



А. И. Бабин
В. В. Шипилов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Екатеринбург
2010

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра автоматизации производственных процессов

А. И. Бабин
В. В. Шипилов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания
для студентов очной и заочной форм обучения
по дисциплине АТП

Екатеринбург
2010

Печатается по рекомендации методической комиссии Лесоинженерного факультета УГЛТУ. Протокол № 84 от 16.10. 2009 г.

Рецензент: доц., к.т.н. С.П. Санников

Редактор Л.Д. Черных
Компьютерная верстка Г.И. Романовой

Подписано в печать 30.11.10	Поз. 109
Плоская печать	Формат 60x84 1/16
Заказ №	Тираж 50 экз.
	Печ.л. 2,32
	Цена 11 руб. 84 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая машина по физическому устройству и управлению очень сложное устройство.

На практике используют различные типы электрических машин, различной мощности и способов их эксплуатации. Процесс пуска и торможения любого двигателя сопровождается определенными трудностями с использованием переключения в силовой цепи. Так, для асинхронных электрических машин малой и средней мощности с короткозамкнутым ротором пуск чаще всего сводится к прямому выключению его обмоток на полное напряжение сети. Мощные асинхронные и синхронные электрические машины включаются на пониженное питание, а по окончании пуска статор двигателя включается на полное напряжение сети. Окончанием момента пуска считается момент, когда ротор электрической машины набирает полные обороты, соответствующие полной механической нагрузке. Для асинхронных электрических машин с фазным ротором и электрических машин постоянного тока в целях ограничения пусковых токов в цепи роторов и якорей двигателей включаются пусковые резисторы, которые при разгоне ротора машины по ступеням выключаются. Когда пуск закончится, пусковые резисторы полностью шунтируются. Процесс торможения электрических машин также может быть автоматизирован. После команды на торможение с помощью релейно-контакторной аппаратуры осуществляются необходимые переключения в силовых цепях. При подходе к скорости, близкой к нулю, электрическая машина отключается от сети. В процессе пуска выключение ступеней происходит через определенные интервалы времени, либо в зависимости от других параметров; при этом изменяются ток и скорость электрической машины.

Управление пуском электрической машины осуществляется в функции ЭДС (или скорости), тока, времени и пути.

Важным условием эксплуатации электрических машин является предварительное испытание и защита электрических обмоток.

1. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1.1. Общие сведения

Перед выполнением наладочных операций осуществляют внешний осмотр машины и убеждаются в том, что она находится в состоянии, пригодном для испытаний, а ее установка и паспортные данные соответствуют проекту. Знакомятся с монтажными чертежами, спецификациями, результатами заводских испытаний.

После внешнего осмотра наладчики проверяют механическую часть машины. Перед пуском, как правило, контролируют состояние подшипников. В электрических машинах общего назначения применяют, в основном подшипники закрытого типа, заполненные смазкой на заводе-изготовителе. Обычно наладку механической части машин выполняют

специализированные организации, поэтому наладчику электрической части перед испытаниями необходимы лишь сведения о готовности механической наладки.

1.2. Объем и нормы испытаний машин постоянного тока

Машины постоянного тока мощностью до 200 кВт и напряжении до 440 В, вводимые в эксплуатацию после монтажа, проходят приемосдаточные испытания в объеме, предусмотренном ПУЭ.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и бандажей машины, а также между обмотками осуществляется мегаомметром на 1000 В. При проверке изоляции обмотки по отношению к корпусу один из щупов мегаомметра прикладывают к зачищенной металлической поверхности корпуса машины, второй – к выводному концу той обмотки, сопротивление изоляции которой измеряют. Если в машине имеется несколько обмоток, то кроме измерения сопротивления изоляции каждой из них по отношению к корпусу проверяют состояние их изоляции между собой. С этой целью все остальные обмотки соединяют с корпусом или по окончании измерения сопротивления изоляции всех обмоток по отношению к корпусу определяют сопротивление изоляции между каждыми двумя обмотками. Согласно ПУЭ оно должно быть не ниже 0,5 МОм, между обмотками и каждой обмоткой относительно корпуса при 10–30 °С.

Сопротивление изоляции ниже 0,5 МОм может быть вызвано попаданием в изоляцию влаги, повышенной влажностью, оседанием токопроводящей пыли на выводах, обмотках, коллекторе. При этом рекомендуется продуть машину сухим сжатым воздухом, очистить выводы обмоток, торец коллектора, изоляционные детали щеткодержателей. Если после чистки и продувки сопротивление изоляции не повысится, выполняют поверхностную сушку машины и контрольное измерение сопротивления изоляции. Необходимо помнить, что показания мегаомметра зависят от продолжительности приложения напряжения к проверяемой обмотке. Чем больше время, прошедшее от момента приложения напряжения к изоляции до момента отсчета, тем больше измеренное сопротивление изоляции. С повышением температуры сопротивление изоляции уменьшается.

При измерении сопротивления обмоток постоянному току проверяют состояние их контактных соединений (паек, болтовых и сварных соединений). Сопротивления измеряют методом амперметра – вольтметра, моста и микроомметра.

Необходимо помнить о некоторых особенностях измерений сопротивлений обмоток машин постоянного тока:

- сопротивление последовательной обмотки возбуждения, уравнивательной и обмотки добавочных полюсов невелико (тысячные доли ома), поэтому его измеряют микроомметром;

- сопротивление обмотки якоря определяют методом амперметра – вольтметра с использованием специального двухконтактного щупа с пружинами с изоляционной рукояткой.

Сопротивление постоянному току реостатов и пускорегулировочных резисторов обычно измеряют мостами ММВ, МВУ-49, Р-333 и др. При этом измерения выполняют для всего реостата полностью и на каждом положении ползунка (ответвлении). Значения сопротивления должны отличаться от данных завода-изготовителя не более чем на 10 %.

При испытаниях электрических машин на холостом ходу и под нагрузкой возможны различные неисправности. Причины и способы устранения простейших неисправностей машин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Неисправности машин постоянного тока

Неисправность	Причина	Способ устранения
Искрение всех или части щеток	Щетки не установлены на нейтраль. Щетки неправильно установлены в щеткодержателях (размеры щеток не соответствуют размерам щеткодержателей).	Установить щетки на нейтраль. Правильно установить щетки в щеткодержателях.
Местные перегревы якорной обмотки двигателя	Слабое или сильное нажатие щеток на коллектор Несоответствие материала, размеров и количества щеток заводским данным	Отрегулировать пружинной щеткодержателя давление щеток на коллектор Проверить соответствие данных установленных щеток требуемым
Двигатель плохо разгоняется и работает с ненормальной частотой вращения	Витковое или короткое замыкание в одной или нескольких катушках якоря. Закорачивание соседних пластин коллектора Соединение между катушками или хомутами, например в результате попадания оставшегося после пайки олова	Отыскать повреждение и перемотать катушку якоря. Продорожить коллектор, снять заусенцы острым шабером. Осмотреть все катушки и хомутики, при обнаружении соединенных вместе разъединить их

1.3. Объем и нормы испытаний электродвигателей переменного тока

Электродвигатели переменного тока напряжением до 1000 В, вводимые в эксплуатацию после монтажа, подвергают приемосдаточным испытаниям в объеме, предусмотренном ПУЭ.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками, а также сопротивления изоляции заложённых в электродвигатель температурных индикаторов осуществляют мегаомметрами. Если в электродвигателях выведены начало и конец каждой фазы, сопротивление изоляции обмотки измеряют отдельно для каждой фазы относительно корпуса и между обмотками. В многоскоростных многообмоточных электродвигателях это сопротивление должно быть измерено на выводах каждой обмотки в отдельности, в асинхронных электродвигателях с фазным ротором — отдельно для обмоток статора и обмоток ротора.

Допустимые сопротивления изоляции электродвигателей напряжением до 1000 В приведены в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые значения сопротивления изоляции электродвигателей переменного тока

Испытываемый объект	Напряжение мегаомметра, В	Сопротивление изоляции
Обмотка статора напряжением до 1000 В	1000	Не менее 0,5 МОм при 10—30°С
Обмотка ротора синхронного двигателя и электродвигателя с фазным ротором	500	Не менее 0,2 МОм при температуре 10—30 °С
Термоиндикатор	250	Не нормируется

Измерение сопротивления обмоток постоянному току двигателей мощностью 300 кВт и более проводят при неподвижном роторе. Сопротивление многофазных обмоток при наличии выводов начала и конца всех фаз измеряют пофазно. В электродвигателях с фазным ротором должно быть измерено также сопротивление обмотки ротора. Если фазы обмотки статора соединены в «звезду» и не имеют вывода нулевой точки, сопротивление измеряют между каждыми двумя выводами (двумя фазами) электродвигателя. При измерении сопротивления обмотки ротора электродвигателя подключают измерительную схему непосредственно к концам обмотки, чтобы исключить влияние переходного сопротивления контактов щеток. Согласно ПУЭ измеренные сопротивления постоянному току обмоток различных фаз должны отличаться друг от друга или от заводских данных не более чем на 2 %.

Во всех случаях измеряют сопротивление постоянному току реостатов и пускорегулировочных резисторов, общее сопротивление и проверяют целостность паек. Эти сопротивления составляют десятые и сотые доли ома, поэтому пусковые сопротивления в цепи ротора электродвигателя обычно измеряют мостовым методом или микроомметром. Значение измеренного сопротивления должно отличаться от паспортных данных не более чем на 10 %. Ошибка при измерениях пусковых сопротивлений может привести к ненормальному пусковому режиму электродвигателя.

2. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ВЫВОДОВ ОБМОТОК

Проверка правильности соединений выводов обмоток электродвигателей сводится к определению начала и конца каждой из них. Полярность выводов трехфазных электродвигателей проверяют несколькими способами, наиболее распространенные из которых приведены ниже.

2.1. Определение полярности выводов

Необходимость *проверки полярности выводов* может возникнуть при контроле подключения трансформаторов тока и напряжения (когда к ним подключают счетчики, фазометры, реле мощности) или электродвигателей, имеющих много выводов (многоскоростные двигатели).

Полярность выводов обмоток при данном направлении магнитного потока в магнитопроводе, в котором они расположены, зависит от направления намотки витков обмоток и взаимного расположения обмоток магнитопровода.

При пропуске постоянного тока через одну из магнито-связанных обмоток в других обмотках индуцируется ЭДС, которую можно измерить магнитоэлектрическим милливольтметром. При касании провода от одного и того же зажима прибора одноименные выводы обмоток будут иметь один знак – стрелка прибора отклонится в одном направлении.

Можно произвольно промаркировать выводы одной из обмоток и присоединить к одному из них «+» источника тока, ко второй обмотке присоединить гальванометр так, чтобы стрелка отклонялась вправо при замыкании цепи источника тока. Тогда выводы обмоток, присоединенные к «+» источника тока и к «+» гальванометра, будут одинаковыми (рис. 1).

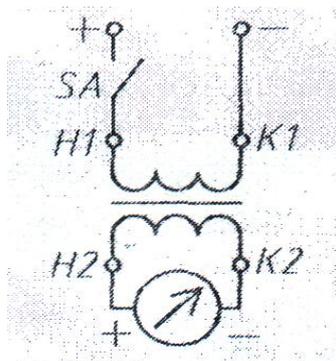


Рис. 1. Схема определения выводов обмоток

В качестве чувствительных приборов могут применяться гальванометры и милливольтметры.

Полярность выводов трехфазной машины (двигателя, генератора) определяют по схеме, показанной на рис. 2, предварительно установив прозвонкой выводы каждой из обмоток. Так как обмотки трехфазной машины сдвинуты в пространстве на 120 эл. град. по отношению друг к другу, то при подключении «+» батарейки к началу первой обмотки и «+» гальванометра поочередно к началам второй и третьей обмоток батареи стрелка гальванометра в момент замыкания цепи должна отклоняться влево.

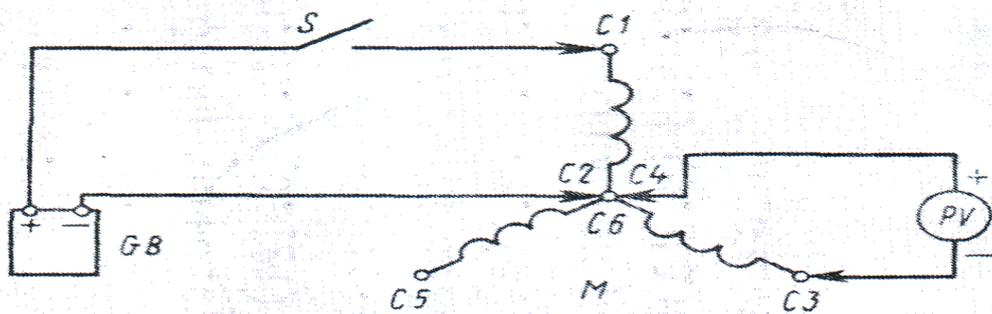


Рис. 2. Схема проверки полярности обмоток трехфазного электродвигателя

Вначале определяют выводы каждой обмотки в отдельности мегаомметром, мостом или пробником УП-71, ПУ-82.

