

Министерство образования Российской Федерации

***Санкт-Петербургская государственная академия
холода и пищевых технологий***



Кафедра электротехники

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

***Методические указания
для самостоятельного изучения дисциплины
“Электротехника и основы электроники”
для студентов всех специальностей***

Санкт-Петербург 1999

**Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации**

Рос-

**Санкт-Петербургская государственная академия
холода и пищевых технологий**

хо-

Утверждена
учебно-методическим
советом академии
“ “ _____ 199_ г.

Председатель проректор
по учебной работе
_____ **А.В.Бараненко**

**Рабочая программа , методические указания
к контрольным работам, курсовому проекту
по дисциплине “Холодильные машины и установки”
для студентов заочной формы обучения
специальности 070200 специализации 070206**

Факультет холодильной техники
Кафедра холодильных машин и низкопотенциальной энергетики
Кафедра холодильных установок

Санкт-Петербург 1998

УДК 621.3

Батяев А. А., Новотельнова А. В., Русанов А. В. Автоматическое управление электроприводами:
Метод. указания для самостоятельного изучения дисциплины “Электротехника и основы электроники” для
студентов всех спец. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1999. – 33 с.

Даются общие сведения о системах автоматизированного управления электроприводами.

Рецензент
Канд. техн. наук, доц. Ю. А. Рахманов

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых про-изводств

© Санкт-Петербургская государственная
академия холода и пищевых
технологий, 1999

ВВЕДЕНИЕ

Управление электроприводами сводится к осуществлению пуска, регулирования скорости вращения, торможения, реверсирования и непрерывному поддержанию режима, который обусловлен технологическим процессом производства.

Электрические схемы управления отдельными электрифицированными агрегатами представляют собой графические изображения электрических машин, аппаратов и линий электрической связи между ними. Они составляются на основе изучения технологического процесса, выбора типа электродвигателя и использования основных принципов построения схем автоматизированного электропривода. Электрические схемы показывают осуществляемые электрическим током. взаимосвязи отдельных элементов установки друг с другом или внутри того или иного аппарата.

В схемах электрического управления электроприводами могут использоваться как релейно-контакторные аппараты, так и бесконтактные аппараты управления. В регулируемых приводах могут использоваться вычислительные машины различных уровней.

Для защиты электрооборудования от недопустимых по величине и продолжительности токов перегрузки или короткого замыкания в цепях питания установок предусматриваются аппараты защиты, которые при отклонении режимов от нормальных автоматически отключают установки от питающей сети.

Во всех схемах управления электроприводами различают:

- цепи главного тока, к которым относят силовые цепи электродвигателей, генераторов, силовых трансформаторов;
- цепи вспомогательного тока, к которым относят цепи управления, блокировки, защиты и сигнализации.

В рассматриваемых ниже типовых схемах автоматического управления асинхронными электродвигателями все элементы одного и того же аппарата в цепях главного и вспомогательного тока имеют одинаковое обозначение.

1. ПУСК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

1.1. Схема управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при помощи магнитного пускателя

Пуск асинхронных двигателей небольшой мощности с короткозамкнутым ротором осуществляется обычно с помощью магнитных пускателей. Магнитный пускатель состоит из контактора переменного тока и двух тепловых реле.

Простейшая схема управления асинхронным двигателем посредством магнитного пускателя показана на рис. 1. Схема предусматривает питание силовых цепей и цепей управления от источника одного и того же напряжения.

Рис. 1. Схема автоматического управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Главные замыкающие контакты линейного трехполюсного контактора, находящиеся в силовой цепи, его катушка и вспомогательные замыкающие контакты, находящиеся в цепи управления, обозначены буквами КЛ. Нагревательные элементы теплового реле включаются в силовую цепь, а его контакты с ручным возвратом – в цепи управления. Они обозначены на схеме буквами РТ.

Если выключатель S включен, то для пуска двигателя достаточно нажать кнопку «Пуск» КнП. При этом получает питание катушка контактора КЛ, замыкаются главные контакты в силовой цепи, и обмотка статора двигателя присоединяется к сети, в результате чего ротор приходит во вращение. Одновременно в цепи управления закрывается замыкающий вспомогательный контакт КЛ, блокирующий кнопку КнП, после чего эту кнопку не нужно удерживать в нажатом состоянии, так как цепь катушки контактора КЛ остается замкнутой. Кнопка за счет действия пружины возвращается в исходное положение.

Нажатием кнопки «Стоп» КнС двигатель отключается от сети. При этом катушка контактора КЛ теряет питание и замыкающие контакты его размыкают цепь статора.

