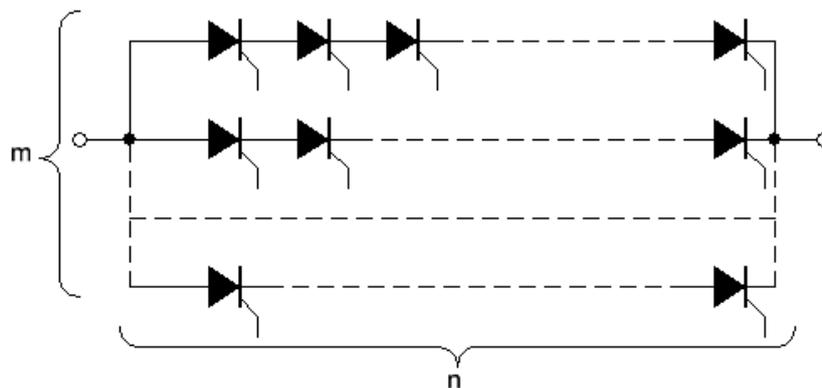


Рисунок 3.44 – Схема соединения тиристоров в тиристорном преобразователе

Исправное состояние тиристорных преобразователей.

Исправный ТП может находиться в отключенном состоянии. Тогда ток через ТП=0 и напряжение на тиристорах и ветвях равно 0. Исправный ТП может находиться под напряжением, т.е. $U_c \neq 0$, но в запертом состоянии, т.е. ток через ТП равен нулю. Это может быть или потому, что на тиристоры ТП вообще не подаются управляющие импульсы U_y или угол α - открытия тиристоров велик и находится в зоне отрицательного полупериода напряжения сети (рисунок. 3.45 а) U_c .

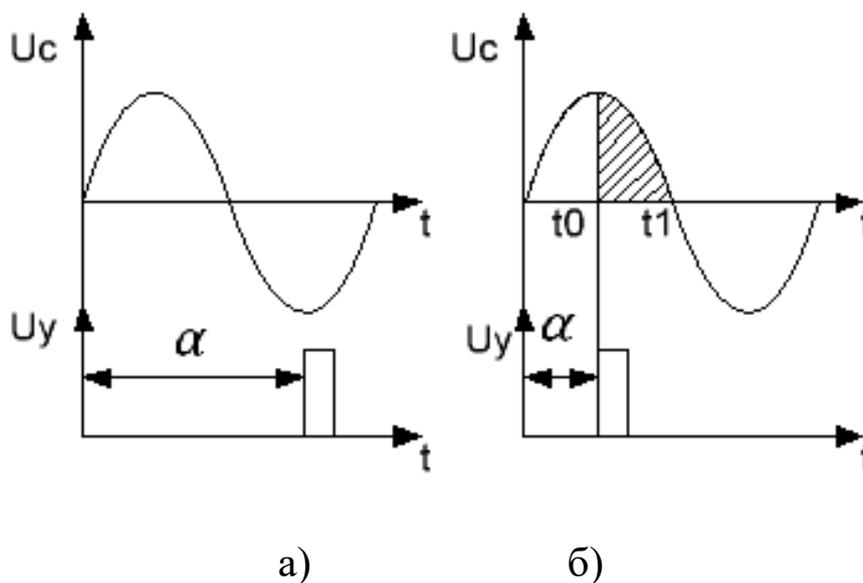


Рисунок 3.45 – Диаграммы работы тиристорных преобразователей

Для одного и двух полупериодных ТП α_{max} , при котором ТП-заперт угол управления равен $\alpha_{max} \geq 180$ эл. град. Для трехфазных нулевых схем при $\alpha_{max} \geq 150$ эл. град., а для трехфазных мостовых схем ТП-лей при $\alpha_{max} \geq 120$ эл.град. ТП-ль - заперт. Кроме того, в исправно работающем ТП-ле возможен режим прерывистых токов, а это значит, возможны промежутки времени, когда при наличии U_c и управляющих импульсов отсутствует ток (рисунок 3.46) периоды $t_0 - t_1$ и $t_3 - t_4$). Кроме того, в исправном ТП-ле на каждом из тиристоров, которые пропускают ток в прямом направлении, имеется падение напряжения примерно 1-2 В. Часть этого напряжения приходится на «р-п» переходе участка тиристора «управляющий электрод-катод» (рисунок 3.46 б). Снимая это напряжение, можно использовать сам тиристор как датчик исправного (неисправного) состояния, т.к. только тогда, когда тиристор исправен и по нему протекает ток имеется падение напряжения $U_{y\text{-}k}$ между управляющим электродом и катодом времена $t_1 - t_2$ и $t_4 - t_5$ (рисунок 3.46 б).

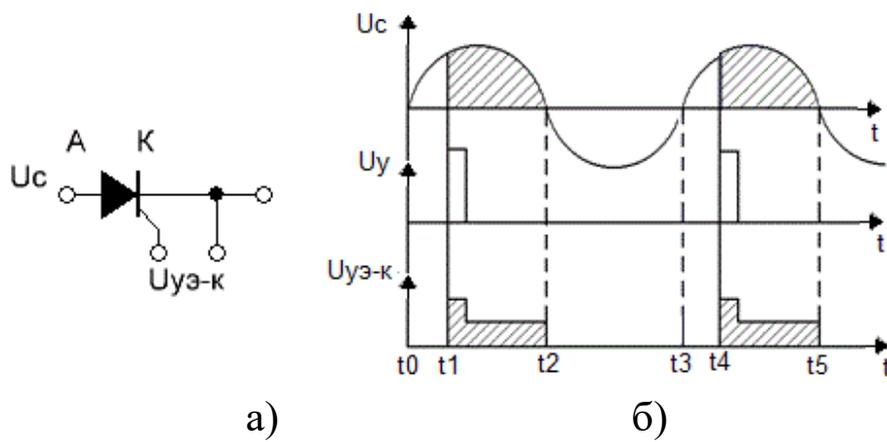


Рисунок 3.46 – Диаграмма работы тиристорных преобразователей

Неисправное состояние ТП

Неисправным состоянием тиристора и ТП-ля считается такое состояние, когда в тиристоре имеется неисправность типа «обрыв» - это такое состояние, когда тиристор не проводит ток ни туда, ни обратно ($t_0 - t_1 - t_2$ рисунке 3.47 а), ни при отсутствии управляющих импульсов на УЭ (управляющем электроде) тиристора, ни при его наличии. Неисправность типа - «короткое замыкание» — это когда тиристор является проводником и проводит ток во все стороны при управляющих импульсах и без них, и при любой полярности питающего напряжения ($t_3 - t_4 - t_6$ рисунке 3.47 б). Сюда же относится и неисправность типа к. з. всех тиристоров в ветви.

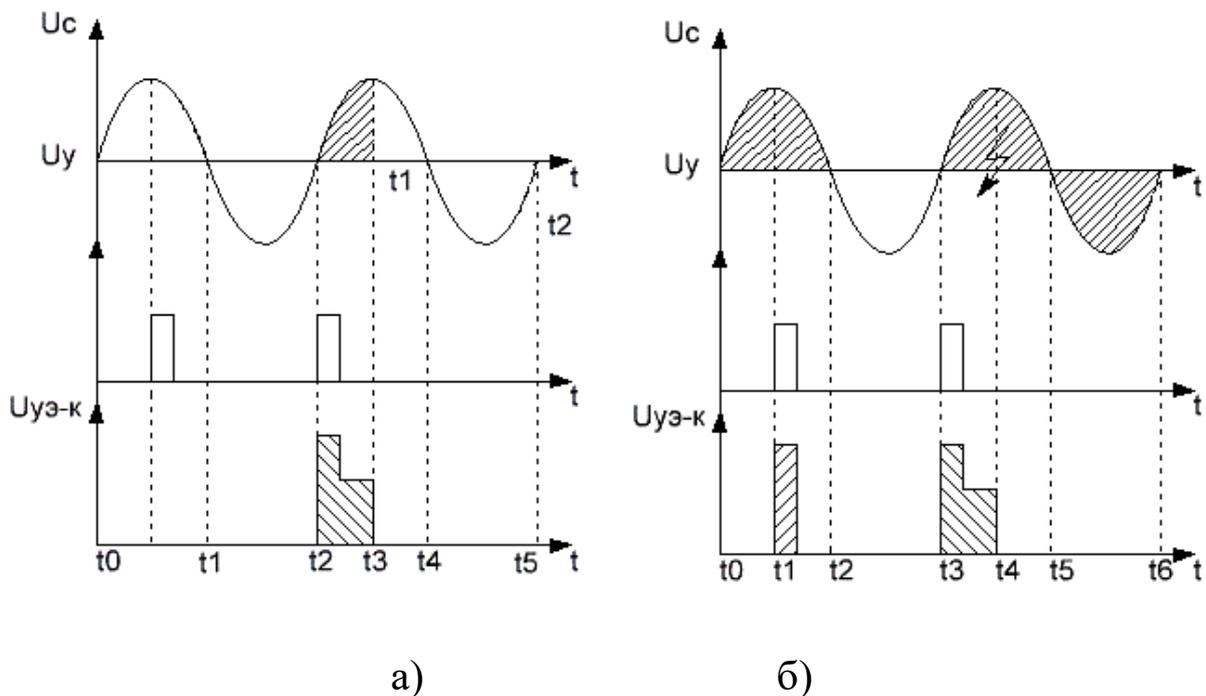


Рисунок 3.47 – Диаграммы работы тиристорных преобразователей

Кроме того, в тиристорах может быть неисправность типа «диод», когда тиристор пропускает ток в положительном направлении (рисунок 3.47 б) без управляющих импульсов, $t_0 - t_2$ а в отрицательном направлении ток не пропускается, при этом напряжение $U_{уэ-к} = 0$.

Обнаружение неисправности типа «обрыв» ($t_0 - t_2$ рисунок 3.47 а).

Следует также заметить, что при неисправности тиристорov типа «обрыв» в одной из параллельных ветвей плеча ТП оставшиеся ветви перегружаются током. Если перегрузка не превышает 60%, то этот вид аварии не приводит к немедленному отключению всего ТП, т.к. тиристор в ТП с 30% перегрузкой может работать 30 мин, а с 60% перегрузкой - 10 мин. Поэтому в большинстве случаев у операторов есть время для устранения неисправности в ТП без его немедленного отключения. Кроме того, неисправность типа обрыв ощутимых неприятностей по напряжению в ТП не вызывает. Обнаружить неисправность типа «обрыв» можно следующим образом: так как во всех остальных ветвях есть ток, кроме той, где произошел «обрыв», то эту ситуацию и выделяют, и еще, в непроводящий период тока имеется напряжение как на всех ветвях, так и на каждом тиристоре. А в ветви, где произошел «обрыв», - на всей ветви есть напряжение, а на каждом из последовательно соединенных тиристорov, кроме того, на котором произошел «обрыв» - нет. Этот факт также можно использовать для обнаружения неисправности типа «обрыв».

Обнаружение неисправности типа «короткое замыкание» ($t_4 - t_5$ рисунок 3.47 б).

При неисправности типа «короткое замыкание» (к. з.) одного или нескольких тиристорov в одной ветви ток протекает во всех ветвях, и падение напряжения $U_{уэ-к}$ одновременно с током на всех исправных тиристорах есть, а на неисправных тиристорах - нет. Это объясняется следующим образом. Если во время работы происходит (рисунок 3.48) тепловой пробой и происходит прогорание тиристора типа «короткое замыкание» или шнурование всех переходов, то падение напряжения между $U_{уэ-к}$ становится практически равным нулю ($t_4 - t_6$ рис. 3.48), а ток через тиристор продолжает протекать. Таким образом, эту особенность можно использовать при контроле неисправности тиристорov типа к.з. в ТП. Следует также заметить, что при неисправности одного из тиристорov типа к.з., когда все тиристоры заперты в отрицательный полупериод ($t_2 t_3$) или в положительный полупериод ($t_3 - t_4$) и держат напряжение, т.е. на них имеется напряжение, тиристоры с неисправностью типа «к.з.» не держат ни прямое, ни обратное напряжение. Поэтому это напряжение должны держать оставшиеся в ветви тиристоры. Пока напряжение на оставшихся тиристорах не будет превышать 110% U_n нет необходимости немедленно отключать весь ТП.

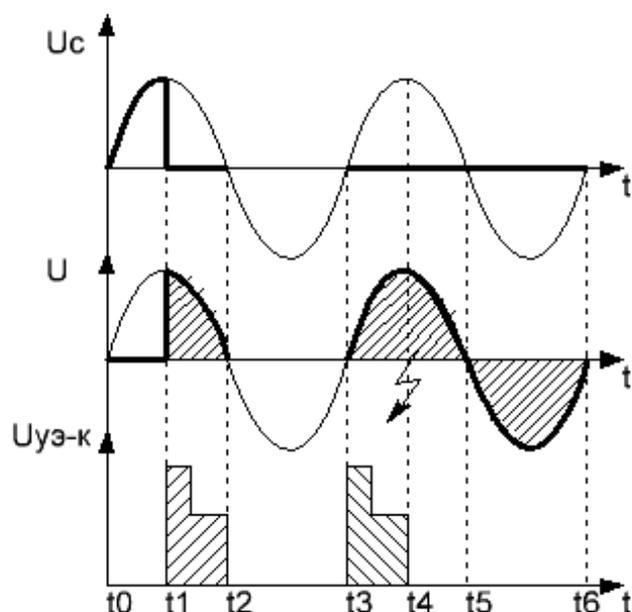


Рисунок 3.48 - Тепловой пробой или шнурование всех переходов

Если неисправности типа «к. з.» подверглись все тиристоры одной из ветвей, то ситуация характеризуется следующими параметрами:

- напряжение на ветви и на всем плече равно нулю как в положительный, так и в отрицательный полупериод;

- ток в этой ветви в проводящий промежуток времени больше, чем во всех остальных ветвях, в которых он практически отсутствует, т.к. неисправная ветвь шунтирует все остальные параллельные ветви;

- падения напряжения $U_{уэ-к}$ нет ни на одном из тиристоров в неисправной ветви при наличии тока в ней;

- в отрицательную полуволну питающего напряжения в этой неисправной ветви протекает ток обратного значения, который развивается в ток короткого межфазного замыкания, имея большую недопустимую величину, от которого выходят из строя и тиристоры плеча неповрежденной работающей в этот момент фазы.

Таким образом, так как при неисправности к.з. ветви есть опасность развития межфазного к.з. в отрицательном полупериоде, то при обнаружении этой неисправности необходимо немедленно отключать ТП-ль. Следует здесь также заметить, что обнаружение неисправности типа «к.з.» по наличию или отсутствию падения напряжения $U_{уэ-к}$ является упреждающим, т.к. позволяет обнаружить эту неисправность с момента времени t_4 до развития межфазного к.з.

Обнаружение неисправности типа «диод»

При неисправности типа «диод» одного из тиристоров в ветви проявляются следующие особенности в работе ТП. Во-первых, этот тиристор не держит прямое напряжение, вследствие чего на остальных тиристорах перегрузка по

напряжению. Во-вторых, тиристор самопроизвольно открывается в положительный полупериод, не дожидаясь отпирающего импульса. Однако если на каждом из оставшихся тиристорах в ветви напряжение не превысит 110% от U_n , то нет необходимости немедленно отключать весь ТП. Если напряжение на каждом из оставшихся тиристором ветви плеча ТП превысит 110% U_n , то тогда необходимо немедленно отключать ТП в бестоковую паузу. Если все тиристоры в ветви имеют неисправность типа «диод», то в прямом направлении эта ветвь сразу же начнет пропускать ток в положительный полупериод без подачи управляющих импульсов на управляющий электрод и весь ток пойдет через эту ветвь. Напряжение $U_{y-к}$ в это время нет, а «диодная» ветвь шунтирует в это время неработающие ветви плеча, в которых в это время пока тока нет. Поэтому ток здесь может быть довольно большим и есть опасность перехода тиристором «диодной ветви» в состояние «короткое замыкание». Желательно при обнаружении неисправности типа «диод» всей ветви в короткий срок отключить весь ТП с заменой неисправной тиристорной ветви на исправную.

В заключение необходимо еще раз заметить, что для обнаружения неисправностей в ТП необходимо использовать датчики тока и датчики напряжения, места установки которых определяются индивидуально, в соответствии с используемым методом контроля, а также в соответствии с разрабатываемой схемой контроля.

3.8. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ

Имеется большая группа широко применяемых в настоящее время датчиков, которые срабатывают от внешнего электромагнитного поля, хотя в них реализуются различные физические явления. К таким датчикам относятся наиболее часто используемые следующие: магнитоуправляемый резистор, магнитоуправляемый диод, датчик Холла, датчик Вигланда, геркон (рисунок 3.49).

Магнитоуправляемый резистор, основанный на эффекте Гаусса – дает возрастание сопротивления в проводнике или полупроводниковом материале при воздействии (рисунок 3.49 а) магнитного поля.

Пленочные магниторезисторы, использующие анизотропный магниторезистивный эффект уменьшают свое сопротивление при воздействии магнитного поля.

Магнитоуправляемый диод – это полупроводниковый прибор с р-п переходом, между которым (рисунок 3.49 б) находится область высокоомного, полупроводникового материала «d», использующего эффект Гауса. Если магнитодиод поместить в поперечное магнитное поле, то происходит увеличение сопротивления «d» участка, что значительно сказывается на работе диода в прямом направлении, т.е. он запирается.

Датчик Холла работает следующим образом. При прохождении тока I в перпендикулярном магнитном поле (рисунок 3.49 в) возникает разность потенциалов на поперечных сторонах пластины, величина разности потенциалов зависит от величины магнитного потока при неизменном токе.

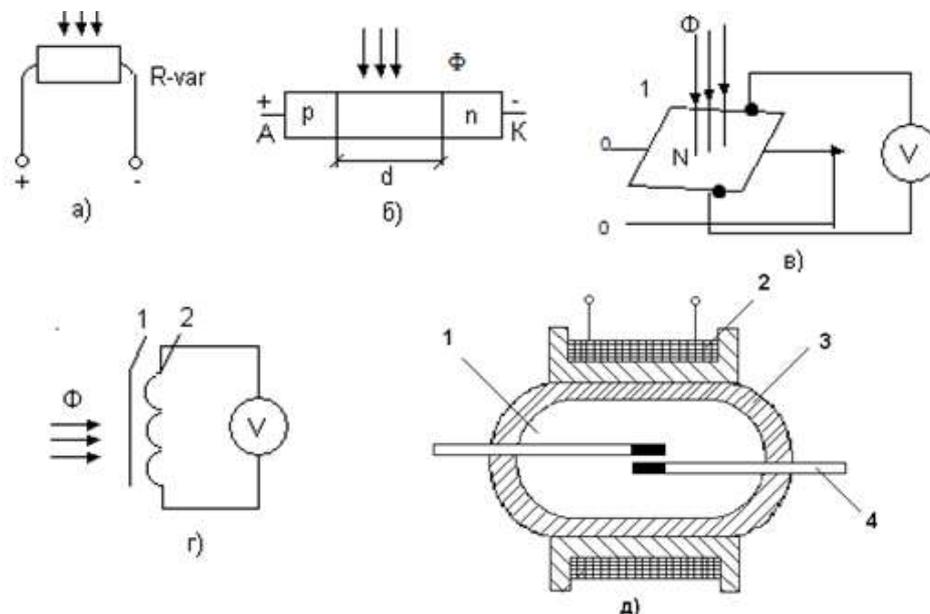


Рисунок 3.49 - Магнитоуправляемый резистор (а), магнитоуправляемый диод (б), датчик Холла (в), датчик Вигланда (г), геркон (д)

Датчик Вигланда основан на эффекте Вигланда, заключающийся в том, что если специальную проволоку 1 (рисунок 3.49 г) из викалоя (висмут + константан + алюминий) внести в магнитное поле, то происходит спонтанное изменение ее магнитной поляризации как только напряженность поля превысит некоторое пороговое значение, которое называется «порогом зажигания». Изменение состояния проволоки в виде импульса регистрируется катушкой 2 (до нескольких вольт). Этот датчик не требует дополнительного источника питания и работает за счет свойств викалоя удерживать значительную остаточную намагниченность. Эти датчики используют для хранения информации (памяти).

Герконы – это герметические контакты, работающие под влиянием внешнего магнитного поля (рисунок 3.49 д).

Геркон представляет собой контактную систему, взаимодействующую с внешним магнитным полем (рисунок 3.49 д), где 1 - баллон с инертным газом или вакуумом, 2 - катушка с током, 3 - стеклянный баллон, 4 - контактные пружины с серебряным или золотым покрытием. Герконы характеризуются длительным сроком службы, стабильным контактным сопротивлением, высоким быстродействием.

При подаче тока на катушку 2 создается магнитное поле вокруг контактов 4, они намагничиваются и притягиваются друг к другу, замыкая цепь.

