

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

Л. В. Веппер, В. В. Логвин

РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2022

УДК 621.316(075.8)
ББК 31.261я73
В30

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 10.06.2022 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. С. Захаренко*

Веппер, Л. В.

В30

Релейно-контакторные системы управления : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. формы обучения / Л. В. Веппер, В. В. Логвин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 31 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-506-0.

Предназначен для овладения навыков разработки релейно-контакторных схем для автоматизации пуска, торможения и реверса двигателя постоянного тока.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной формы обучения.

УДК 621.316(075.8)
ББК 31.261я73

ISBN 978-985-535-506-0

© Веппер Л. В., Логвин В. В., 2022
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2022

1. РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Под управлением электроприводом понимается пуск его в работу, регулирование скорости, реверсирование, торможение, а также поддержание постоянства заданной скорости, момента, мощности или какой-либо другой величины, обеспечивающей технологический процесс рабочей машины. Если управление электроприводом осуществляется с помощью аппаратов ручного управления (рубильников, кнопочных или пакетных выключателей, контроллеров и т. п.), то имеет место неавтоматическое (ручное) управление. Электропривод, управляемый таким способом, называется неавтоматизированным. Если же при управлении электроприводом человек участвует только в подаче начального управляющего воздействия, а остальное действие по управлению осуществляют различные аппараты (реле, контакторы, логические и бесконтактные устройства), то такой управляемый электропривод называется автоматизированным.

В зависимости от типа используемых регулирующих устройств автоматики системы управления могут быть: а) релейно-контакторными; б) с усилителями (электромашинные, электронные, магнитные, полупроводниковые); в) с преобразователями (электромашинные, полупроводниковые); г) комбинированными.

Наиболее распространенной операцией является пуск электродвигателей, который производится в функции: а) скорости; б) тока; в) времени.

2. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ И ТОРМОЖЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассмотрим схему включения пусковых сопротивлений и контактов контакторов КМ3, КМ4, КМ5, управляющих ими, при пуске двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) (рис. 2.1). В этой схеме предусмотрены торможения противовключением и динамическое.

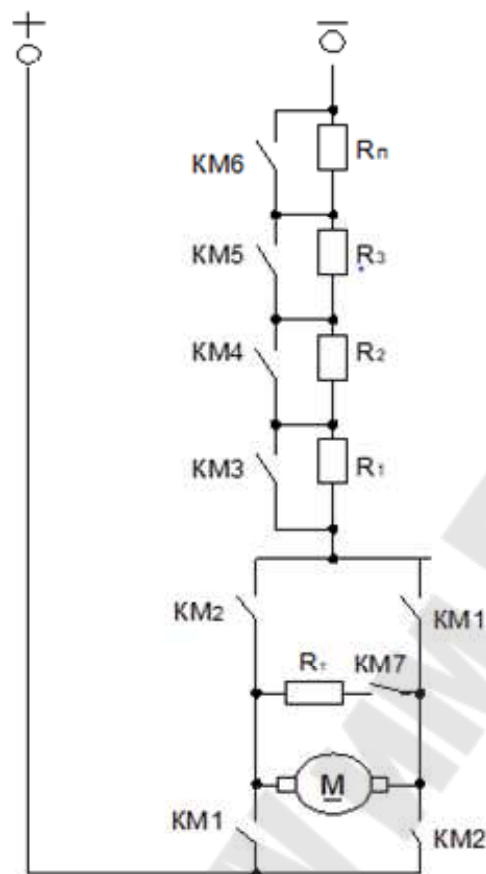


Рис. 2.1. Схема включения пусковых сопротивлений двигателя постоянного тока независимого возбуждения

При реостатном пуске ДПТ НВ поочередное замыкание (закорачивание) ступеней пускового сопротивления R_1 , R_2 , R_3 производится автоматически при помощи контактов контакторов КМ3, КМ4, КМ5, управление которыми может быть осуществлено тремя способами:

- путем отсчета промежутков времени Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , (рис. 2.2), для чего используются реле времени (управление по принципу времени);

- посредством контроля величины скорости электродвигателя (ЭД) или электродвижущей силы (ЭДС) (управление по принципу скорости). В качестве датчиков ЭДС используются реле напряжения или непосредственно контакторы, включенные через сопротивления;

- применением датчиков тока (токовые реле, настраиваемые на ток возврата, равный I_{\min}), дающий командный импульс при снижении тока якоря (ротора) в процессе пуска до значения I_{\min} (управление по принципу тока).