Для проверки правильности соединений выводов используют источник постоянного тока (аккумулятор или сухой элемент) и вольтметр постоянного тока (милливольтметр или гальванометр).

Схемы проверки выводов обмотки показаны на рис. 3. К одной из обмоток кратковременно подключают источник питания, к двум другим – поочередно вольтметр (рис. 3, а), чтобы в момент подачи напряжения от источника питания стрелка отклонилась вправо. При этом «+» батареи и «—» вольтметра соединены с одноименными выводами обмоток. Маркировку выводов проверяют попарным включением обмоток. Две обмотки включают последовательно и кратковременно подключают к источнику питания. К третьей обмотке подсоединяют вольтметр. Если две обмотки соединены последовательно одноименными выводами (рис. 3, б), стрелка вольтметра при включении выключателя S не будет отклоняться. При соединении обмоток разноименными выводами (рис. 3, в) в момент включения и отключения выключателя S стрелка вольтметра отклоняется. Так же определяют соответствие выводов третьей обмотки с выводами первой или второй.

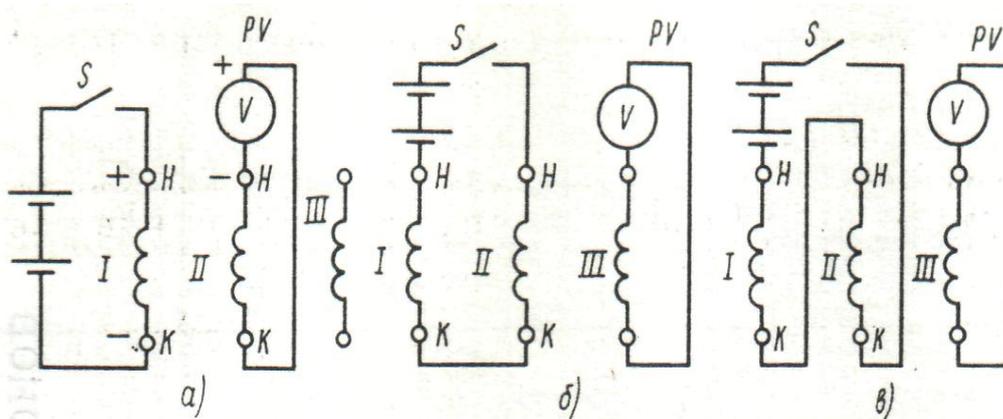


Рис. 3. Схемы проверки выводов обмотки статора с помощью источника постоянного тока:

a – подключение к источнику одной обмотки; *б, в* – подключение к источнику двух обмоток; *I, II, III* – обмотки; *K, H* – концы и начала обмоток

Проверка полярности выводов с помощью источника переменного тока (рис. 4). Соединяют последовательно две обмотки, а к третьей обмотке подключают вольтметр *PV* или лампу накаливания. При соединении между собой одноименных выводов вольтметр имеет показания, близкие к нулю (рис. 4, *a*). Установив одноименные выводы первой и второй обмоток, повторяют проверку, соединяя между собой первую и третью обмотки и подключая вольтметр ко второй для определения полярности выводов третьей обмотки. При соединении двух обмоток разноименными выводами вольтметр покажет наличие напряжения на третьей обмотке (рис.4, *б*). Проверку полярности выводов обмоток выполняют на пониженном ($0,9 \div 0,95$) $U_{ном}$ напряжении.

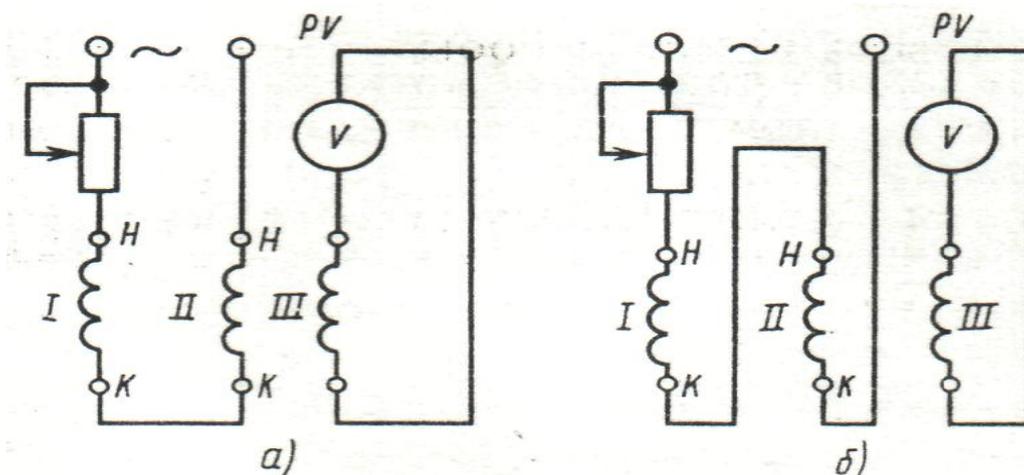


Рис. 4. Схемы проверки выводов обмотки статора с помощью источника переменного тока: *a* – подключение к источнику одной обмотки; *б* – подключение к источнику двух обмоток

Правильность соединений отдельных частей составной обмотки проверяют по схеме, показанной на рис. 5. Подавая переменный ток в одну часть обмотки, по наибольшему из измеренных напряжений находят другую часть обмотки, принадлежащей этой же фазе (рис. 5, а). Так же определяют части обмоток, принадлежащие остальным двум фазам. Полярность составных частей обмотки проверяют по схеме, показанной на рис. 5, б. В случае соединения разноименных выводов частей обмотки, принадлежащей одной фазе, напряжение U_2 при включении двух одинаковых обмоток, измеренное вольтметром, примерно в 2 раза больше напряжения U_1 .

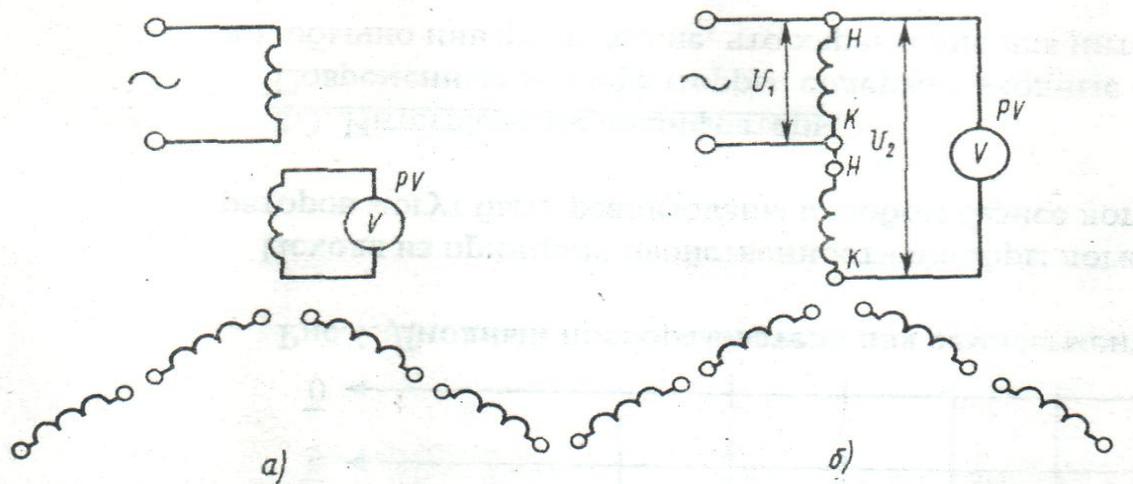


Рис. 5. Схемы проверки соединений составных частей обмотки:
 а – определение составных частей обмотки;
 б – определение полярности обмоток

Проверку работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом осуществляют таким образом. После проверки действия защиты и сигнальной аппаратуры выполняют пробный пуск двигателя с отключением и прослушиванием стука, шума, вибрации. Затем запускают, проверяют разгон до номинальной частоты вращения и нагрев подшипников, включают электродвигатель на различные частоты вращения (многоскоростные двигатели), измеряют ток холостого хода всех фаз. Продолжительность проверки, как правило, не менее 1 ч.

Работу электродвигателя под нагрузкой проверяют при включении технологического оборудования в момент сдачи в эксплуатацию.

При первом опробовании электродвигателей возможны неисправности. Причины и способы наиболее распространенных неисправностей асинхронных электродвигателей приведены в табл. 3.

Таблица 3

Неисправности асинхронных электродвигателей

Неисправность	Причина	Способ устранения
Перегрев активной стали статора	Напряжение сети выше номинального	Снизить напряжение до номинального
Перегрев обмотки статора	Перегрузка двигателя или нарушение его вентиляции	Проверить нагрузку и систему вентиляции.
	Напряжение на зажимах двигателя ниже номинального	Установить номинальное напряжение
Неравномерный ток в фазах	Неправильное соединение одной или нескольких катушек в фазе	Проверить сопротивление фаз, правильность соединения катушек в фазе, сопротивление изоляции между фазами
Перегрев обмотки ротора	Напряжение на зажимах статора ниже номинального.	Установить номинальное напряжение на обмотке статора.
	Неудовлетворительное охлаждение ротора.	Проверить систему вентиляции.
	Нарушение контактов в обмотке ротора, неисправность реостата в цепи ротора	Найти место плохого контакта в цепи ротора и устранить его
Двигатель не разгоняется, гудит	Обрыв в одной фазе статора	Проверить сопротивление фаз, при обнаружении обрыва устранить его
Двигатель не разгоняется, ток в трех фазах неравномерный	Неправильное соединение обмотки статора. Отсутствие питания в одной фазе. Обрыв в обмотке ротора	Проверить соединение обмотки статора. Проверить питание, подводимое к двигателю. Проверить цепь ротора
Двигатель вращается с пониженной частотой на холостом ходу, сильно гудит	Неправильное соединение одной фазы обмотки статора	Правильно соединить выводы обмотки статора
Искрят щетки и обгорают контактные кольца	Недостаточная шлифовка щеток к контактным кольцам	Пришлифовать щетки

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляют внешний осмотр электрических машин перед началом их испытаний?
2. Какие основные неисправности машин постоянного тока и способы их устранения вы знаете?
3. Каковы основные объемы испытаний машин переменного тока?

3. ЗАЩИТА, БЛОКИРОВКИ И СИГНАЛИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Для обеспечения надежной работы ЭП и технологического оборудования в его схемах предусматриваются необходимые виды защит, например, различные блокировочные связи, обеспечивающие заданный порядок операций по управлению одним или несколькими ЭП и технологическим оборудованием и предотвращающие при этом ошибочные действия оператора. Кроме того, во многих случаях целесообразно контролировать состояние и режимами работы отдельных узлов ЭП, что обеспечивается средствами сигнализации, измерительных и регистрирующих приборов.

3.1. Аппараты максимальной токовой защиты

При работе ЭП может произойти замыкание электрических цепей между собой или на землю (корпус), а также увеличение тока в силовых цепях сверх допустимого предела, вызванное, например, стопорением движения исполнительного органа рабочей машины, обрывом одной из фаз питающего напряжения, резким снижением тока возбуждения двигателей постоянного тока. Для защиты ЭП и питающей сети от появляющихся в этих случаях недопустимо больших токов (сверхтоков) предусматривается максимальная токовая защита, которая может реализовываться различными средствами: плавкими предохранителями, реле максимального тока и автоматическими выключателями.

Плавкие предохранители FU включаются в каждую линию (фазу) питающей двигатель сети между выключателем Q напряжения сети и контактами линейного контактора KM для асинхронного двигателя (рис. 6, *а*) и для двигателя постоянного тока (рис. 6, *б*). Цепи управления также могут защищаться плавкими предохранителями (рис. 6, *в*).

Выбор плавкой вставки предохранителей силовой части электропривода проводится по току, который рассчитывается таким образом, чтобы при пуске двигателя она не перегорала от пускового тока.

Реле максимального тока используются, в основном, в ЭП средней и большой мощности. Катушки этих реле $FA1$ и $FA2$ включаются в фазы трехфазных двигателей переменного тока и в один или два полюса двигателя постоянного тока между выключателем Q и контактами линейного контактора KM (рис. 7, *а*, *б*). Размыкающие контакты этих реле включены в цепь катушки ХЛ/линейного контактора (рис. 7, *в*). При возникновении

сверхтоков в контролируемых цепях, превышающих уставки реле $FA1$ и $FA2$, эти контакты размыкаются и силовые контакты линейного контактора KM отключают двигатель от питающей сети.