Плавкие предохранители FU служат для защиты от токов короткого замыкания. Защита двигателя от длительной перегрузки обеспечена двухполюсным тепловым реле РТ с ручным возвратом. Защита от снижения или полного исчезновения напряжения (нулевая защита) осуществляется самим линейным контактором, якорь которого при этом автоматически выпадает, а силовая цепь разрывается главными и замыкающими контактами. После восстановления нормального напряжения самопроизвольного пуска не произойдет.

В ответственных случаях плавкие предохранители и трехполюсный выключатель заменяют автоматическим выключателем с максимальным расцепителем.

1.2. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором при помощи реверсивного магнитного пускателя

В тех случаях, когда необходимо изменять направление вращения, управление двигателями может быть осуществлено с помощью реверсивного магнитного пускателя (рис. 2).

Включение двигателя для одного направления вращения производится нажатием кнопки КнВ. Катушка контактора КВ получает питание, и замыкающие главные контакты КВ присоединяют двигатель к сети.

Ротор двигателя приходит во вращение. Одновременно кнопка КнВ шунтируется блокировочными замыкающими контактами КВ.

Для включения двигателя на противоположное направление вращения необходимо нажать кнопку КнС, а затем КнН, что приводит к отключению контактора КВ и включению контактора КН. При этом, как видно из схемы две фазы переключаются.

Во избежание короткого замыкания в цепи статора вследствие ошибочного одновременного нажатия на обе кнопки (КнВ и КнН) реверсивные магнитные пускатели снабжены механической блокировкой, осуществляемой рычажной системой, препятствующей втягиванию одного контактора, если включен другой. Для большей надежности, кроме механической блокировки в схеме предусмотрена электрическая блокировка с помощью размыкающих вспомогательных контактов КВ и КН, что также исключает возможность одновременного включения контакторов КВ и КН.

Рис. 2. Схема реверсивного управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

В схеме защита от токов короткого замыкания осуществляется с помощью плавкого предохранителя FU в цепи управления и воздушно-го автоматического выключателя SF .

Преимущества автоматического выключателя: невозможность обрыва одной фазы от срабатывания защиты при однофазном коротком замыкании, как это имеет место при установке предохранителей; не требуется замена элементов, как в предохранителях при сгорании плавкой вставки.

1.3. Схема автоматического управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с переключением фаз обмотки статора со звезды на треугольник

В схеме (рис. 3) использовано реле времени РВ, обмотка которого включена параллельно катушке линейного контактора К. Благодаря этому, при включенных трехполюсном автоматическом выключателе SF и однополюсном выключателе S в цепи управления

ис. 3. Схема автоматического управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с переключением фаз обмотки статора со звезды на треугольник

нажим пусковой кнопки КнП приводит к одновременному включению катушек контакторов КЛ и КЗв, а также обмотки реле времени РВ, в результате чего закрываются главные контакты КЛ и КЗв, из которых первые подают напряжение к обмотке статора, а вторые обеспечивают со-

единение ее фаз звездой. По завершении разгона ротора срабатывает реле времени. При этом размыкающий контакт РВ отключает катушку контактора КЗв, а замыкающий контакт РВ включает катушку контактора КТр, контакты которого включают обмотки статора по схеме “треугольник”.

В схеме предусмотрена электрическая блокировка, исключающая одновременное замыкание контакторов КЗв и КТр, а также устройство для выключения двигателя в виде кнопки «Стоп» (КнС). Защита от перегрузки и токов коротких замыканий осуществляется автоматически выключателем с комбинированным расцепителем.

1.4. Схема автоматического управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

Схема (рис. 4) обеспечивает автоматическое управление цепями статора и ротора в функции тока при помощи контакторов и реле ускорения.

Защита двигателя от коротких замыканий и перегрузок осуществляется автоматическим выключателем SF , предохранителями в цепи управления, а также с помощью тепловых реле РТ1 и РТ2.

Для уменьшения пускового тока и увеличения пускового момента в цепь ротора включен пусковой реостат $R_{п}$.

Схема автоматического управления пуском обеспечивает выключение ступеней пускового реостата через определенные интервалы времени по мере разгона двигателя. Число ступеней пускового реостата выбирается в зависимости от двигателя и условий его пуска.

Для обеспечения выдержки времени при выключении ступеней пускового реостата к линейному контактору КЛ и контактору ускорения КУ1 присоединены реле времени.

После включения автоматического выключателя SF нажимают кнопку КнП («Пуск»).

