

Основные схемы управления процессом пуска и торможения электродвигателей

Пуск любого двигателя сопровождается определенными переключениями в силовой цепи и цепи управления. При осуществлении ступенчатого автоматического управления электроприводом различают случаи, когда двигатели могут включаться непосредственно на полное напряжение и без ограничения пускового тока (например, АД с короткозамкнутым ротором) и когда двигатели включаются первоначально на пониженное напряжение или требуют ограничения пускового тока.

В первом случае включение осуществляется простым замыканием линейного контактора. Во втором случае система управления должна обеспечить определенный порядок пуска электропривода и его торможения.

Существуют следующие основные принципы автоматического пуска и торможения:

1. Управление в функции времени, то есть управление, основанное на принципе выполнения следующей операции через определенное время после выполнения предыдущей
2. Управление в функции ускорения.
3. Управление в функции скорости. Управление в функции ЭДС (или скорости) осуществляется реле, напряжения и контакторами. Реле напряжения настроены на срабатывание при различных значениях ЭДС якоря.
4. Управление в функции тока электропривода. Угловая скорость двигателя часто фиксируется косвенным путем, т.е. измерением величин, связанных со скоростью. Для двигателя постоянного тока такой величиной является ЭДС.
5. Управление в функции пройденного пути.

Эти принципы вытекают из анализа графиков переходных процессов $\omega(t), I(t)$ (рис. 1.33).

В дальнейшем будем рассматривать релейно-контактные системы пуска и торможения. Буквенные коды для указания функционального назначения элементов приведены в ГОСТ 2.710. – 81.

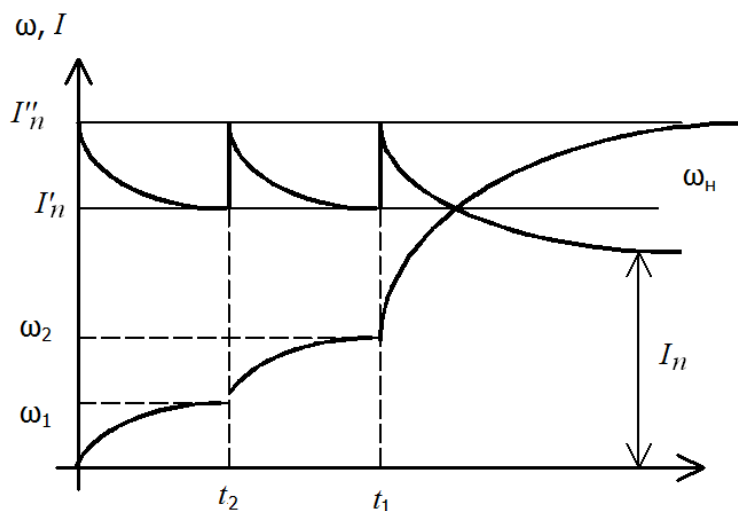
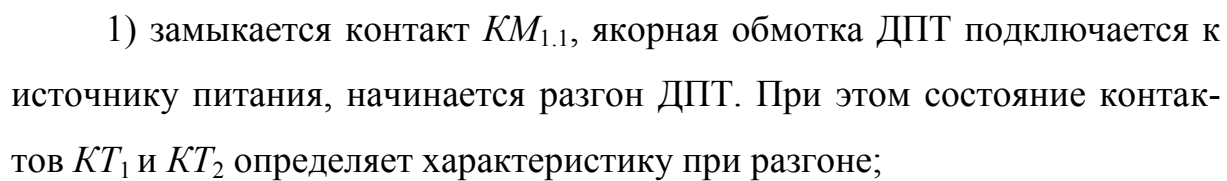


Рис. 1.33. График переходного процесса $\omega(t)$ и $I(t)$

1.4.3.1. Управление ДПТ в функции времени

Исходное состояние схемы (рис. 1.34) при подаче напряжения питания: обтекает ток обмотка реле времени KT_1 , реле KT_1 срабатывает и размыкает замыкающий контакт KT_1 в цепи KT_1 и KT_2 , что предотвращает ложный пуск ДПТ.