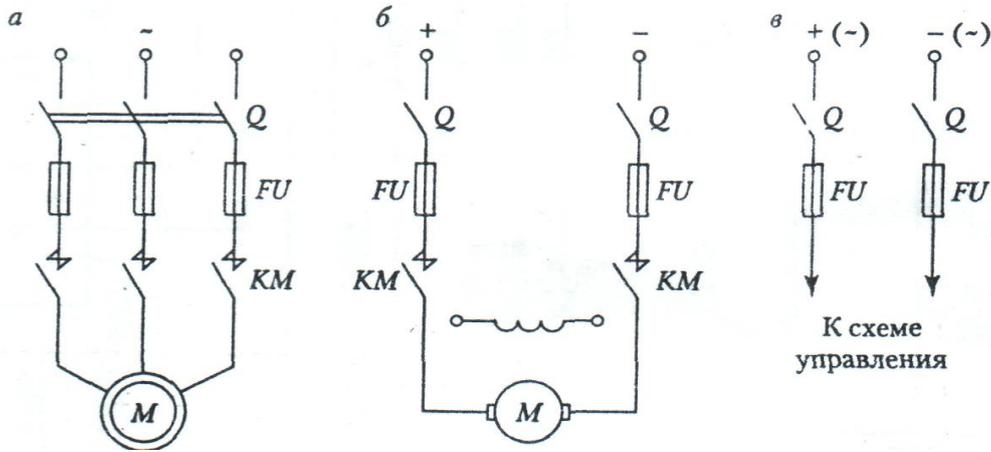


Рис. 6. Схемы включения предохранителей для защиты:
 а – асинхронного двигателя; б – двигателя постоянного тока;
 в – цепей управления

Уставки реле максимального тока должны выбираться таким образом, чтобы не происходило отключения двигателей при их пуске или других переходных процессах, когда токи в силовых цепях в несколько раз превышают номинальный уровень.

Автоматические воздушные выключатели (автоматы). Эти комплексные многоцелевые аппараты обеспечивают ручное включение и отключение двигателей и защиту от сверхтоков, перегрузок и снижения питающего напряжения. Для выполнения этих функций автомат имеет контактную систему, замыкание и размыкание которой осуществляется вручную рукояткой или кнопкой, максимальное токовое реле и тепловое токовое реле. Кроме этого, некоторые типы автоматов обеспечивают защиту от снижения напряжения и дистанционное отключение двигателей.

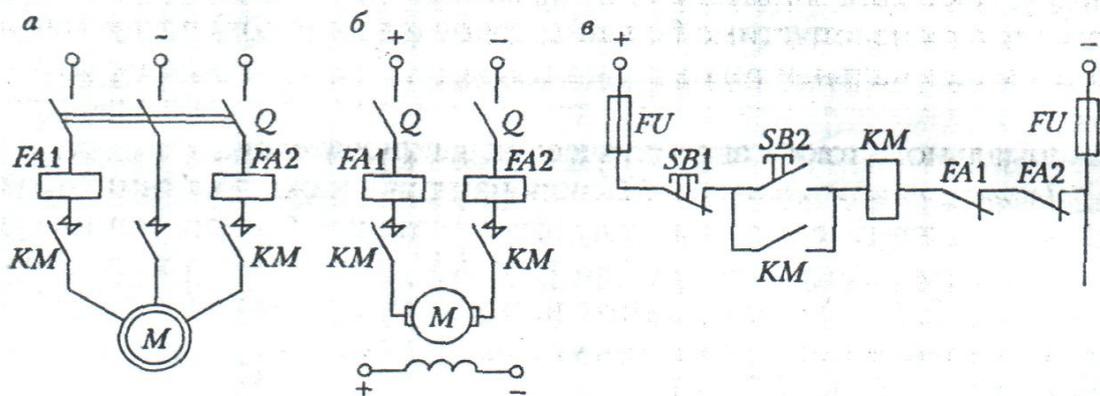


Рис. 7. Схемы включения реле максимального тока для защиты:
 а – асинхронного двигателя; б – двигателя постоянного тока;
 в – контактов реле в цепи управления

Важным устройством автомата является механизм свободного расцепления, который обеспечивает его отключение при поступлении управляющих или защитных воздействий. В общем случае отключение автомата этим механизмом может происходить при протекании токов перегрузки, короткого замыкания, снижении напряжения сети, а также при дистанционном отключении автомата.

Упрощенное устройство автомата показано на рис. 8, а. Рабочий ток нагрузки I протекает через контакт 1 автомата, нагреватель теплового реле 6 в катушку 9 реле максимальной тока. При коротком замыкании в контролируемой цепи сердечник 10 максимального реле втягивается в катушку 9 и толкателем 8 воздействует на рычаг 5 механизма расцепления. Последний поворачивается по часовой стрелке и приподнимает защелку 4. Освобождается рычаг 3, и под действием пружины 2 контакты 1 автомата размыкаются.

Аналогичным образом происходит отключение автомата при перегрузке цепи, когда ток в ней больше номинального (расчетного), но меньше тока короткого замыкания. В этом случае ток, проходя по нагревателю 6 теплового реле, вызывает нагрев биметаллической пластины 7. В результате этого свободный конец пластины 7 поднимается вверх и через рычаг 5 воздействует на расцепитель 4, вызывая этим размыкание контактов автомата.

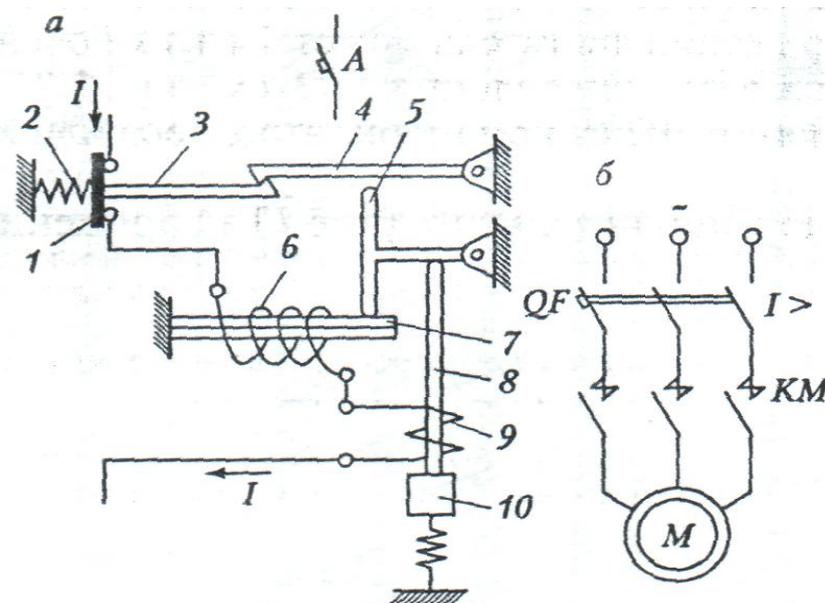


Рис. 8. Автоматический выключатель:
а – устройство; б – схема включения

Часто в автоматах применяют тепловые расцепители без нагревателя, в этом случае контролируемый ток пропускается непосредственно через биметаллическую пластину. В маломощных автоматах такой расцепитель может выполнять функции элемента максимальной токовой защиты.

Пример схемы включения автомата QF для подключения и защиты трехфазного асинхронного двигателя приведен на рис. 8, б. Автоматические выключатели широко используются для коммутации и защиты силовых и маломощных цепей ЭП всех видов.

3.2. Нулевая защита

При значительном снижении напряжения сети или его исчезновении эта защита обеспечивает отключение двигателей и предотвращает самопроизвольное их включение (самозапуск) после восстановления напряжения.

В тех случаях, когда двигатели управляются от кнопок контакторами или магнитными пускателями, нулевая защита осуществляется самими аппаратами без применения дополнительных средств. Например, если в схеме рис. 9 исчезло или сильно понизилось напряжение сети, катушка линейного контактора KM потеряет питание, и он отключит двигатель от сети.

При управлении ЭП от командоконтроллера или ключа с фиксированным положением их рукояток нулевая защита осуществляется с помощью дополнительного реле FV напряжения (рис. 9).



Рис. 9. Схема нулевой защиты

В этой схеме реле FV включается в нулевом положении командоконтроллера (ключа) через контакт $SM0$, после чего оно становится на самопитание через свой собственный контакт. При переводе рукоятки командоконтроллера (ключа) в положение пуска I , питание всей схемы управления осуществляется через этот контакт, поэтому при исчезновении напряжения реле FV отключится, прекратится ее питание и линейный контактор KM отключит двигатель от сети. При восстановлении напряжения питания повторное включение двигателя может произойти лишь после установки рукоятки вновь в нулевое (среднее) положение, чем исключается возможность его самозапуска.

Отметим, что в схеме рис. 9 реле FV является исполнительным элементом еще двух защит: от токов короткого замыкания (контакты реле максимального тока FA) и тепловая защита (контакты теплового реле FP), что часто практикуется в схемах управления.

3.3. Тепловая защита

Эта защита отключает двигатель от источника питания, если вследствие протекания по его цепям повышенных токов имеет место более высокий нагрев его обмоток. Такая перегрузка возникает, в частности, при обрыве одной из фаз трехфазных асинхронных или синхронных двигателей.

Тепловая защита двигателей может быть осуществлена тепловыми, максимально-токовыми реле и автоматическими выключателями.

Тепловые реле KK включаются в две фазы трехфазных двигателей переменного тока непосредственно (рис. 10, *а*) или через трансформаторы тока $ТА$ (рис. 10, *б*), если ток двигателя превышает номинальный ток реле. Для защиты двигателей постоянного тока реле включаются в один или два полюса цепи их питания (рис. 10, *в*). Размыкающие контакты тепловых реле включаются или в цепи катушек главных (линейных) контакторов, или в цепь защитного реле, как это показано на рис. 9.

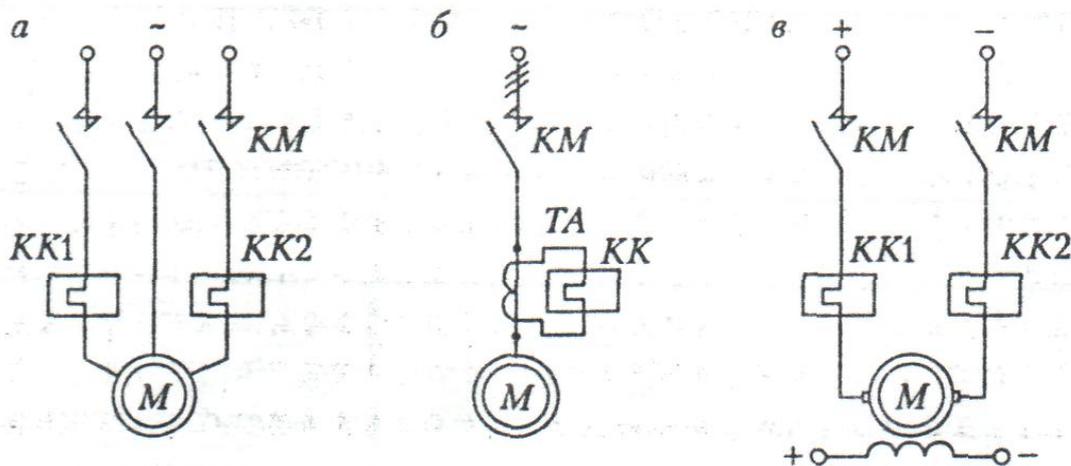


Рис. 10. Тепловая защита:

а – схема включения тепловых реле в цепь статора асинхронного двигателя без трансформатора тока; *б* – схема включения тепловых реле в цепь статора асинхронного двигателя с трансформатором тока; *в* – схема включения тепловых реле в цепь якоря двигателя постоянного тока

Действие теплового реле основано на эффекте изгибания биметаллической пластинки при нагревании за счет различных температурных коэффициентов линейного расширения образующих ее металлов (см. рис. 8, *а*).

Номинальный ток теплового элемента реле $I_{т.э}$ выбирают равным или несколько большим номинального тока двигателя $I_{ном}$:

$$I_{т.э} = (1 \dots 1,15) I_{ном}$$

Тепловая защита двигателей может осуществляться автоматическими выключателями и магнитными пускателями, если они имеют встроенные тепловые расцепители, как, например, в схеме автомата рис. 8, *а*.

При повторно-кратковременных режимах работы ЭП, когда процессы нагрева реле и двигателя различны, защита двигателей от перегрузок осуществляется максимально-токовыми реле $FA1$ и $FA2$ (см. рис. 7). Токи уставок реле при этом выбираются на 20—30 % выше номинального тока двигателя. Так как уставки реле ниже пускового тока, то при пуске его контакты шунтируются контактами реле времени, имеющего выдержку времени, несколько большую времени пуска двигателя.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЗАЩИТ

4.1. Минимально-токовая защита

Этот вид защиты применяется в ЭП с двигателями постоянного тока и синхронными двигателями для защиты от обрыва их цепей возбуждения. Исчезновение тока возбуждения опасно тем, что вызывает исчезновение противоЭДС двигателей и приводит тем самым к значительному возрастанию тока в их силовых цепях и резкому снижению развиваемого ими момента.

Эта защита осуществляется минимально-токовыми реле KF , катушка которого включается в цепь обмотки возбуждения двигателя, как это показано на рис. 11. Замыкающий контакт реле KF включается в цепь катушки контактора KM , что позволяет включать двигатель только при наличии тока возбуждения в $ОВМ$. При работе ЭП в случае исчезновения или резкого снижения тока возбуждения контакт реле KF разомкнется и контактор KM , потеряв питание, отключит двигатель от сети.