Замыкается цепь катушки контактора КЛ, он срабатывает и замыкает контакт КЛ в силовой цепи и блок-контакт КЛ, шунтирующий кнопку КнП. При этом напряжение подается на обмотку

статора двигателя, и он начинает вращаться при полностью введенном пусковом реостате. Пусковой ток ограничен двумя секциями пусковых сопротивлений $R1$ и $R2$, включенных в цепь ротора. В момент пуска оба токовых реле $T1$ и $T2$ сработают, их контакты $T1.1$ и $T2.1$ в цепи управления разомкнутся, тем самым предотвратив преждевременное срабатывание контакторов ускорения $KУ1$ и $KУ2$.

Одновременно катушка реле времени $PВ$ получает питание и через определенный промежуток времени (3–5 с) реле сработает, его контакты $PВ1$ замкнутся и цепь контакторов ускорения $KУ1$ и $KУ2$ будет подготовлена к работе.

По мере разгона двигателя ток в цепи ротора уменьшится. Когда он достигнет тока отпускания реле $T1$, контакты $T1.1$ замкнутся и катушка контактора $KУ1$ получит питание. Контактор $KУ1$ работает, его контакты $KУ1.1$ в цепи ротора двигателя замкнутся, и пусковые сопротивления первой секции $R1$ будут зашунтированы. Одновременно блокировочный контакт $KУ1.2$ также замкнется. Контактор $KУ2$ подготавливается к работе. Ток отпускания реле $T2$ меньше тока отпускания $T1$, поэтому не будет преждевременного срабатывания реле $T2$.

По мере дальнейшего разгона двигателя ток в роторе снова уменьшится; когда он достигнет значения тока отпускания реле $T2$ его контакты $T2.1$ в цепи управления снова замкнутся и на катушку ускорительного контактора $KУ2$ будет подано питание. Контактор $KУ2$ работает, его главные контакты $KУ2.1$ в цепи ротора двигателя замкнутся и зашунтируют вторую секцию пусковых сопротивлений $R2$. Блокировочные контакты $KУ2.2$ также замкнутся, тем самым поставив контактор $KУ2$ на самоблокировку. Двигатель переходит на работу по естественной механической характеристике.

На рис. 5 приведена механическая характеристика двигателя с двумя ступенями пускового реостата.

Точка T является точкой трогания двигателя. Двигатель разгоняется при условиях, соответствующих характеристике 1, т. е. при максимальном вращающем моменте. После отключения первой ступени пускового реостата дальнейший разгон осуществляется по механической характеристике 2. После срабатывания контактора $KУ2$, полностью выводящего пусковой реостат, двигатель заканчивает разгон по естественной характеристике 3. Таким образом схема обеспечивает разгон двигателя при вращающих моментах, близких к максимальному.

Для остановки двигателя необходимо нажать кнопку КнС («Стоп»). При этом разрывается цепь питания катушки линейного контактора КЛ, что приводит к размыканию контакта КЛ в силовой цепи и остановке двигателя.

Рис. 5. Механические характеристики двигателя с фазным ротором:
1, 2 – при включении ступеней пускового

2. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Частота вращения АД n_2 определяется известным выражением:

$$n_2 = n_1 (1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s)$$

Из этой формулы следует, что регулирование скорости АД может быть осуществлено:

- изменением питающего напряжения;
- изменением числа фиктивных пар полюсов p ;
- изменением частоты питания f ;
- изменением скольжения.

2.1. Регулирование асинхронных двигателей включением сопротивлений в цепь ротора (изменением скольжения)

Данный способ регулирования возможен только для асинхронных двигателей с фазным ротором.

Введение в цепь ротора резисторов позволяет регулировать угловую скорость двигателя вниз от основной. Механические характеристики при этом являются реостатными (рис. 5).

Плавность регулирования при данном способе зависит от числа ступеней, включаемых в цепь ротора. Диапазон регулирования непостоянен и зависит от нагрузки. Реостатные характеристики отличаются невысокой жесткостью, уменьшающейся с ростом сопротивления рези-

сторов в роторной цепи. Схема регулирования скорости изменением сопротивлений в цепи ротора аналогична приведенной на рис. 4.

Существенным недостатком такого способа регулирования являются значительные потери энергии, а достоинством – простота схемного решения и сохранение максимальной величины вращающего момента.

2.2. Регулирование скорости изменением числа пар полюсов

Механизмы, выполняющие простые технологические операции, не требуют плавного регулирования скорости. Для них достаточно иметь привод с двумя, тремя ступенями скорости. К их числу относятся грузовые и пассажирские лифты, деревообрабатывающие станки, центробежные сепараторы и другие машины.

В этом случае можно использовать многоскоростные асинхронные двигатели. Эти двигатели имеют два конструктивных исполнения:

- с уложенными в одни пазы статора несколькими обмотками на разное число пар полюсов;

- с одной обмоткой, допускающей такое переключение ее секций, что образуется различное число пар полюсов.

