

Лабораторная работа №4

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучение схем управления и способов пуска асинхронного двигателя.

1. Пуск трехфазных асинхронных двигателей

Основными характеристиками пуска являются величина пускового момента и величина пускового тока.

Ротор двигателя придет во вращение и достигнет номинальной частоты вращения, если развиваемый двигателем пусковой момент будет больше момента сопротивления на валу, создаваемого приводимым механизмом. При пуске ряда механизмов (шаровых мельниц, компрессоров и т. д.) требуется значительный пусковой момент, равный номинальному или превышающий его. Пусковой ток необходимо ограничить значением, не опасным для нормального режима работы сети, механической и термической прочности основных элементов двигателя. Схема пуска должна быть по возможности простой, а число и стоимость пусковых устройств минимальными.

1.1. Прямой пуск

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проще по устройству и обслуживанию, дешевле и надежнее в работе, чем двигатели с фазным ротором. Поэтому большинство находящихся в эксплуатации асинхронных двигателей являются двигателями с короткозамкнутым ротором.

Наиболее простым способом пуска двигателя с короткозамкнутым ротором является включение обмотки его статора непосредственно в сеть, на номинальное напряжение обмотки статора. Такой способ пуска называют прямым пуском.

Двигатели обычно пускают с помощью контактора K (рис. 4.1, *a*) и разгоняются автоматически по естественной механической характеристике 1 (рис. 4.1, *б*) от точки $П$, соответствующей начальному пусковому моменту, до точки P (пересечения механических характеристик 1 двигателя и приводимого им механизма 2), соответствующей условию $M = M_C$.

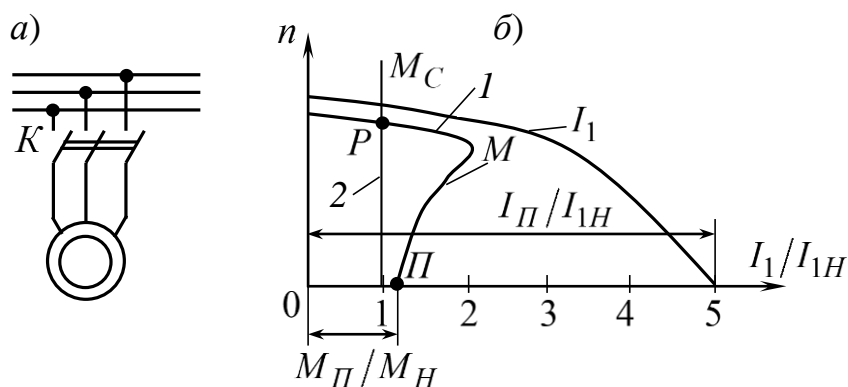


Рис. 4.1. Схема прямого пуска (а) и пусковые характеристики (б)

Ускорение при разгоне, согласно уравнению моментов $d\Omega/dt = (M - M_c)/J$ определяется величиной динамического момента, т. е. разностью абсцисс кривых M и M_c и результирующим моментом инерции J вращающихся масс двигателя и приведенного к его валу механизма, который приводится во вращение. Если в начальный момент пуска $M < M_c$, двигатель разогнаться не сможет.

При пуске асинхронного двигателя на холостом ходу в активном сопротивлении его вторичной цепи выделяется тепловая энергия, равная кинетической энергии приводимых во вращение маховых масс, при пуске под нагрузкой количество выделяемой энергии соответственно увеличивается. Выделение энергии в первичной цепи обычно несколько больше, чем во вторичной. При пуске под нагрузкой увеличиваются время разгона двигателя и температура его обмоток.

При частых пусках, а также при весьма тяжелых условиях пуска, когда маховые массы приводимых в движение механизмов велики, возникает опасность перегрева обмоток двигателя. Число пусков асинхронного двигателя в час, допустимое по условиям его нагрева, тем больше, чем меньше его мощность и маховые массы, соединенные с его валом.

Двигатели мощностью 3 – 10 кВт в обычных условиях допускают до 5–10 включений в час.

Пусковой ток двигателя $I_{\Pi} = (4 - 7)I_H$ при сравнительно небольшом $(0,9 - 1,3) \cdot M_H$ пусковом моменте. Объясняется это следующим. При неподвижном роторе наводимая в его обмотке ЭДС максимальна ($e_2 = -w_2 \frac{d\Phi_0}{dt}$), так как максимальна скорость изменения

магнитного потока относительно неподвижных проводников обмотки ротора. Велико и значение тока в роторной обмотке:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}.$$

Создаваемый при этом магнитный поток Φ_2 достаточно велик, велик и компенсирующий его магнитный поток Φ_1 , создаваемый реактивной составляющей тока статора I_{1p} , существенно превышающей активную составляющую тока, определяющую величину момента.

При разгоне ротора величина ЭДС уменьшается при уменьшении скольжения, что приводит к уменьшению тока ротора и прежде всего его реактивной составляющей.

Таким образом, недостатком данного способа пуска является сравнительно небольшой пусковой момент при значительном броске пускового тока. В электрических сетях сравнительно небольшой мощности такой бросок тока может вызвать значительное понижение напряжения, нежелательное для других потребителей.

Современные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проектируют с таким расчетом, чтобы они по значению возникающих электродинамических усилий, действующих на обмотки, и по условиям нагрева обмоток допускали прямой пуск.