3.9. ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Наиболее характерными представителями оптических преобразователей являются различные оптопары: диод - диод, диод-транзистор, диод - резистор, диод - тиристор, и так далее, со светолучевой связью между элементами. Наиболее простейшим из них является оптрон. Оптрон состоит из источника - светоизлучателя V1 (светодиода) (рисунок 3.50) и приёмника излучения V2-фотодиода, связанных оптической средой и конструктивно объединенных в одном корпусе (оптопара). При прохождении тока через V1 он начинает испускать световой поток, световой поток попадает на V2, и он переходит в проводящее состояние, увеличивая обратный ток фотодиода. На выходе появляется $U_{\text{вых}}$.

Диодные оптроны характеризуются высокой термостабильностью и используются в быстро переключающих схемах, генераторах, для согласования высоковольтных и низковольтных цепей, цепей измерений, усилений, модуляций, переключений. На аналогичных принципах действия построены, опторезисторы, оптотранзисторы, оптотиристоры.

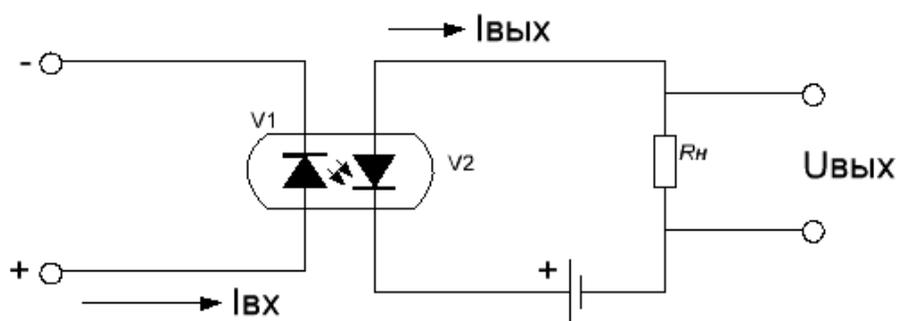


Рисунок 3.50 - Оптический преобразователь «диод - диод»

4. ПРЕОБРАЗУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Преобразующие устройства (ПУ) служат для преобразования различных управляющих и информационных сигналов в устройствах автоматики к виду, удобному для их последующей обработки или фиксации. Преобразующие устройства должны иметь малую инерционность, хорошую согласованность с другими узлами автоматики, достаточно высокое быстродействие и точность. Рассмотрим несколько примеров ПУ в различных устройствах автоматики. Например, к ПУ относят различные реле.

4.1. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Электронное реле времени (РВ) обеспечивает выдержку времени (рисунок 4.1 а) при подаче на вход $X_{вх}(t)$ входного сигнала и получение на выходе $X_{вых}(t)$, сдвинутого на время T_i . Электронное реле (рисунок 4.1 б) времени эту задачу выполняет следующим образом. При замыкании контакта $K1.1$ и размыкании $K1.2$ подается отрицательный сигнал на базу $V1$ и, следовательно, через транзистор $V1$ на катушку $K2$. Но пока конденсатор $C1$ не зарядится до напряжения срабатывания транзистора (U срабатывания определяется делителем $R1-R2$), конденсатор будет шунтировать $R1$ и поэтому транзистор $V1$ закрыт, и $K2$ не срабатывает. Время выдержки сигнала T_i будет зависеть от $T = R2 \cdot C1$.

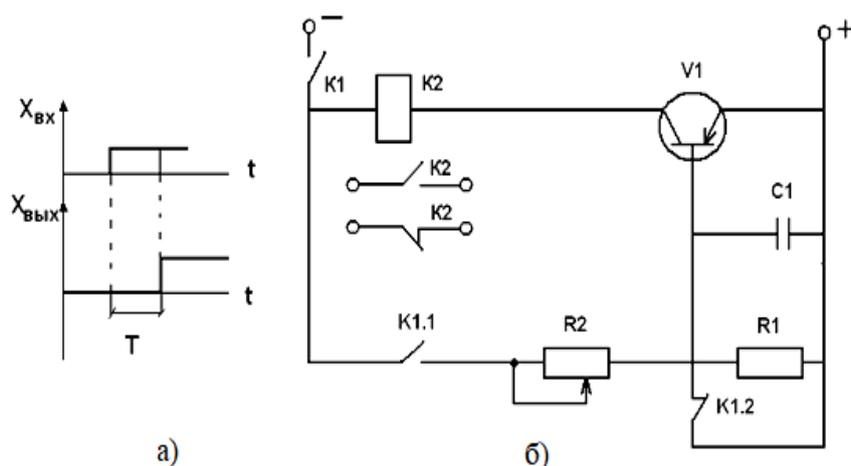


Рисунок 4.1 - Электронное реле времени

Электромеханическое реле времени (рисунок 4.2) эту задачу реализует так, на барабане расположены кулачки А - Е и контакты $K1 - K6$, установленные напротив кулачков.

При подаче сигнала на вход (включение двигателя (ДВ)) барабан начинает вращаться, движущиеся кулачки на барабане воздействуют на контакты $K1-K6$, вызывая их срабатывание, обеспечивая соответствующие сигналы на выходе.

Время выдержки сигнала $T_i = T \cdot \alpha / 360^\circ$, где T - период вращения барабана или время одного оборота, α - угол установки кулачков относительно начала отсчёта. Меняя угловое положение кулачков, можно устанавливать время и очередность срабатывания контактов.

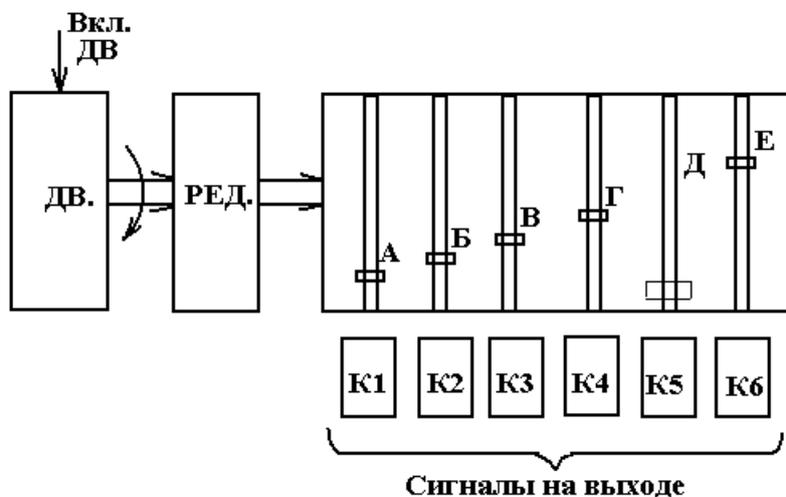


Рисунок 4.2 - Электромеханическое реле времени

4.2. РЕЛЕ СЧЁТА И ВЫДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ

4.2.1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ РЕЛЕ СЧЕТА ИМПУЛЬСОВ

Реле счёта импульсов (РСИ) выдает сигнал на выходе при поступлении заданного числа импульсных сигналов на входе. Необходимость преобразования сигналов часто возникает при выдаче команды после определенного числа повторяющихся действий (число ходов, операций и т.д. в УЧПУ). На рисунке 4.3 представлено электроконтактное (электромеханическое) реле РСИ, которое состоит из ручного переключателя $S A$, шагового искателя ШИ, катушки шагового искателя КШИ и реле КИ, которое служит для выдачи команды на выходе.

С помощью $S A$ задается число отслеживаемых команд, пусть это будет 7. При отработке первой команды замыкается контакт $S Q$ (сигнал на входе) и включается катушка КШИ шагового искателя. Это (через храповой механизм) вызывает перемещение контакта, как у ШИ1, так и ШИ2 этого искателя из нулевого в первое положение и так далее. Здесь необходимо заметить, что контакты ШИ2 и $S A$ соединены электрически (проводами), соответственно, а вал ШИ1 и ШИ2 жестко (механически) соединены.

При выполнении заданного ручным переключателем $S A$ числа команд, контакт шагового искателя занимает позицию контакта ручного переключателя. Тогда цепь катушки реле К1 замыкается, реле срабатывает (сигнал на выходе) и

ставит себя на самоблокировку, контактом К1.1, которая разомкнется после окончания всего цикла, когда ШИ выйдет на нулевое положение и разомкнет цепь К1.

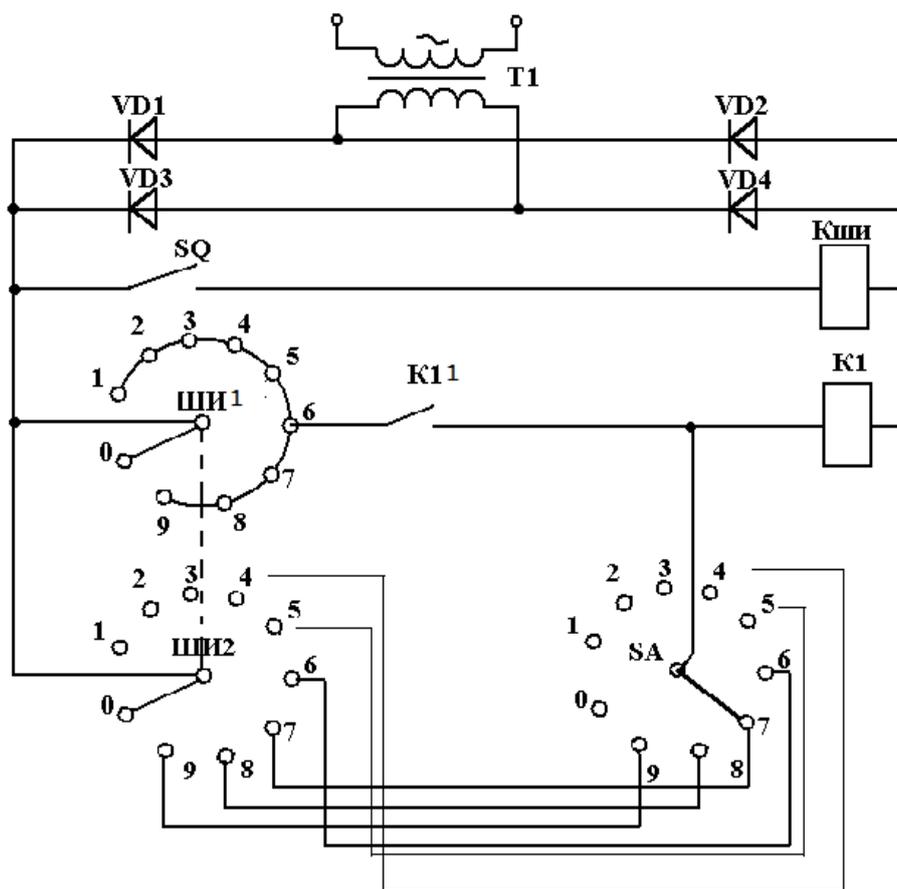


Рисунок 4.3 - Электроконтактное (электрохимическое) реле РСИ

4.2.2. ЭЛЕКТРОННОЕ РЕЛЕ СЧЕТА ИМПУЛЬСОВ

В электронных реле времени и счета импульсов вместо ручного переключателя SA применяют электронный регистр, в который засылается число, соответствующее числу отслеживаемых команд, а в качестве шагового искателя используется какой-либо реверсивный электронный счетчик.

Использование в электронных реле счета импульсов электронных регистров и реверсивных счётчиков значительно усложняет схему, так как каждый триггер счетчика состоит из 6-8 логических элементов. Если необходимо сосчитать небольшое количество импульсов, то можно построить более простые реле счета импульсов, используя в основном логические элементы или логические элементы и R-C цепочки. Кроме того, здесь в более простых схемах можно реализовать и задачи типа выделения одного импульса из импульсной последовательности, или нескольких импульсов из импульсной последовательности, когда их небольшое количество.

4.2.3. РЕЛЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОДНОГО ИМПУЛЬСА ИЗ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Реле для выделения одного первого импульса имеет следующую функциональную блок - схему (рисунок 4.4 а). Схема работает следующим образом. В исходном состоянии до момента времени t_0 управляющий сигнал на шине (а) отсутствует, поэтому на выходе элемента И1 нулевой сигнал (график а). На выходе элемента НЕ1 формируется импульсная последовательность (график в), инверсная по отношению к прямой импульсной последовательности (график б), поступающей на его вход. Через элемент ИЛИ 2 инверсная тактовая последовательность поступает на один из входов элемента И2, на другой вход которого подается нулевой сигнал с элемента И1 (график г) поэтому на выходе элемента И2 формируется нулевой сигнал (график д). Этот сигнал, поступая на элемент НЕ2, преобразуется в единичный (график е) и поступает на вход элемента И3, на другой его вход приходит нулевой сигнал с элемента И1, поэтому на выходе элемента И3 нулевой сигнал (график ж).

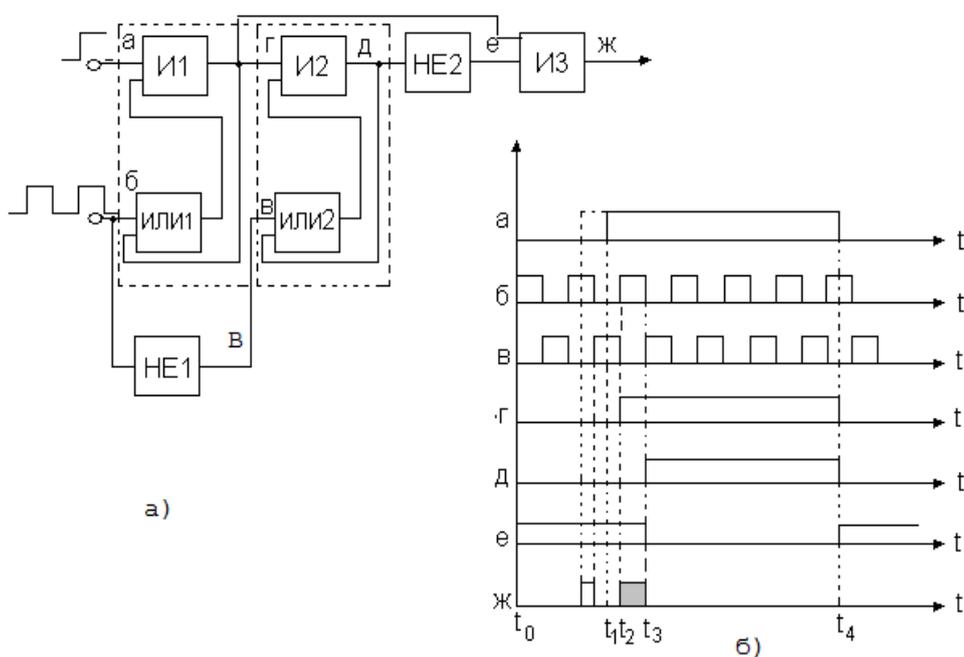


Рисунок 4.4 - Реле для выделения одного первого импульса

При поступлении управляющего сигнала (график а) на вход И1 в момент времени t_1 , он срабатывает только в момент t_2 , когда приходит единичный тактовый импульс и через элемент ИЛИ 1 запомнит его (график г) Единичный сигнал с выхода элемента И1 одновременно подается на элемент И2, И3, и ИЛИ 1. Так как на второй вход элемента И3 уже с момента t_0 поступает единичный сигнал с элемента НЕ2, то на выходе элемента И3 появляется в момент времени t_2 единичный сигнал (график Ж). Так как на вход элемента И2 поступает еще и ин-

версный тактовый импульс с элемента ИЛИ2, то на элементе И2 в момент времени t_3 появляется и запоминается с помощью элемента ИЛИ2 единичный сигнал (график д), который, пройдя через элемент НЕ2, формирует на его выходе нулевой сигнал (график е), что, в свою очередь, приводит к изменению на нулевое значение выходного сигнала с элемента И3 в момент времени t_3 . Таким образом, на выходе реле появляется только один первый импульс из тактовой последовательности (график ж, заштрихованный) после поступления на вход управляющего импульса (график, а).

При пропадании управляющего импульса (график, а) в момент времени t_4 реле приходит в исходное состояние, соответствующее моменту времени t_0 . Элементы И1-ИЛИ1, И2-ИЛИ2 образуют единообразные элементы памяти П1 и П2 (показано пунктиром), описываемые уравнениями

$$г = а(б + г) \text{ и } д = г(в + д)$$

Если входной управляющий импульс «а» поступает одновременно с импульсом прямой тактовой последовательности «б», то реле работает аналогичным образом (на диаграммах рисунок 4.4 показано пунктиром), формируя на выходе первый ущербный импульс из прямой тактовой последовательности.

Если необходимо, чтобы выделялся всегда первый целый импульс (не ущербный, а целый) или отсчет чтобы начинался с первого целого импульса, то такая диаграмма будет выглядеть следующим образом (рисунок 4.5), тогда функции памяти г, д, у, описываются следующими уравнениями:

$$г = а(в + г), \quad д = г(б + д), \quad у1 = д(в + у1), \quad у2 = д \cdot \overline{у1}.$$

Таким образом, чтобы выделить первый целый импульс, в первый элемент памяти П1 надо заводить не сигнал «б», а сигнал «в».

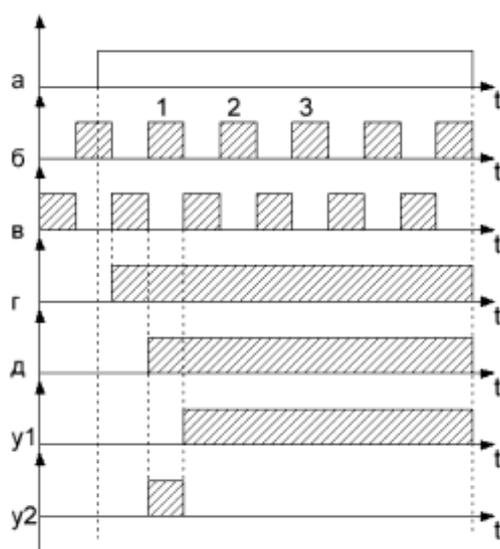


Рисунок 4.5 – Диаграмма, поясняющая выделение импульса

4.2.4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Реле выделения единичных импульсов из импульсной последовательности

Очень часто в системах автоматического управления необходимо иметь устройство, которое выделяет (распознает) тот или иной импульс для начала действия какого-либо из автоматов или устройств. Например, по первому импульсу двигатель должен включаться, затем поработав некоторое время (а за это время пройдет пачка импульсов) двигатель должен выключиться, например, на 17ом импульсе от первого импульса. Можно поставить счетчики и триггеры для подсчета прохождения импульсов, задатчик импульсов, сравнивающее устройство и элементы памяти, но если число импульсов невелико, то можно сделать более простое устройство на логических элементах.

Задание:

1. Составить структурно-логическую схему реле для выделения одного импульса из импульсной последовательности в соответствии с заданным вариантом.

2. Дать тактовую диаграмму работы разработанного устройства и алгебрологическое описание. Написать логическое уравнение.

3. Разработать принципиальную электрическую схему реле синтезированного устройства в соответствии с заданным базисом микросхем.

4. Разработать печатную и монтажную платы.

5. Составить описание работы разработанного реле.

6. Оформить отчет.

Варианты задания:

Индекс	Наименование раздела	Варианты			
		1	2	3	4
А	Выделение импульса из импульсной последовательности	7	5	4	9
Б	Отсчет начинать с	первого целого	первого целого	первого целого	∞
В	Использовать микросхемы серии	К551	К555	∞	К531
Г	Число корпусов на плате	4	3	4	2

4.2.5. РЕЛЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ПАЧКИ ИМПУЛЬСОВ

Очень часто необходимо из тактовой импульсной последовательности выделить небольшое число импульсов для срабатывания определенных элементов системы УЧПУ. Часто это необходимо сделать после того, как пройдет наперед заданное число тактовых импульсов. В этом случае также удобно воспользоваться электронными реле, выполненными только на логических элементах без применения счетчиков и триггеров. Функциональная схема одного из таких реле для выделения второго и третьего импульсов представлена на рисунке 4.6, где П1 ÷ П6, - однотипные элементы памяти, как и в предыдущей схеме, построенные на элементах И1 и ИЛИ1.

Принцип работы заключается в следующем: нечетные элементы памяти П1 - П3 выдают постоянный единичный импульс на выходе при появлении прямой последовательности тактовых импульсов, четные элементы памяти - П2-П6 выдают единичный постоянный сигнал на выходе при поступлении соответствующего обратного тактового импульса «в». На выходном элементе И собираются соответствующие промежуточные сигналы. Так, например, если необходимо пропустить первый тактовый импульс после подачи управляющего сигнала (а) и выделить второй и третий импульс на выходе, то на вход И подаются сигналы (е) (к) (б). Тогда на выходе И (график М) появятся только сигналы 2 и 3 тактовой последовательности. Работу схемы поясняют графики а – М (рисунок 4.6 б).