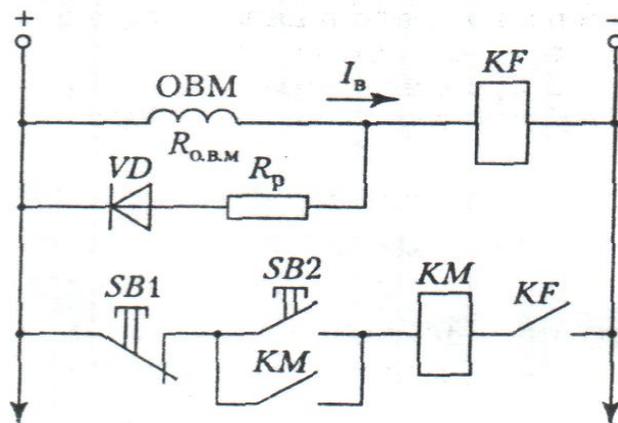


Рис. 11. Схема минимально-токовой защиты

К ним относятся защиты от перенапряжения на обмотке возбуждения двигателя постоянного тока, повышения напряжения в системе «преобразователь — двигатель», превышения скорости ЭП, затянувшегося пуска синхронных двигателей и ряд других причин.

Защита от перенапряжения на обмотке возбуждения двигателя постоянного тока требуется при ее отключении источника питания. В этом режиме вследствие быстрого спада тока возбуждения и тем самым магнитного потока в обмотке возникает значительная (до нескольких киловольт) ЭДС самоиндукции, которая может вызвать пробой ее изоляции.

Защита осуществляется с помощью так называемого разрядного резистора R_p , включаемого параллельно обмотке возбуждения *ОВМ* (рис. 11) сопротивлением $R_{o.в.м.}$. Сопротивление резистора R_p выбирается равным (4...5) $R_{o.в.м.}$ при напряжении питания 220 В и (6...8) $R_{o.в.м.}$ при напряжении 110 В. Для устранения потерь энергии в разрядном резисторе последовательно с ним включается диод *VD*. Он не пропускает через резистор ток при включенной обмотке возбуждения, но позволяет протекать току под действием ЭДС самоиндукции, возникающей при отключении обмотки. Выбор R_p в указанных пределах позволяет снизить темп спада тока в обмотке возбуждения и тем самым ограничить величину ЭДС самоиндукции до допустимых пределов.

Защита от превышения напряжения применяется, главным образом, в системе «преобразователь – двигатель». Она реализуется реле напряжения, включаемого на выход преобразователя и своими контактами воздействующего на цепи отключения напряжения ЭП. Эта защита косвенно защищает двигатель постоянного тока и от чрезмерного увеличения скорости при появлении повышенного напряжения.

Защита от превышения скорости применяется в ЭП рабочих машин, не допускающих превышения скорости движения своих исполнительных органов (лифты, подъемные лебедки, эскалаторы, шахтные подъемники). Для предотвращения недопустимых скоростей движения в ЭП используется защита, которая может быть выполнена с помощью тахогенераторов или центробежных выключателей, соединенных с валом двигателя. Центробежные выключатели непосредственно воздействуют на цепь управления, а в случае применения тахогенератора это воздействие осуществляется с помощью реле напряжения, включаемого на его якорь.

Защита от затянувшегося пуска синхронных двигателей обеспечивает его прекращение, если к концу расчетного времени пуска ток возбуждения синхронных двигателей не достиг заданного уровня. Осуществляется эта защита с помощью реле минимального тока *KF*, включаемого аналогично реле обрыва поля в цепь обмотки возбуждения синхронных двигателей (см. рис. 11), и реле времени *KT* (рис. 12). Если за время выдержки реле *KT*, равное времени нормального пуска СД, ток возбуждения окажется недостаточным, то после замыкания контактов реле *KT* сработает реле защиты *KVF* и даст команду на прекращение пуска.

Путевая защита обеспечивает отключение ЭП при достижении исполнительным органом рабочей машины крайних положений. Она осуществляется конечными выключателями, устанавливаемыми в этих положениях исполнительного органа и размыкающих цепи реле защиты или непосредственно линейных контакторов.

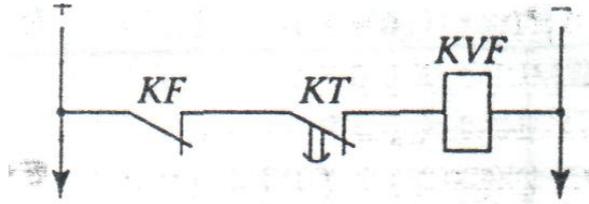


Рис. 12. Схема защиты от затянувшегося пуска синхронного двигателя

Защита от выпадения синхронных двигателей из синхронизма применяется для ЭП с синхронными двигателями, работающих с резко изменяющейся нагрузкой на валу и питающихся от сети, в которой возможно снижение напряжения. Защита осуществляется с помощью реле напряжения KV (рис. 13), включенного на напряжение сети, и реле (контактора) форсировки возбуждения KF , замыкающий контакт которого включен параллельно добавочному резистору R_d , в цепи обмотки возбуждения $ОВВ$ возбудителя B .

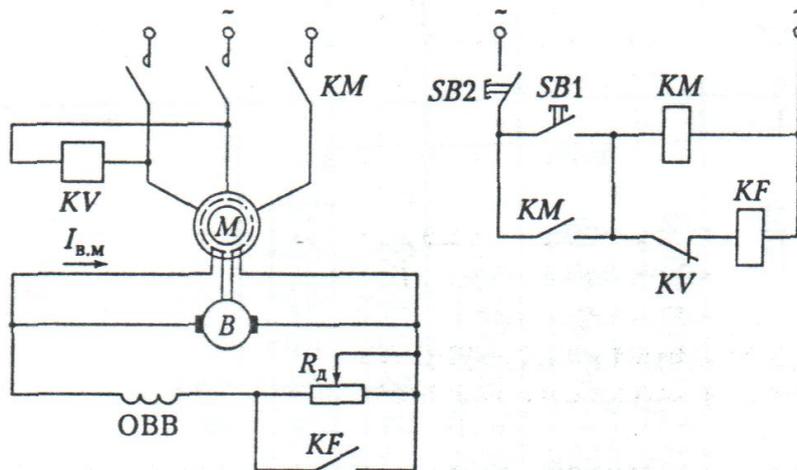


Рис. 13. Схема защиты от выпадения синхронного двигателя из синхронизма

При нормальном уровне напряжения сети реле KV включено, а реле KF не включено, поэтому резистор R_d введен в цепь $ОВВ$, и по ней протекает номинальный (или близкий к нему) ток. При снижении напряжения сети на 15–20 % реле KV отключается и замыкает свой контакт в цепи катушки реле KF . Последнее включается и своим контактом шунтирует резистор R_d . Ток возбуждения возбудителя, его напряжение и ток возбуждения синхронных двигателей $I_{B.M}$ возрастают, и тем самым увеличивается его ЭДС. Это приводит к увеличению максимального момента и перегрузочной способности синхронных двигателей и тем самым обеспечивает его синхронную работу с сетью при увеличении нагрузки на валу.

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ БЛОКИРОВКИ В СХЕМАХ ЭП

Они служат для обеспечения заданной последовательности операций при его управлении, предотвращения нештатных и аварийных ситуаций и неправильных действий со стороны оператора, что в итоге повышает надежность работы ЭП и технологического оборудования. Так, например, при работе двух контакторов $KM1$ и $KM2$ (рис. 14, *a*) перекрестное включение их размыкающих контактов в цепи катушек не допускает включения одного контактора при включенном другом. Такой вид блокировки применяется в реверсивных ЭП, где недопустимо одновременное включение двух контакторов, или в ЭП с электрическим торможением двигателя, где торможение может начаться только после отключения двигателя от сети.

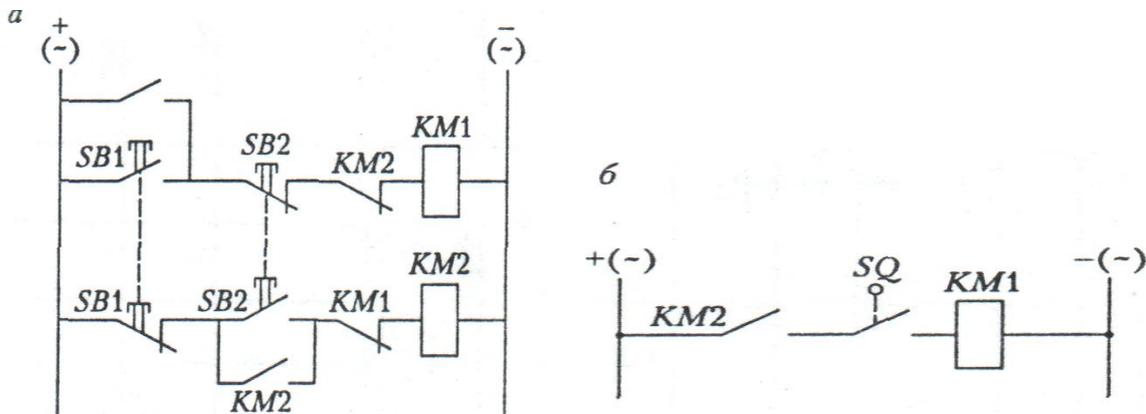


Рис. 14. Блокировки в схемах электропривода:

- a* — для предотвращения одновременного включения двух контакторов;
- б* — при срабатывании конечного выключателя

Одновременное включение двух контакторов может быть предотвращено и с помощью использования двухцепных кнопок управления, имеющих замыкающий и размыкающий контакты (рис. 14, *a*). Как видно из схемы, нажатие любой из кнопок приводит к замыканию цепи катушки одного из контакторов и одновременному размыканию цепи другого контактора.

Схема рис. 14, *б* иллюстрирует пример некоторой технологической блокировки двух ЭП, работающих совместно в комплексе. Она допускает включение контактора $KM1$ одного ЭП только после включения контактора $KM2$ другого ЭП и при нажатом путевом выключателе SQ .

В ЭП применяются и другие виды блокировки, которые будут рассмотрены далее в конкретных схемах управления.

6. ТИПОВЫЕ УЗЛЫ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С АСИНХРОННЫМИ МАШИНАМИ

6.1. Управление асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором

Управление асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором можно проводить магнитными пускателями или контакторами. При применении двигателей малой мощности, не требующих ограничения пусковых токов, пуск осуществляется включением их на полное напряжение сети. Простейшая схема управления двигателем представлена на рис. 15.

Для пуска включается автоматический выключатель QF и тем самым подается напряжение на силовую цепь схемы и цепь управления. При нажатии кнопки SB1 «Пуск» замыкается цепь питания катушки контактора KM, вследствие чего его главные контакты в силовой цепи также замыкаются, присоединяя статор электродвигателя M к питающей сети. Одновременно в цепи управления замыкается блокировочный контакт KM, что создает цепь питания катушки KM (независимо от положения контакта кнопки). Отключение электродвигателя осуществляется нажатием кнопки SB2 «Стоп». При этом разрывается цепь питания контактора KM, что приводит к размыканию всех его контактов, двигатель отключается от сети, после чего необходимо отключить автоматический выключатель QF.

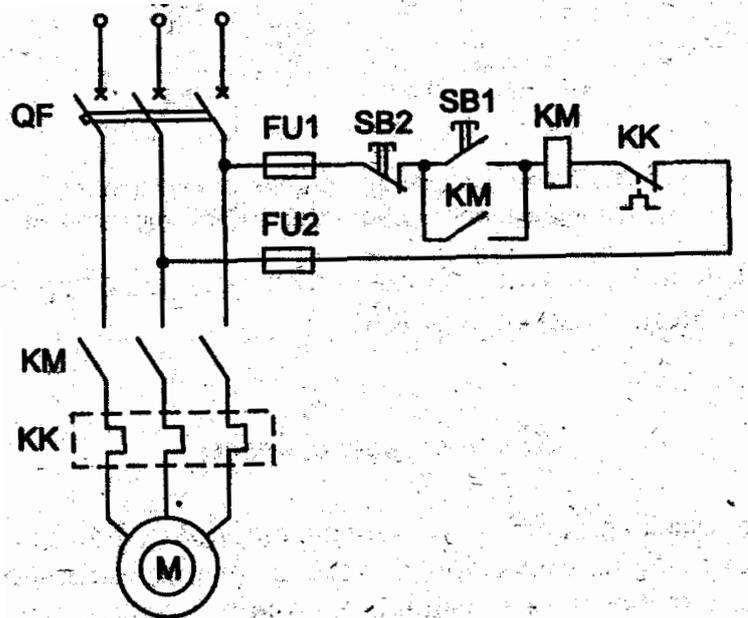


Рис. 15. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором и нереверсивным магнитным пускателем

В схеме предусмотрены следующие виды защит:

- от коротких замыканий – автоматический выключатель QF и предохранитель FU;

- от перегрузок электродвигателя – тепловое реле КК (размыкающие контакты этих реле при перегрузке размыкают цепь питания контактора КМ, тем самым отключая двигатель от сети);
- нулевая защита – контактор КМ (при снижении или исчезновении напряжения контактор КМ теряет питание, размыкая свои контакты, и двигатель отключается от сети).