При изменении в асинхронной машине числа пар полюсов статора необходимо сделать таким же и число пар полюсов ротора. Так как эта операция совершается автоматически в машинах с обмоткой ротора в виде «беличьей клетки», то многоскоростные двигатели бывают только короткозамкнутыми.

Многоскоростные двигатели с несколькими обмотками в одном пазу статора существенно уступают двигателям с одной обмоткой, допускающей переключение, по габаритам, массе, значениям коэффициента мощности и к. п. д.

На рис. 6 приведен пример переключения числа пар полюсов статора в отношении 2:1. Здесь для упрощения изображена обмотка одной фазы статора. Как видно из схемы меньшее число пар полюсов может быть получено как при последовательном (рис. 6, б), так и при параллельном соединении секций (рис. 6, в).

Рис. 6. Схемы соединения секции фазы статора многоскоростного асинхронного двигателя:
а – для получения $2p = 8$; б – $2p = 4$ при последовательном;
в – параллельном соединении секций

Рис. 7. Механические характеристики двухскоростного двигателя (режим постоянного момента)

Регулирование скорости в приводах с многоскоростными двигателями в результате различного включения обмоток, можно производить как в режиме постоянного момента, так и постоянной мощности. На рис. 7 приведена механическая характеристика двух-скоростного двигателя при регулировании скорости в режиме постоянного момента сопротивления M_C при последовательном соединении секций обмотки.

2.3. Частотное регулирование скорости асинхронных двигателей

Принцип реализации этого способа регулирования основан на том, что синхронная скорость машины n_1 определяется следующим соотношением

$$n_1 = \frac{60f}{p},$$

где f – частота источника питания статора; p – число пар фиктивных полюсов.

Поэтому, изменяя частоту тока в статоре, можно плавно регулировать скорость вращения ротора в широких пределах.

При регулировании частоты возникает необходимость регулирования амплитуды напряжения источника, что следует из соотношений

$$U_1 \sim E_1 = k \Phi_{\max} f_1,$$

$$M_{\max} \sim U_1^2 \sim \Phi_{\max}^2.$$

Для сохранения максимального значения вращающего момента M_{\max} при изменении частоты, необходимо поддерживать амплитуду магнитного потока Φ_{\max} — неизменной, т. е. соответствующим образом регулировать и напряжение:

$$\Phi_{\max} \sim \frac{U_1}{f_1} = \text{const.}$$

Регулировочные характеристики электропривода при частотном управлении приведены на рис. 8.

Рис. 8. Механическая характеристика асинхронного двигателя

при частотном управлении по закону $\frac{U}{f} = \text{const}$

Для наилучшего использования асинхронного двигателя при регулировании угловой скорости изменением частоты необходимо регулировать напряжение одновременно в функции частоты и нагрузки, что реализуемо только в замкнутых системах электропривода.

Основу современных частотно-регулируемых приводов составляют преобразователь частоты (ПЧ), созданный на основе статических полупроводниковых преобразователей, и асинхронный двигатель.

В современной практике используются преобразователи частоты трех видов:

- с промежуточным звеном постоянного тока и автономным инвертором тока или напряжения (ПЧ-АИ);
- непосредственные (НПЧ);
- с широтно-импульсной модуляцией (ПЧ-ШИМ) выпрямленного напряжения.

Статический преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока, структурная схема которого представлена на рис. 9, состоит из двух силовых элементов управляемого выпрямителя УВ и автономного инвертора АИ. На вход управляемого выпрямителя подается нерегулируемое напряжение переменного тока промышленной частоты. С выхода УВ постоянное регулируемое напряжение подается на автономный инвертор АИ,

Рис. 9. Система ПЧ–АД с промежуточным звеном постоянного тока
УВ – управляемый выпрямитель; АЧ – автономный инвертор;
БУ – блок управления

преобразует постоянное напряжение в переменное регулируемой амплитуды и частоты. Кроме двух силовых элементов, преобразователь частоты содержит блок управления БУ, который осуществляет управление УВ и АИ.

Выходная частота регулируется в широких пределах и определяется частотой коммутации тиристоров инвертора, которая задается БУ.

В такой схеме производится раздельное регулирование амплитуды и частоты выходного напряжения, что позволяет получить требуемое соотношение между действующим значением напряжения и скорости.

Преобразователь с промежуточным звеном постоянного тока позволяет регулировать частоты как вверх, так и вниз от частоты питаю-

щей сети. Он отличается высоким к.п.д. (около 0,96), значительным быстродействием, малыми габаритами, высокой надежностью.