2) замыкается контакт $KM_{1,2}$, шунтируется кнопка управления SB_1 , магнитный пускатель KM_1 самоблокируется, что обеспечивает защиту электропривода от произвольного пуска при кратковременном исчезновении напряжения;

3) размыкается контакт $KM_{1,3}$, обмотка реле времени KT_1 не обтекается током, начинается отсчет выдержки времени τ_1 ;

4) замыкается контакт $KM_{1,4}$ в цепи контакторов KT_1 и KT_2 , но они не срабатывают до окончания отсчета выдержки времени τ_1 и замыкании контакта KT_1 при возврате реле времени KT_1 ;

5) таким образом, ДПТ разгоняется по искусственной механической характеристике при введенных сопротивлениях R_1 и R_2 ;

6) замыкается контакт $KM_{1,5}$, срабатывает реле времени KT_3 , замыкается контакт KT_3 в цепи магнитного пускателя KM_2 , подготавливается цепь динамического торможения;

7) размыкается контакт $KM_{1,6}$, в цепи магнитного пускателя KM_2 имеется разрыв цепи тока.

После отсчета выдержки времени τ_1 замыкается контакт реле времени KT_1 , образуется замкнутая цепь тока по обмотке контактора K_1 . Контактор K_2 при этом не срабатывает, так как при подключении якоря к источнику питания имеет место скачок тока и падение напряжения на сопротивлении R_1 , достаточные для срабатывания реле времени KT_2 , которое размыкает свой контакт в цепи контактора K_2 .

Срабатывание контактора K_1 вызывает замыкание его контактов, шунтирующих одновременно резистор R_1 и обмотку реле времени KT_2 . При этом происходят следующие процессы:

1) переход ДПТ на вторую искусственную механическую характеристику, соответствующую введенному в якорную цепь сопротивлению R_2 ;

2) возврат реле времени KT_2 и начало отсчета выдержки времени τ_2 .

Таким образом, двигатель продолжает разгон по новой механической характеристике продолжительностью τ_2 .

После отсчета выдержки времени τ_2 замыкаются контакты KT_2 в цепи контактора K_2 , образуется замкнутая цепь тока по обмотке контактора K_2 , контактор K_2 срабатывает, замыкается контакт контактора K_2 , шунтируется сопротивление R_2 , осуществляется переход двигателя на естественную механическую характеристику, разгон двигателя до рабочей точки, определяемой величиной момента статического сопротивления на валу.

Торможение двигателя. При нажатии контакта SB_2 размыкается цепь обмотки магнитного пускателя KM_1 и все его контакты возвращаются в исходное состояние, при этом:

- 1) якорь двигателя отключается от источника питания;
- 2) отпадают контакторы K_1 и K_2 ;
- 3) срабатывает реле времени KT_1 , подготавливая схему к повторному пуску;
- 4) размыкается контакт $KM_{1.5}$, реле времени KT_3 отпадает, начинается отсчет выдержки времени τ_3 ;
- 5) замыкается контакт $KM_{1.6}$, следовательно, образуется замкнутая цепь тока обмотки магнитного пускателя KM_2 . Магнитный пускатель KM_2 срабатывает (замыкается контакт KM_2) в цепи R_T , ДПТ включается по схеме динамического торможения.

После окончания отсчета выдержки времени τ_3 размыкается контакт KT_3 , отпадает магнитный пускатель KM_2 , резистор R_T отключается от якоря и двигатель переходит в режим свободного выбега.

Система автоматического пуска и торможения в функции времени получила большое распространение вследствие присущей ей простоты и надежности. Однако автоматический пуск с независимой от тока выдержкой времени может обеспечить строгое выполнение заданного закона

движения лишь для расчетной нагрузки. При нагрузке, отличающейся от расчетной, имеет место отклонение от заданного закона движения.

При повышенной нагрузке момент, развиваемый на валу двигателя за время установки τ_1 , будет меньше расчетного (скорость вращения также меньше расчетной), что приводит при переключении на следующую искусственную характеристику к скачку пускового момента и тока якоря больше расчетного и возможному отключению пуска максимальной-токовой защитой.

1.4.3.2. Управление в функции скорости

Измерение скорости движения и сравнение действительного значения скорости с заданной величиной может быть осуществлено механическим центробежным выключателем или электромагнитным реле, питаемым от тахогенератора, вращающегося вместе с механизмом. Однако автоматическое управление в функции скорости в чистом виде применяется редко из-за недостатков указанных измерительных устройств.

Более распространены методы автоматического управления, основанные на косвенной оценке скорости вращения по ЭДС, наведенной в якоре машины постоянного тока ($E = Ce\Phi\omega$), и по частоте тока в роторе асинхронного двигателя:

$$f_2 = f_1 s = f_1 \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = f_1 \frac{\omega_0 - \omega}{2\pi f_1 \frac{p}{2\pi}} = \frac{p}{2\pi} (\omega_0 - \omega).$$

На основании указанных формул частота тока ротора f_2 зависит от скорости вращения.