Для включения двигателя необходимо вновь нажать кнопку SB1 «Пуск». Если прямой пуск двигателя невозможен и необходимо ограничить пусковой ток асинхронного короткозамкнутого двигателя, применяют пуск на пониженное напряжение. Для этого в цепь статора включают активное сопротивление или реактор, либо применяют пуск через автотрансформатор.

На рис. 16 приведена схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с симметричными сопротивлениями в цепи статора. Включается автоматический выключатель QF, подается напряжение на силовую цепь и цепь управления. После нажатия кнопки SB1 срабатывает контактор КМ1, силовые контакты которого замыкаются и подключают двигатель к сети с активными сопротивлениями в цепи статора. Одновременно получает питание реле времени КТ, поскольку контакт КМ1 в цепи реле КТ замыкается.

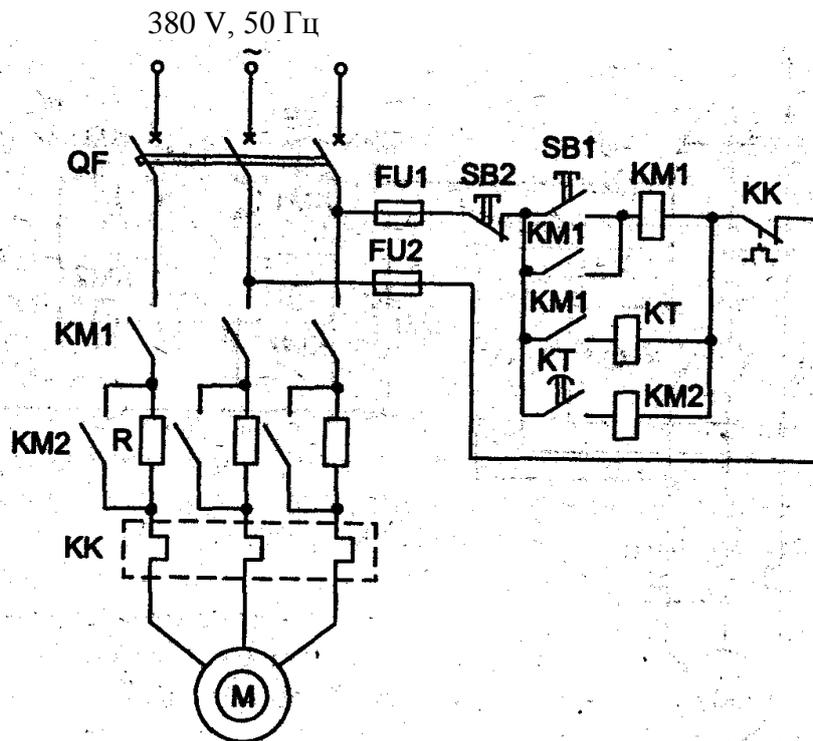


Рис. 16. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с симметричными сопротивлениями в цепи статора

По истечении времени, равного выдержке времени реле КТ, замыкается контакт КТ, вследствие чего контактор КМ2 срабатывает и своими

контактами шунтирует сопротивление в цепи статора. Пуск заканчивается. Для остановки двигателя нажимается кнопка SB2 «Стоп» и отключается автоматический выключатель QF.

На рис. 17 приведена схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с реверсивным магнитным пускателем. Схема позволяет осуществлять прямой пуск асинхронного двигателя, а также изменять направление вращения двигателя, то есть проводить реверс. Пуск двигателя осуществляется включением автоматического выключателя QF и нажатием кнопки SB1, вследствие чего контактор KM1 получает питание, замыкает свои силовые контакты и статор двигателя подключается к сети. Для реверса двигателя необходимо нажать кнопку SB3. Это приведет к отключению контактора KM1, после чего нажимается кнопка SB2 и включается контактор KM2.

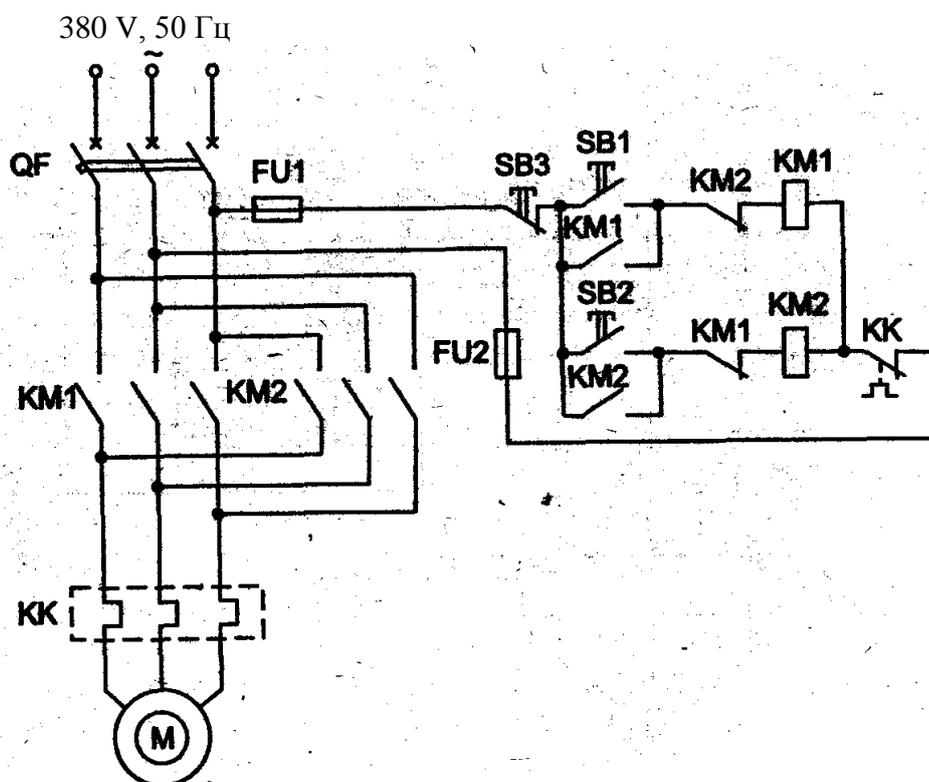


Рис. 17. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с реверсивным магнитным пускателем

Таким образом, двигатель подключается к сети с изменением порядка чередования фаз, что приводит к изменению направления его вращения. В схеме применена блокировка от возможного ошибочного одновременного включения контакторов KM2 и KM1 с помощью размыкающихся контактов KM2, KM1. Двигатель отключается от сети кнопкой SB3 и автоматическим выключателем QF. В схеме предусмотрены все виды защит электродвигателя, рассмотренные в схеме управления асинхронным двигателем с нереверсивным магнитным пускателем.

Динамическое торможение осуществляется отключением двигателя от сети трехфазного тока и подсоединением обмотки статора к сети постоянного тока. Магнитный поток в обмотках статора, взаимодействуя с током ротора, создает тормозной момент.

На рис. 18 приведена схема прямого пуска асинхронного двигателя с динамическим торможением в функции времени. Двигатель запускается контактором КМ1. Одновременно замыкается цепь питания реле времени КТ (при включенном автоматическом выключателе QF), так как блок-контакт КМ1 в цепи реле времени замыкается. Контакт реле времени замкнется, но контактор КМ2 не получит питания, поскольку разомкнется контакт контактора КМ1 в цепи контактора КМ2.

Для остановки двигателя нажимается кнопка SB2 «Стоп». Контактор КМ1 обесточивается, размыкая свои контакты в силовой цепи двигателя. Одновременно с этим замыкается контакт КМ1 в цепи контактора КМ2, вследствие чего контактор КМ2 срабатывает и замыкает свои силовые контакты в цепи постоянного тока. Обмотка статора двигателя отключается от трехфазной сети и подключается к сети постоянного тока. Двигатель переходит в режим динамического торможения. В схеме применено реле времени с выдержкой времени при размыкании. При скорости, близкой к нулю, контакт КТ размыкается, вследствие чего контактор КМ2 обесточивается и двигатель отключается от сети.

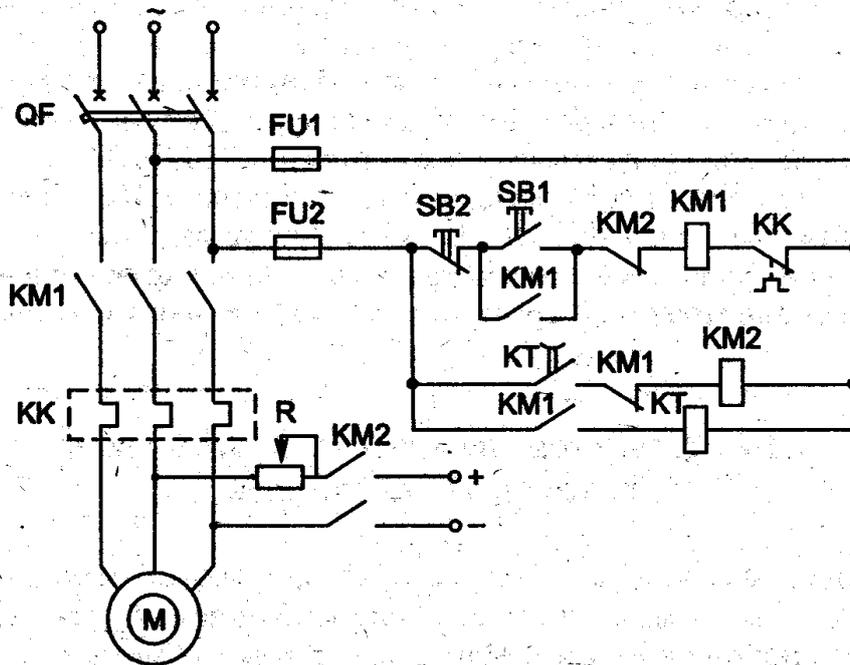


Рис. 18. Схема управления асинхронного двигателя с динамическим торможением в функции времени

Интенсивность торможения регулируется резистором R. В схеме применена блокировка с помощью размыкающихся контактов КМ1 и КМ2 для невозможности включения статора двигателя одновременно в сеть постоянного и трехфазного тока.

Управлять динамическим торможением можно в функции скорости с помощью реле контроля скорости SR. На рис. 19 приведена схема управления асинхронным двигателем с динамическим торможением в функции скорости. Включается автоматический выключатель QF и контактором KM1 двигатель запускается. Для торможения нажимается кнопка SB2 «Стоп». Контакт KM1 обесточивается, так как контакт реле контроля скорости замыкается при пуске двигателя, а размыкающий контакт замыкается при отключении контактора KM1. Контактор KM2, срабатывая, замыкает свои контакты. Статор двигателя отключается от сети трехфазного тока и подключается к сети постоянного тока. При скорости, близкой к нулю, контакт SR размыкается и двигатель отключается от сети.

Торможение противовключением асинхронного двигателя осуществляется изменением порядка чередования фаз, но при скорости близкой к нулю, необходимо отключить двигатель от сети. Управление торможением осуществляется в функции скорости двигателя, причем скорость контролируется реле контроля скорости.

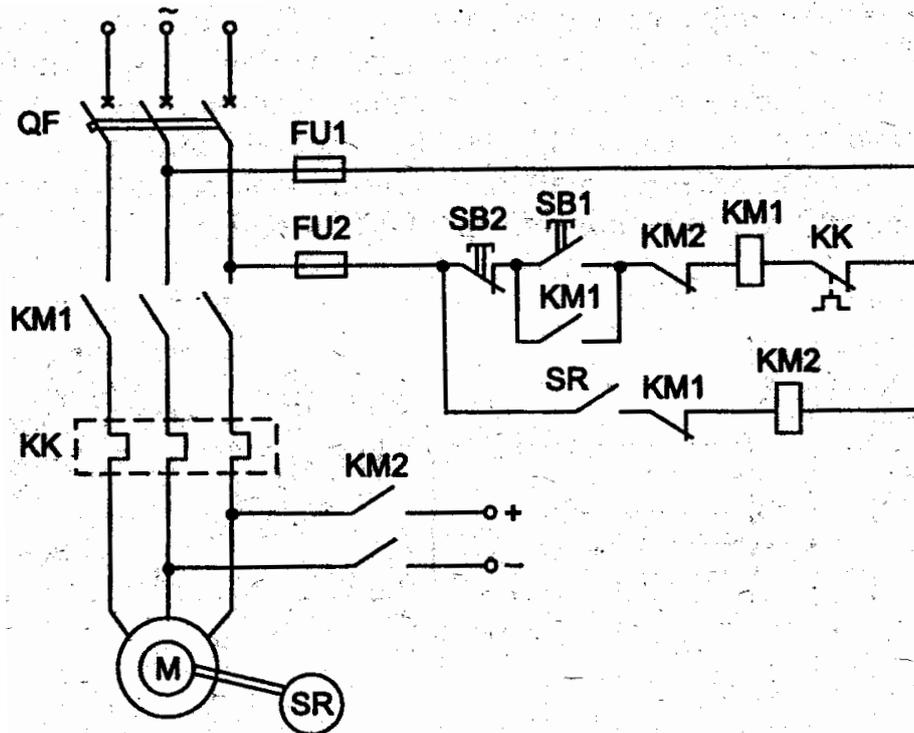


Рис. 19. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с динамическим торможением в функции скорости

На рис. 20 приведена схема управления асинхронным двигателем с торможением противовключением. Она работает следующим образом. Напряжение подается на схему включением автоматического выключателя QF. Для пуска электродвигателя используется кнопка SB1 и контактор KM1. одновременно замыкается контакт SR реле контроля скорости, но контактор KM2 не включен, так как при включении контактора KM1 раз-

мыкается его контакт и в цепи контактора КМ2. Для торможения нажимается кнопка SB2 «Стоп», контактор КМ1 теряет питание, вследствие чего замыкается контакт КМ1 в цепи контактора КМ2, который, срабатывая, подключает двигатель к сети с изменением порядка чередования фаз. Происходит торможение двигателя в режиме противовключения. При скорости, близкой к нулю, контакт SR реле контроля скорости размыкается и отключает контактор КМ2. Двигатель останавливается. Схема имеет электрическую блокировку, чтобы невозможно было одновременно включить контакторы КМ1 и КМ2.