Непосредственный преобразователь частоты предназначен для преобразования высокой частоты в низкую. Он состоит из 18 тиристоров, объединенных во встречно-параллельные группы с отдельным управлением. Принцип действия непосредственных тиристорных преобразователей частоты заключается в том, что напряжение питающей сети непосредственно подается на статорные обмотки через тиристоры, когда они открыты. Частота напряжения на фазах двигателя регулируется последовательностью включения тиристоров, а амплитуда – изменением угла включения их управления. Последовательность коммутации тиристоров и углы их управления задаются блоком управления БУ. Структурная схема включения системы НПЧ-АД приведена на рис. 10.

Существенным преимуществом непосредственного преобразователя частоты является однократное преобразование энергии, благодаря чему достигается высокий к.п.д. (0,97–0,98). Однако, с помощью НПЧ можно получать напряжение только с частотой ниже сетевой. Так при промышленной частоте $f = 50$ Гц диапазон регулирования этих преобразователей ограничен 3–20 Гц. Силовая часть таких преобразователей состоит из большого числа тиристоров, поэтому система управления ими очень сложна. По этой причине на практике чаще используют тиристорные преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока.

Рис. 10. Система ПЧ–АД с непосредственным преобразователем частоты
БУ – блок управления

Тиристорные преобразователи частоты с неуправляемым выпрямителем отличаются от рассмотренных выше тем, что выпрямленное промежуточное напряжение не регулируется, поэтому изменение амплитуды и частоты осуществляется в инверторе (широтно-импульсном модуляторе) (рис. 11). При переключении тиристоров широтно-импульсный модулятор выдает сигнал в виде импульсов с постоянной частотой. Длительность импульсов и пауз соответственно изменяются во времени. Если закон изменения длительности импульсов будет носить синусоидальный характер, то после фильтрации на выходе преобразователя появится непрерывное синусоидальное напряжение.

В преобразователе с ШИМ частота регулируемого напряжения не ограничивается, а гармонический состав токов, потребляемых из сети,

существенно лучше, чем у преобразователя частоты с управляемым выпрямителем.

Рис. 11. Система ПЧ–АД с широтно-импульсным преобразователем
ПЧ–ШИМ–АД
В – нерегулируемый выпрямитель; БУ – блок управления,
ШИМ – преобразователь с широтно-импульсной модуляцией

2.4. Регулирование асинхронных двигателей изменением подводимого к статору напряжения

При изменении напряжения подводимого к трем фазам статора асинхронного двигателя при постоянной величине критического скольжения величина максимального момента M_{\max} изменяется прямо пропорционально квадрату подводимого к двигателю напряжения (рис. 12).

Регулирование скорости можно получить за счет уменьшения жесткости механических характеристик. Плавность регулирования определяется плавностью изменения напряжения. Пределы регулирования весьма ограничены.

Рис. 12. Механическая характеристика асинхронного двигателя при различных напряжениях питания:

$$1 - U = U_{\text{ном}}; \quad 2 - U = 0,9U_{\text{ном}}; \quad 3 - U = 0,7U_{\text{ном}}$$

Для регулирования напряжения используют:

- тиристорные регуляторы напряжения с фазовым управлением;
- реакторы насыщения;
- автотрансформаторы;
- импульсные (тиристорные или контактные) регулирующие устройства.

Этот способ регулирования угловой скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором можно применять только при малой мощности двигателя (до 5 кВт), так как при этом в короткозамкнутом роторе выделяются большие мощности скольжения.

Лучшее использование двигателя и более благоприятные характеристики могут быть получены, если применить двигатель с фазным ротором, в роторную цепь которого включить дополнительный нерегулируемый резистор и регулировать напряжение на статоре.

В настоящее время этот способ широко применяется в холодильных установках и системах кондиционирования воздуха для АД с повышенным сопротивлением обмотки ротора.

3. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Из уравнения

$$n = (U - IR) / C_E \Phi$$

следует, что возможны три принципиально различных способа регулирования угловой скорости двигателя постоянного тока (ДПТ):

- изменением подводимого к статору напряжения;
- изменением сопротивления цепи якоря посредством введения в нее резисторов (реостатное регулирование);
- изменением тока возбуждения (магнитного потока) двигателя.

Введение добавочных шунтирующих сопротивлений изменяет параметры двигателя, поэтому такой способ регулирования скорости привода называется *параметрическим*.

3.1. Регулирование угловой скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением подводимого к статору напряжения

Регулирование частоты вращения ДПТ напряжением в современных электроприводах допускается как вверх, так и вниз от номинального значения. Плавность регулирования определяется плавностью изменения напряжения питания.