Величину пусковых токов можно уменьшить за счет изменения конструкции роторных обмоток, включения в сеть ротора добавочных сопротивлений, снижения напряжения питающей сети. Первые два способа, уменьшая пусковые токи, сохраняют достаточно высокие значения пусковых моментов. Применение третьего способа неизбежно приводит к уменьшению пускового и критического моментов, зависящих от второй степени питающего напряжения.

1.2. Пуск при пониженном напряжении

Если по условиям падения напряжения в сети прямой пуск двигателя с короткозамкнутым ротором невозможен, применяют различные способы пуска при пониженном напряжении. Пуск при пониженном напряжении применяют для высоковольтных двигателей большой мощности при их пуске на холостом ходу или при незначительной нагрузке.

Реакторный пуск осуществляют по схеме рис. 4.2, а. С помощью контактов контактора $K1$ двигатель получает питание через трехфазный реактор (реактивную или индуктивную катушку) P . На сопротивлении

реактора создается падение напряжения $\Delta U_p = x_p \cdot I_{\text{п}}$, вследствие чего к обмотке статора будет приложено пониженное напряжение

$$U = U_c - \Delta U_p.$$

По мере разгона двигателя снижается ЭДС, индуцированная в обмотке ротора и пусковой ток. В результате этого уменьшается падение напряжения ΔU_p , а напряжение, приложенное к обмотке статора двигателя, автоматически возрастает по мере разгона двигателя. Иногда в цепь статора включают активное сопротивление.

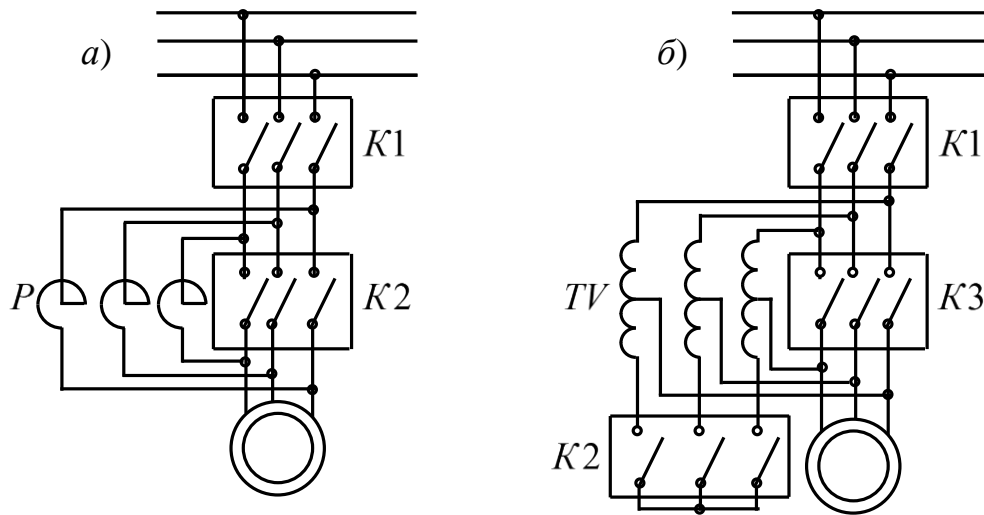


Рис. 4.2. Схемы пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении

По достижении нормальной частоты вращения замыкается контактор $K2$, шунтирующий реактор, в результате чего на двигатель подается полное напряжение сети.

При реакторном пуске, для уменьшения пускового тока в k раз:

$$k = \frac{I_{\text{п}}}{I_p} = \frac{U_c}{U_p},$$

необходимо снизить напряжение тоже в k раз. При этом пусковой момент

$$M_{\text{п}} = c \cdot U^2 = c \cdot \left(\frac{U_{\text{н}}}{k} \right)^2 = \frac{M_{\text{пн}}}{k^2}$$

уменьшается в k^2 раз. $M_{\text{пн}}$ – пусковой момент при номинальном напряжении сети. Значительное снижение пускового момента является недостатком реакторного пуска.

Автотрансформаторный пуск. Нередко в сетях и установках высокого напряжения, а также в устройствах проводной связи и автоматики возникает необходимость сравнительно небольшого изменения напряжения, например, на 10 – 50%. Использование в этих случаях обычных двухобмоточных трансформаторов не обеспечивает экономического решения задачи. Более рационально она может быть решена путем использования двухобмоточных трансформаторов, включаемых по особой схеме, получивших название автотрансформаторов (рис.4.3).

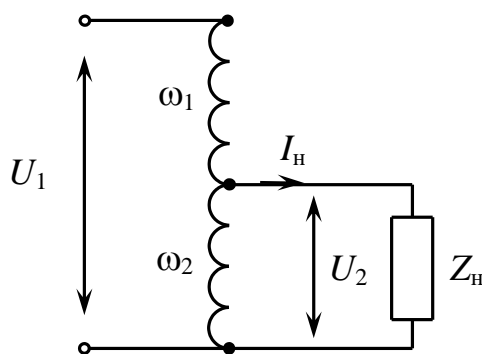


Рис.4.3. Схема автотрансформатора

Автотрансформаторный пуск осуществляют подключением двигателя к сети (рис.4.2, б) через понижающий автотрансформатор TV в следующем порядке. Сначала замыкаются контакты контакторов K1 и K2 и на двигатель подается пониженное напряжение. После достижения двигателем определенной частоты вращения контактор K2 отключается и двигатель получает питание через часть обмотки автотрансформатора TV, который в этом случае работает как реактор. Затем срабатывает контактор K3, в результате чего на обмотки статора двигателя подается напряжение сети. Пусковые автотрансформаторы рассчитывают на кратковременную работу, что позволяет уменьшить их массу и габариты, с несколькими ответвлениями на различные величины вторичного напряжения.