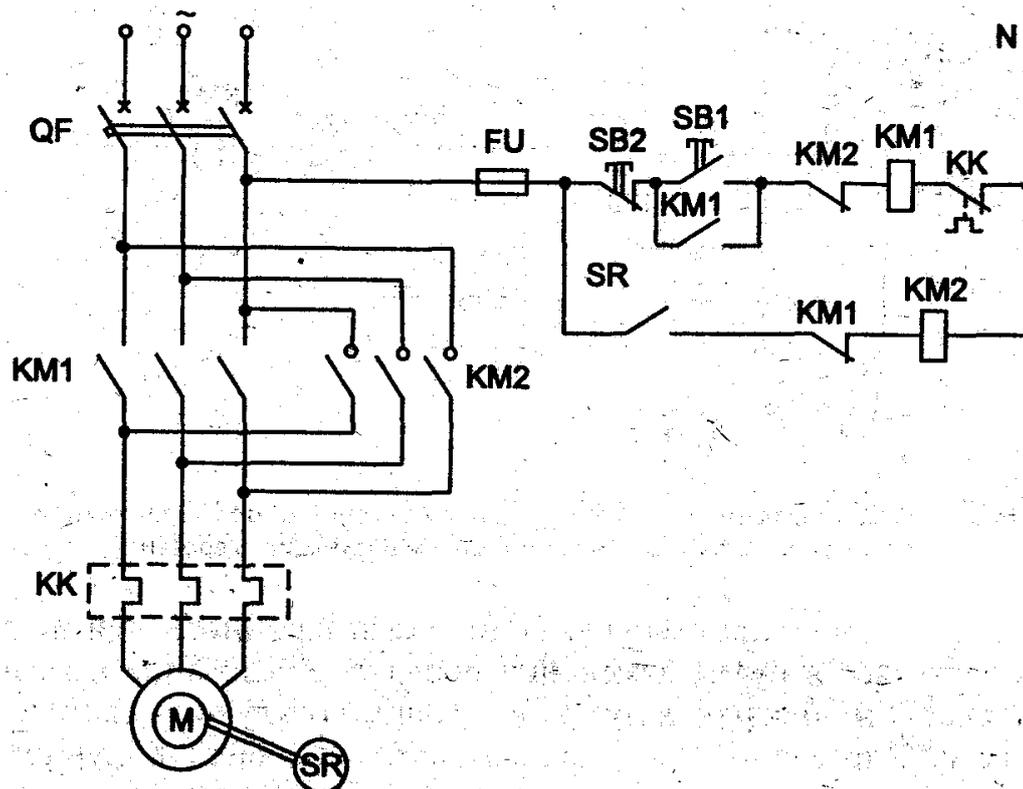


Рис. 20. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с торможением противовключением

6.2. Типовые решения управления асинхронными машинами с фазным ротором

Пуск двигателя с фазным ротором осуществляется с введенными резисторами в цепи ротора. Резисторы в цепи ротора служат для ограничения токов не только в процессе пуска, но и при реверсе, торможении, а также при снижении скорости.

По мере разгона двигателя для поддержания ускорения привода резисторы выводятся. Когда пуск закончится, резисторы полностью шунтируются, и двигатель перейдет работать на естественную механическую характеристику.

Схема управления асинхронным двигателем с фазным ротором в функции тока представлена на рис. 22. Для контроля пуска по току применяют токовые реле, которые срабатывают при пусковом токе и отпадают при минимальном токе переключения. Схема предусматривает пуск двигателя и его защиту без реверсирования и торможения. Пуск двигателя осуществляется при включении в цепь автоматического выключателя QF и контактора KM3, причем в цепь ротора полностью введены и пусковые резисторы. Блокировочные контакты контактора KM3 шунтируют кнопку SB1 и создают цепь питания блокировочного реле KL. Замыкающий контакт реле KL подает питание на контакторы ускорения KM1, KM2. Собственное время срабатывания реле тока КА1 и КА2 меньше, чем соответствующих контакторов KM1 и KM2, поэтому реле тока срабатывает раньше, чем соответствующий контактор ускорения и пуск двигателя осуществляется с резисторами, введенными в цепь ротора.

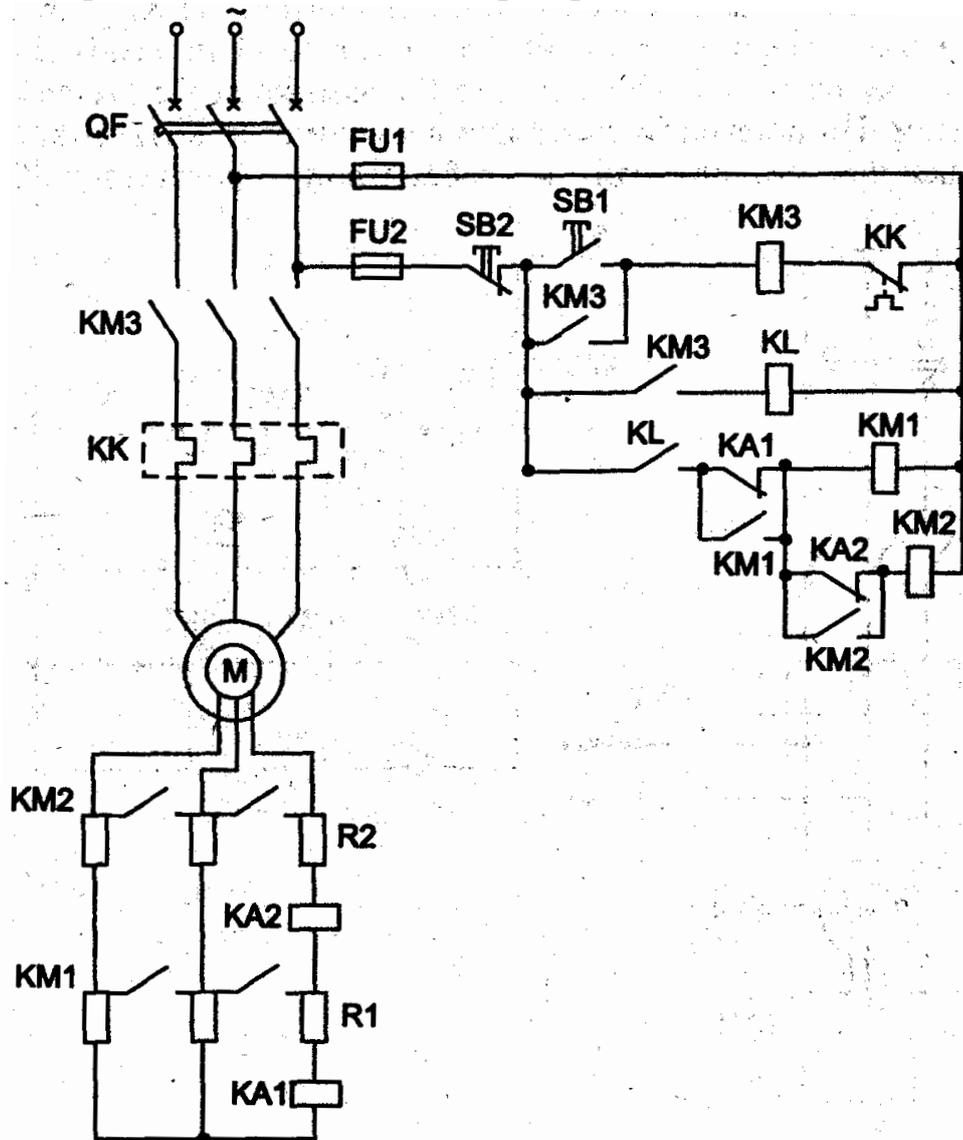


Рис. 22. Схема управления асинхронным двигателем с фазным ротором в функции тока

При пусковом токе реле тока КА1 срабатывает и размыкает свой контакт в цепи контактора КМ1. По мере разгона двигателя ток ротора уменьшается. При токе переключения реле КА1 отпадает и контакт КА1 в цепи контактора КМ1, который своими контактами шунтирует первую ступень пускового резистора и реле КА1. Одновременно замыкается блокировочный контакт КМ1, что ставит катушку контактора КМ1 на самопитание при размыкании контакта КА1. При шунтировании первой пусковой ступени резистора ток возрастает до максимального значения, что приводит к срабатыванию реле КА2, препятствуя включению контактора КМ2. По мере разгона двигателя ток снова уменьшается до минимального значения, реле КА2 отпадает, размыкающий контакт КА2 замыкается, создавая цепь питания катушки КМ2. При этом шунтируется вторая ступень пускового резистора. Остановить двигатель можно нажатием кнопки SB2 «Стоп», в результате чего обесточивается контактор КМ3, и двигатель отключается от сети.

Схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени и динамическим торможением в функции скорости показана на рис. 23. Схема работает следующим образом. Включаются автоматические выключатели QF1 и QF2, в результате чего реле времени КТ получает питание и размыкает свой контакт в цепи контактора КМ1. Для запуска двигателя нажимается кнопка SB1 «Пуск», что приводит к срабатыванию контактора КМ3 и запуску двигателя с резисторами в цепи ротора.

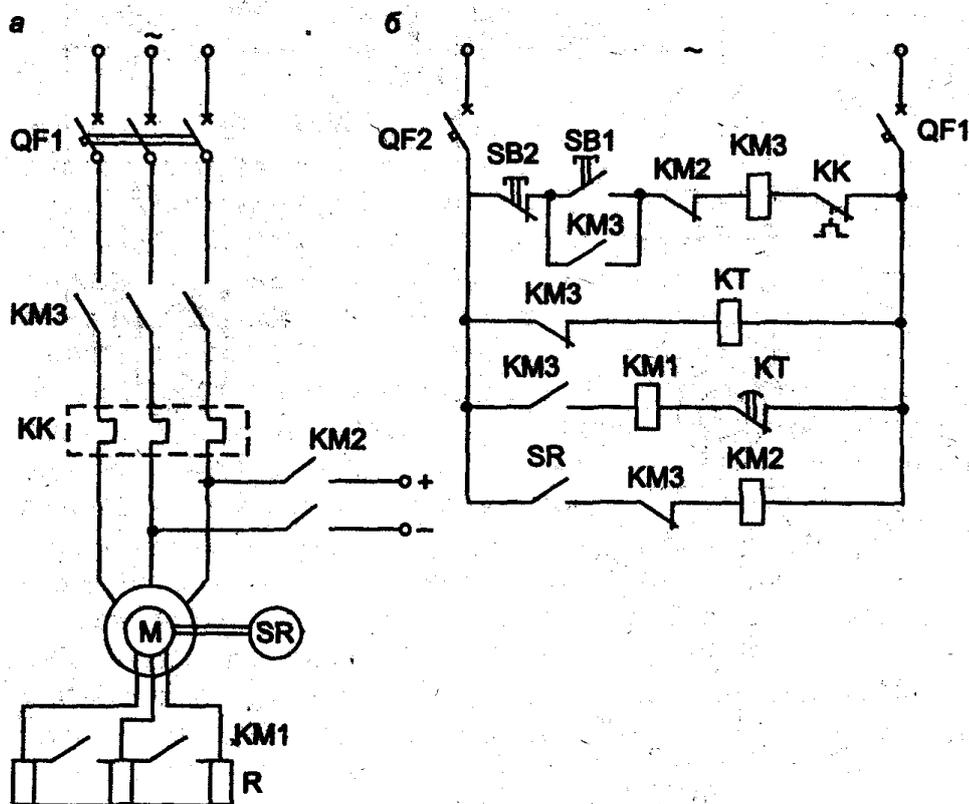


Рис. 23. Схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в одну ступень в функции времени и динамическим торможением в функции скорости: а – силовая цепь; б – цепь управления

Одновременно размыкающий контакт контактора КМ3 отключает реле времени от сети, но контактор КМ1 не срабатывает, поскольку размыкающий контакт КТ замыкается с выдержкой времени. По истечении выдержки времени реле КТ контакт КТ замыкается, что приводит к срабатыванию контактора КМ1, контакты которого замыкаются и шунтируют резисторы в цепи ротора, в результате чего двигатель переходит работать на естественную механическую характеристику. Для перевода асинхронного двигателя в режим динамического торможения нажимается кнопка SB2 «Стоп». Контактор КМ3 обесточивается, размыкает свой контакт в цепи контактора КМ1 и замыкает контакт в цепи контактора КМ2. Контактор КМ2 срабатывает, так как контакт реле контроля скорости SR замкнут. Вследствие этого обмотка статора отключается от трехфазной сети и подключается к постоянному току. Одновременно контактор КМ1 обесточивается, размыкает свои контакты и в цепь ротора вводится резистор R.