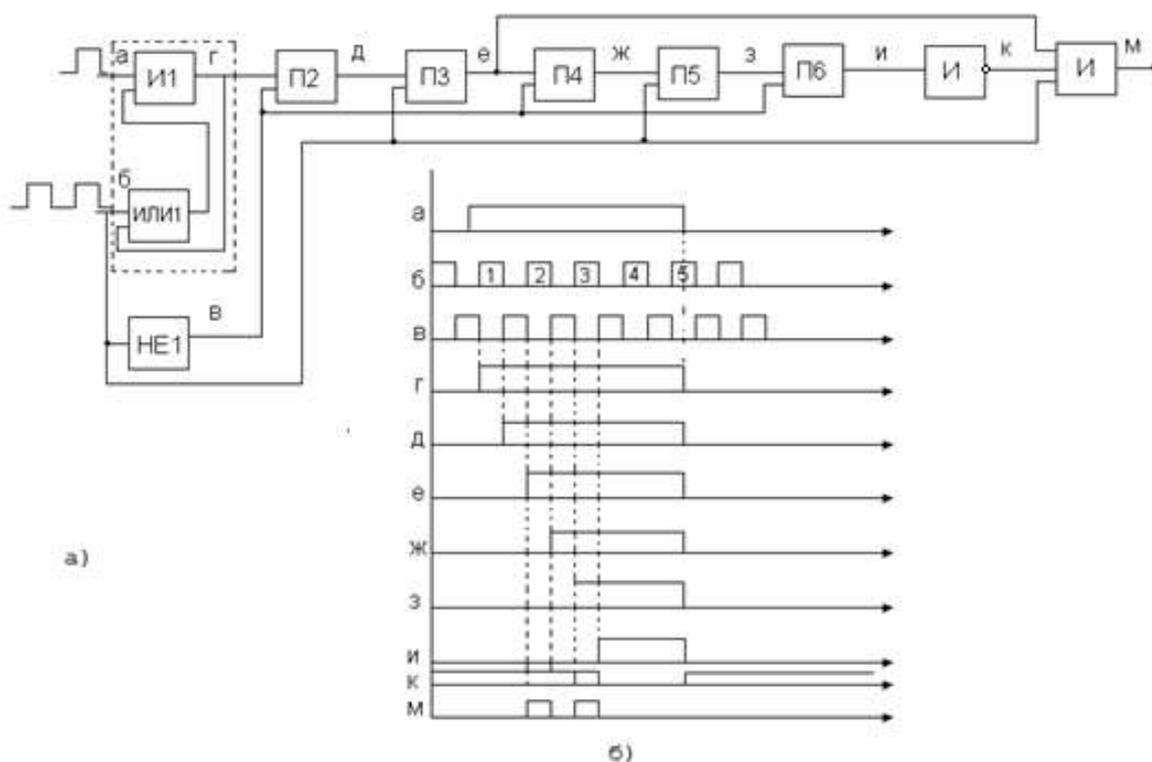


Рисунок 4.6 – Принцип выделения пачки импульсов

4.3. ДЕШИФРАТОРЫ

Дешифраторы служат для преобразования кода числа, поступающего на вход, в управляющий сигнал только на одном из его выходов. Схема простейшего дешифратора, формирующая какой-либо из четырех управляющих сигналов (A_0, A_1, A_2, A_3) состоит из (рисунок 4.7) регистра адреса, построенного на триггерах (Т1, Т2), и логических элементов ДД0 – ДД7; запись и выдача управляющих сигналов происходит по адресу, записанному в регистр. Например, если во входном регистре записан код числа 3-(11), то управляющий сигнал сформируется на выходе элемента ДД7, считывание команды идет, но третьему адресу, A_3 с элемента ДД7.

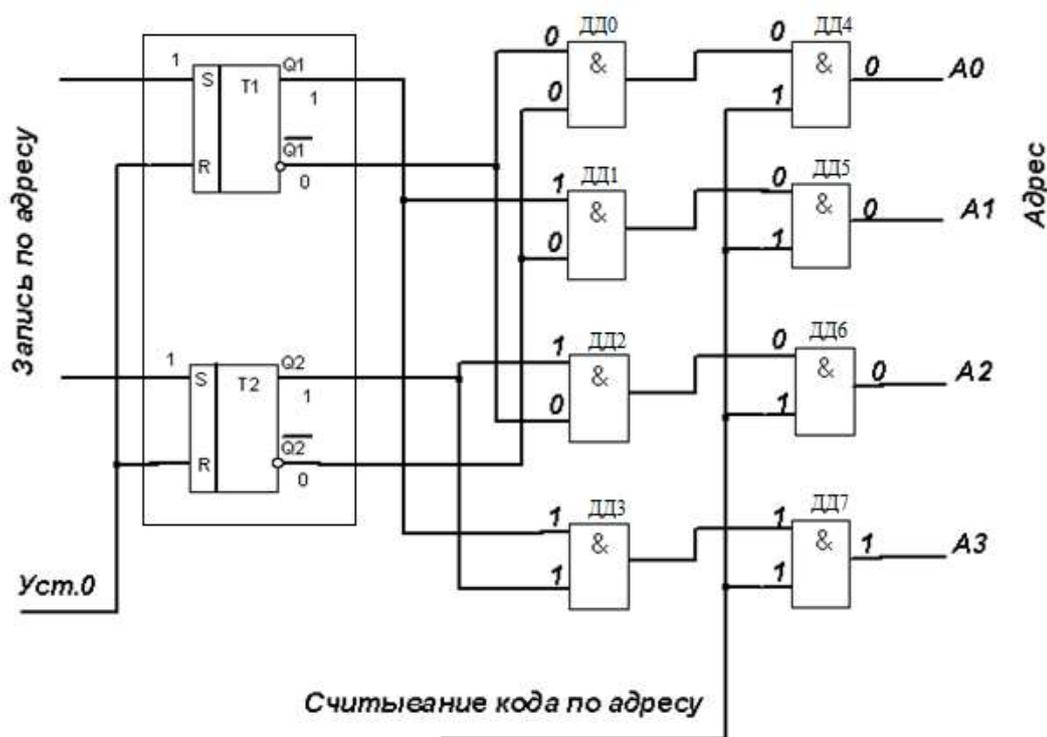


Рисунок 4.7 – Схема дешифратора

5. УСИЛИТЕЛИ

Для работы усилителей с положительным коэффициентом усиления всегда необходим вспомогательный источник энергии. В зависимости от вида энергии вспомогательного источника усилители делятся на: электрические, гидравлические, механические, пневматические, комбинированные.

В настоящее время наиболее широко используются электрические усилители, которые в зависимости от заложенного физического принципа работы, в свою очередь делятся на: электронные, ионные, магнитные, электромеханические, диэлектрические, пьезоэлектрические, лазерные и др.

В электронных усилителях используются транзисторы, тиристоры, электронные лампы;

в ионных - тиратроны, ртутные управляемые вентили;

в магнитных - ферромагнитные сердечники;

в электромеханических – электромашинные усилители, электрогенераторы.

5.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Электронные усилители подразделяются на классы: А, В, С. Усилители класса «А» усиливают и пропускают весь переменный сигнал (рисунок 5.1 а), усилитель класса «В» детектирует и усиливает только одну полуволну входного сигнала (рисунок 5.1 б). Усилитель класса «С» детектирует и усиливает только часть полуволны входного сигнала. Этот эффект достигается предварительным «смещением», т.е. подачей на базу предварительного стабильного сигнала: отрицательного, положительного или нулевого, в зависимости от класса и типа используемого усилительного элемента.

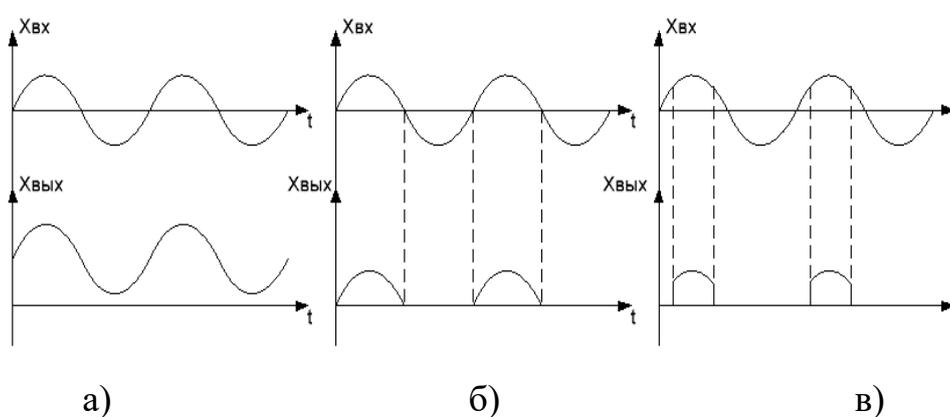


Рисунок 5.1 – Характеристики электронных усилителей классов А, В и С

Электронные усилители в зависимости от рода сигнала и режима работы делятся на пропорциональные, интегральные, импульсные, частотные, фазочувствительные. По назначению усилители бывают: усилители тока, напряжения,

мощности, а также решающие усилители. Обычно электронные усилители малой мощности — это ламповые усилители, они имеют большой коэффициент усиления, большое входное сопротивление, но малую выходную мощность и их используют как промежуточные. Полупроводниковые усилители средней и большой мощности обычно изготавливаются на основе транзисторов и тиристоров, соответственно. Общее требование к электронным усилителям это: большое входное сопротивление и малое выходное сопротивление.

Решающие усилители строятся на основе операционных усилителей (ОУ). ОУ используется как усилители электрических сигналов, так и для выполнения различных операций над аналоговыми величинами. ОУ имеет высокий $K_{ус}$, широкую полосу пропускания частот (от нуля до МГц), большое $R_{вх}$ и малое $R_{вых}$. На схемах усилители изображаются или как на рисунке 5.2 а, или как на рисунке 5.2 б-е.

Различают две основные схемы включения ОУ - инвертирующую и не инвертирующую. На базе инвертирующих строят усилители постоянного тока, мостовые усилители, аналоговые интеграторы. Инвертирующее включение ОУ применяется в тех случаях, когда необходимо согласовать маломощный источник сигнала, обладающий большим сопротивлением, с низкоомной нагрузкой. ОУ могут включаться как основной самостоятельный элемент в различных элементарных устройствах.

Схемы включения операционных усилителей в таких элементарных устройствах представлены на рисунке 5.2 в-е.

На рисунке 5.2 б показан усилитель с прямым и инвертирующим входами и некоторыми дополнительными узлами. Здесь потенциометром R устанавливают ноль выходного напряжения при отсутствии входных сигналов или задают «смещение». Далее эту цепочку, и шунтирующие цепочки с конденсатором «с» для устранения «помех-шумов», а также цепи питания ± 15 В не показывают.

На рисунке 5.2 в показано включение ОУ как сумматора, с ограничением максимальной величины выходного сигнала, при этом сумматор дает выходное напряжение,

$$U_{\text{вых}} = - \left(\frac{R_4}{R_1} U_1 + \frac{R_4}{R_2} U_2 + \frac{R_4}{R_3} U_3 \right).$$

При вычитании напряжений они (U_1, U_2, U_3) должны быть разных полярностей. Если U_2 равно U_3 и равно 0, а $R_1 = R_4$, то ОУ работает как инвертор. Стабилитроны V_1, V_2 служат для ограничения $U_{\text{вых}}$ по модулю.

На рисунке 5.2 г показано включение ОУ как пропорционально интегрального усилителя с ограничением

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{C \cdot R_1} \int i_1 dt,$$

при $R_2 = 0$ имеем чисто интегральный усилитель. На транзисторах VT_1, VT_2 выполнена схема регулируемого ограничения $U_{\text{вых}}$. Изменяя напряжение $\pm U_{\text{огр}}$ можно изменить допустимое максимальное значение $U_{\text{вых}}$.

На рис. 5.2д показана комплексная схема, работающая по прямому входу на которой выполняются функции усиления, интегрирования и высокоточного ограничения выходного напряжения. При работе в качестве усилителя с ограничениями, ставится переключка в положение 1-3, и выходное напряжение определяется как,

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \frac{R_2}{R_1} = U_1 \frac{R_2}{R_1},$$

если установлена переключка 1 - 2, то усилитель работает как интегратор.

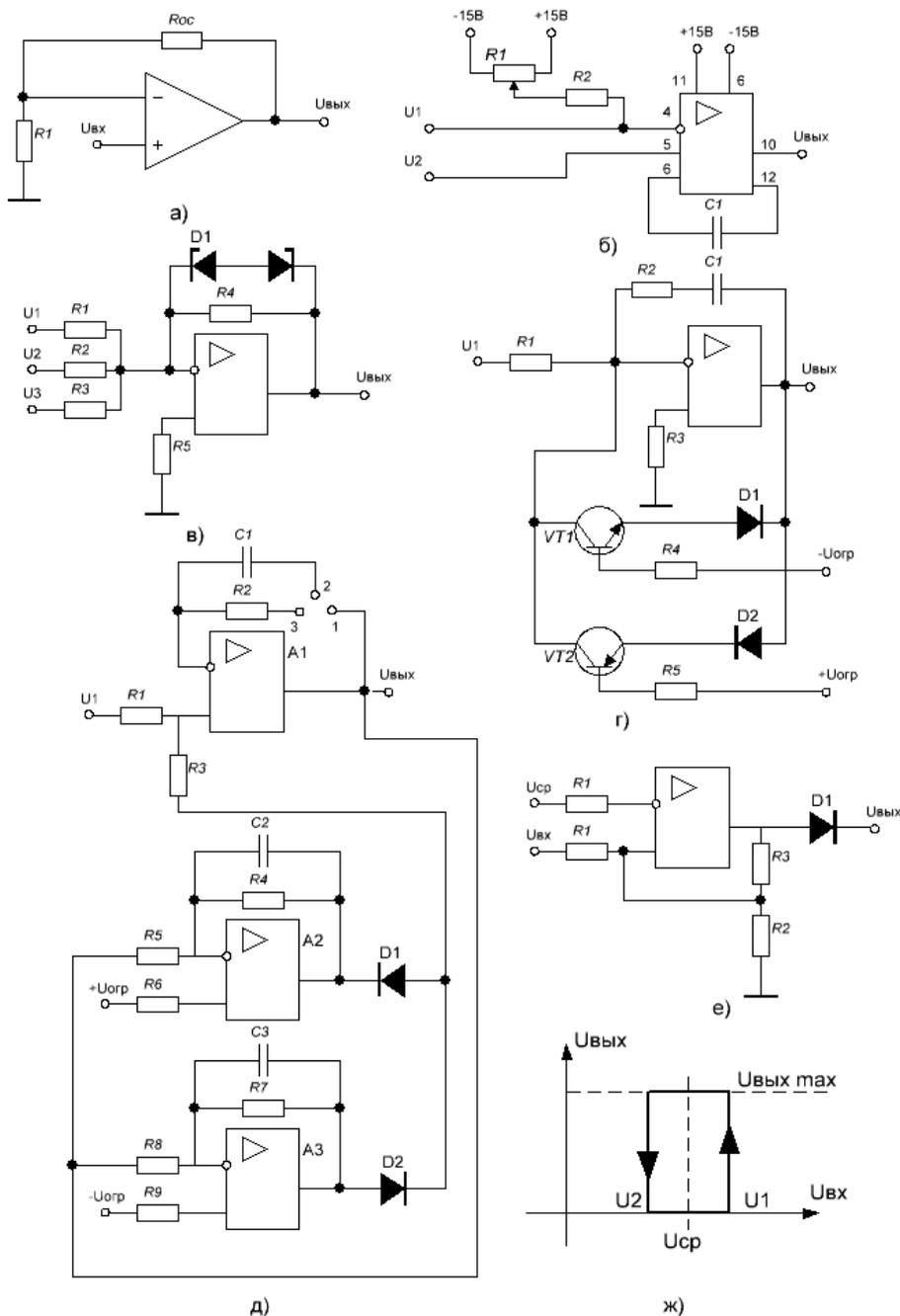


Рисунок 5.2 - Схемы включения ОУ

Схема регулируемого ограничения, выполненная на усилителях А2 и А3 (рисунок 5.2 д), обеспечивает точное (0,1%) ограничение. Схема работает следующим образом: При $U_{\text{вых}} = 0$ на выходе усилителя А2 напряжение положительной полярности, а на выходе А3 отрицательной. Оба эти напряжения благодаря диодам D1, D2 на вход усилителя А1 не поступают.

Пусть при увеличении положительного входного напряжения U_1 напряжение $U_{\text{вых}}$ стремится стать больше $+U_{\text{огр}}$. Благодаря тому, что коэффициент усиления А2, А3 велик (около 100), уже при небольшом повышении $U_{\text{вых}}$ над значением $+U_{\text{огр}}$ выходное напряжение усилителя А2 станет отрицательным, диод D1 откроется и подключит вход А1 - к выходу А2 - минусу, т.е. уменьшив положительный входной сигнал на прямом входе и таким образом, уменьшив $U_{\text{вых}}$. Практически будет выдерживаться равенство: $U_{\text{вых}} = +U_{\text{огр}}$. При $-U_{\text{вых}} < -U_{\text{огр}}$ изменится знак выходного напряжения усилителя А3, открывается диод D2, что приводит к поддержанию равенства $-U_{\text{вых}} = -U_{\text{огр}}$.

На рисунке 5.2 е показано включение ОУ как компаратора, при этом, если напряжение $+U_{\text{вх}}$ меньше $+U_{\text{ср}}$, то напряжение на выходе усилителя отрицательное и диод D1 закрыт, $U_{\text{вых}} = 0$. При $U_{\text{вх}} \geq U_{\text{ср}}$ выходное напряжение усилителя изменяет свою полярность напряжение $U_{\text{вых}}$, становится положительным. При наличии положительной обратной связи через резистор R3 изменение полярности выходного напряжения усилителя происходит практически скачком до напряжения источника питания, т.е. до «1» (рисунок 5.2 ж). Если компаратор должен работать от $U_{\text{вх}}$ любой полярности, то используются две схемы, аналогично изображенной на рисунке 5.2 е, при этом, выходные цепи катодов диодов будут объединены, причем напряжения во втором усилителе $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{ср}}$ меняются местами, все остальное остается неизменным.

При этом ориентировочный расчет сопротивлений компаратора производится следующим образом:

Сопротивления резисторов у компаратора (рисунок 5.2 е) должны выполнять следующие условия:

$$R_1 \lesssim R_2; \quad R_3 > R_2; \quad R_3 < 10R_1.$$

По этим условиям делают проверку расчета выбранных резисторов.

Пример расчета:

Пусть дано, что $R_{\text{датч}} = 1\text{кОм}$, тогда из условия работы компаратора следует, что $R_{\text{датч}} < (5 \dots 10)R_1$, тогда $R_1 = 5\text{кОм}$.

Микросхема операционного усилителя, по выбранному типу, питается напряжением $U_{\text{пит}} = 5\text{В}$.

Пусть входное напряжение срабатывания (рис. 5.2ж) равно $U_1 = 3\text{В}$, а напряжение отпускания $U_2 = 2,5\text{В}$, тогда напряжение сравнения определяется по следующей формуле:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{пит}} \cdot U_2}{U_{\text{пит}} + U_2 - U_1} = \frac{5 \cdot 2,5}{5 - 3 + 2,5} = 2,78\text{В},$$

а т.к.

$$U_{\text{ср}} = U_{\text{пит}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} ;$$

то

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{U_{\text{пит}}}{U_{\text{ср}}} - 1} = \frac{5}{\frac{5}{2,78} - 1} = 6,25 \text{кОм},$$

тогда

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \left(\frac{U_2}{U_1 - U_2} - 1 \right) = \frac{5 \cdot 6,25}{5 + 6,25} \left(\frac{2,5}{0,5} - 1 \right) = 11 \text{кОм}.$$

Проведем проверку полученных значений сопротивлений резисторов:

$$R_1 \lesssim R_2 \rightarrow 5 \text{кОм} \lesssim 6,25 \text{кОм},$$

$$R_3 > R_2 \rightarrow 11 \text{кОм} > 6,25 \text{кОм},$$

$$R_3 < 10R_1 \rightarrow 11 \text{кОм} < 10 \cdot 5 \text{кОм}.$$

Так как проверка сошлась, то расчет проведён верно.

5.2. МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Магнитные усилители состоят из двух рабочих W_p обмоток, включенных встречно (рисунок 5.3), которые питаются переменным током, и управляющей обмотки, расположенной на центральном сердечнике и питающейся постоянным током. Когда нет подмагничивания сердечника постоянным током от U_y , индуктивное сопротивление обмоток переменного тока велико, и так как переменный ток имеет малое значение, то $U_{\text{вых}}$ мало. При подмагничивании сердечника постоянным током от U_y индуктивное сопротивление одной из рабочих обмоток переменного тока уменьшается, т.к. входит в зону насыщения и индуктивность L этой обмотки уменьшается, общее сопротивление обмоток уменьшается, переменный ток возрастает и $U_{\text{вых}}$ возрастает.

Достоинства магнитных усилителей, следующие: высокая надежность, большой коэффициент усиления по мощности, способность суммирования входных сигналов, дифференцирования нескольких сигналов, способность выдерживать перегрузки, способность выдерживать удары и вибрацию. Недостатки: большая инерционность, большие габариты, вес, стоимость.

Электромашинные усилители (обычно с поперечным полем) имеют большой коэффициент усиления (K_{yc}) по мощности, но в настоящее время в системах УЧПУ применяются крайне редко. Они не отвечают современным требованиям

по надежности, имеют низкий КПД, подвержены воздействию ударов и вибрации, шумны в работе и сложны в эксплуатации.