1.4.3.3. Управление ДПТ в функции ЭДС

На рис. 1.35 приведена схема управления ДПТ в функции ЭДС вращения. Реле напряжения K_V подключено на выводы якорной обмотки, где существует не ЭДС вращения E , а напряжение $U = E + R_{\text{я}} I_{\text{я}}$, причем при пуске ток якоря изменяет значение от $I_{\text{я}}^{\text{max}}$ до $I_{\text{я}}^{\text{min}}$, что в свою очередь определяет закон изменения напряжения на щетках. Для пуска двигателя необходимо нажать кнопку SB_1 «Пуск», после чего контактор KM_1 срабатывает и подключает двигатель к источнику питания. Контактор KM_1 становится на самопитание. Двигатель постоянного тока разгоняется с резистором R цепи якоря двигателя.

На рис. 1.36 приведены графики переходных процессов по скорости $\omega(t)$ и по напряжению $U(t)$. Эти графики поясняют расчет напряжений срабатывания реле напряжений K_{Vi} . В общем случае: $U_{\text{cpi}} = E_i + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}^{\text{min}}$, но так как $E_i = c\Phi\omega_i$, то

$$U_{\text{cpi}} = U_{\text{н}} \cdot \frac{\omega_i}{\omega_0} + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}^{\text{min}}.$$

Таким образом, в приведенной схеме управления реле напряжения R_{V1} должно настраиваться на напряжения срабатывания U_{cp1} , а реле K_{V2} — на напряжение U_{cp2} , рассчитанные по указанным скоростям ω_1 и ω_2 , при которых осуществляется заколачивание пусковых сопротивлений R_1 и R_2 .