Так как напряжение питающей сети переменного тока поддерживается постоянным, то реализация данного способа регулирования возможна при использовании преобразователя с регулируемым напряжением постоянного тока на его выходе, например, в системах:

- генератор–двигатель;
- управляемый выпрямитель–двигатель (УВ-Д);
- автотрансформатор-неуправляемый выпрямитель.

Системы управляемый выпрямитель–двигатель широко применяются в современном электроприводе.

Рассмотрим регулирование скорости вращения двигателей постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения на якоре с помощью управляемых тиристорных выпрямителей. Они содержат

однофазные и многофазные управляемые тиристорные выпрямители, рассчитанные на токи от единиц до тысяч ампер при напряжении питания двигателя постоянного тока до 1000 В. Верхние уровни токов и напряжений ограничиваются не параметрами силовых вентилях, а конструкциями машин постоянного тока.

Регулирование постоянного напряжения осуществляется изменением угла включения вентилях α в проводящей части периода переменного напряжения.

Рассмотрим принцип регулирования напряжения на примере включения тиристорх по однофазной нулевой двухполупериодной схеме выпрямления, приведенной на рис. 13.

Рис. 13. Схема нереверсивного электропривода постоянного тока при питании двигателя от однофазного управляемого тиристорного выпрямителя

На управляющий электрод тиристора VS1 в момент времени t_1 поступает положительный импульс от блока управления БУ. Угол α , отсчитываемый от момента естественного включения вентиля VS1, вызовет на нагрузке скачок напряжения, которое будет изменяться по кривой U_{2a} (рис. 14). В момент t_2 напряжение U_{2a} становится равным нулю и тиристор VS1 закрывается. На интервале t_2-t_3 оба тиристора закрыты и ток равен нулю, а в момент времени t_3 вступает в действие тиристор VS2 и остаётся открытым до момента t_4 и т. д.

Изменение угла α относительно начала синусоиды напряжения на анодах тиристоров приводит к изменению среднего значения выпрямленного напряжения.

Рис. 14. Диаграммы напряжений системы УВ-Д

Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения, управляемого тиристорным выпрямителем, приведены на рис. 15. Приведённые механические характеристики представляют собой семейство параллельных прямых, проходящих через точки идеального холостого хода n_0 . Отклонение зависимостей от линейных в области малых нагрузок обусловлено наличием прерывистых токов при малых нагрузках, что приводит к изменению реальных значений скорости холостого хода n_0 .

При угле регулирования $\alpha > 90^\circ$ среднее значение выпрямленного напряжения изменяет знак, при этом меняются направление э.д.с. E и угловая скорость якоря двигателя. Если при этом $|E| > |E_\alpha$, то двигатель работает в генераторном режиме, а преобразователь – в инверторном

Рис. 15. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения, питающегося от тиристорного управляемого выпрямителя

режиме.

f

Рис. 16. Принципиальные схемы получения реверса в системе УВ–Д:
а – переключением обмотки возбуждения двигателя; б – переключением
якоря двигателя; в – использованием ³⁰двух комплектов преобразователей

Односторонняя проводимость вентиля преобразователя затрудняет получение реверса в системе УВ–Д. Реверс двигателя в системе УВ–Д можно осуществить следующими способами:

- изменением направления магнитного потока двигателя при неизменном направлении тока якоря (рис. 16, а);

- изменением полярности напряжений на зажимах якоря с помощью специального автоматически переключаемого устройства – реверсора (рис. 16, б);

- изменением полярности на зажимах якоря двигателя с помощью двух встречно включённых преобразователей (рис. 16, в).

Преимуществом первых двух способов является использование одного вентиля преобразователя.

Недостаток первого способа заключается в длительности реверса, что обусловлено большой электромагнитной постоянной времени обмотки возбуждения (до 1,5 с) и необходимостью понижать напряжение на якоре, чтобы избежать больших бросков токов в якорной цепи.

Второй способ сокращает время реверса до 0,1 с, но требует сложных операций управления вентильным преобразователем в процессе переключения контакторов «Вперёд» (В) и «Назад» (Н).

Для приводов, требующих максимального быстродействия при реверсе, а также реализации двигательного и тормозного режимов при неизменном направлении вращения якоря, используют третий способ. В этом случае применение двух комплектов преобразователей позволяет получить эффект их двухсторонней проводимости.

3.2. Реостатное и импульсное параметрическое регулирование угловой скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Регулирование угловой скорости изменением сопротивления цепи якоря осуществляется посредством введения регулировочного реостата в цепь якоря.

При этом способе регулирования изменяется жёсткость характеристики, а с ней и стабильность угловой скорости. Угловая скорость регулируется вниз от основной скорости.