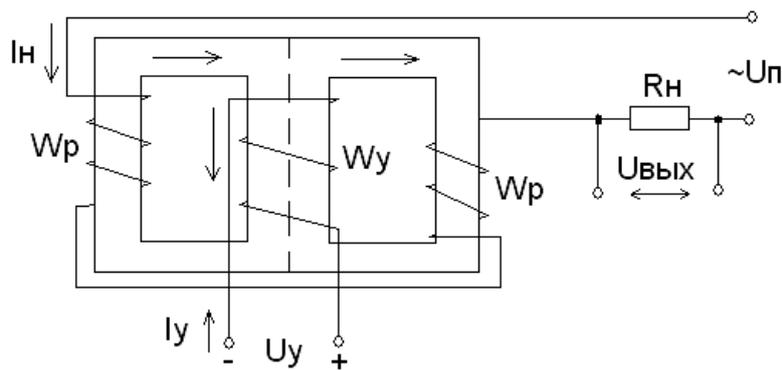


Рисунок 5.3 – Магнитный усилитель

5.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

Гидравлические усилители широко используются в различных механических прессах и там, где применяют гидросистемы. Различают гидроусилители золотникового типа, дроссельные и струйные. На рисунке 5.4 а показан гидроусилитель золотникового типа, а на рисунке 5.4 б – гидроусилители струйного типа. Принцип работы усилителей ясен из рисунков.

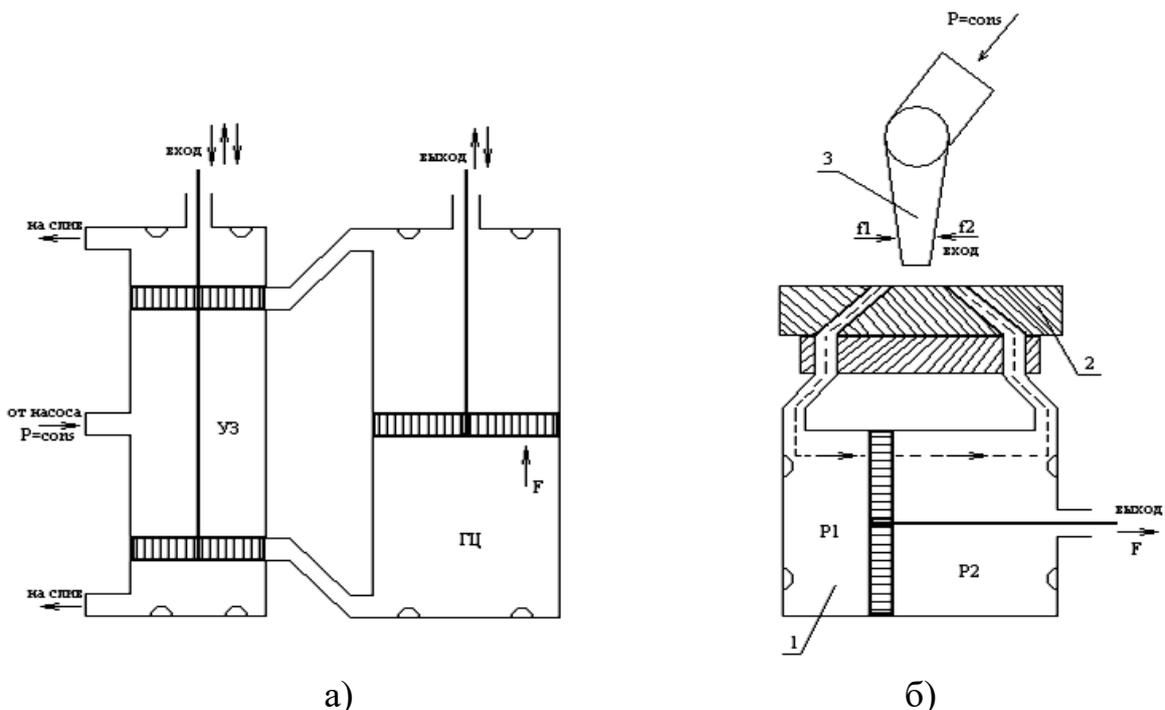


Рисунок 5.4 - Гидроусилитель золотникового типа (а) и гидроусилитель струйного типа (б)

Входной сигнал перемещает положение поршня управляющего золотника (рисунок 5.4 а). Поступающий от насоса воздух $P=Const$ под большим давлением распределяется по патрубкам в верхнюю или нижнюю часть гидроцилиндра ГЦ и, тем самым, передвигает рабочий поршень вверх или вниз. Аналогичным образом работает и струйный (рисунок 5.4 б) гидроусилитель, где рабочий газ под большим давлением $P=const$ поступает через струйную трубку (3) и распределительное сопло (2) в правую или левую полость гидроцилиндра (1). В соответствии с этим рабочий поршень переместится вправо или влево до конца, изменяя выходное перемещение штока. На заданном участке эти усилители остановиться не могут.

6. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. МИКРОДВИГАТЕЛИ

Исполнительные элементы (ИЭ) предназначены для непосредственного воздействия на управляемый объект или орган управления. ИЭ разнообразны и делятся на электрические, гидравлические и пневматические. По конструкции ИЭ делятся на электронные, электродвигательные, электромагнитные, поршневые мембранные, комбинированные. Требования к исполнительным элементам следующие: развиваемая ими мощность должна быть больше требуемой во всех режимах; статические характеристики ИЭ должны быть линейны, и иметь минимальные зоны нечувствительности; ИЭ должны обладать достаточным быстродействием, быть просты, иметь малые габариты и вес, и малую мощность управления. Рассмотрим специальные микроэлектродвигатели, используемые для электроприводов в станках с ЧПУ как исполнительные элементы. Это: специальные микромашины постоянного тока – микродвигатели постоянного тока, и микромашины переменного тока – асинхронные микродвигатели, а также специальные микромашины – синхронные двигатели (синхронно шаговые микродвигатели).

6.1. МИКРОМАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

С развитием робототехники и гибких перестраиваемых систем в ряде электроприводов необходимы двигатели, способные работать при относительно низких частотах вращения и значительных перегрузках момента (по отношению к своему M_n). Асинхронные двигатели и синхронно-шаговые двигатели в полной мере не могут выполнить именно эту задачу (у них другие неоспоримые достоинства), поэтому для выполнения этих требований были разработаны специальные высокомоментные двигатели постоянного тока. Эти двигатели имеют следующие особенности.

Как известно, момент $M_{дв}$, развиваемый ДПТ, прямо пропорционально зависит от тока якоря $I_{я.}$, магнитного потока обмотки возбуждения и конструктивного коэффициента C_m , поэтому момент, развиваемый двигателем., можно увеличить, если увеличить C_m , Φ или $I_{я.}$. Так как

$$C_m = \frac{P N}{2\pi a},$$

то C_m можно увеличить или за счет увеличения числа пар полюсов P или числа параллельных ветвей N , но это ведет к увеличению габаритов и стоимости.

С развитием ферромагнитных материалов в последнее время появились относительно дешевые ферромагнетики с высоким значением H_c - коэрцитивной силы, остаточной индукции B_{oc} и удельной энергии. Такие материалы позволяют создавать высокомоментные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Они имеют большое значение магнитного потока, высокое значение КПД из-за отсутствия потерь в обмотке возбуждения.

Увеличить ток $I_{\text{я}}$ можно, сделав двигатель с беспазовым якорем, изготовленным в виде гладкой бочки из листовой электротехнической стали, а обмотку якоря при этом укладывают в два слоя непосредственно на поверхность бочки и заливают эпоксидной смолой с ферромагнитным наполнением. В таких обмотках якоря лучшее охлаждение, поэтому можно пропускать больший по величине ток якоря. Кроме того, отсутствие зубцов, которые насыщаются быстрее, чем основной магнитопровод, позволяет повысить индукцию в воздушном зазоре. Следовательно, можно увеличить магнитный поток, что приведет к увеличению момента, развиваемого двигателем.

Ещё одним важнейшим требованием, предъявляемым к автоматизированным электроприводам в системах УЧПУ и робототехники, является требование высокого быстродействия. Это значит, что электропривод должен обрабатывать данную команду с минимальным временем, а, как известно, быстродействие тем выше, чем меньше момент инерции ротора, т.е. наличие полого немагнитного ротора у высокомоментных двигателей как нельзя лучше отвечает этим требованиям.

К недостаткам высокомоментных двигателей следует отнести старение ферромагнетиков, приводящее к изменению характеристик двигателя от температуры и во времени, а также наличие коллектора и щеток.

Малоинерционные двигатели постоянного тока выпускают двух видов: коллекторные и бесколлекторные, а коллекторные в свою очередь бывают с полым немагнитным якорем и с дисковым якорем.

6.1.1. КОЛЛЕКТОРНЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОЛЫМ НЕМАГНИТНЫМ ЯКОРЕМ

Высокомоментный двигатель постоянного тока с полым немагнитным якорем, на котором наклеена обмотка якоря, показан на рисунке 6.1. Здесь полый якорь (2) вращается в зазоре между внешним (1) и внутренним (3) статорами.

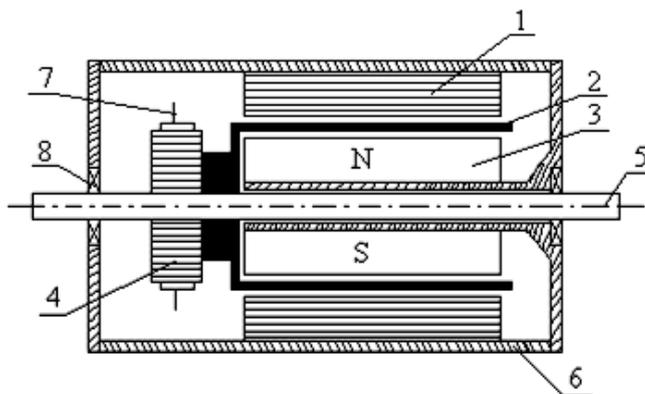


Рисунок 6.1 - Высокомоментный двигатель постоянного тока с полым немагнитным якорем

Внутренний статор выполнен в виде цилиндрического постоянного магнита с радиальной намагниченностью и служит для создания магнитного потока. Напряжение на якорь подается через щетки (7) и коллектор (4). Якорь с коллектором насажен на вал (5), вращающийся в подшипниках (8), которые установлены в подшипниковых щитах, закрепленных в корпусе (6).

6.1.2. КОЛЛЕКТОРНЫЙ МИКРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ДИСКОВЫМ ЯКОРЕМ

Двигатель с дисковым якорем выполняют не с цилиндрическим воздушным зазором, а с плоским (рисунок 6.2).

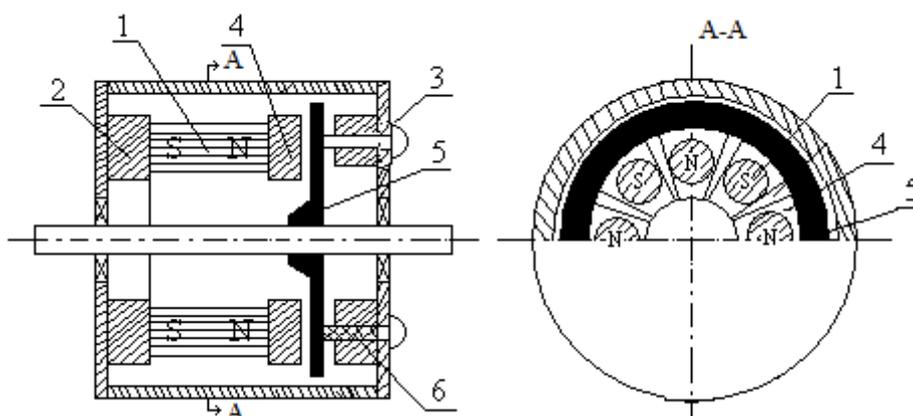


Рисунок 6.2 - Двигатель с дисковым (плоским) якорем

Возбуждение двигателя обеспечивается стрержневыми магнитами (1) с полюсными наконечниками (4) из магнитно-мягкой стали, имеющими форму кольцевых сегментов. Магнитный поток, создаваемый постоянными магнитами, проходит аксиально через два воздушных зазора и немагнитный дисковый якорь (5) с печатной обмоткой и замыкается по корпусу и кольцам 2 и 3, которые служат ярмом (магнитопроводом). Роль коллектора могут играть неизолированные участки проводников, находящиеся на поверхности диска, по которым скользят щетки (6).

Якорь (рисунок 6.3) представляет собой тонкий немагнитный диск (1) без пазов (из керамики, текстолита,) с печатной обмоткой. Проводники (2) печатной обмотки располагаются радиально по обеим сторонам диска и соединяются через сквозные отверстия (3) в диске. Такое соединение выполняют автоматически одновременно с фотохимическим способом нанесения обмотки.

При прохождении тока по обмотке якоря, на валу двигателя создается вращающий момент в плоскости диска якоря. В такой конструкции якоря, во-первых, охлаждение якорной обмотки лучше и, во-вторых, момент инерции диско-

вого якоря значительно меньше момента инерции барабанного якоря, что является одним из основных преимуществ дисковых двигателей. Но дисковые якоря менее долговечны из-за износа меди печатных обмоток в месте установки щёток, а также менее надежны при высоких температурах окружающей среды, вибрациях, ударах. Кроме того, наличие щёток создает дополнительный момент сопротивления на валу якоря.

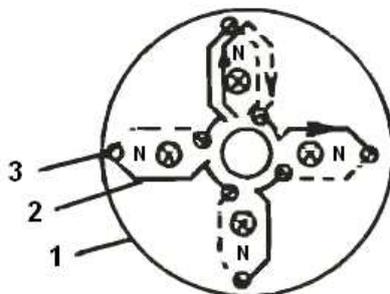


Рисунок 6.3 - Якорь в виде тонкого немагнитного диска без пазов, с печатной обмоткой

В настоящее время в связи с развитием полупроводниковой электроники появились и получают распространение бесколлекторные (бесконтактные) двигатели постоянного тока.

6.1.3. БЕСКОНТАКТНЫЕ (БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЕ) ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При замене механического коммутатора-коллектора со щетками на полупроводниковый коммутатор, двигатель постоянного тока становится более надежным, долговечным, создает меньше радиопомех, особенно при высоких частотах вращения. Кроме того, на высоких скоростях вращения быстро изнашиваются щетки, и значительно увеличивается искрение. У бесконтактных двигателей (БКД) постоянного тока этих неприятностей нет, но имеются следующие особенности.

- Силовая обмотка якоря расположена на статоре и состоит из нескольких сосредоточенных катушек, сдвинутых относительно друг друга в пространстве. Якорь выполняют в виде постоянного магнита с радиальным намагничиванием.

Положение магнитного потока ротора по отношению к осям катушек силовой обмотки статора определяется бесконтактными датчиками (трансформаторными, индуктивными, магнитоэлектрическими, фотоэлектрическими и т.д.).

Бесконтактный, обычно полупроводниковый коммутатор осуществляет коммутацию катушек силовой обмотки статора по сигналам датчиков положения.

Нет дополнительного M_c от прижима щеток к коллектору, который находится на вращающемся якоре.

Эти факторы позволяют при устранении скользящего контакта коллектор - щетки сохранить основную особенность в том, что частота переключения катушек обмотки якоря определяется частотой вращения якоря.

Конструкция БКД с магнитными датчиками показана на рисунке 6.4, где в корпусе (1) (рисунок 6.4 а) расположены электромагнитная система двигателя и датчика положения, магнитопровод статора (2) выполнен из электротехнической стали. В его пазах расположена (в данном случае) двухфазная обмотка (3), состоящая из двух обмоток, сдвинутых в пространстве на 90 градусов. Обмотки в виде многовитковых катушек обычно выполняются сосредоточенными. Якорь (4) с одной парой полюсов радиального намагничивания изготовлен из постоянного магнита. При подаче постоянного напряжения на обмотку статора по ней проходит ток, который во взаимодействии с магнитным потоком якоря создает вращающий момент.

Роль датчика положения якоря относительно статорных обмоток выполняют два магнитоуправляемых диода Д1 и Д2 (рисунок 6.4 б), расположенных на дополнительном кольцевом магнитопроводе (5), и вращающийся ферромагнитный диск (6). Диск имеет немагнитную вставку (7), занимающую половину его толщины на половине окружности.

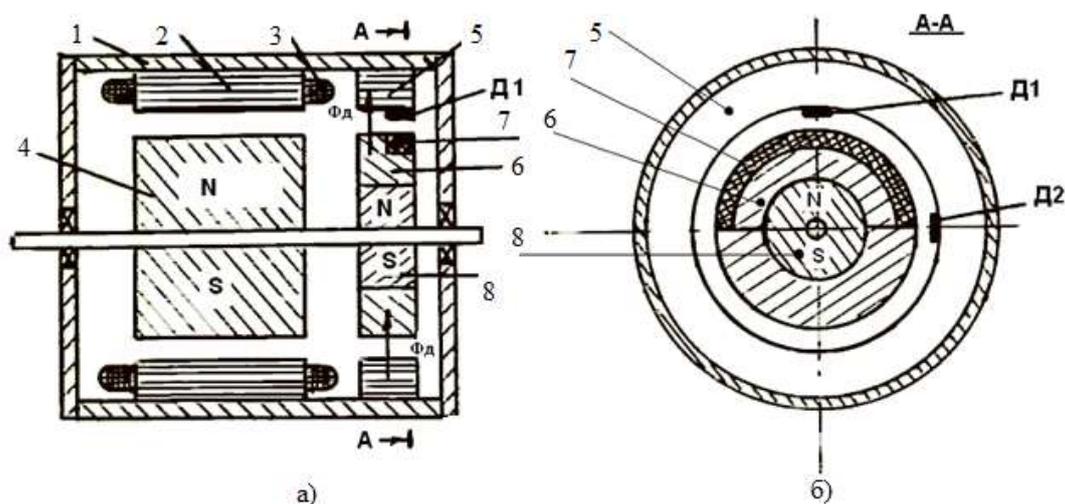


Рисунок 6.4 - Бесконтактный двигатель постоянного тока

Магнитный поток датчика Φ_d создается постоянным магнитом (8) с радиальной намагниченностью. Каждый из магнитоуправляемых диодов одну половину оборота вала находится в зоне действия магнитного потока Φ_d и закрыт, а $1/4$ часть оборота они одновременно или оба открыты или оба закрыты.

Работа датчиков и полупроводникового коммутатора К (рисунок 6.5) согласована при расположении датчиков Д1 и Д2 по осям обмоток статора (L1) и (L2). В положении, изображенном на рисунке 6.5 в сигнал, управляющий коммутатором, снимаемый с датчика Д1, равен единице, а с датчика Д2 – равен нулю и

коммутатор подает на обмотку (L1) и обмотку (L2) напряжения, указанной стрелкой на рисунке полярности. Когда сигнал с датчика Д1 отсутствует, коммутатор подает на обмотку (L1) напряжение противоположной полярности. Аналогично, со сдвигом в 90 градусов, подключается к коммутатору обмотка (L2) по сигналам с датчика Д2. При этом изменение коммутатором полярности напряжения на обмотках статора осуществляется после перехода оси потока якоря через ось данной обмотки статора. Тем самым обеспечивается изменение направления тока в обмотке статора и её магнитного потока при проходе оси полюса якоря противоположного знака. Следовательно, сохраняется одно направление вращающего момента M , создаваемого силами F , в пределах одного оборота ротора, т.е. выполняется роль коммутатора электрической машины постоянного тока. Тактовая диаграмма показана на рисунке 6.5 б. А положение роторного полюса по отношению к датчикам и направление тока в обмотках (L1) и (L2) на рисунок 6.5 б, в.