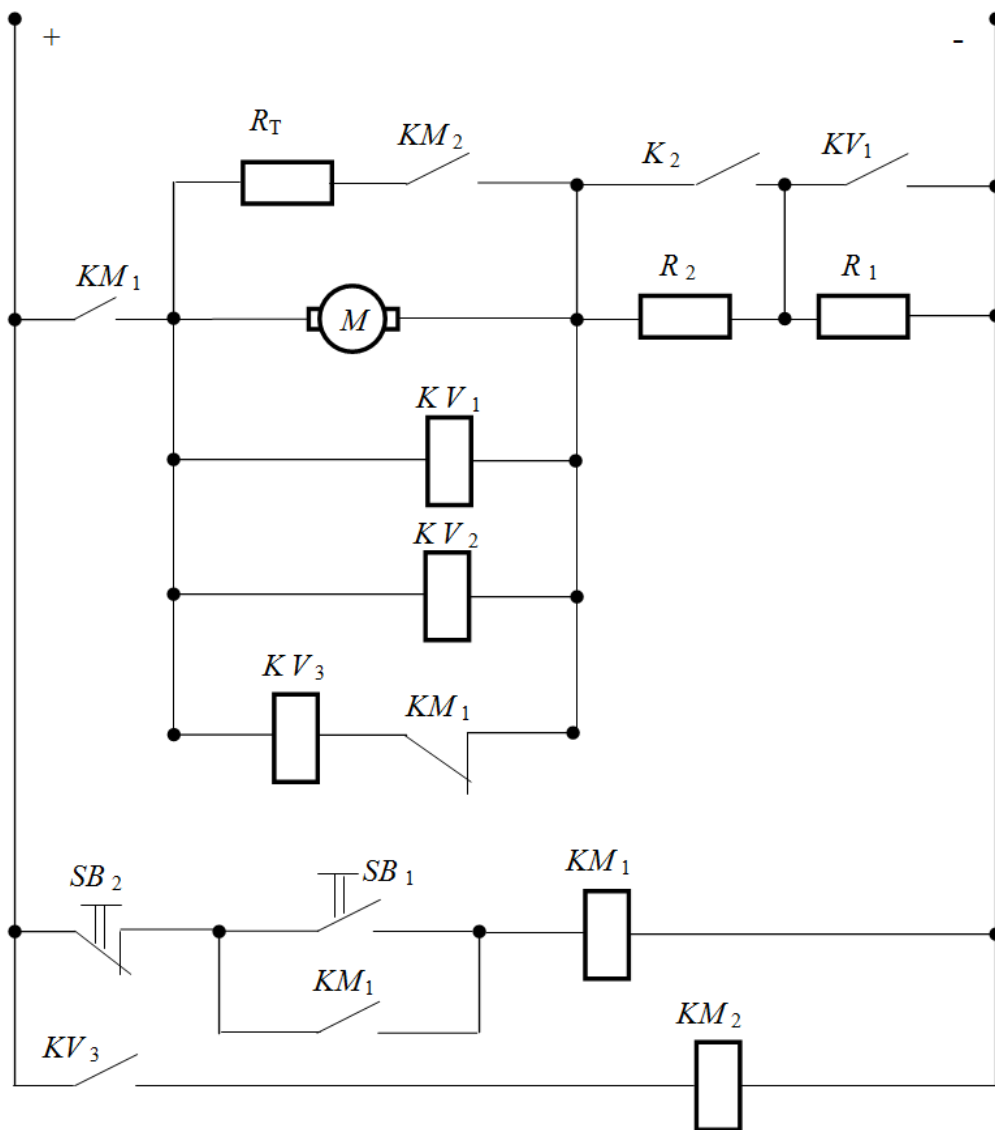


Рис. 1.35. Релейно-контактная схема управления ДПТ в функции ЭДС вращения

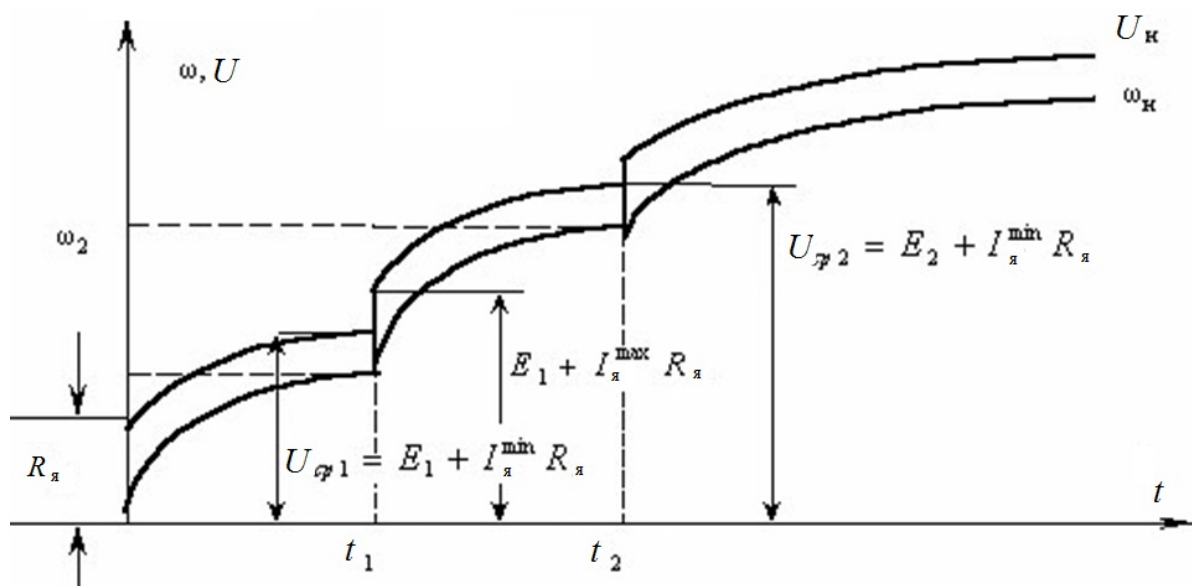


Рис. 1.36. Графики переходного процесса $\omega(t)$ и $U(t)$

Два недостатка ограничивают применение этого принципа управления. Во-первых, зависимость сопротивления реле ускорения от температуры, в результате чего точка срабатывания реле при многократном пуске перемещается; во-вторых, зависимость точки срабатывания от колебания напряжения в сети.

В схеме управления использовано динамическое торможение, длительность которого определяется напряжением возврата реле напряжения KV_3 .

1.4.3.4. Управление АД в функции частоты тока

Основой схемы является частотное реле (ЧР), отличающееся от реле напряжения наличием на магнитопроводе, кроме обычной катушки, короткозамкнутого витка (гильзы). Магнитный поток реле создается при этом совместным действием магнитодвижущих сил катушки и витка, причем виток оказывает размагничивающее действие.

При пуске, то есть при большой частоте переменного тока в роторе двигателя размагничивающее действие тока короткозамкнутого витка (вихревого тока) будет велико и магнитный поток реле будет относительно невелик.