Используя схему пуска рис.4.2, б и принимая КПД автотрансформатора за единицу, получают следующее выражение:

$$U_c \cdot I_c = U_{\text{дв}} \cdot I_{\text{дв}},$$

откуда

$$\frac{U_c}{U_{дв}} = \frac{I_{дв}}{I_c} = k_T,$$

где $U_c, U_{дв}$ - соответственно напряжение сети и напряжение на обмотках двигателя, В;

$I_c, I_{дв}$ - соответственно ток в сети и двигателя, А;

k_T - коэффициент трансформации.

Ток в сети:

$$I_c = \frac{I_{дв}}{k_T} = \frac{U_{дв}}{z_{дв} \cdot k_T} = \frac{1}{k_T^2} \cdot \frac{U_c}{z_{дв}} = \frac{I_{двп}}{k^2}.$$

Отсюда коэффициент трансформации, обеспечивающий заданное отношение пускового тока двигателя при номинальном напряжении к допустимому току в сети

$$k_T = \sqrt{\frac{I_{двп}}{I_c}}.$$

Пусковой момент двигателя

$$M_{п} = c \cdot U_c^2 = c \cdot \left(\frac{U_{дв}}{k_T} \right)^2 = \frac{M_{двп}}{\left(\sqrt{\frac{I_{двп}}{I_c}} \right)^2} = \frac{M_{двп}}{k_T^2}$$

также уменьшается в k_T^2 раз. В отличие от реакторного пуска пусковой ток и начальный пусковой момент уменьшаются в одинаковое число раз. Поэтому АД развивает такой же пусковой момент, но при меньшем пусковом токе. Однако это преимущество автотрансформаторного пуска достигается за счет значительного усложнения и удорожания пусковой аппаратуры.

Пуск двигателей переключением «звезда – треугольник» возможен в двигателях (при выведенных всех шести концах обмотки статора), предназначенных работать по схеме соединения обмоток статора в «треугольник» и приводящих в ход механизмы с малыми пусковыми моментами. У таких двигателей на шильдике должно быть указано «Δ/У 380/660 В», либо «Δ/У 220/380 В»

Если на период пуска обмотку статора переключить на схему «звезда», а питающее напряжение оставить тем же, что и при схеме «треугольник», то напряжение на фазу уменьшится в $\sqrt{3}$

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}}.$$

Ток в фазах равен линейному току и равен

$$I_{\phi} = I_{л} = \frac{U_{\phi}}{Z_c},$$

т.е. также уменьшится в $\sqrt{3}$ раз.

После разгона двигателя происходит подключение обмотки статора по схеме «треугольник» и соотношение токов и напряжений будет следующим:

$$U_{\phi} = U_{л} = 380\text{В}$$

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_c}$$

$$I_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$$

Линейный ток при соединении «треугольником» больше в 3 раза линейного тока при соединении звездой.

Данный способ запуска асинхронного двигателя применяется в тех случаях, когда присутствует небольшая нагрузка, либо, когда двигатель работает на холостом ходу. Это связано с тем, что при уменьшении фазного напряжения в 1,73 раза, согласно выражению для пускового момента, момент уменьшается в три раза, а этого недостаточно, чтобы совершить пуск с нагрузкой на валу:

$$M_{п} = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot ((R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2)}$$

где m – число фаз статора;

U_{ϕ}^2 – фазное напряжение обмотки статора, В;

R_1, R'_2, X_1, X'_2 – параметры схемы замещения асинхронного двигателя.

Работа двигателей в схеме «звезда» выгодна для нагрузок, не превышающих 40–50 % от номинальной при этом КПД и коэффициент мощности заметно повышаются.

Схема пуска переключением «звезда – треугольник» приведена на рис.4.4. В момент переключения обмотку статора на короткое время отсоединяют от сети, а затем снова присоединяют к ней.

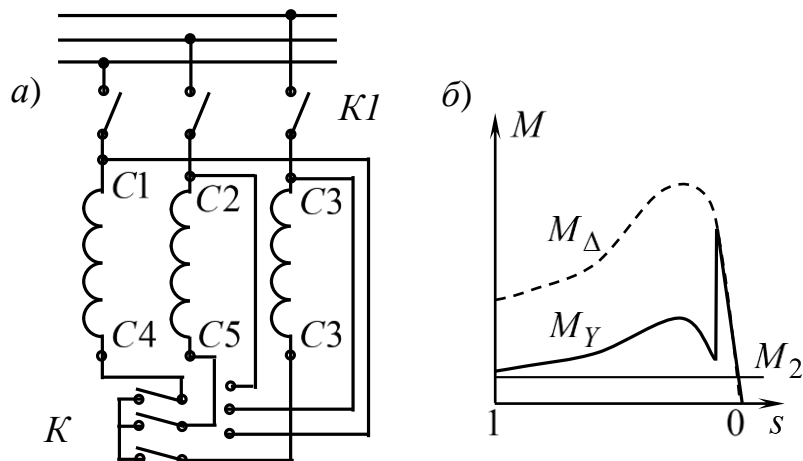


Рис.4.4. Схема пуска двигателя переключением со звезды на треугольник

Это приводит к появлению свободных составляющих магнитного потока, сопровождающихся значительными всплесками тока, превышающими номинальное значение.