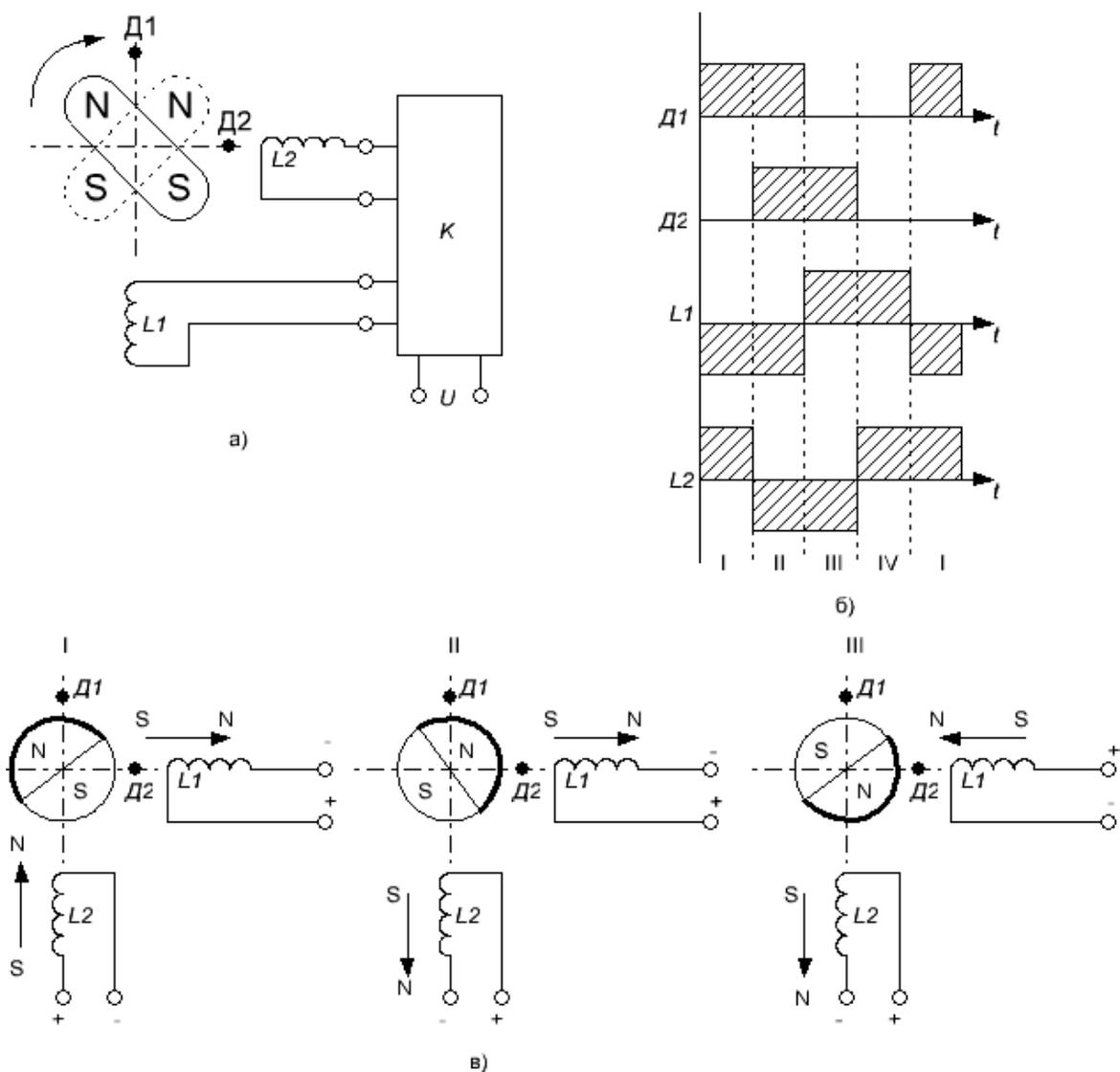


Рисунок 6.5 - Работа датчиков и полупроводникового коммутатора БКД

В бесконтактном (бесколлекторном) двигателе момент взаимодействия каждой обмотки статора, обтекаемой током I_c и потоком якоря Φ_y равен

$$M = 2(C_M I_c \Phi_y \sin \theta),$$

где $\theta = 0 \div 180^\circ$ - угол между потоком Φ_y и осью обмотки статора.

К недостаткам БКД можно отнести следующее. Согласно полученному выражению, при включении напряжения только на одну обмотку статора, двигатель может не прийти во вращение, если начальное положение ротора соответствует углу θ , при котором $M_{дв} < M_c$. Кроме того, наблюдается существенная пульсация вращающего момента в пределах оборота ротора и, соответственно, нестабильность его мгновенной угловой скорости.

В то же время наличие двух, продублированных (1, 1' и 2, 2') или большим числом обмоток обычно обеспечивает достаточный пусковой момент при любом положении якоря. Однако пропорционально числу обмоток (в ряде случаев) должно быть увеличено число датчиков и число транзисторов в коммутаторе. Поэтому нецелесообразно делать более 3-4-х обмоток.

6.1.4. ЛИНЕЙНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА (ЛДПТ)

ЛДПТ — это развернутая на плоскости машина вращательного типа, имеющая специфические особенности, связанные со спецификой замыкания магнитного потока и механики движения. На рисунке 6.6 показана конструкция построения ЛДПТ. Здесь корпус (1) индуктора выполнен из ферромагнитного материала, служит внешним магнитопроводом. В корпусе расположены постоянные магниты (2), создающие поток возбуждения. Индуктор (1) - подвижная часть, якорь (3) - диэлектрическая пластина, на поверхности которой методом фотолитографии выполнена печатная схема проводников. Якорь (3) неподвижен. Длина якоря $L_y > L_n$ на длину хода индуктора.

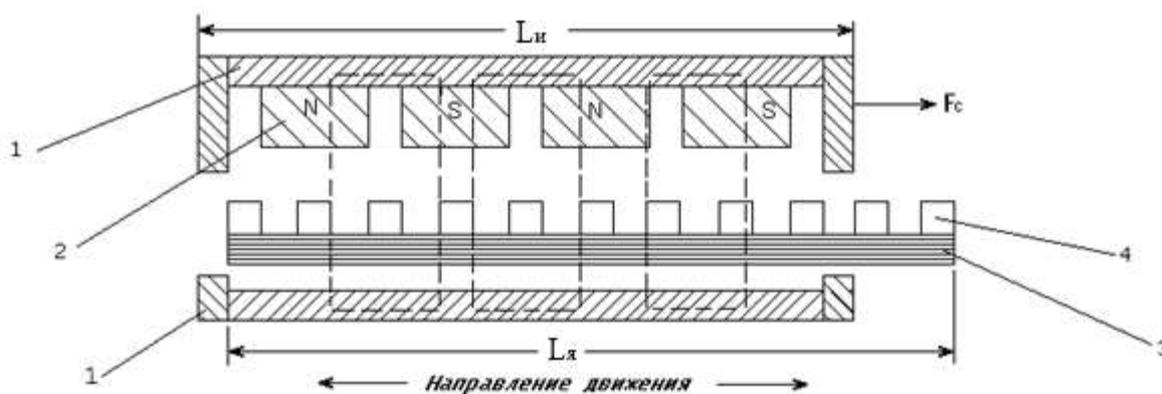


Рисунок 6.6 - Линейные двигатели постоянного тока

Проводники якоря объединены в катушки, оси которых сдвинуты по длине якоря. Выводы катушек подсоединены к полупроводниковым коммутаторам.

Работа ЛДПТ такая же, как и у вращающего. Отличие состоит лишь в том, что сила электромагнитного взаимодействия тока якоря с полем возбуждения индуктора создает тяговое электромагнитное усилие F_c в плоскости якоря, которое приводит к поступательному перемещению индуктора.

6.1.5. ТАХОГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тахогенераторы постоянного тока по принципу действия и конструкции представляют собой обычные электрические коллекторные микромашины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов или с независимым электромагнитным возбуждением. Основной характеристикой тахогенератора является выходная характеристика, т.е. зависимость ЭДС на выходе якоря от частоты вращения при постоянном магнитном потоке возбуждения, которая, как известно, определяется соотношением

$$E_{ТГ} = C_c \omega \Phi = K_e \cdot \omega,$$

где K_e - крутизна характеристики ЭДС тахогенератора на холостом ходу.

При подключении обмотки якоря к выводам прибора или устройства с конечным значением входного сопротивления и постоянстве магнитного потока возбуждения выходное напряжение будет меньше ЭДС. Во-первых, за счет реакции якоря происходит искривление поля статора, во-вторых, за счёт внутреннего падения напряжения в цепи якоря тахогенератора, т.е.:

$$U_{я} = E_{ТГ} - I_{я} \cdot R_{яц},$$

где $I_{я}$, - ток якоря,

$R_{яц}$ - сопротивление цепи якоря.

Для уменьшения погрешности целесообразно подключать, как можно большее нагрузочное сопротивление R_n и использовать небольшой диапазон частоты вращения $\omega < 0,5 \omega_{ном}$, так как в этом случае реакция якоря незначительна.

Такого же эффекта можно достичь, если использовать тахогенераторы с полым или дисковым якорем.

Однако ряд недостатков ограничивает применение тахогенераторов постоянного тока. К таким недостаткам относятся: скользящий контакт коллектор - щётки, снижающий надежность машины, необходимость использования индуктивно-ёмкостных фильтров для подавления радиопомех и сглаживания пульсаций выходного напряжения; сложность конструкции и относительно высокая стоимость.

6.2 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Реле для выделения пачки импульсов из импульсной последовательности

В системах автоматики часто необходимо выделять определенную пачку импульсов из импульсной последовательности. Это либо отсчет определенного отрезка времени, либо пачка, определяющая серию последовательных команд для выработки какого-либо движения или действия. Устройства, выделяющие пачку импульсов, имеют довольно много модификаций: со счетчиками, триггерами, на логических элементах и т.п. В этой лабораторной работе рассматриваются дискретные электронные реле, выделяющие пачки импульсов из серии импульсной последовательности, использующие различные полупроводниковые элементы.

Задание:

1. Составить структурно-логическую схему реле для выделения пачки импульсов из импульсной последовательности, начиная с первого целого, в соответствии с заданным вариантом.

2. Дать тактовую диаграмму работы разработанного устройства реле и ее алгебрологическое описание.

3. Разработать принципиальную электрическую схему разработанного устройства реле в соответствии с заданным базисом микросхем.

4. Разработать монтажную (проволочную схему всего устройства реле с учетом монтажных плат).

5. Составить описание работы схем.

6. Оформить отчет.

Варианты задания:

Индекс	Наименование раздела	Варианты			
		1	2	3	4
А	Отсчитать «N» импульсов	7	8	11	4
Б	Выдать пачку с «m» импульсами	5	9	8	4
В	Выполнить на...	ЛЭ	триггер + ЛЭ	триггер + ЛЭ	счетчик + ЛЭ
Г	Базис микросхем	564	555	155	176
Д	а) Разместить на каждой односторонней плате «n» микросхем	3	∞	4	5
	б) Число контактных разъемов на плате	8	12	16	10

6.3. АСИНХРОННЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ

Различают два типа асинхронных микродвигателей – с «беличьей клеткой» и с полым немагнитным якорем. Асинхронный микродвигатель с «беличьей клеткой» обычно выполняется, как двухфазный, с двумя обмотками: В - возбуждения и У - управления, сдвинутыми на угол $\beta=90^\circ$ во времени и на угол $\gamma=90^\circ$ в пространстве (показан на рисунок 6.7 а). Число витков у обмоток В и У может быть разное или одинаковое, но магнитодвижущие силы должны быть равны, $I_B w_B = I_Y w_Y$, где w_B и w_Y число витков обмоток В и У, соответственно. Невыполнение любого из этих условий приводит к тому, что поле становится эллиптическим момент, развиваемый двигателем уменьшится. Эти микродвигатели имеют повышенное сопротивление роторной цепи, чтобы механическая характеристика 2 - была бы линейной на всем рабочем диапазоне. У этих двигателей делают критическое скольжение $S_k=2\div 4$. (рисунок 6.7 б).

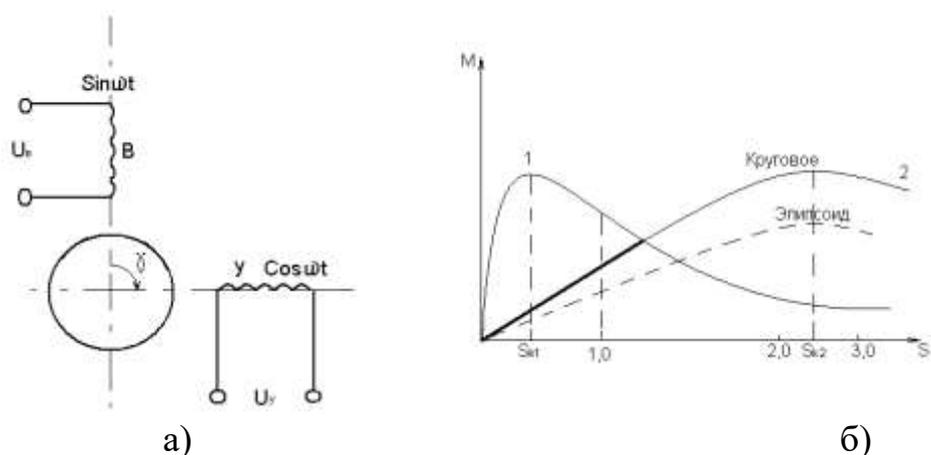


Рисунок 6.7 - Асинхронный микродвигатель с «беличьей клеткой»

6.3.1. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ПОЛЫМ НЕМАГНИТНЫМ РОТОРОМ

Так как асинхронные микродвигатели с ротором типа «беличья» клетка имеют большую инерционность, а это в ряде случаев неприемлемо в устройствах автоматики, то магнитопровод ротора, в котором сосредоточена основная часть массы ротора, желательно делать неподвижным, тогда ротор делят на магнитопроводящую неподвижную и электропроводящую подвижную часть в виде немагнитного вращающегося полого цилиндра

Асинхронные двигатели с полым немагнитным ротором (АДПНР) имеют конструкцию, показанную на рисунок 6.8. Магнитопровод (1) статора закрепляемый на корпусе (8)) набирают на листовой электротехнической стали. В пазах статора расположены две обмотки (2) «В» и «У», сдвинутые в пространстве на

90°. Магнитопровод (4) ротора или внутреннего статора набирают из листовой электротехнической стали и крепят на цилиндрическом выступе (5) одного из подшипниковых щитов. Этот магнитопровод служит для уменьшения магнитного сопротивления на пути основного магнитного потока, проходящего через воздушный зазор.

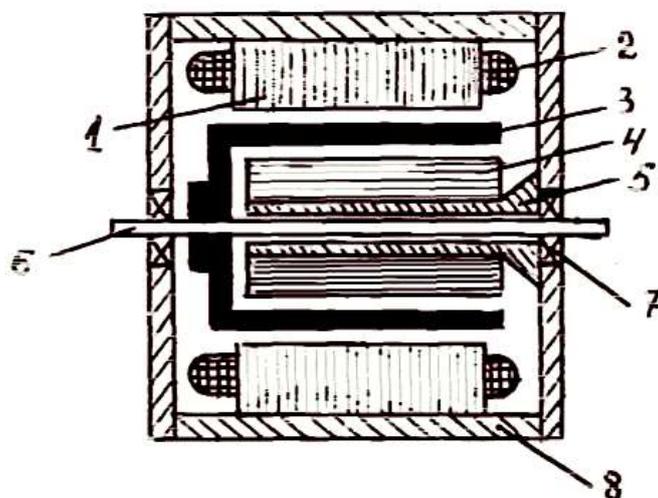


Рисунок 6.8 - Асинхронный двигатель с полным немагнитным ротором

В воздушном зазоре между внешним и внутренним статорами находится полый ротор (3), выполненный в виде тонкого стакана из немагнитного металлического материала (алюминий или бронза). Дно ротора (3) жестко укрепляют на валу (6), который вращается в подшипниках (7). Толщина стенок ротора в зависимости от мощности двигателя 0,7 – 1 мм.

В микромашинах мощностью в единицы Вт и меньше обмотки «В» и «У» часто размещают в пазах внутреннего статора.

Недостатком этих микродвигателей является большой немагнитный зазор (их 2, и каждый по 0,25 мм, да еще немагнитный ротор). Из-за этого эти машины имеют значительный намагничивающий ток, равный 0,8 - 0,9 $I_{ном}$, и низкий $\cos\phi$ и КПД $\eta = 20 - 25\%$. Эти двигатели менее надежны при большой температуре, вибрациях, ударах, чем двигатели с «беличьей клеткой», но более быстродействующие.

Управление скоростью асинхронных микродвигателей основано на изменении формы вращающегося поля статора. Вращающееся поле создается обмотками «У» и «В» и будет круговым при соблюдении следующих условий: во-первых, сдвиг «В» и «У» в пространстве (γ) и во времени (β) должен быть равен 90°. во-вторых, должно соблюдаться равенство магнитодвижущих сил «В» и «У», т.е. $I_B W_B = I_Y W_Y$. Последнее условие обычно легко выполнить при равенстве напряжений, приведенных к одному числу витков. Например, $U_B = U_Y$. Нарушение любого из выше оговоренных условий приводит к тому, что поле становится эллиптическим. В этом случае суммарное магнитное поле при вращении изменяется по амплитуде и создает меньший вращающий момент, чем круговое поле.

Эллиптическое вращающееся магнитное поле можно представить как сумму двух неравных по амплитуде круговых полей, вращающихся с синхронной частотой в противоположные стороны (рисунок 6.9 а).

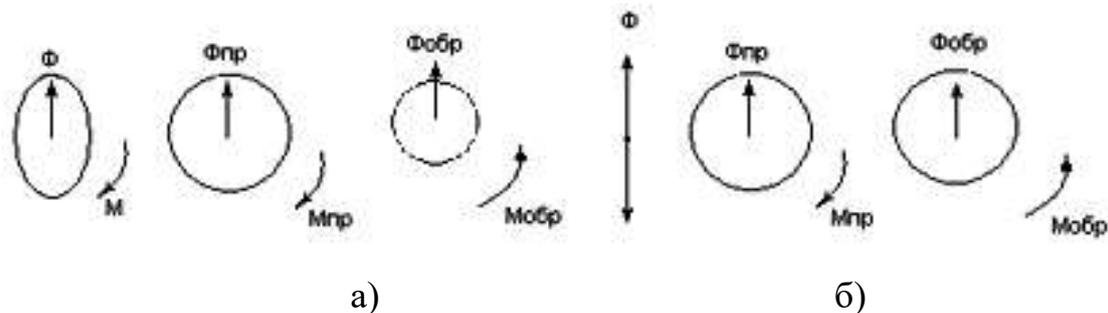


Рисунок 6.9 - Образование вращающегося магнитного поля эллиптической формы

Круговое поле $\Phi_{пр}$, вращающееся в одном направлении с эллиптическим, называют прямым, а второе ($\Phi_{обр}$) поле - обратным. Прямое поле создает вращающий момент двигателя $M_{пр}$, а обратное поле - $M_{обр}$. С увеличением эллиптичности поля (за счёт изменения углов γ или β , или уменьшения магнитодвижущей силы одной из обмоток статора), прямая составляющая магнитного поля и момента убывает, а обратная - увеличивается. Уменьшение результирующего момента $M = M_{пр} - M_{обр}$ (пунктирная кривая, рисунок 6.9 б) при неизменной нагрузке приводит к снижению частоты вращения ротора. Когда полностью не выполняется хотя бы одно из условий кругового поля, т.е. $\beta = 0$, или $\gamma = 0$, или $I_B = 0$, или $I_Y = 0$, то поле статора становится пульсирующим. В этом случае двигатель не развивает вращательного момента при неподвижном роторе. Для объяснения заменим пульсирующее магнитное поле Φ двумя равными полями $\Phi_{пр}$ и $\Phi_{обр}$, вращающимися в противоположные стороны с синхронной частотой (рисунок 6.9 б). Амплитуды этих полей равны $1/2$ амплитуды пульсирующего поля. Результирующий момент вследствие инерционности ротора равен 0, поэтому ротор не вращается. Однако, если до этого двигатель вращался, то опять-таки вследствие инерционности при малом значении M_c он может вращаться и дальше, но т.к. среднее значение момента двигателя значительно снижено, он вскоре остановится.

Таким образом, изменяя форму поля от пульсирующего через эллиптическое до кругового, можно регулировать вращающий момент от нуля при пульсирующем поле, до максимального при круговом. Соответственно и частота вращения ротора будет изменяться от 0 до максимальной.

Способ управления, основанный на изменении амплитуды напряжения U_y , называется амплитудным, на изменении угла β - фазовым, угла γ - пространственным. Последний способ применим только для двигателей специальных конструкций, позволяющих поворачивать обмотки «В» и «У» относительно друг друга.

6.3.2. АСИНХРОННЫЕ ТАХОГЕНЕРАТОРЫ

Конструкция асинхронных тахогенераторов аналогична асинхронным микродвигателям с полым ротором (рисунок 6.8). В этом случае к одной из двух обмоток статора, например «В» подводится неизменное по амплитуде и частоте f_1 напряжение возбуждения U_1 , тогда со второй обмотки снимается напряжение U_r , если кто-нибудь будет вращать ротор асинхронного тахогенератора при этом. Принцип действия асинхронного тахогенератора рассмотрим на эквивалентной схеме (рисунок 6.10). На схеме для упрощения полый ротор заменен конечным числом проводников, замкнутых накоротко на торцах. Поток Φ_B наводит в роторе ЭДС $E_p = C_e \cdot \Phi \omega_p \cdot \sin \omega t$, сдвинутую на 90 электрических градусов. Величина этой ЭДС зависит от частоты (ω_p) вращения ротора и $\Phi_B = \Phi_1$, последний является постоянной по амплитуде синусоидальной величиной. Эта ЭДС, замыкаясь в роторе, дает ток I_p , совпадающий по направлению с E_p , а ток I_p дает поток Φ_p , который наводит, как трансформатор, ЭДС E_r на выходной обмотке, подключенной на нагрузку Z_H . Эта ЭДС

$$E_r = 4,44 w_2 f_1 \Phi_p,$$

а так как

$$\Phi_p \equiv E_p \equiv \omega_p,$$

то при $w_2 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$, $E_r \equiv \omega_p$.