В большинстве случаев реостатное регулирование угловой скорости производится с помощью контакторов, замыкающих отдельные ступени резисторов (рис. 17), т. е. скорость привода изменяется дискретно, поэтому данный способ при контакторном

Рис.17. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения при реостатном регулировании

управлении не обеспечивает плавного регулирования (рис. 18). Применение жидкостного или ползункового реостата позволяет достигнуть плавного регулирования. Другим способом достижения плавного регулирования при введении резисторов в цепь якоря является использование (при небольшой мощности двигателя) импульсного параметрического регулирования угловой скорости. Этот способ используется также в автоматизированном электроприводе для стабилизации (поддержания) заданного значения угловой скорости при изменении момента нагрузки или для предварительного снижения скорости перед полной остановкой привода.

Рис. 18. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при реостатном регулировании:

1 – естественная характеристика $R_{доб} = 0$; 2, 3, 4 – искусственные характеристики; 2 – $R_{доб} = R_1$; 3 – $R_{доб} = R_1 + R_2$; 4 – $R_{доб} = R_1 + R_2 + R_3$

Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения при импульсном регулировании добавочного сопротивления в цепи якоря приведена на рис. 19. Добавочный резистор $R_{доб}$, включаемый в цепь якоря, либо полностью вводится в схему, либо замыкается накоротко ключом S . Коммутация ключа осуществляется периодически. При замкнутом накоротко $R_{доб}$ ток в цепи якоря и угловая скорость возрастают, а при введении $R_{доб}$ в цепь, когда ключ разомкнут, ток и угловая скорость снижаются.

Рис. 19. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения при импульсном регулировании добавочного сопротивления

Соотношение длительностей замкнутого (t_1) и разомкнутого (t_2) состояний ключа S принято выражать в виде относительной величины, называемой скважностью управляющих импульсов ξ

$$\xi = t_1 / (t_1 + t_2)$$

С увеличением ξ при неизменной нагрузке на валу двигателя угловая скорость его будет возрастать. При $\xi = 1$ двигатель будет работать на естественной характеристике (ключ S постоянно замкнут). При $\xi = 0$ двигатель будет работать на реостатной характеристике, соответствующей постоянно включённому резистору $R_{доб}$ (ключ S разомкнут). При других значениях ξ эквивалентное (усреднённое) добавочное сопротивление в цепи якоря определяется отношением $R_{доб.э} = R_{доб} (1 - \xi)$

Механические характеристики двигателя (рис. 20) определяются формулой (для средних значений угловой скорости $n_{ср}$ и момента $M_{ср}$)

$$n_{ср} = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{M_{ср}}{C_E \Phi^2} [R_{я} - R_{доб} (1 - \xi)],$$

т. е. характеристики имеют тот же вид и те же свойства, что и при чисто реостатном регулировании угловой скорости.

Рис. 20. Механические характеристики двигателя постоянного тока при импульсном регулировании сопротивления

Для реализации импульсного способа регулирования сопротивления применяются бесконтактные ключи, выполненные на базе транзисторов или тиристоров.

При регулировании угловой скорости введением резисторов в цепь якоря двигателя постоянного тока потери мощности в этой цепи изменяются пропорционально перепаду угловой скорости и потребляемой мощности. Так, если момент нагрузки постоянен (следовательно постоянна потребляемая мощность) и угловая скорость двигателя уменьшается вдвое, то примерно половина мощности, потребляемой из сети, будет рассеиваться в виде теплоты, выделяемой в реостате, т. е. данные способы регулирования (рео-статный и импульсный параметрический) являются неэкономичными. При импульсном регулировании сопротивления энергетические показатели хуже, чем при ступенчатом регулировании. Это обусловлено наличием в кривой тока якоря переменной составляющей, вызванной коммутациями ключа, что приводит к увеличению потерь энергии. Однако при небольших значениях мощности установки (несколько десятков ватт) это обстоятельство практического значения не имеет.

3.3. Регулирование угловой скорости` двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением магнитного потока.

Регулирование угловой скорости двигателя изменением тока возбуждения является одним из наиболее простых и экономичных спосо-

бов. Мощность, потребляемая обмоткой возбуждения двигателя, составляет примерно $2 \div 2,5\%$ мощности двигателя, поэтому такой способ регулирования находит широкое применение в современной практике электропривода.

Принципиальные схемы электропривода при регулировании тока возбуждения показаны на рис. 21, а, б. Ток возбуждения регулируется в случае двигателя малой мощности с помощью резистора (рис. 21, а), а в случае двигателей средней и большой мощности посредством регулятора напряжения РН (рис. 21, б).

Регулирование скорости в этом случае осуществляется вверх от основной, причём допустимый момент двигателя изменяется по закону гиперболы, а допустимая мощность не меняется.