1.3. Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором

Двигатели с фазным ротором применяются значительно реже, чем двигатели с короткозамкнутым ротором. Их использование обосновано в следующих случаях:

- когда двигатели с короткозамкнутым ротором неприемлемы по условиям регулирования частоты вращения;

- когда статический момент сопротивления на валу при пуске M_C велик и поэтому асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с пуском при пониженном напряжении неприемлем, а прямой пуск такого двигателя недопустим по условиям воздействия больших пусковых токов на сеть;

- когда приводимые в движение массы настолько велики, что выделяемая во вторичной цепи двигателя тепловая энергия вызывает недопустимый нагрев короткозамкнутой обмотки ротора.

Включение в цепь фазного ротора добавочного активного сопротивления не только снижает пусковые токи, но и увеличивает пусковой момент. Первое непосредственно вытекает из уравнения пускового тока (по Г – образной схеме замещения):

$$I'_{2п} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + \Sigma R_{доб})^2 + (X_1 + X'_2)^2}},$$

второе – по мере увеличения активного сопротивления роторной цепи максимум кривой $s = f(M)$ перемещается в сторону больших значений скольжения, сохраняя неизменной величину.

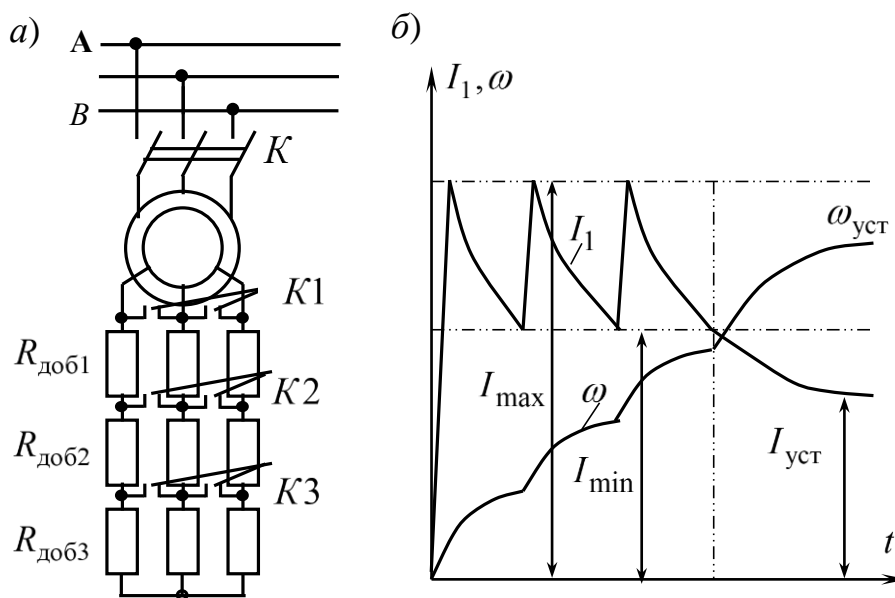


Рис. 4.5. Реостатный пуск асинхронного двигателя с фазным ротором (а), переходные процессы частоты вращения и тока (б)

Схема пуска с введением в цепь ротора добавочного сопротивления (реостата) представлена на рис.4.5, а, а переходные процессы тока и частоты вращения – на рис.4.5, б. С добавочным сопротивлением ротор двигателя разгоняется под действием момента, изменяющегося по кривой 4, показанной на рис.4.6. По мере увеличения частоты вращения вращающий момент M уменьшается и может стать меньше некоторого момента $M = M_{п\min}$. Поэтому при достижении двигателем момента $M = M_{п\min}$, соответствующего точке а кривой 4, часть сопротивления пускового реостата выводят, замыкая контактор $K3$, что приводит к увеличению тока статорной обмотки (рис.4.5, б). Вращающий момент при этом мгновенно возрастает до $M_{п\max}$, а затем при увеличении частоты вращения изменяется по характеристике 3, соответствующей сопротивлению реостата $R_{п2} = R_{доб1} + R_{доб2}$. При разгоне до точки б, соответствующей тому же моменту $M = M_{п\min}$. Далее выводят вторую

ступень сопротивления реостата, и двигатель переходит работать на характеристику 2, соответствующую $R_{п1} = R_{доб1}$.

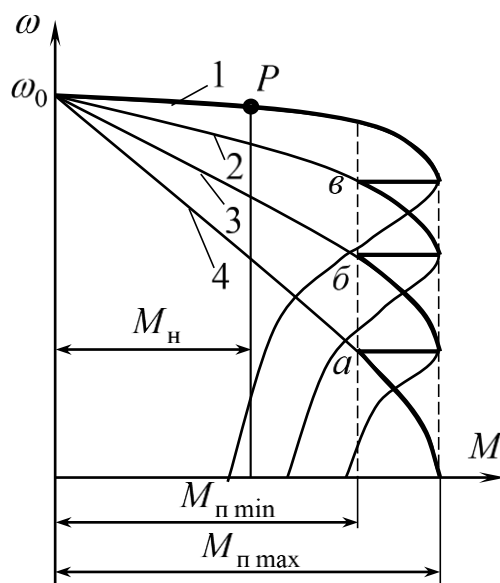


Рис. 4.6. Пусковая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором

Таким образом, при постепенном (ступенчатом) уменьшении пускового сопротивления пусковой момент изменяется от $M_{п max}$ до $M_{п min}$, а частота вращения возрастает по ломаной кривой, показанной на рис.4.5, б или рис.4.6. В конце пуска пусковой реостат полностью выводят контактором $K1$, обмотка ротора замыкается накоротко, и двигатель переходит на работу по естественной характеристике 1, разгоняясь до частоты вращения, соответствующей моменту нагрузки на валу двигателя (точка P). Ток статорной обмотки и частота вращения достигают установившихся значений (рис.4.5, б), соответствующих моменту на валу двигателя.