Эта зависимость показана на рисунке 6.10 б.

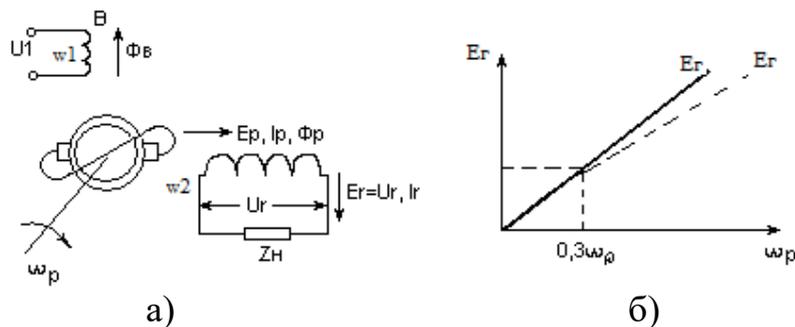


Рис. 6.10 - Принцип действия асинхронного тахогенератора

У реального тахогенератора выходная характеристика отклоняется от линейной (сплошной) зависимости и идет по пунктиру (E_r). Это объясняется тем, что с увеличением ω_p Φ_1 искажается, т.к. увеличивается E_p , следовательно I_p и Φ_p возрастают, что приводит к увеличению реакции якоря, при этом Φ_1 искажается (уменьшается) под действием токов и потоков Φ_p , наводимых в роторе. При этом изменяется и фаза выходного напряжения. Эти погрешности начинают сильно сказываться при $\omega_p > 0,3\omega_0$, что следует учитывать при выборе ТГ при

работе в заданном диапазоне скоростей. Например, при $\omega_{\text{тр}} = 3000$ об/мин желательно измерять этим тахогенератором скорость не более 1000 об/мин.

Так как здесь наводится переменный ток, то при замыкании E_{Γ} на нагрузочное сопротивление, U_{Γ} будет зависеть от характера нагрузки (рисунок 6.11). При ёмкостной нагрузке выходное напряжение может превышать E_{Γ} . Объясняется это резонансом ёмкостной нагрузки с индуктивностью в цепи выходной обмотки тахогенератора, которая имеет свою собственную индуктивность, а конденсатор заряжается до амплитуды напряжения и держит ее вследствие малых потерь в режиме резонанса. При малых значениях $Z_{\text{н}}$ выходное напряжение тахогенератора мало, т.к. все напряжение падает внутри тахогенератора на его внутреннем сопротивлении. С увеличением внешнего сопротивления (нагрузки) внутреннее падение напряжение генератора мало сказывается и $U_{\Gamma} \approx E_{\Gamma}$.

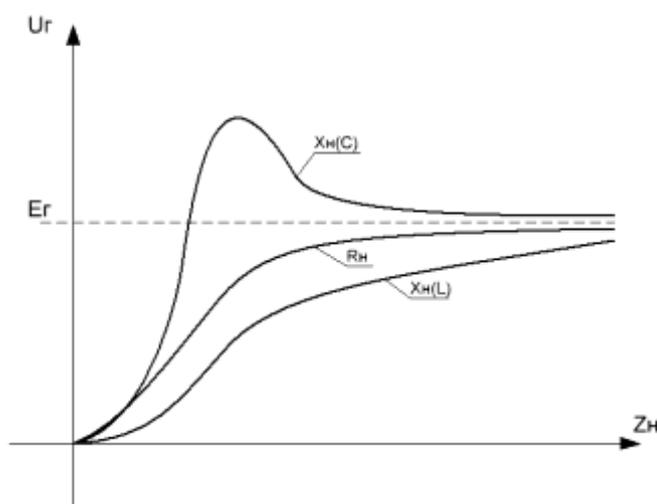


Рисунок 6.11 – Напряжение на асинхронном тахогенераторе от характера нагрузки

Кроме того, значительное влияние на $U_{\text{вых}}$ имеют температурные погрешности сопротивления ротора. К достоинствам асинхронных тахогенераторов можно отнести высокую надежность из-за отсутствия подвижных контактов, отсутствие радиопомех (высокочастотных составляющих) отсутствие зубцовых колебаний, простоту.

6.3.3. ЛИНЕЙНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ (ЛАД)

Это двигатели, которые преобразуют электрическую энергию в механическую энергию поступательного движения без промежуточных преобразований. В простейшем случае линейный асинхронный двигатель можно получить, если двигатель с полым немагнитным ротором разрезать по радиусу и развернуть на

плоскости (рисунок 6.12). При этом магнитное поле получается не вращательным, а бегущим, и электрическая энергия преобразуется в механическую, поступательного движения, но здесь желательно иметь на статоре три фазы.

Плоский первый магнитопровод (1) статора длиной L_c собран (шихтован) из листовой электротехнической стали. В пазах статора расположена трехфазная обмотка (2) с числом пар полюсов p . Плоский второй магнитопровод статора (4) играет роль ярма, по которому замыкается магнитный поток. Подвижная часть линейного двигателя (3) называется ротором и представляет собой полосу из меди или алюминия.

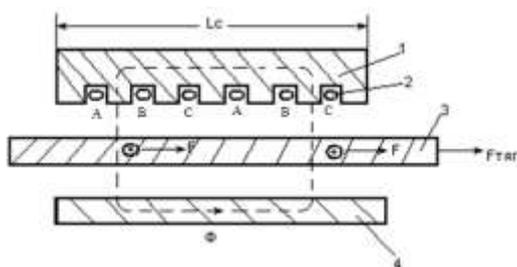


Рисунок 6.12 - Линейный асинхронный двигатель

При подключении обмотки статора к трехфазной сети переменного тока с частотой f_1 обмотка создает линейно перемещающееся (бегущее) поле $\Phi_{ст}$. За один период тока поле перемещается в пределах участка статора, занимаемого одной парой полюсов, следовательно, линейная скорость поля статора:

$$V_{стат} = \frac{L_c f_1}{p}.$$

Магнитное поле $\Phi_{ст}$ статора наводит ЭДС E_2 в роторе, направление которой определяется по правилу правой руки. Замыкаясь, E_2 дает ток I_2 , взаимодействующий с вызвавшим его полем $\Phi_{ст}$, возникает сила F , определяемая правилом левой руки. Сумма всех сил представляет собой тяговую силу двигателя $F_{тяг}$, заставляющую перемещаться ротор вслед за полем со скоростью V_p , которая меньше $V_{стат}$. (как и у асинхронных двигателей вращающегося типа). Характеристика линейного асинхронного двигателя аналогична механической характеристике двигателя вращающегося типа.

На практике используют конструкцию двигателя с неподвижной металлической полосой и перемещающимся магнитопроводом с обмоткой.

6.3.4 УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ

Принципиально любой двигатель постоянного тока (ДПТ) может работать от сети переменного тока, т.к. развиваемый электродвигателем вращающийся момент ($M_{дв} = C_m \Phi I_a$), зависит от произведения тока и магнитного потока и если кто-нибудь один из них меняет направление, то и момент меняет свое направле-

ние. Если они оба и одновременно меняют направление, то знак момента не меняется. Таким образом для создания достаточного большого вращающего момента необходимо одновременность изменения направления тока в якоре и магнитного потока полюсов, т.е. совпадения по фазе тока в якоре и потока полюсов.

В ДПТ параллельного возбуждения при питании его переменным током такого совпадения достичь нельзя, так как магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, отстает по фазе от якорного тока из-за большой индуктивности обмотки возбуждения примерно на 90 эл. градусов.

В двигателе последовательного возбуждения ток в якоре является одновременно и током обмотки возбуждения (ОВ). Пренебрегая незначительным углом сдвига фаз между током возбуждения и током ОВ можно считать совпадающим по фазе ток якоря и поток, т.е. их изменение одновременным. На основании этого при малых мощностях коллекторные ДПТ последовательного возбуждения делаются универсальными, т.е. предназначенными для работы, как от сети постоянного тока, так и от сети переменного тока. При работе от сети постоянного тока двигатель включается на зажимы 1-3, а при работе от сети переменного тока на зажимы 2-3 (рисунок 6.13 а), при этом при работе на переменном токе число витков ОВ значительно меньше, чем при работе на постоянном токе, так что коэффициент мощности оказывается сравнительно высоким. Однако статор и ротор такого двигателя должны быть выполнены из шихтованного материала.

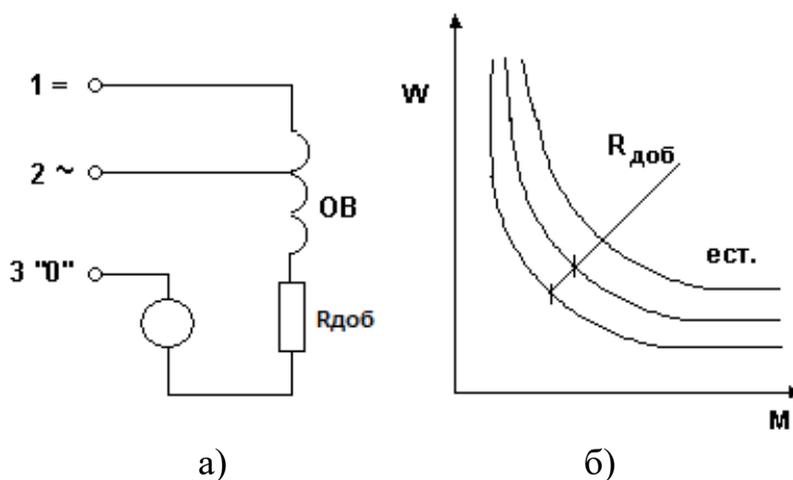


Рисунок 6.13 – Схема включения и механические характеристики универсального коллекторного двигателя

Механические характеристики универсального коллекторного двигателя при работе на переменном токе аналогичны механическим характеристикам двигателя ДПТ последовательного возбуждения (рисунок 6.13 б).

Однофазные коллекторные двигатели переменного тока находят широкое применение в бытовой технике, в установках автоматики.

Иногда применяют двигатели с трансформаторной связью между статором и якорем, называемые индукционными или репульсивными коллекторными двигателями, при этом якорная обмотка с помощью щеток замыкается чаще всего накоротко или на сопротивление, а обмотка статора, включенная в сеть переменного тока, одновременно служит обмоткой возбуждения и компенсационной обмоткой, компенсирующей реакцию якоря. Такие двигатели чаще всего применяют в бытовых устройствах для непосредственного включения в сеть переменного тока.

6.4. СИНХРОННЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ

Синхронные микродвигатели имеют большое разнообразие типов и конструкций. Наиболее часто используют синхронные микродвигатели активного, реактивного типа, гистерезисные синхронные микродвигатели и синхронные шаговые двигатели (СШД).

6.4.1. СИНХРОННЫЕ РЕАКТИВНЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ

Синхронные двигатели активного типа с явно выраженными полюсами известны из курса электрических машин. Синхронно реактивными двигателями называются двигатели, у которых на статоре действует переменное магнитное поле, а на ротор ничего не подается, т.е. ротор не возбуждён, но в котором наводится ЭДС, при этом ротор выполняется с переменным магнитным сопротивлением вдоль окружности воздушного зазора. Вращающееся магнитное поле таких микродвигателей таким образом создается только магнитодвижущей силой статора. Статор реактивных синхронных микродвигателей такой же, как и у асинхронных машин (неявнополюсный с двух или трехфазной обмоткой).

Магнитное сопротивление вдоль окружности воздушного зазора двигателя изменяют подбором соответствующей формы и материала ротора (рисунок 6.14).

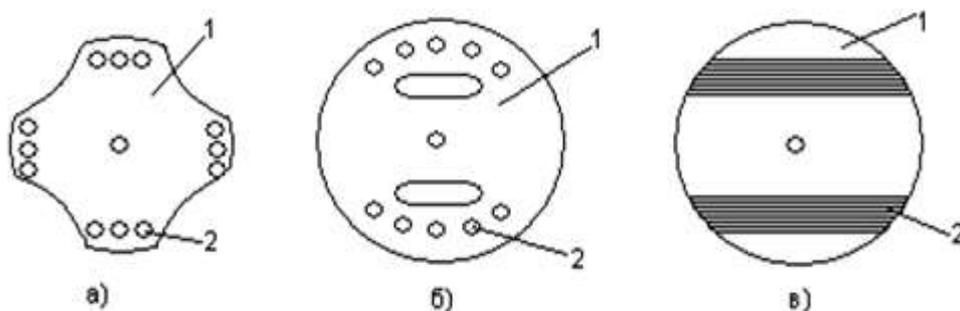


Рисунок 6.14 - Синхронный реактивный микродвигатель

Если воздушный зазор (рисунок 6.14 а) между статором и ротором против паза большой, то магнитное сопротивление магнитному потоку велико. Воздушный зазор против выступа гораздо меньше, следовательно, меньше и магнитное сопротивление. Такого же эффекта добиваются (рисунок 6.14 б, в) выполнением ротора из двух разнородных по магнитным свойствам материалов. В алюминиевый цилиндр ротора (1) закладывают магнитопроводы, или, в виде стальных стержней или в виде пластин, набранных из листовой электротехнической стали (2). Алюминий немагнитный материал, поэтому в зоне алюминиевых участков образуется большой немагнитный зазор, а в зоне стальных участков - зазор меньше, следовательно, и магнитное сопротивление значительно меньше. Кроме того, стальной магнитопровод намагничивается и притягивается. Из рисунка 6.15 видно, что когда углы между осью поля ротора Φ_1 и поля статора Φ_2 $\theta = 0$, то и сила $F=0$, а значит и момент $M=0$.

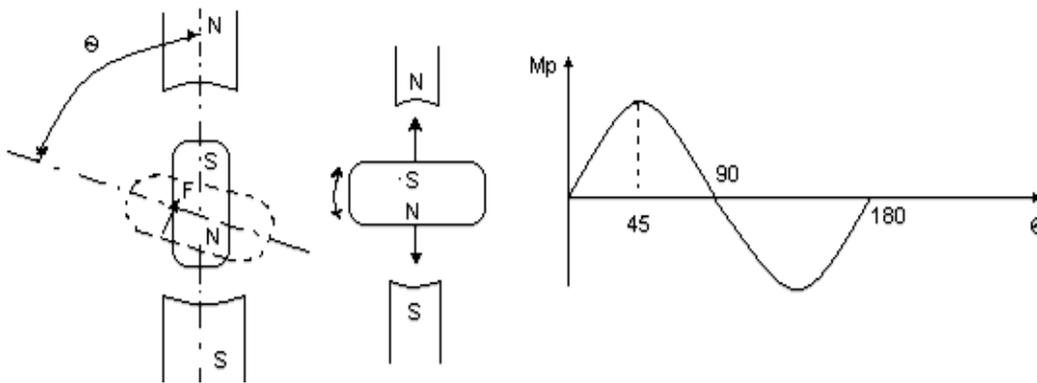


Рисунок 6.15 – Диаграммы работы синхронного реактивного микродвигателя

Если ротор повернется относительно статора на угол $\theta \neq 0$, то появится сила и момент, называемый реактивным, который стремится повернуть ротор в исходное положение. При повороте на 90° ротор с одинаковым усилием притягивается как к N, так и к S полюсам. Результирующий момент равен 0. Положение ротора при $\theta \neq 90^\circ$ неустойчиво. Таким образом, реактивный момент изменяется по закону.

$$M_p = M_{pmax} \sin 2\theta,$$

при числе пар полюсов $p > 1$

$$M_p = M_{pmax} \sin p\theta,$$

при этом M_{pmax} определяется, как

$$M_{pmax} = K_p U_1^2 (R_{\mu g} - R_{\mu d})$$

где $R_{\mu g}$ и $R_{\mu d}$ - магнитные сопротивления по продольной и поперечной осям, K_p - зависит от числа пар полюсов, числа витков и числа фаз статора и частоты питающей сети.

В симметричных по магнитному сопротивлению машинах, т.е. асинхронных двигателях, где $R_{\mu g} = R_{\mu d}$, реактивный момент отсутствует. Синхронно-реактивные двигатели имеют невысокие энергетические показатели, т.е. низкие $\cos \varphi$ и η ; при $\theta \geq 45^\circ$ происходит срыв (уменьшение) момента.

6.4.2. СИНХРОННЫЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ МИКРОДВИГАТЕЛИ

Синхронно-гистерезисными двигателями называются двигатели, вращающий момент которых возникает вследствие явления гистерезиса, при перемагничивании ротора (рисунок 6.16). Статор, как у обычных синхронных и асинхронных двигателей. Ротор сборный. Для изготовления кольца (1) используются магнитотвердые материалы (викаллоу и альни) с широкой петлей намагничивания, т.е. большой коэрцитивной силой H и индукцией B (рисунок 6.16 в). Кольцо (1) впрессовано во втулку (2), насаженную на вал (3).

При перемещении потока статора в положение « A_2 » магнитное поле Φ_1 тоже повернется (рисунок 6.16 б). Однако магнитотвердый материал перемагнитить трудно, для этого нужно сильно изменить направление магнитного поля. Поэтому между Φ_1 и Φ_r образуется угол θ_r гистерезисного запаздывания, возникает сила F_r и гистерезисный момент M_r , который пропорционален магнитодвижущей силе статора Φ_1 и потоку намагничиваемости Φ_r :

$$M_r = \Phi_1 K_r \Phi_r \sin \theta_r,$$

где K_r - конструктивный коэффициент, зависящий от числа полюсов машины.

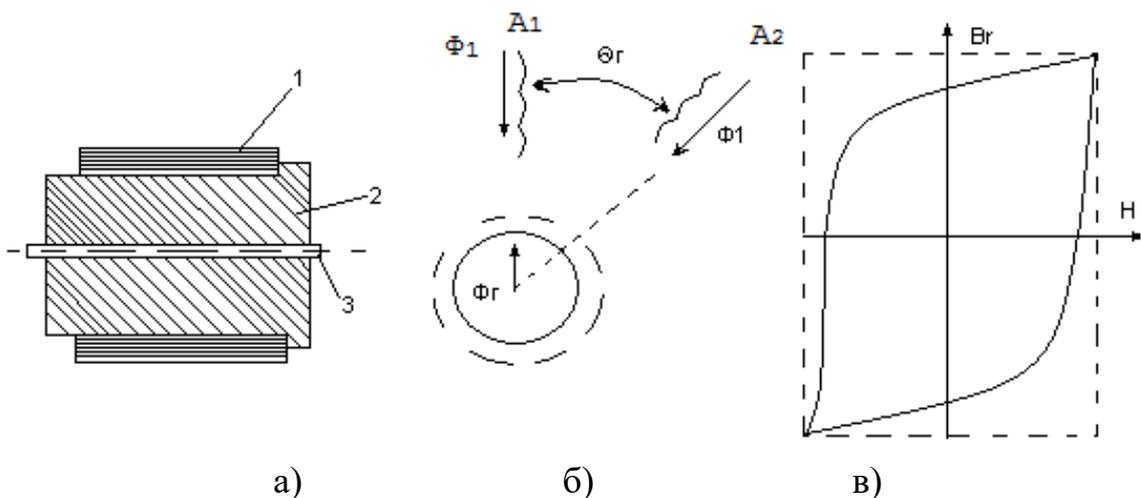


Рисунок 6.16 - Синхронно-гистерезисный двигатель

Значения Φ_1 и Φ_r при симметричном (трехфазном) питании и угол θ_r практически не зависят от частоты вращения ротора, следовательно, величина вращающего момента не зависит от частоты вращения ротора.

Угол θ_r определяется той коэрцитивной силой H_c , при которой изменяется знак индукции. У гистерезисных микродвигателей θ_r не превышает 25° .

В синхронном режиме магнитное поле статора и ротор вращаются с одинаковой скоростью, и не происходит перемагничивание материала ротора. Однако, при превышении угла $\theta_r > 25^\circ$, ротор начинает перемагничиваться момент и скорость двигателя уменьшаются и двигатель начинает работать в неустойчивом динамическом режиме (между асинхронным и синхронным).

Синхронно-гистерезисные двигатели обладают следующими достоинствами: они развивают большой пусковой момент равный $M_{\text{пуск}} = M_{\text{ас}} + M_r$ и способны входить в синхронизм при больших моментах инерции механизма плавно, без колебаний. Ток двигателя в течение работы и пуска меняется мало, поэтому синхронно гистерезисные двигатели можно использовать при частых пусках. Эти двигатели просты в конструкции, надежны в эксплуатации. К недостаткам следует отнести; низкие энергетические показатели, ниже, чем у синхронных микродвигателей активного типа с постоянным магнитом, но выше, чем у синхронно-реактивных микродвигателей.

6.4.3. СИНХРОННЫЕ ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ (СШД)

СШД работают от прямоугольных импульсов постоянного тока, поэтому только эти двигатели могут работать непосредственно по командам от ЭВМ

Современные ЭВМ вырабатывают сигнал управления в цифровом виде, в этом случае для управления обычным двигателем нужен ЦАП, являющийся сложным электронным прибором. Если привод должен отрабатывать не только постоянную частоту вращения, но и заданный угол поворота вала двигателя или небольшое перемещение, то можно вместо сложной системы с датчиками положения объекта и обратными связями в системе управления электропривода с ДПТ применять СШД.