При уменьшении частоты в роторе магнитный поток реле возрастает, так как произойдет уменьшение тока в короткозамкнутом витке, что вызывает срабатывание реле при определенной частоте. Срабатывание реле частоты должно произойти при частоте f_{2i} , которая в общем случае определяется как:

$$f_{2i} = \frac{p}{2 \cdot \pi} (\omega_0 - \omega_i),$$

где ω_i – заданная скорость переключения.

1.4.3.5. Управление в функции тока

Схема управления ДПТ

Схема автоматического пуска двигателя представлена на рис. 1.37.

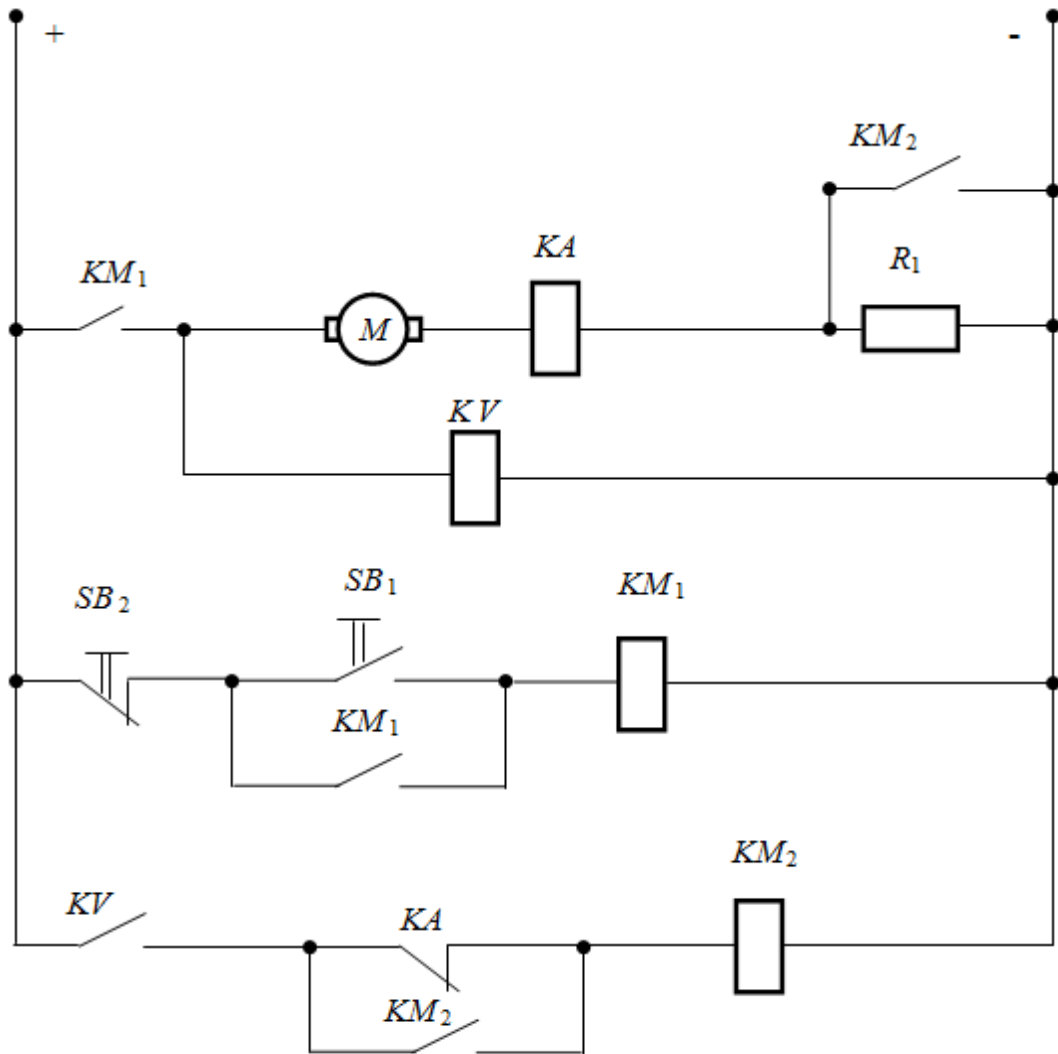


Рис. 1.37. Релейно-контактная схема управления ДПТ в функции тока

Схема (рис. 3.17) должна фиксировать момент, когда ток снижается до значения $I_{п}$, и автоматически выключать соответствующее сопротивление пускового реостата. Фиксация этого момента осуществляется токовым реле постоянного или переменного тока (последнее включается через трансформатор тока).