При скорости, близкой к нулю, контакт реле контроля скорости SR размыкается, контактор КМ2 обесточивается и размыкает свои контакты. Двигатель отключается от сети постоянного тока. Схема приходит в исходное положение.

Схема управления многоскоростным асинхронным двигателем. Эта схема (рис. 24) обеспечивает получение двух скоростей двигателя путем соединения секций (полуобмоток) обмотки статора в треугольник или двойную звезду, а также его реверсирование. Защита электропривода осуществляется тепловыми реле КК1 и КК2 и предохранителями FA.

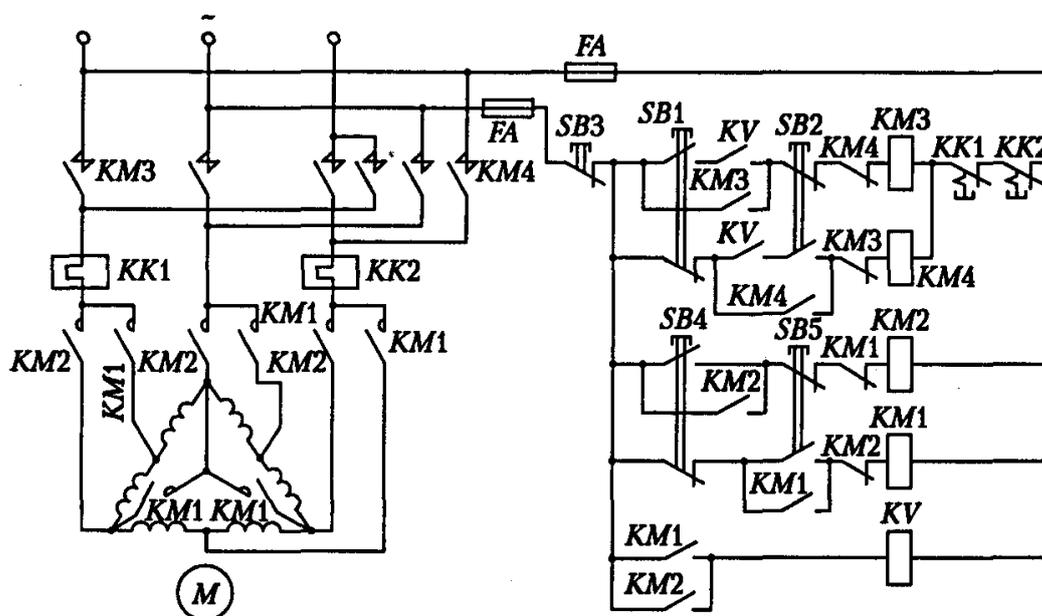


Рис. 24. Схема управления двухскоростным асинхронным двигателем

Двигатель останавливается нажатием кнопки SB3. Контактор КМ отключается, размыкая свои контакты в цепи статора двигателя и отключая тем самым его от сети переменного тока. Одновременно с этим замыкается контакт КМ в сети аппарата КМ1 и размыкается контакт КМ в цепи реле КТ. Это приводит к включению контактора торможения КМ1, подаче в обмотки статора постоянного тока от выпрямителя V через резистор R_т и переводу двигателя в режим динамического торможения.

Реле времени КТ, потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени. Через интервал времени, соответствующий времени остановки двигателя, реле КТ замыкает свой контакт в цепи контактора КМ1, тот отключается, прекращая подачу постоянного тока в цепь статора. Схема возвращается в исходное положение.

Интенсивность динамического торможения регулируется резистором R_т, с помощью которого устанавливается необходимый ток в статоре двигателя.

Для исключения возможности одновременного подключения статора к источникам переменного и постоянного тока в схеме использована типовая блокировка с помощью размыкающих контакторов КМ и КМ1, включенных перекрестно в цепи катушек этих аппаратов.

Схема одноступенчатого пуска асинхронного двигателя в функции времени и торможения противовключением в функции ЭДС. После подачи напряжения включается реле времени КТ (рис. 26), который своим размыкающим контактом разрывает цепь питания контактора КМ3, предотвращая тем самым его включение и преждевременное закорачивание пусковых резисторов в цепи ротора.

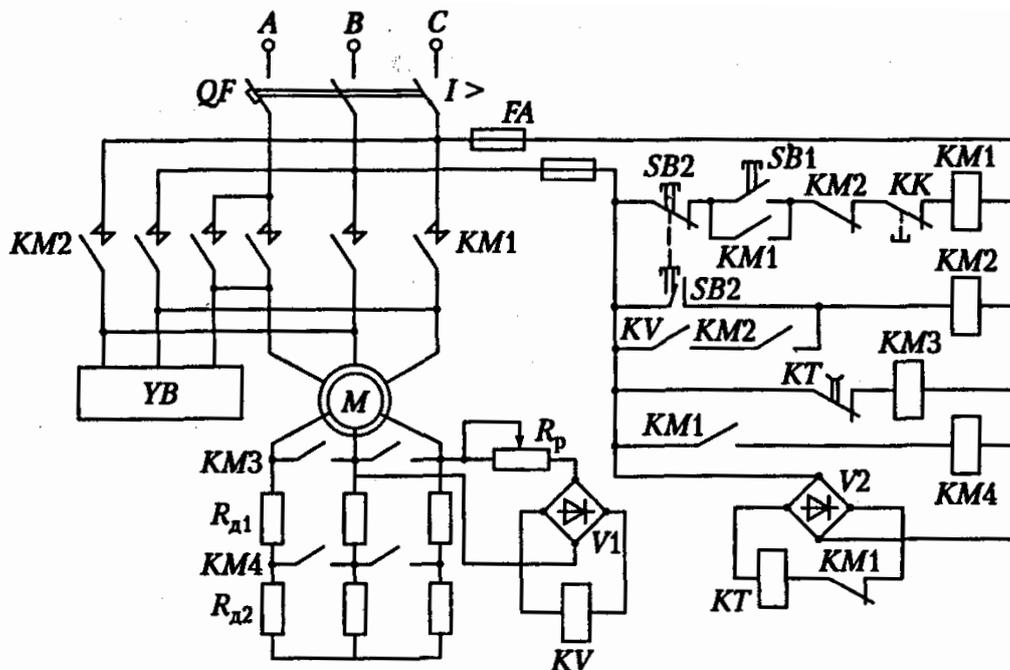


Рис. 26. Схема управления пуском и торможением противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором

Двигатель включается нажатием кнопки SB1, после чего включается контактор КМ1. Статор двигателя подсоединяется к сети, электромагнитный тормоз YB растормаживается, и начинается разбег двигателя. Включение КМ1 одновременно приводит к срабатыванию контактора КМ4, который своим контактом шунтирует ненужный при пуске резистор противовключения $R_{д2}$, а также разрывает цепь катушки реле времени КТ. Последнее, потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени, после чего замыкает свой контакт в цепи катушки контактора КМ3, который срабатывает и шунтирует пусковой резистор $R_{д1}$ в цепи ротора, и двигатель выходит на свою естественную характеристику.

Управление торможением обеспечивает реле торможения KV, контролирующее уровень ЭДС (скорости) ротора. С помощью резистора R_p оно отрегулировано таким образом, что при пуске, когда скольжение двигателя $0 < s < 1$, наводимая в роторе ЭДС будет недостаточна для включения, а в режиме противовключения, когда $1 < s < 2$, уровень ЭДС достаточен для его включения.

Для торможения двигателя нажимается sdвоенная кнопка SB2, размыкающий контакт которой разрывает цепь питания катушки контактора КМ1. После этого двигатель отключается от сети и разрывается цепь питания контактора КМ4 и замыкается цепь питания реле КТ. В результате контакторы КМ3 и КМ4 отключаются, и в цепь ротора двигателя вводится сопротивление $R_{д1} + R_{д2}$.

Нажатие кнопки SB2 приводит одновременно к замыканию цепи питания катушки контактора КМ2, который, включившись, вновь подключает двигатель к сети, но уже с другим чередованием фаз сетевого напряжения на статоре. Двигатель переходит в режим включения торможения противовключением. Реле KV срабатывает и после отпускания кнопки SB2 будет обеспечивать питание контактора КМ2 через свой контакт и замыкающий контакт этого аппарата.

В конце торможения, когда скорость будет близка к нулю, и ЭДС ротора уменьшится, реле KV отключится и своим размыкающим контактом разомкнет цепь катушки контактора КМ2. Последний, потеряв питание, отключит двигатель от сети, и схема придет в исходное положение. После отключения КМ2 тормоз YB, потеряв питание, обеспечит фиксацию (торможение) вала двигателя.

Схема одноступенчатого пуска асинхронного двигателя в функции тока и динамического торможения в функции скорости. Схема (рис. 27) включает в себя контакторы КМ1, КМ2 и КМ3; реле тока КА; реле контроля скорости SR, промежуточное реле KV; понижающий трансформатор для динамического торможения Т; выпрямитель VD. Максимальная токовая защита осуществляется предохранителями FA1 и FA2, защита от перегрузки двигателя – тепловыми реле КК1 и КК2.

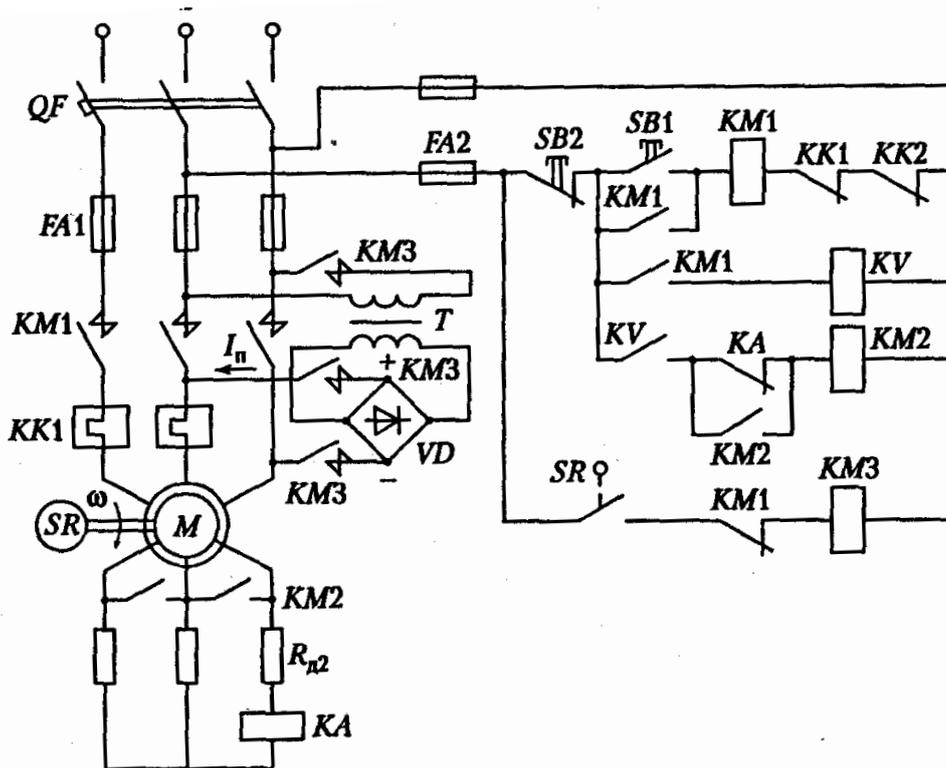


Рис. 27. Схема управления пуском и динамическим торможением асинхронного двигателя с фазным ротором

Схема работает следующим образом. После подачи с помощью автоматического выключателя QF напряжения для пуска двигателя нажимается кнопка SB1, включается контактор KM1, силовыми контактами которого статор двигателя подключается к сети. Бросок тока в цепи ротора вызовет включение реле тока КА и размыкание цепи контактора ускорения KM2. Тем самым разбег двигателя начнется пусковым резистором $R_{д2}$ в цепи ротора.