СШД — это СД, специальной конструкции, имеющий несколько обмоток управления (фаз) больше «1», преобразующий команду, заданную импульсом, в фиксированный угол поворота вала или фиксированное перемещение без датчиков и ОС. СШД выпускаются мощностью от долей киловатт до сотен кВт, но можно использовать и обычные СД малой мощности для работы в шаговом режиме, у которых имеется не менее двух устойчивых положений ротора в пределах I оборота. С одной обмоткой управления, т.е. на одной фазе, СШД работать не могут, т.к. нет перемещающегося магнитного поля.

Шаговые двигатели работают в комплекте с электронным коммутатором, переключающим обмотки управления с последовательностью и частотой, соответствующей заданной команде. При этом результирующий угол поворота

строго соответствует числу переключений обмоток управления, направление поворота - порядку переключений, а частота вращения - частоте переключений. Каждая обмотка управления шагового двигателя соответствует обмотке фазы обычного СД. Напряжение питания обмотки управления СШД представляет собой последовательность однополярных или разно-полярных прямоугольных импульсов, поступающих от коммутатора. СШД делят на 4 основных группы:

- 1) с постоянными магнитами (активного типа),
- 2) реактивные,
- 3) индукторные,
- 4) линейные.

6.4.3.1. СИНХРОННЫЕ ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ НА РОТОРЕ (АКТИВНОГО ТИПА)

Эти двигатели имеют на статоре и роторе явно выраженные полюсы, на статорных полюсах располагаются катушки управления.

Число пар полюсов каждой из обмоток управления равно числу пар полюсов ротора, но число фаз « m » (число обмоток управления) не обязательно должно равняться числу пар полюсов (p).

На приведенном рисунке 6.17 СШД имеет две обмотки управления, расположенные на статоре и три пары полюсов, катушки, расположенные на нечетных полюсах 1,3,5...11, соединены последовательно и встречно, образуя одну обмотку управления.

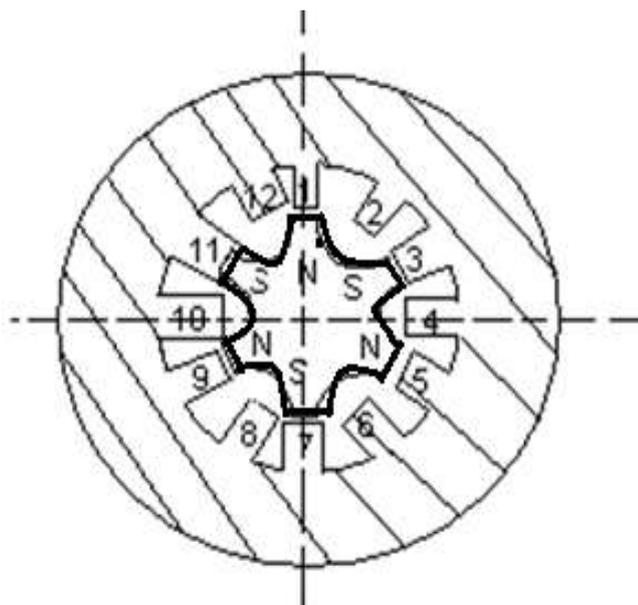


Рисунок 6.17 - Синхронный шаговый двигатель с постоянными магнитами на роторе

Катушки, расположенные на четных полюсах, образуют вторую обмотку управления, сдвинутую относительно первой на $180^\circ/m.p.$, где m – число обмоток, p – число пар полюсов. При подаче напряжения на одну любую из обмоток управления, входящие в её состав полюсы намагничиваются поочередно: N-S-N-S-N-S. Ротор у СШД активного типа, выполнен в виде звездочки, представляя собой постоянный магнит.

При этом различают симметричное и несимметричное включение обмоток, однополярное и разнополярное управление обмотками статора.

Принцип работы рассмотрим на примере двухфазного двигателя при восьмитактной разнополярной, несимметричной системе коммутации (рисунок 6.18 а, б) Несимметричным управление считается тогда, когда нечетным и чётным тактам соответствует разное число включенных обмоток управления. Симметричным - если на всех тактах возбуждается одинаковое число обмоток управления.

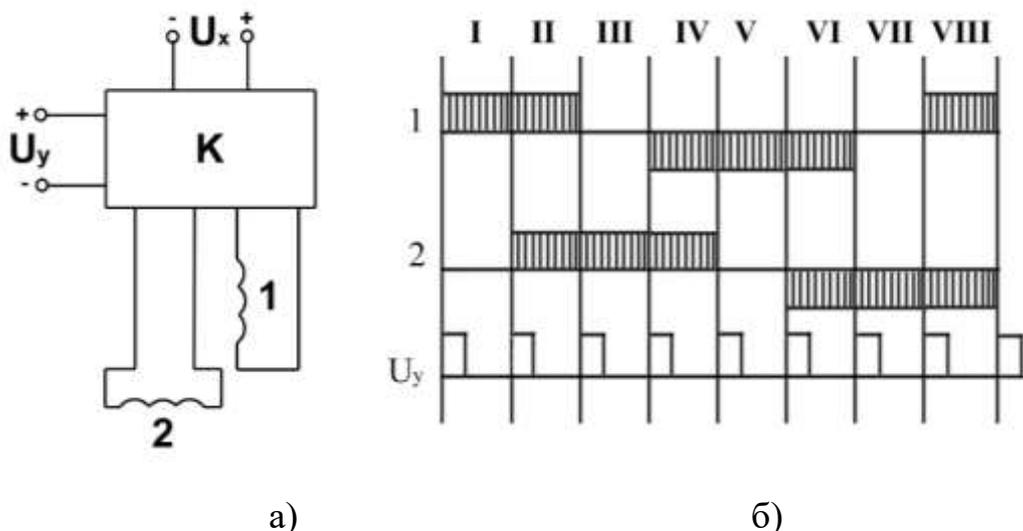


Рисунок 6.18 - Принцип работы рассмотрим на примере двухфазного СШД

Переход от одного такта к другому соответствует поступлению на коммутатор очередного импульса сигнала управления U_y . В 0 время первого такта положительный импульс тока возбуждает обмотку управления I (рисунок 6.19, а). Магнитный поток статора направлен по оси этой обмотки, ротор (внутренний постоянный магнит NS) притягивается к полюсам обмотки I и занимает положение вдоль её магнитной оси. При переходе к такту II дополнительно возбуждаются полюса обмотки 2 (рисунок 6.19 б).

Результирующий поток статора Φ_c , создаваемый теперь двумя обмотками, скачком поворачивается на 45° . Возникает синхронизирующий момент, и ротор поворачивается на тот же угол. При переходе к такту III остается возбужденной

только обмотка 2, поэтому ротор поворачивается еще на один шаг. Здесь значение потока Φ_c на четных и нечетных тактах различны, следовательно, и синхронизирующий момент разный по величине.

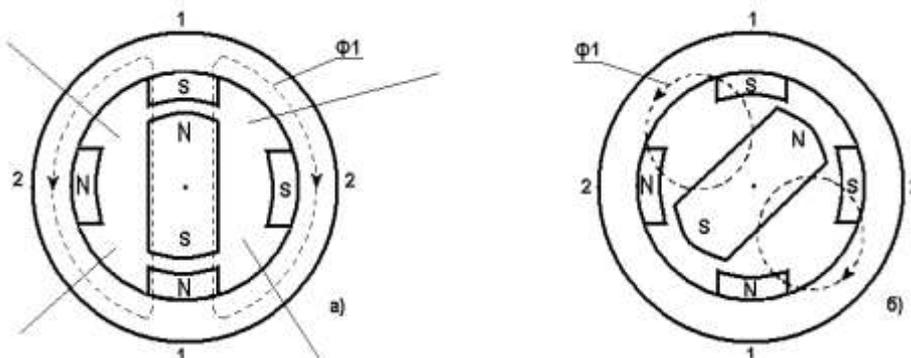
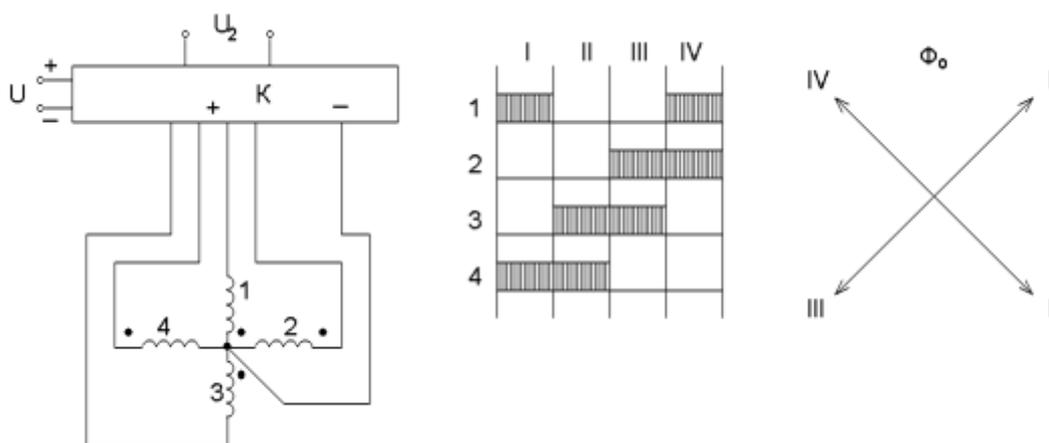


Рисунок 6.19 – Принцип работы СШД

На рисунке 6.20 приведена схема включения и диаграмма работы для симметричной однополярной схемы четырех тактного СШД. При симметричной коммутации шаг ротора увеличивается вдвое, а однополярность приводит к увеличению числа обмоток управления. Количество состояний коммутатора, обеспечивающих новое угловое положение результирующего магнитного потока в пределах 360° называется числом тактов коммутации – K_T схемы управления, $K_T = m_y \cdot K_1 \cdot K_2$, где $K_1 = 1$ при симметричном управлении и $K_1 = 2$ при несимметричной коммутации, $K_2 = 1$ при однополярном управлении и $K_2 = 2$ при разнополярном управлении, m_y - число обмоток управления (число фаз).



Рисунке 6.20 - Схема включения и диаграмма работы четырех тактного СШД

При переходе от такта к такту двигатель делает шаг и поворачивается на угол

$$\alpha_{ш} = \frac{360^\circ}{K_T \cdot p},$$

где p - число пар полюсов.

Из формулы видно, что, увеличивая p и K_T , можно уменьшить шаг, тем самым увеличивается точность отработки команд. Однако увеличение числа пар полюсов при неизменном диаметре ротора ограничено технологическими возможностями, т.е. габаритами. А увеличение, числа обмоток управления связано не только с усложнением коммутатора, но и также ведет к увеличению габаритов СШД, поэтому $\alpha_{ш} \min$, составляет десятки градусов, а дальнейшее уменьшение шага производится с помощью кинематических устройств или с помощью СШД специальных конструкций, или специальным управлением обмоток через коммутатор.

6.4.3.2. РЕАКТИВНЫЕ СИНХРОННО-ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Реактивный редукторный СШД позволяет редуцировать (делить) частоту и угол вращения внутри машины. Конструкция такого редукторного реактивного шагового двигателя имеет следующий вид (рисунок 6.21). Поверхности ротора и полюсов статора зубчатые.

Зубцовые деления или шаг τ_z (не количество зубцов) статора и ротора равны. Каждая обмотка управления всегда размещена на двух диаметрально противоположных полюсах статора. Первая обмотка управления размещена на полюсах I – 1' вторая на 2 – 2' и т.д. Оси обмоток у четырехфазного СШД сдвинуты в пространстве на 45° .

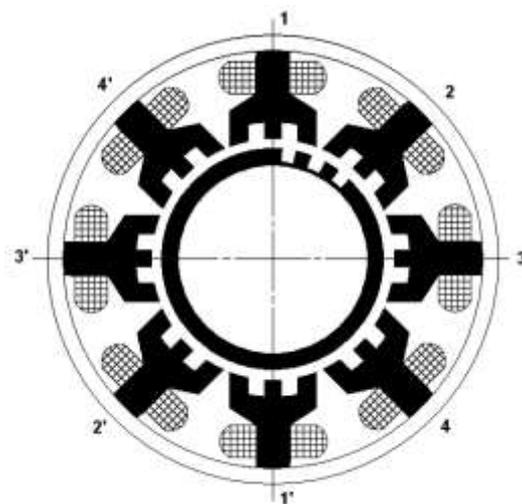


Рисунок 6.21 - Реактивный синхронно-шаговый двигатель

Если зубцы ротора соосны с зубцами одной диаметрально расположенной пары обмоток статора, то относительно каждой из оставшихся трех пар обмоток статора они смещены на $1/4$, $2/4$, $3/4$ зубцовых деления, т.е. на $= 1/4\tau_z$ части окружности, занимаемой зубцом (τ_z равно расстоянию: зубец плюс паз) (рисунок 6.22).

Пусть на первом такте коммутации возбуждена обмотка управления 1 и зубцы ротора (рисунок 6.22) соосны с зубцами обмотки I и I'. Поток Φ_c идет по пути минимального магнитного сопротивления. Реактивный момент равен нулю. Ротор неподвижен.

На втором такте возбуждена обмотка управления 2, а первая выключена, поток статора поворачивается на 45° . Магнитные силовые линии деформируются, и появляется реактивный момент M_c , под действием, которого ротор поворачивается на угол, соответствующий $1/4$ зубцового деления.

При этом зубцы ротора встанут против зубцов второй обмотки статора, и M_c станет равным нулю, и т.д. При большом числе зубцов ротора (Z_p), т.е. зубцовые деления малы, его угол поворота ротора значительно меньше угла поворота поля статора.

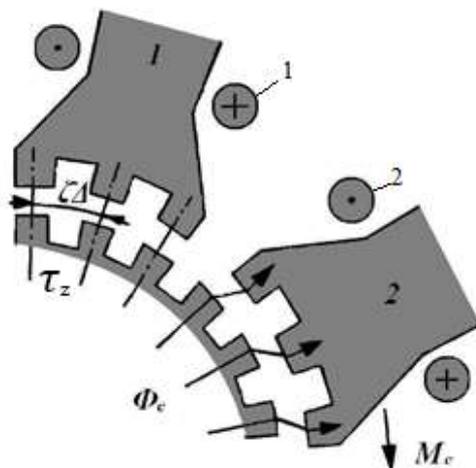


Рисунок 6.22 – Принцип работы реактивного СЩД

За полный цикл коммутации, когда все обмотки по очереди получают питание, т.е. поле повернется на 180° ротор повернется только на одно зубцовое деление, а шаг (угол поворота ротора) определяется по формуле

$$\alpha_{ш} = \frac{360^\circ}{K_T \cdot Z_p}$$

где: Z_p – количество зубцов ротора.

В формуле учитывается через коэффициент K_T и несимметрия, и число обмоток. Так как изменение направления поля статора сразу на 180° в реактивном

двигателе не влияет на изменение магнитного состояния ротора, то при определении K_T , необходимо коэффициент разнополярности K_2 всегда принимать равным единице как при однополярной, так и при разнополярной коммутации.

6.4.3.3. ИНДУКТОРНЫЕ СИНХРОННО-ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Индукторные СШД отличаются от реактивных тем, что в них применяется дополнительное подмагничивание ротора (электромагнитное или постоянными магнитами), что приводит к увеличению $M_{\text{синхр.}}$ и улучшает энергетические показатели, а принцип работы индукторных СШД тот же, что и у реактивных СШД. Конструкция индукторного шагового двигателя показана на рисунке 6.23.

Постоянный поток подмагничивания возбуждается со стороны статора или ротора. На рисунке 6.23 показан двухпакетный индукторный СШД с четырьмя обмотками управления, где: 1 - постоянные магниты, 2 - корпус двигателя, 3,6 – зубчатые магнитопроводы статора и ротора, 4 - обмотки управления, 5 - вал двигателя. Здесь два магнитопровода ротора (6) насажены на общий вал (5); подмагничиваются постоянным магнитом (1), имеющим осевую намагниченность.

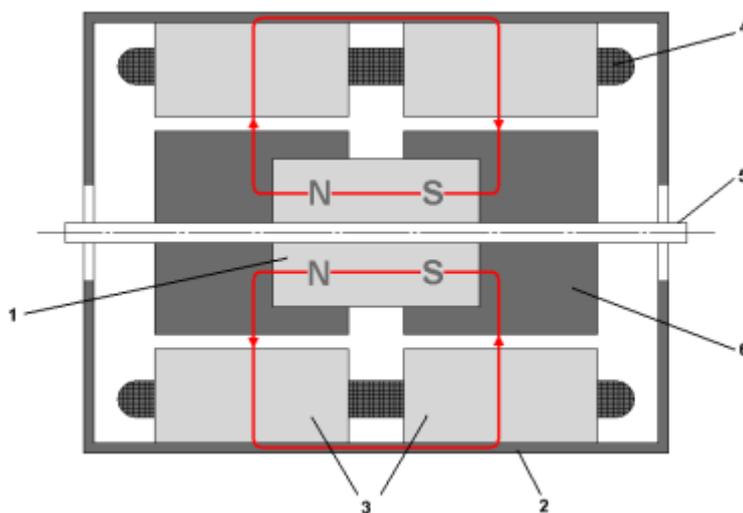


Рисунок 6.23 – Индукторный синхронно-шаговый двигатель

Конструкция правого и левого магнитопроводов такая же, как у реактивного редукторного СШД, только правый и левый магнитопроводы сдвинуты между собой на угол $1/2$ зубца, поэтому постоянный магнит дает дополнительную переменную составляющую подмагничивания, улучшающую работу двигателя.

Шаг индукторного СШД рассчитывается так же, как у реактивного редукторного СШД, только за счет переменной составляющей увеличивается синхронизирующий момент двигателя, улучшаются энергетические и динамические характеристики.

6.4.3.4. ЛИНЕЙНЫЕ ИНДУКТОРНЫЕ СИНХРОННО-ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Так как очень часто приходится перемещать объекты в плоскости, например, в координатных столах станков с ЧПУ, графопостроителях и т.д., то часто применяют линейные индукторные СШД, которые преобразуют импульсные команды непосредственно в линейное перемещение без специальных механических преобразователей.

Однокоординатный линейный синхронный шаговый двигатель (ЛСШД) индукторно-реактивного типа с двумя обмотками управления показан на рисунке 6.24.

Ротор ЛСШД - подвижная часть, называемый иногда позиционером, выполнен из шихтованной листовой электротехнической стали в виде двух П - образных магнитопроводов (2), на каждом из которых расположено по одной обмотке управления (1). статор (4) представляет собой плиту из магнитомягкого материала. Поверхность плиты, обращенная к ротору, - зубчатая. Подмагничивание магнитопроводов осуществляет постоянный магнит (3). Поверхность полюсов ротора, обращенная к статору, также зубчатая. Зубцовые деления τ_z статора и ротора равны. Зубцы двух полюсов ротора в пределах одного магнитопровода, например, I и II, сдвинуты по отношению к зубцам статора на $1/2$ зубцового деления, а одного магнитопровода по отношению к другому магнитопроводу, например, I и III, на $1/4$ зубцового деления. В результате этого зубцы всех полюсов ротора по-разному ориентированы относительно зубцов статора.

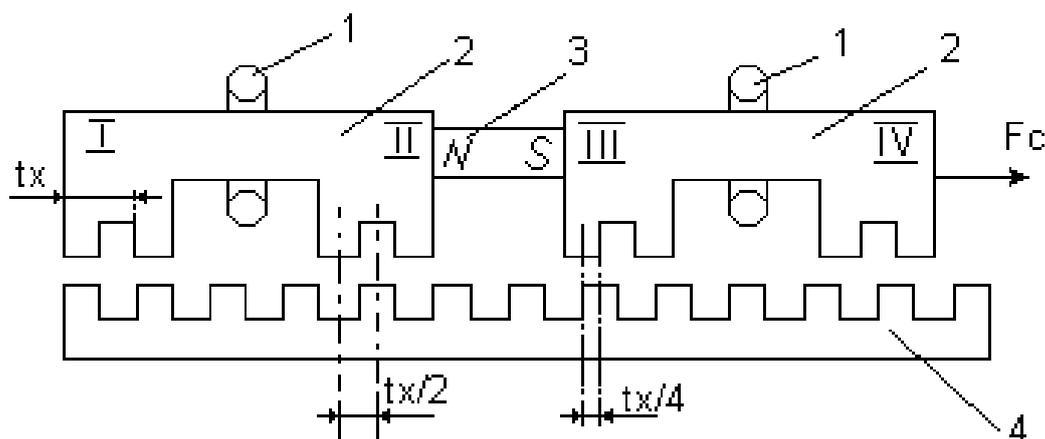


Рисунок 6.24 - Однокоординатный линейный синхронный шаговый двигатель индукторно-реактивного типа

Таким образом в зависимости от наличия импульса и его знака в обмотках управления, ось магнитного поля перемещается от полюса к полюсу ротора, например, по схеме I - III - II - IV. Синхронизирующая сила F_c перемещает ротор в такое положение, чтобы против зубцов данного полюса ротора находились

зубцы статора, т.е. сила F_c стремится сместить ротор на $1/4$ зубцового деления. В общем случае линейный шаг определяется как

$$\Delta X_{ш} = \frac{\tau_z}{K_T},$$

где K_T - число тактов схемы управления на одно зубцовое деление.