Рис. 21. Принципиальные схемы электропривода при регулировании угловой скорости изменением магнитного потока:

а – с помощью резистора; б – с помощью регулятора напряжения

Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при регулировании угловой скорости током возбуждения показаны на рис. 22.

Рис. 22. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при регулировании угловой скорости током возбуждения

Механическим характеристикам при изменении тока возбуждения соответствуют различные значения угловой скорости идеального холостого хода n_0 :

$$n_0 = \frac{U}{C_E \Phi}.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните по рис. 1, как осуществляется пуск и торможение асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2. Поясните по рис. 2, как осуществляется пуск, регулирование частоты и торможение двигателя с фазным ротором.

3. Как осуществляется реверс двигателя в электроприводах переменного тока?

4. Как осуществляется регулирование скорости асинхронного двигателя?

5. В чём заключается частотное регулирование приводов переменного тока?

6. Объясните назначение основных элементов релейно-контакторных схем управления электроприводами.

7. Какие виды защит применяют в схемах автоматического управления?

8. Как осуществляется регулирование частот вращения двигателей постоянного тока?

9. Какой способ регулирования частот вращения ДПТ является наиболее экономичным?

ЛИТЕРАТУРА

1. **Касаткин А. С., Немцов М. В.** Электротехника – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 542 с.

2. **Иванов И. И., Равдоник В. С.** Электротехника. – М.: Высш. шк., 1984. – 357 с.

3. **Чиликин М. Г., Сандлер А. С.** Общий курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.

4. **Ковчин С. А., Сабинин Ю. А.** Теория электропривода. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 с.

5. **Арменский Е. В., Прокофьев П. А., Фалк Г. Б.** Автоматизированный электропривод: Учеб. пособие для сред. ПТУ. – М.: Высш. шк., 1987. – 143 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПУСК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	7
1.1. Схема управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при помощи магнитного пускателя	7
1.2. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором при помощи реверсивного магнитного пускателя.....	8
1.3. Схема автоматического управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с переключением фаз обмотки статора со звезды на треугольник	11
1.4. Схема автоматического управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором	12
2. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ..	15
2.1. Регулирование асинхронных двигателей включением сопротивлений в цепь ротора (изменением скольжения).....	15
2.2. Регулирование скорости изменением числа пар полюсов	16
2.3. Частотное регулирование скорости асинхронных двигателей	18
2.4. Регулирование асинхронных двигателей изменением подводимого к статору напряжения.....	24
3. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА	26
3.1. Регулирование угловой скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением подводимого к статору напряжения	26
3.2. Реостатное и импульсное параметрическое регулирование угловой скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения.....	24
3.3. Регулирование угловой скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением магнитного потока.....	34
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	36
ЛИТЕРАТУРА	37

к. п. д. напряжения 39 24 25

лируемое напряжение подается на автономный инвертор АИ,

18 тиристоров

$$n = (U - IR) / C_E \Phi$$

а б

U U R_i ;

Рис. 17. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения при реостатном регулировании

Батяев Анатолий Алексеевич
Новотельнова Анна Владимировна
Русанов Александр Викторович

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**
Методические указания
для самостоятельного изучения дисциплины
“Электротехника и основы электроники”
для студентов всех специальностей

Редактор М. Б. Кановская

Корректор Н. И. Михайлова

ЛР № 020414 от 12.02.97

Подписано в печать .12.99. Формат 60x84 1/16. Бум.газетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,09. Печ. л. 2,25. Уч. -изд. л. 1,56.
Тираж 500 экз. Заказ № С 34

СПбГАХПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГАХПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Содержание

1. Микробиологическое исследование свежего мяса.....	3
2. Микробиологическое исследование охлажденного, мороженого, соленого мяса и рассолов.....	7
3. Характеристика возбудителей порчи мяса.....	8
4. Микробиологическое исследование колбасных изделий.....	12
5. Микробиологическое исследование яиц и яйцепродуктов.....	16
6. Санитарно-микробиологический контроль оборудования, инвентаря, тары и рук рабочих.....	19

Красникова Людмила Васильевна
Гунькова Полина Исаевна

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ МИКРОБИОЛОГИИ**
для студентов специальности 270900

Редактор М. Б. Кановская

Корректор Н. И. Михайлова

ЛР № 020414 от 12.02.97

Отпечатано с форм 1990 г.

Подписано в печать .08.99. Формат 60x84 1/16. Бум. газетная

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,4. Печ. л. 1,5. Уч. -изд. л. 1,25.

Тираж экз. Заказ № С 39

СПбГАХПТ, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГАХПТ, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9