Включение контактора KM1 приводит также к шунтированию кнопки SB1, размыканию цепи катушки контактора торможения KM3 и включению промежуточного реле напряжения KV, что, тем не менее, не приведет к включению контактора KM2, так как до этого в этой цепи разомкнулся контакт реле КА.

По мере увеличения скорости двигателя уменьшается ЭДС и ток в роторе. При некотором значении тока в роторе, равного току отпускания реле КА, оно отключится и своим размыкающим контактом замкнет цепь питания контактора KM2. Тот включится, зашунтирует пусковой резистор $R_{д2}$, и двигатель выйдет на свою естественную характеристику.

Отметим, что вращение двигателя вызовет замыкание контакта реле скорости SR в цепи контактора KM3, однако он не сработает, так как до этого разомкнулся контакт контактора KM1.

Для перевода двигателя в тормозной режим нажимается кнопка SB2. Контактор KM1 теряет питание и отключает АД от сети переменного тока. Благодаря замыканию контактов KM1 включается контактор торможения KM3, контакты которого замкнут цепь питания обмотки статора от выпрямителя VD, подключенного к трансформатору Т, тем самым двигатель переводится в режим динамического торможения. Одновременно с этим потеряют питание аппараты KV и KM2, что приведет к вводу в цепь ротора резистора $R_{д2}$. Двигатель начинает тормозиться.

При скорости двигателя, близкой к нулю, реле контроля скорости SR разомкнет свой контакт в цепи катушки контактора KM3. Он отключится и прекратит торможение двигателя. Схема придет в исходное положение и будет готова к последующей работе.

Принцип действия схемы не изменится, если катушку реле тока КА включить в фазу статора, а не ротора.

Панель типа ПДУ6220 входит в состав нормализованной серии панелей управления двигателями с фазным и короткозамкнутым ротором и обеспечивает пуск двигателя в две ступени и динамическое торможение по принципу времени (рис. 28).

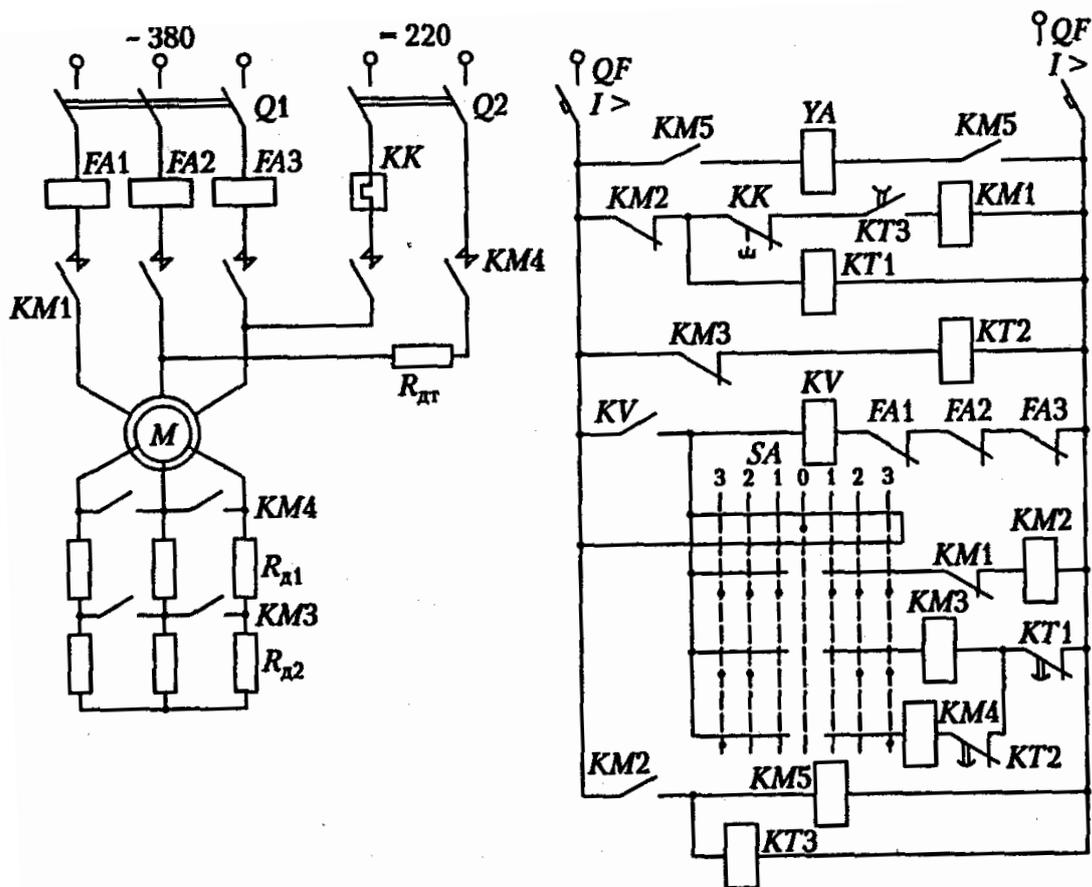


Рис. 28. Схема асинхронного электропривода с использованием типовой панели управления

При подаче на схему напряжений постоянного 220 В и переменного 380 В тока (замыкание рубильников Q1, Q2 и автомата QF) включается реле времени КТ1, чем подготавливается двигатель к пуску с полным пусковым резистором в цепи ротора. Одновременно с этим, если рукоятка командоконтролера находится в нулевой (средней) позиции и максимально-токовые реле FA1—FA3 не включены, включится реле защиты KV от понижения питающего напряжения и подготовит схему к работе.

Пуск двигателя осуществляется по любой из двух искусственных характеристик или естественной характеристике, для чего рукоятка SA должна устанавливаться в положение 1, 2 или 3. При переводе рукоятки в любое из указанных положений SA включается линейный контактор KM2, подключающий двигатель к сети, контактор управления тормозом KM5, подключающий к сети катушку YA электромагнитного тормоза, который при этом растормаживает двигатель и реле времени КТ3, управляющее процессом динамического торможения. При переводе SA в положение 2 или 3 включаются контакторы ускорения KM3 и KM4 и двигатель начинает разгоняться.

Торможение двигателя происходит при переводе рукоятки SA в нулевое (среднее) положение. При этом отключаются контакторы KM2 и KM5 и включается контактор динамического торможения KM1, который подключит двигатель к источнику постоянного тока. В результате этого будет идти интенсивный процесс комбинированного (механического и динамического) торможения двигателя, которое закончится после отсчета времени КТ3 своей выдержки времени, соответствующей времени торможения.

Схемы управления двигателем с использованием тиристорных пусковых устройств. Эффективным методом формирования желаемых графиков изменения тока и момента двигателя в переходных режимах является регулирование напряжения на его статоре с помощью тиристорных пусковых устройств (ТПУ). Чаще всего это делается для ограничения тока и момента двигателя при пуске («мягкий» способ пуска), хотя с помощью этих устройств можно обеспечить и повышение момента двигателя при пуске («жесткий» способ пуска).

Упрощенная схема электропривода, иллюстрирующая этот метод, приведена на рис. 29. Тиристорное пусковое устройство включается между источником питания (сетью переменного тока) с напряжением U_1 и статором двигателя. В нереверсивном ТПУ его силовую часть образуют три пары встречно-параллельно включенных тиристоров VS1—VS6, управление которыми осуществляется импульсами напряжения, поступающими на них от системы импульсно-фазового управления СИФУ. Ограничение тока и момента осуществляется за счет снижения подводимого к двигателю напряжения, что достигается соответствующим изменением во времени угла управления тиристорами. Напряжение при пуске может изменяться по различным законам – линейно нарастать от нуля до сетевого, быть понижен-

ным в течение всего времени пуска или изменятся по так называемому бустерному варианту, при котором для облегчения пуска двигателя на него в начале подается скачком некоторое напряжение, которое затем продолжает нарастать уже по линейному закону. В замкнутой системе может быть обеспечено и поддержание тока статора на заданном уровне.

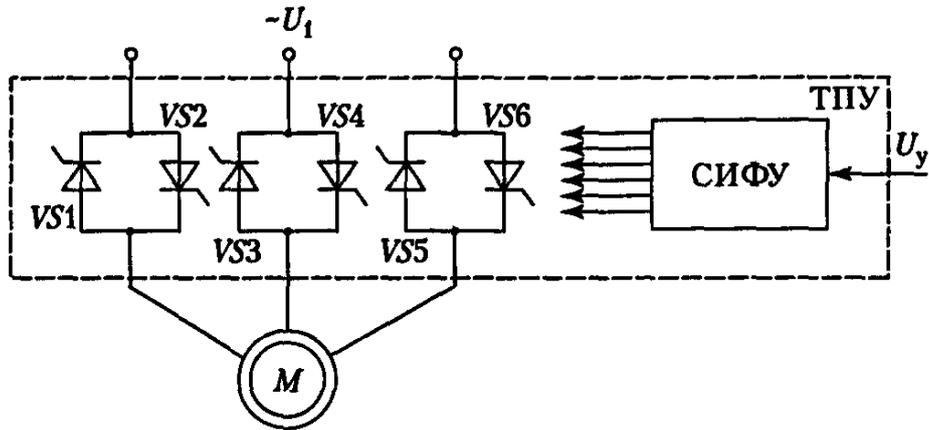


Рис. 29. Схема асинхронного электропривода с тиристорным пусковым устройством

Добавление в схему (рис. 29) еще двух пар тиристоров позволяет получить *реверсивную схему управления двигателем*, обеспечивая возможность вращения двигателя в двух направлениях. На базе схемы ТПУ может быть обеспечено и динамическое торможение двигателя.

Дополнительными положительными свойствами обладают гибридные ТПУ, которые получаются добавлением в схему (рис. 29) электромагнитного контактора, как это показано на рис. 30. В такой схеме тиристорная часть обеспечивает регулирование напряжения при пуске, а после его завершения включается контактор КМ и подключает двигатель к сети напрямую. Это повышает экономичность и надежность работы электропривода.

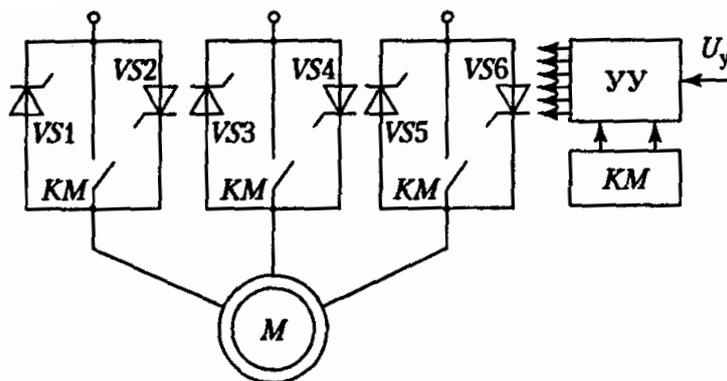


Рис. 30. Схема асинхронного электропривода с гибридным тиристорным пусковым устройством

В этой схеме тиристоры не имеют охладителей, а контактор – дугогасительных камер, что обуславливает их небольшую массу и габаритные размеры.

Схема квазичастотного регулирования скорости двигателя. На базе схемы (см. рис. 29) может быть реализовано так называемое квазичастотное регулирование скорости двигателя. Схема, иллюстрирующая регулирование, показана на рис. 31. В её состав входит блок квазичастотного управления БКЧУ, который с помощью управления СИФУ обеспечивает периодическое подключение двигателя к источнику питания и его отключение. За счет изменения частоты и длительности интервалов включения и отключения двигателя могут быть получены механические характеристики, позволяющие регулировать скорость двигателя или его момент при пуске. Особенностью квазичастотного управления являются вибрации и шум при работе двигателя, а также повышенные потери мощности, что вызывает дополнительный нагрев двигателя и требует определенного завышения его мощности в случае регулирования скорости.

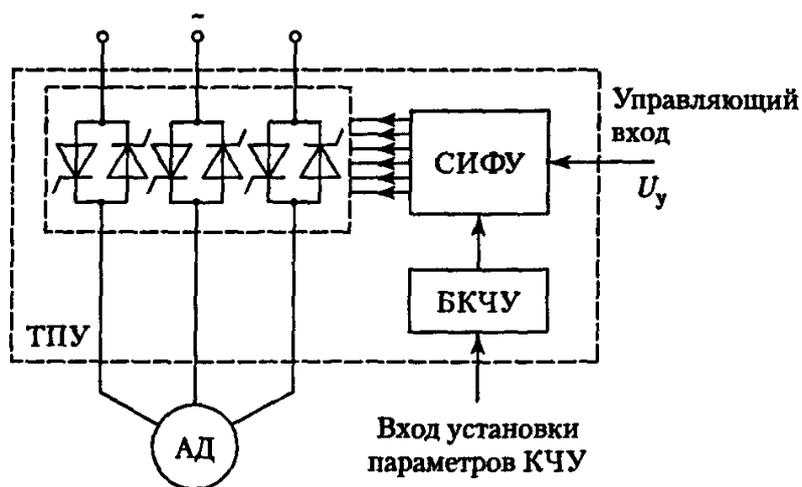


Рис. 31. Схема асинхронного электропривода с квазичастотным управлением