Таким образом, включив реостат в цепь ротора, можно осуществить пуск двигателя при $M_{п} = M_{п max}$ и резко уменьшить пусковой ток.

В ряде случаев при пуске двигателей с фазным ротором в цепь ротора последовательно или параллельно включают индуктивное сопротивление (реактор). Он выполняет роль автоматического регулятора тока ротора. В начальный момент пуска, когда частота тока в роторе $f_2 = f_1$, индуктивное сопротивление реактора велико и ограничивает величину пускового тока. По мере разгона ротора уменьшается его ЭДС E'_2 , но одновременно уменьшаются частота и

результатирующее индуктивное сопротивление X'_2 цепи ротора, в результате чего ток ротора уменьшается медленнее, чем при включении пускового реостата без реактора. При уменьшении индуктивного сопротивления реактора возрастает $\cos\varphi$. Электромагнитный момент при этих условиях также изменяется медленнее и в начале разгона его значение может быть выше, чем без реактора.

2. Программа работы

Указания по проведению эксперимента

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания.

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, указанной преподавателем.

4. Включите трехфазный источник питания. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

5. Включите выключатель $QF1$.

6. Включите выключатель $SF1$. В результате загорится зеленая лампа блока световой сигнализации, сигнализирующая о готовности двигателя $M1$ к пуску.

Для схемы прямого пуска двигателя (рис.4.7):

1. Нажмите черную кнопку поста управления $SB1$. В результате произойдет прямой пуск двигателя $M1$, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра покажут напряжение и ток двигателя $M1$. Зеленая лампа погаснет.

2. Нажмите красную кнопку поста управления $SB2$. В результате произойдет отключение двигателя $M1$ от электрической сети и последующий его останов. Двигатель $M1$ будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красная лампа погаснет.

3. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

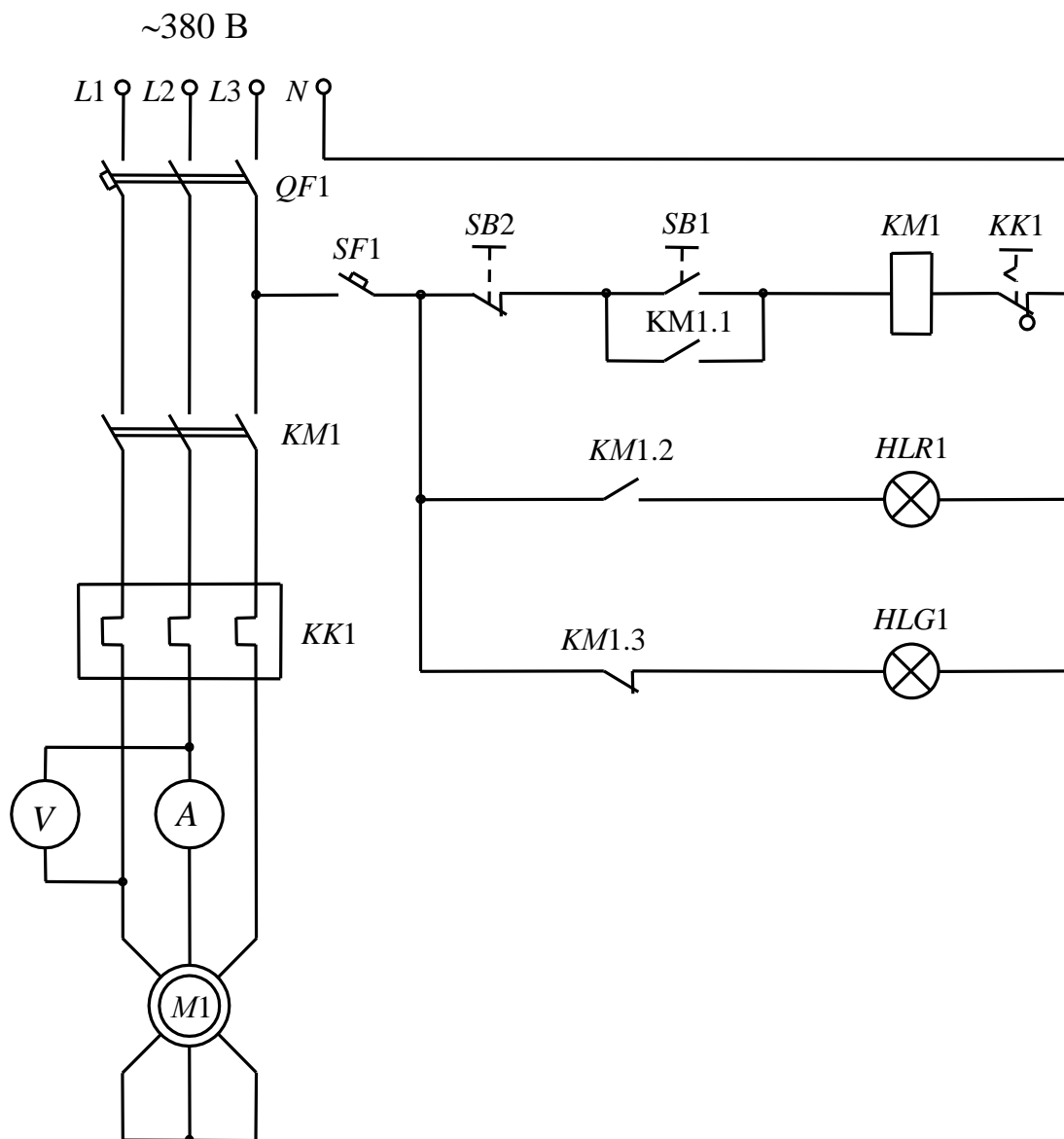


Рис 4.7. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска

Для схемы прямого пуска и реверса двигателя (рис.4.8):

1. Нажмите черную кнопку поста управления *SB1.1*. В результате произойдет прямой пуск двигателя *M1*, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя *M1*. Зеленая лампа погаснет.

2. Нажмите другую черную кнопку кнопочного поста управления *SB2.1*. В результате произойдет реверс двигателя *M1*, о чем будет

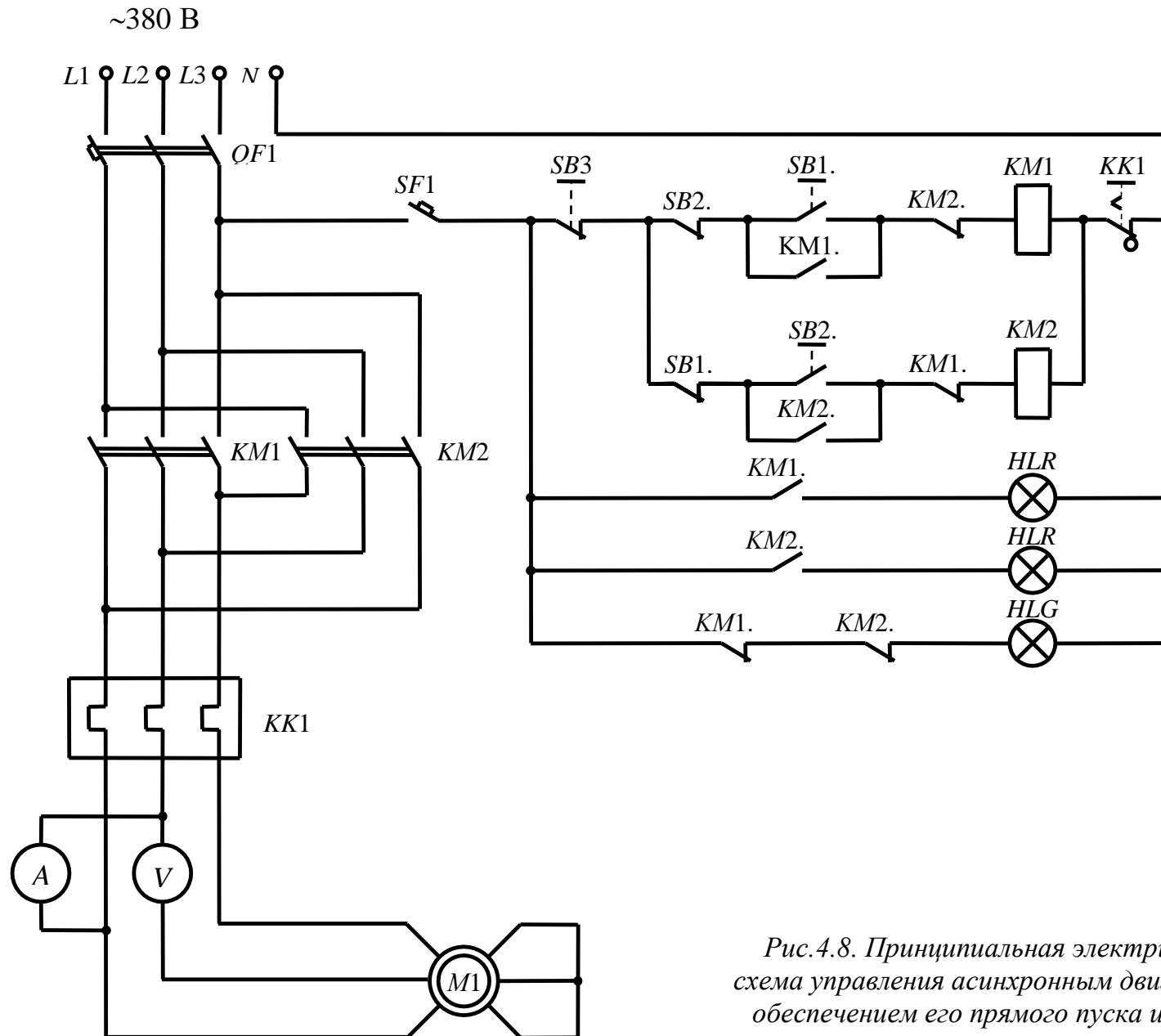


Рис. 4.8. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска и реверса

сигнализировать загоревшаяся вторая красная лампа. Стрелки вольтметра и амперметра покажут напряжение и ток двигателя $M1$.