Особенности схемы:

- 1) реле тока КА выбирается так, чтобы $I_{\text{п}}^{//} < i_{\text{ср}} < I_{\text{п}}'$, $i_{\text{отл}} = I_{\text{п}}'$;
- 2) реле блокировочное КВ должно удовлетворять условию $t_{\text{ср.КВ}} > t_{\text{ср.КА}}$, где $t_{\text{ср}}$ – время срабатывания.

Данная схема управления ДПТ обеспечивает пуск с контролем тока на одной искусственной механической характеристике. Распространять этот принцип на схемы многоступенчатого пуска не удастся.

Схема управления АД

На рис. 1.38 приведена релейно-контактная схема управления асинхронным двигателем в функции тока.

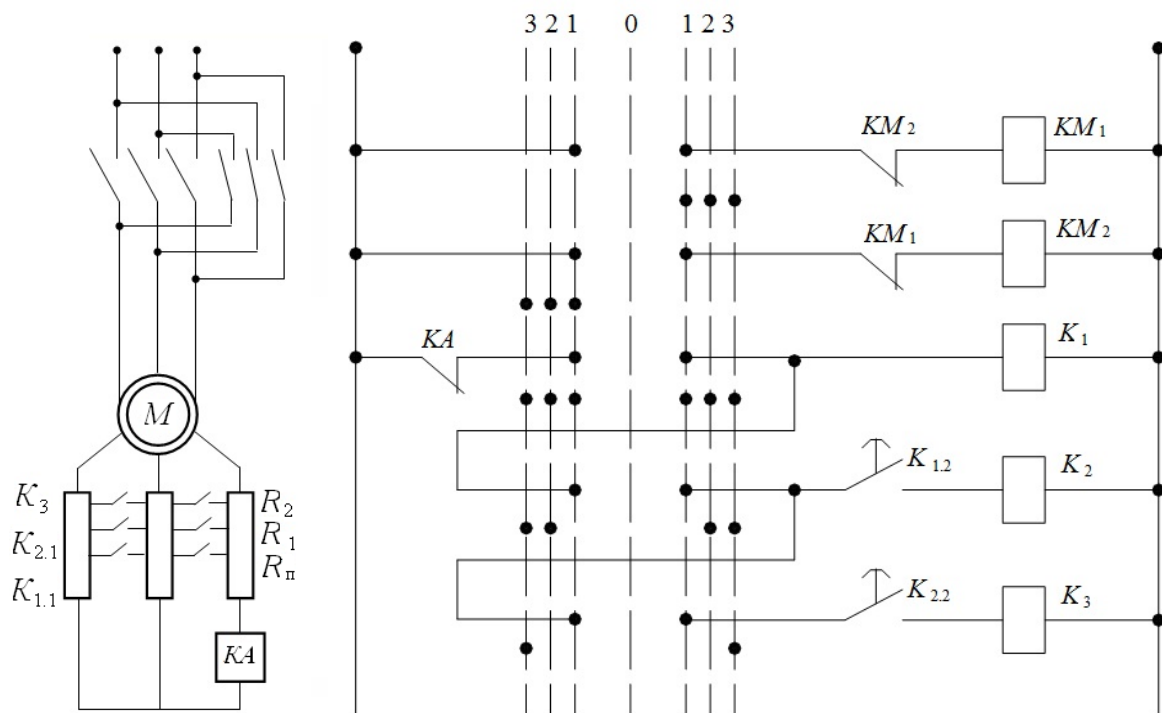


Рис. 1.38. Релейно-контактная схема управления АД в функции тока

Особенности схемы:

- 1) управление АД осуществляется командоконтроллером (многофункциональным переключателем);

2) на схеме точками показаны позиции переключателя, в которых замыкается соответствующий контакт;

3) контакторы K_1 , K_2 имеют кроме силовых контактов $K_{1,1}$ и $K_{2,1}$ встроенные реле времени с контактами $K_{1,2}$ и $K_{2,2}$, обеспечивающими выдержки времени при срабатывании.

Анализ работы схем управления ДПТ в функции ЭДС и функции тока и АД в функции времени студентам предлагается выполнить самостоятельно.