На рисунке 6.25 (А, Б, В, Г, Д) показана поэтапная подача тока на роторные обмотки и соответствующие перемещения ротора в направлении силы. По правилу буравчика определяется направление магнитного потока вокруг обмоток с током и направление действия силы перемещения. При этом плюс в кружочке означает хвост (конец) тока, а точка – начало протекания тока.

Устройство работает следующим образом (рисунок 6.25).

На схеме (рисунок 6.25 а) ни на одну из обмоток не подается напряжение. I – IV части магнитопроводов находятся в устойчивом состоянии, действие дополнительного магнита N-S по отношению к зубцам ротора и статора взаимно скомпенсировано. Устройство находится в стабильном (устойчивом) состоянии.

Если подать управляющий импульс на обмотку ротора, находящуюся на втором магнитопроводе (III – IV) ротора против часовой стрелки (рисунок 6.25 б), то по правилу буравчика (вывинчивание) от этого тока созданный поток будет иметь направление по часовой стрелке через «плечи» магнитопровода III – IV ротора. При этом этот магнитный поток будет складываться с магнитным поток от постоянного магнита в «плече» III и вычитаться в «плече» IV тем самым создавая тяговое усилие, направленное вправо. Как только зубцы III «плеча» станут вровень с зубцами статора, то тяговое усилие прекратиться, а зубцы IV «плеча» ротора встанут между зубцами статора (рисунок 6.25 в). При этом зубцы ротора I и II «плеч» переместятся на $1/4$ зубцового деления.

Заем на первую обмотку ротора подается управляющий импульс, обеспечивающий протекание тока в первой обмотке в направлении против часовой стрелки. При этом создается магнитное поле вокруг этой обмотки, определенное по правилу буравчика (вывинчивание), показанное на рисунке 6.25 в круговой стрелкой. Суммарный магнитный поток от постоянного магнита N-S и обмотки с током складывается в «плече» II, создавая тяговое усилие для передвижения ротора вправо. В I плече магнитный поток постоянный магнит и магнитный поток обмотки ротора вычитаются. Как только зубцы II «плеча» ротора встанут соосно с зубцами статора тяговое усилие прекратиться. При этом зубцы ротора III и IV «плеч» переместятся на $1/4$ зубцового деления и займут положение, показанное на рисунке 6.25 г.

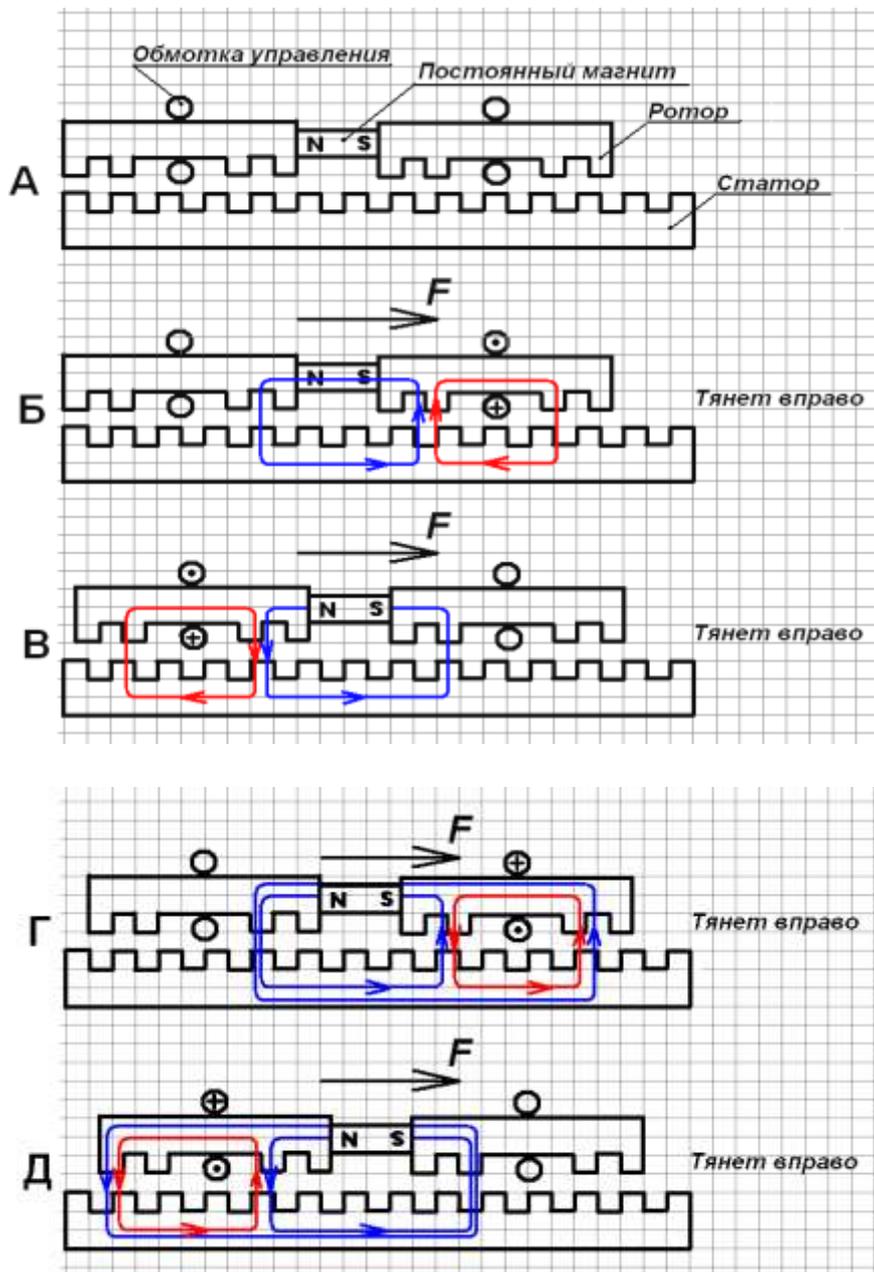


Рисунок 6.25 – Принцип работы ЛСШД

Теперь чтобы создать тяговое усилие в том же направлении на обмотку 2 ротора подается импульс тока обратной полярности, т.е. по часовой стрелке (рисунок 6.25 г). При этом происходит суммирование магнитных потоков в IV «плече» ротора. В III «плече» ротора магнитные потоки вычитаются. Как только зубцы IV «плеча» станут вровень с зубцами статора, то тяговое усилие прекратится, а зубцы III «плеча» ротора встанут между зубцами статора (рисунок 6.25 д).

После этого на первую обмотку ротора подается управляющий импульс, обеспечивающий протекание тока в первой обмотке в направлении часовой

стрелки (рисунок 6.25 д). При этом происходит суммирование магнитных потоков в I «плече» ротора. В II «плече» ротора магнитные потоки вычитаются. Как только зубцы I «плеча» станут вровень с зубцами статора, то тяговое усилие прекратится, а зубцы II «плеча» ротора встанут между зубцами статора.

Для реверса необходимо изменить направление тока при подаче на соответствующие обмотки.

Для перемещения объекта в плоскости по двум координатам или одновременного перемещения в нескольких плоскостях применяют многокоординатные ЛСШД с объединенными магнитными системами. При этом однокоординатные ЛШД являются электромагнитными модулями, обеспечивающими перемещение по каждой из координат. На рисунке 6.26 показан двухкоординатный ЛСШД с воздушным зазором. Статор (1) представляет собой плиту из магнитно-мягкого материала. На рабочей поверхности плиты выполнены две системы взаимно-перпендикулярных зубцов.

Ротор (2) содержит две системы электромагнитных модулей для перемещения по двум координатам. Электромагнитные модули (4) предназначены для перемещения ротора по оси Y .

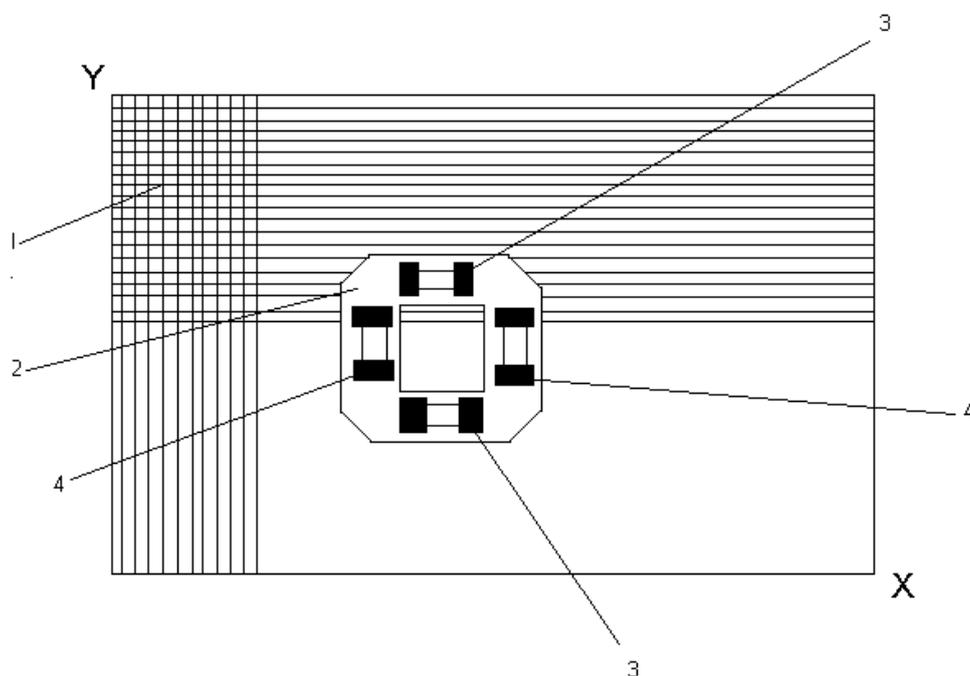


Рисунок 6.26 – Двухкоординатный ЛСШД с воздушным зазором

Они имеют на поверхности, обращенной к статору, ряды зубцов вдоль оси X для увеличения суммарной силы F (рисунок 6.27). Электромагнитные модули (3) предназначены для перемещения по оси X и имеют аналогичные ряды зубцов

вдоль оси Y . Принцип коммутации обмоток управления и принцип действия модулей в каждой из координат такие же как у однокоординатного ЛСШД.

В этих ЛСШД применяют магнитно-воздушную подвеску. Ротор притягивается к статору силами магнитного притяжения полюсов ротора. С другой стороны, через специальные форсунки под ротор нагнетается сжатый воздух, и силы отталкивания приподнимают ротор над статором. Между ротором и статором возникает воздушная подушка, и ротор подвешивается над статором с минимальным воздушным зазором. При этом обеспечивается близкое к нулю сопротивление движению ротора и высокая точность позиционирования.

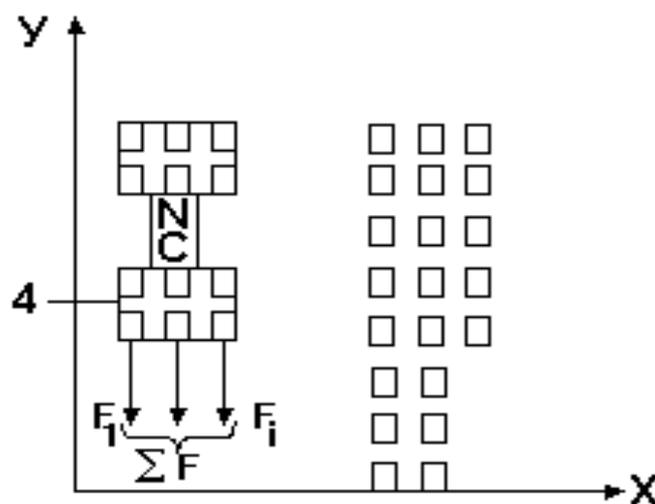


Рисунок 6.27 - Систем электромагнитных модулей для перемещения по двум координатам

6.5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Коммутаторы управления обмотками бесколлекторного двигателя постоянного тока

Как известно у бесколлекторного двигателя постоянного тока (БДПТ) нет механического коммутатора - коллектора со щетками, переключающими обмотки двигателя при его вращении. Двигатель (БДПТ) создает меньше радиопомех, особенно при больших скоростях вращения и при этом значительно увеличивается искрение, так же при этом быстро изнашиваются щетки. Все это исключается при применении БДПТ, который становится более долговечным, надежным. Тогда основной управляющей частью БДПТ является электронный коммутатор, от четкой и надежной работы которого зависит в целом и работа самого БДПТ.

Задание:

1. Определить необходимое число датчиков для системы управления, обеспечивающей реверс двигателя. Изобразить физическую схему расположения датчиков и направление токов, подаваемых на обмотки управления.
2. Составить тактовую диаграмму работы датчиков и обмоток управления.
3. Составить алгебрологическое уравнение для работы обмоток двигателя.
4. Составить структурно-логическую схему коммутатора.
5. Разработать принципиальную электрическую схему коммутатора выбрав базис микросхем, и транзисторных ключей, подключающих обмотки двигателя.
6. Построить механические характеристики БДПТ в функции от регулируемого параметра (в соответствии с заданным вариантом).
7. Составить описание работы схемы.
8. Оформить отчет.

Варианты задания

Индекс	Наименование раздела	Варианты			
		1	2	3	4
А	Количество обмоток управления	4	2	3	4
Б	Тип датчика положения	магн. управ. диод	индук. датчик	магн. управ. диод	Фотодатчик
Г	Транзисторные ключи выполнить на транзис.	Прямой и обрат. провод.	Обратн. провод	Прямой провод.	Прямой и обрат. провод.
Д	Построить механич. характеристики при изменении	$U_c \downarrow$	$R_c \uparrow$	$\Phi_c \downarrow$	$U_c \uparrow$

ЛИТЕРАТУРА

1. Стальная М.И., Лабузова Л.П. Устройство для выделения импульсов из импульсной последовательности А.с. №1088106. - 1983 г.
2. Капустин С.Д., Стальная М.И., Радченко Т.Б. Устройство для защиты трехфазной нагрузки от изменения чередования фаз и обрыва фазы. А.с. №1089693. - 1984 г.
3. Смирнов, В.В. Электроавтоматика строительных машин : учебное пособие / В.В. Смирнов ; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. – 156 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256151> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9585-0548-7. – Текст : электронный.
4. Жмудь, В. А. Измерительные элементы автоматики : учебное пособие / В. А. Жмудь ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. – 72 с. : ил.,табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228754> (дата обращения: 29.09.2020). – ISBN 978-5-7782-2125-3. – Текст : электронный.
5. Серебряков, А.С. Основы автоматики : учебное пособие / А.С. Серебряков, Д.А. Семенов ; Министерство образования Нижегородской области, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт. – Княгино : Нижегородский государственный инженерно-экономический институт (НГИЭИ), 2012. – 200 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430651> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-91592-050-6. – Текст : электронный.
6. Шогенов, А.Х. Аналоговая, цифровая и силовая электроника : учебник / А.Х. Шогенов, Д.С. Стребков, Ю.Х. Шогенов ; под ред. Д.С. Стребкова. – Москва : Физматлит, 2017. – 416 с. : табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485494> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9221-1784-5. – Текст : электронный.
7. Монтаж, наладка, эксплуатация систем автоматизации: учебное электронное издание : [16+] / В.Н. Назаров, А.А. Третьяков, И.А. Елизаров, В.А. Погонин ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2018. – 249 с. : табл., схем., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=570372> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 243-244. – ISBN 978-5-8265-1932-5. – Текст : электронный.
8. Баршутина, М.Н. Микромехатроника : учебное пособие / М.Н. Баршутина ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2014. – 219 с. : ил.,

табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277779> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8265-1293-7. – Текст : электронный.

9. Встовский, В.Л. Электрические машины / В.Л. Встовский ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет (СФУ), 2013. – 464 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363964> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7638-2518-3. – Текст : электронный.

10. Глазырин, В.Е. Элементы автоматических устройств : учебное пособие / В.Е. Глазырин, Г.В. Глазырин ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. – 130 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228960> (дата обращения: 29.09.2020). – ISBN 978-5-7782-1733-1. – Текст : электронный.

11. Гаврилов, А.Н. Системы управления химико-технологическими процессами : учебное пособие : в 2-ух ч. / А.Н. Гаврилов, Ю.В. Пятаков ; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. – Ч. 1. – 220 с. : табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=255898> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-00032-042-6. – Текст : электронный.

12. Земляков, В.Л. Основы автоматического управления : учебное пособие / В.Л. Земляков ; Южный федеральный университет, Институт высоких технологий и пьезотехники. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2017. – 117 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500164> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 102. – ISBN 978-5-9275-2373-3. – Текст : электронный.

13. Симаков, Г.М. Системы расчета автоматизированного электропривода : учебное пособие : [16+] / Г.М. Симаков, Ю.В. Панкрац, Д.А. Котин ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 147 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575042> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 129-131. – ISBN 978-5-7782-3866-4. – Текст : электронный.

14. Системы автоматизации в нефтяной промышленности : учебное пособие : [16+] / М.Ю. Прахова, Е.А. Хорошавина, А.Н. Краснов, С.В. Емец ; под общ. ред. М.Ю. Праховой. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 305 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564232> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 285 - 289. – ISBN 978-5-9729-0362-7.

15. Сибикин, М.Ю. Металлорежущее оборудование машиностроительных предприятий : учебное пособие : [12+] / М.Ю. Сибикин. – Изд. 3-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 565 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по

подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575054> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4499-0764-6. – DOI 10.23681/575054. – Текст : электронный.

16. Кузьмин, В.В. Современные методы и средства формирования измерительных сигналов в АСУТП : учебник / В.В. Кузьмин, Р.К. Нургалиев, А.А. Гайнуллина ; Министерство образования и науки России, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017. – 276 с. : табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=560672> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-2223-3. – Текст : электронный.

17. Родионов, Ю.А. Основы микросенсорики : учебное пособие / Ю.А. Родионов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 289 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564831> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 286. – ISBN 978-5-9729-0336-8. – Текст : электронный.

18. Беляев, П.С. Системы управления технологическими процессами : учебное пособие / П.С. Беляев, А.А. Букин ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2014. – 156 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277585> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.

19. Шишов, О.В. Современные технологии промышленной автоматизации : учебное пособие / О.В. Шишов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 368 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364093> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 362-364. – ISBN 978-5-4475-5274-9. – DOI 10.23681/364093. – Текст : электронный.

20. Колганов, А.Р. Электромеханотронные системы: современные методы управления, реализации и применения : [16+] / А.Р. Колганов, С.К. Лебедев, Н.Е. Гнездов ; науч. ред. В.Ф. Глазунов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 257 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564222> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 251-254. – ISBN 978-5-9729-0295-8.

21. Пузаков, А.В. Системы электроснабжения транспортных средств : учебное пособие : [16+] / А.В. Пузаков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 229 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564236> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 206-207. – ISBN 978-5-9729-0344-3.

22. Сафиуллин, Р.Н. Системы тягового электропривода транспортных средств : учебное пособие : [16+] / Р.Н. Сафиуллин, В.А. Шаряков, В.В. Резниченко ; под ред. Р.Н. Сафиуллина. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 434

с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598684> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4499-1610-5. – Текст : электронный.

23. Компоненты приводов мехатронных устройств : учебное пособие / С.В. Пономарев, А.Г. Дивин, Г.В. Мозгова, и др. ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2014. – 295 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277916> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8265-1294-4. – Текст : электронный.

24. Топильский, В.Б. Схемотехника аналого-цифровых преобразователей: учебное издание / В.Б. Топильский. – Москва : Техносфера, 2014. – 290 с. : ил., схем., табл. – (Мир электроники). – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273796> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-94836-383-7. – Текст : электронный.

25. Секацкий, В.С. Методы и средства измерений и контроля : учебное пособие / В.С. Секацкий, Ю.А. Пикалов, Н.В. Мерзликина ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет (СФУ), 2017. – 316 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497517> (дата обращения: 29.09.2020). – Библиогр.: с. 304-305. – ISBN 978-5-7638-3612-7. – Текст : электронный.

**Мая Ивановна Стальная,
Сергей Юрьевич Еремочкин,
Иванов Илья Алексеевич.**

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АНАЛОГОВОЙ И ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ

Учебное пособие

ИЗДАНО В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ

Электронное издание

Производитель электронного издания:
ООО «МЦ ЭОР», 656043, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Ползунова, 40

Сайт: <http://mceor.ru/>
E-mail: einfo@mail.ru

Электронное издательство «Виртуальная литература»

Связаться с издательством: <http://stashko.ru/author>
Заказать издание: +79230097208

Наши издания на ЛитРес: <http://stashko.ru/litres1>

ЛитРес:
ОДИН КЛИК ДО САМОГО
ИНТЕРЕСНОГО!