3. Нажмите красную кнопку поста управления $SB3$. В результате произойдет отключение двигателя $M1$ от электрической сети и последующий его останов. Двигатель $M1$ будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красная лампа в блоке погаснет.

4. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания $G1$ нажатием на кнопку «красный гриб».

Для схемы управления асинхронным двигателем с обеспечением его пуска с помощью автотрансформатора (рис.4.9):

1. Установите желаемую выдержку времени в реле времени, например, 5 с.

2. Включите трехфазный источника питания. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

3. Включите выключатель $QF1$, а затем $SF1$. В результате загорится зеленая лампа, сигнализирующая о готовности двигателя $M1$ к пуску.

4. Нажмите черную кнопку поста управления $SB1$. В результате начнется пуск двигателя $M1$ при пониженном с помощью автотрансформатора напряжения $TV1$, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа. Спустя 5 с двигатель подключится на полное напряжение сети, при котором пуск и завершится. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся другая красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя $M1$ на этапах его пуска. Зеленая лампа в блоке световой сигнализации погаснет.

5. Нажмите красную кнопку поста управления $SB2$. В результате произойдет отключение двигателя $M1$ от электрической сети и последующий его останов. Двигатель $M1$ будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красные лампы погаснут.

6. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

Для схемы управления асинхронным двигателем с обеспечением его пуска с переключением обмотки статора со звезды на треугольник (рис.4.10):

1. Установите желаемую выдержку времени в реле времени, например, 5 с.

2. Включите трехфазный источника питания. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

3. Нажмите черную кнопку кнопочного поста управления $SB1$. В результате пуск двигателя $M1$ начнется при соединении обмотки статора

двигателя $M1$ в «звезду», о чем бум сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Спустя 5 с произойдет пересоединение обмотки статора двигателя $M1$ в «треугольник», в котором пуск и завершится. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся вторая красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя $M1$ на этапах его пуска. Зеленая лампа в блоке погаснет.

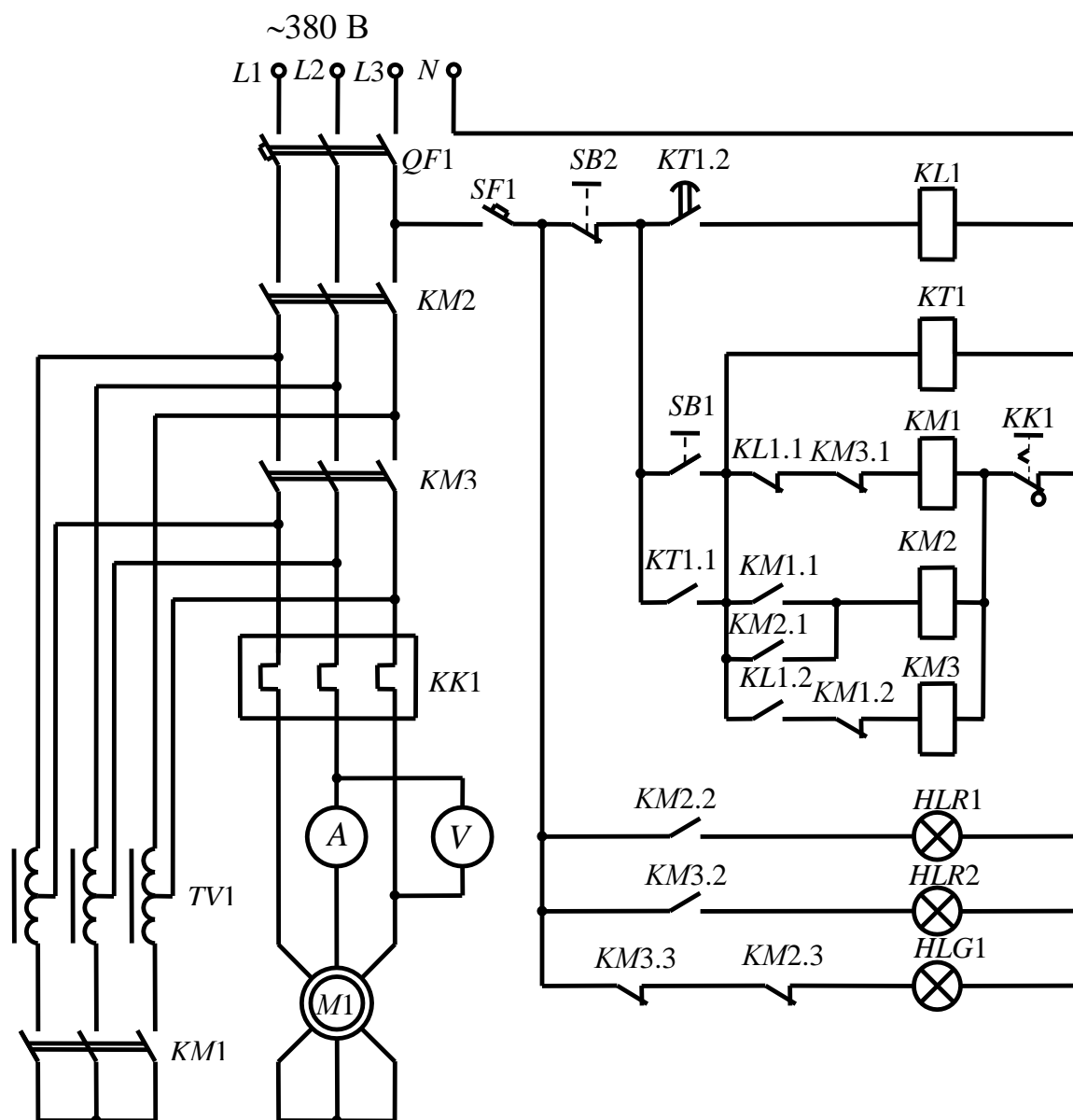


Рис. 4.9. Принципиальная электрическая схема управления асинхронным двигателем с обеспечением его пуска с помощью автотрансформатора

чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красные лампы в блоке световой сигнализации погаснут.

5. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

Для схемы управления асинхронным двигателем с обеспечением его прямого пуска и динамического торможения в функции времени (рис. 4.11):

1. Установите желаемую выдержку времени реле времени, например, 5 с.

2. Установите желаемое сопротивление реостата, например, 60 Ом.

3. Нажмите черную кнопку кнопочного поста управления *SB1*. В результате произойдет прямой пуск двигателя *M1*, о чем будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке световой сигнализации. Стрелки вольтметра и амперметра укажут напряжение и ток двигателя *M1*. Зеленая лампа погаснет.

4. Нажмите черную кнопку кнопочного поста управления *SB2.1*. В результате произойдет отключение двигателя *M1* от электрической сети и подключение двух его фаз на постоянное напряжение, получаемое с помощью двухполупериодного выпрямителя. Двигатель *M1* будет в течении 5 с динамически тормозиться, о чем будет сигнализировать загоревшаяся вторая красная лампа. Затем он будет готов к очередному пуску, о чем будет сигнализировать загоревшаяся зеленая лампа. Красные лампы в блоке световой сигнализации погаснут.

5. По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания нажатием на кнопку «красный гриб».

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Краткие теоретические сведения.
- 5.3. Релейно – контакторные схемы пуска короткозамкнутого двигателя (по указанию преподавателя).
- 5.4. Описание принципа действия схем.

6. Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы пуска асинхронного двигателя?
2. Напишите выражение, определяющее пусковой ток двигателя при прямом пуске.
3. Каким образом реализуется прямой пуск АД?
4. Назовите основной недостаток прямого пуска мощного асинхронного двигателя.
5. В чем заключается динамическое торможение АД?
6. В каких случаях возможен пуск АД по схеме переключения обмоток статора со звезды на треугольник?
7. Почему пуск АД по схеме переключения обмоток статора со звезды на треугольник можно выполнять для небольших нагрузок?
8. В чем заключается особенность автотрансформаторного пуска?
9. Почему автотрансформаторы, предназначенные для пуска АД, имеют небольшую массу и габариты?
10. Когда происходит переключение на полное напряжение при автотрансформаторном пуске?
11. Для чего включаются дополнительные сопротивления в цепь ротора при пуске АД с фазным ротором?

7. Список литературы

1. Москаленко В.В. Системы автоматического управления электропривода. – М.: Инфра – М, 2007. – 208с.
2. Сенигов П.Н. Релейно – контакторное управление асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Руководство по выполнению базовых экспериментов. – Челябинск: ООО «Учебная техника», 2005. – 88с.
3. Системы автоматизированного управления электроприводами: уч. Пособие; под общ. ред. Ю.Н. Петренко. – Минск: Новое знание, 2007. – 394с.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. Елисеева В.А. и Шинянского А.В. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с., ил.
5. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304с.

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}}$$

Фазное напряжение мы разделили на полное сопротивление одной фазы. Постоянный ток — это ток нулевой частоты [3]. Индуктивное сопротивление на постоянном токе равно нулю, а полное сопротивление фазы — только активному сопротивлению. Оно много меньше, чем сопротивление фазы на переменном токе. Поэтому, если мы не хотим испортить обмотку двигателя, напряжение постоянного тока необходимо значительно снизить.

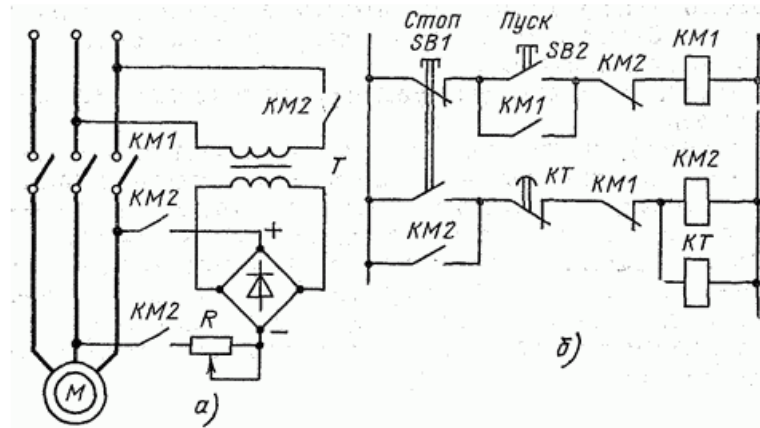


Рис. 14.12. Схема динамического торможения: а — силовая схема; б — схема управления

Обычно для двигателей не слишком большой мощности это напряжение составляет 30—40 В. Таким образом, в схеме торможения должны участвовать два аппарата: трансформатор для понижения напряжения и выпрямитель. Кроме того, необходимы пусковой и тормозной контакторы. Теперь мы можем составить силовую часть схемы (рис. 14.12,а). Действие ее хорошо понятно из самого рисунка.