1.4.4. Достоинства и недостатки различных принципов управления

Использование конкретного принципа управления во многом зависит от условий эксплуатации электродвигателя. Все они обладают своими достоинствами и недостатками. Рассмотрим влияние на работу схемы отклонения следующих величин:

- 1) момента статического сопротивления M_c ;
- 2) момента инерции J ;
- 3) напряжения сети U_c ;
- 4) значений пусковых сопротивлений и сопротивлений обмоток реле.

На рис. 1.39 показаны механические характеристики ДПТ при управлении в функции времени. Предположим, расчетная диаграмма пуска ДПТ с $M_c = M_{сн}$ имеет вид ломаной линии 0-1-2-3-4-5-6. При $M_c > M_{сн}$ пуск на первой ступени за время t_t , будет происходить не до скорости ω_1 , а до скорости ω_1' . Переключение произойдет по линии 2'-3', что, как видно из диаграммы, сопровождается броском тока, превышающим расчетное значение.

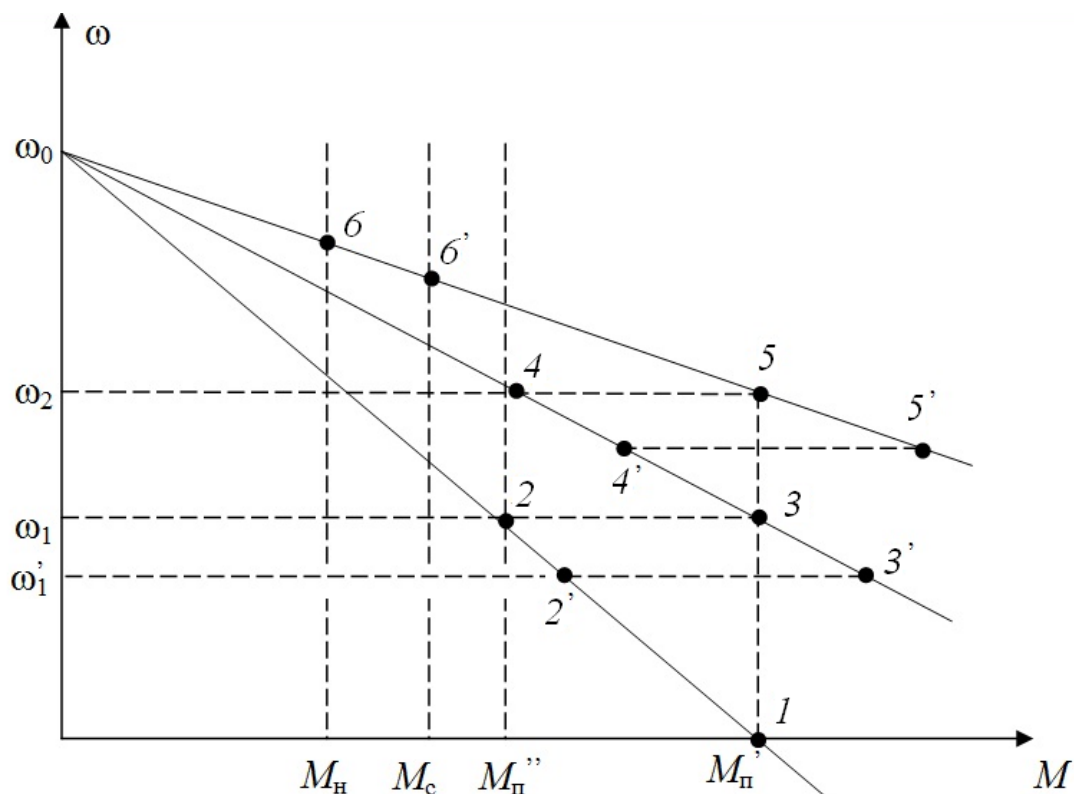


Рис. 1.39. Механические характеристики ДПТ при управлении в функции времени

На следующих ступенях процесс протекает аналогично, следовательно, пуск при $M_c > M_{сн}$ произойдет по ломаной $0-1-2'-3'-4'-5'-6'$.

Сравнивая реальную и расчетную диаграммы пуска (см. рис. 1.40) заключаем, что время пуска на промежуточных характеристиках не меняется (если не меняются установки реле времени). Разгон на естественной механической характеристике идет без контроля времени для расчетного значения M_c от точки 5 до точки 6, а для $M_c > M_{сн}$ от $5'$ до $6'$.

Но время разгона от $5'$ до $6'$ практически равно времени разгона от 5 до 6, так как одновременно с увеличением M_c увеличивается момент двигателя. Таким образом, общее время пуска при изменении M_c в схеме пуска $f(t)$ практически не изменяется.

При увеличении, например, момента инерции J механизма одновременно увеличивается динамический момент, что ведет к сохранению расчетного значения времени пуска.

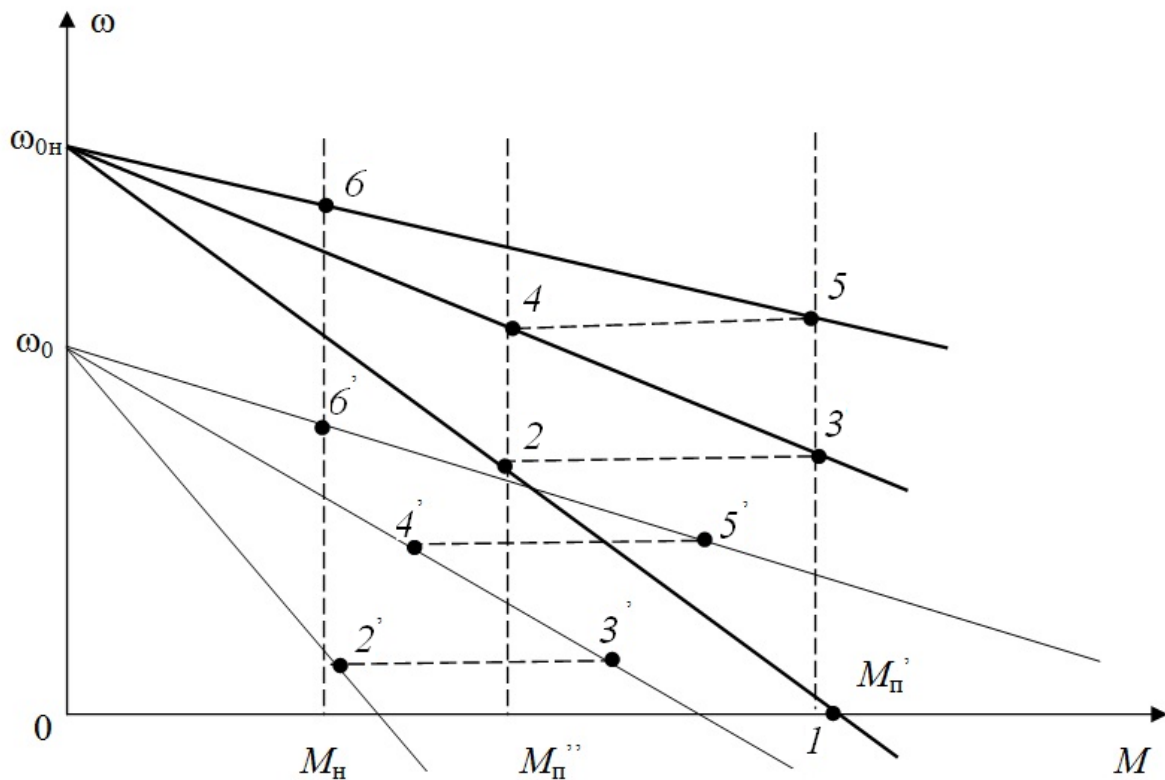


Рис. 1.40. Реальные и расчетные диаграммы. Механические характеристики ДПТ

Влияние на процесс пуска отклонения напряжения сети от номинального рассмотрим для случая, когда при изменении, например, уменьшении U_c , напряжение U_2 уменьшается, а магнитный поток Φ остается прежним.

При $U_c < U_{сн}$ и $U_я < U_{ян}$, $\omega_0 = \frac{U_я}{c\Phi_H} < \omega_{0н}$, то есть изменится (умень-

шится) скорость идеального холостого хода. Далее: $\omega = \frac{U_я}{c\Phi_H} - \frac{R_я + R_p}{c^2\Phi_H^2} M$,

где при $\Phi = \Phi_H$ и прежних значениях R_p коэффициент $\frac{R_я + R_p}{c^2\Phi_H^2}$ остается

прежним, следовательно, характеристика двигателя на первой ступени при $U_c < U_{сн}$ должна быть параллельна характеристике на этой же ступени при $U_c = U_{сн}$. Аналогично для других значений R_p . Таким образом, диаграмма пуска при $U_я < U_{ян}$ будет отражена ломаной 0-1'-2'-3'-4'-5'-6'.