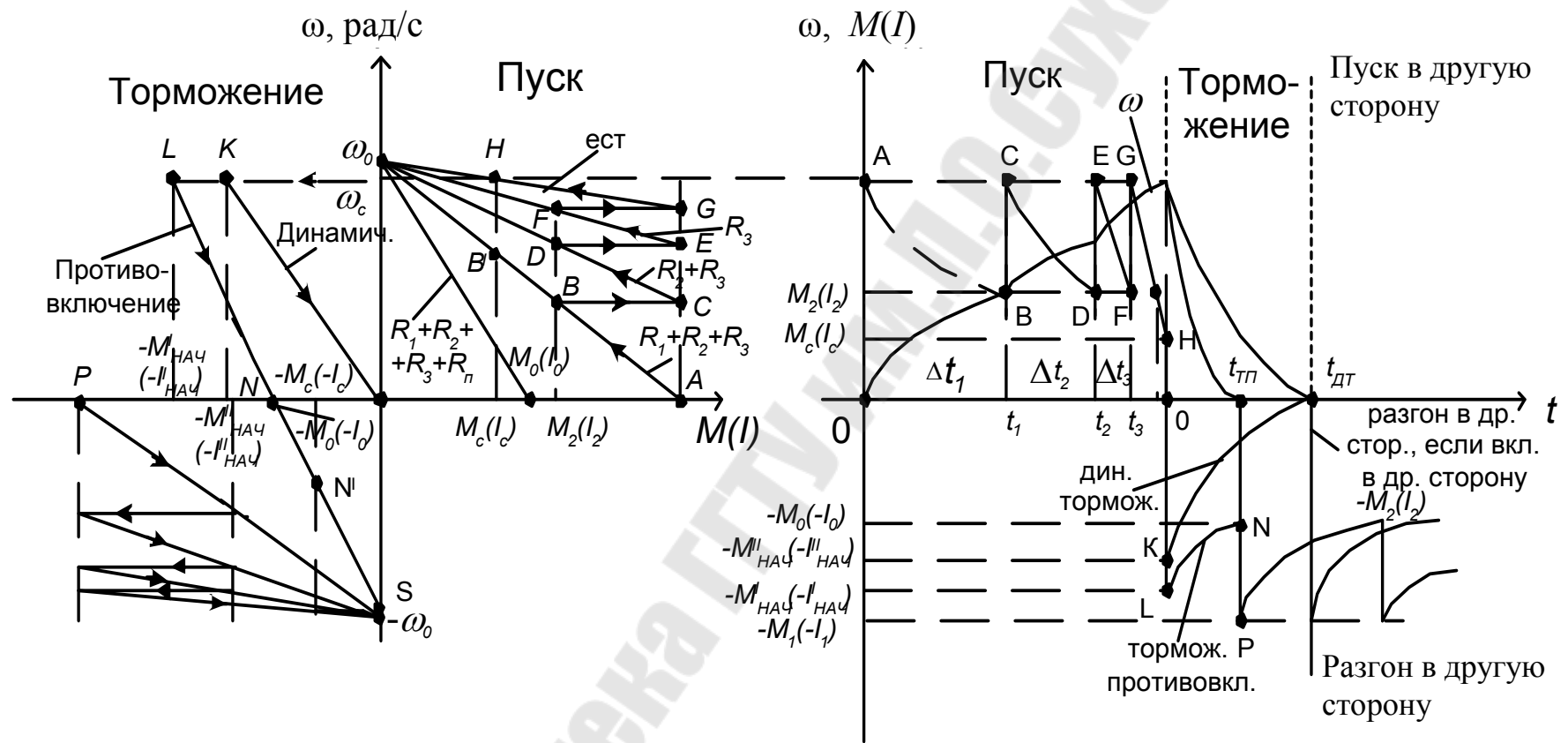


Рис. 2.2. Пусковые и тормозные характеристики (а) и зависимости ω , M , $I = f(t)$ (б)

двигателя постоянного тока

Рассмотрим механические характеристики ДПТ (рис. 2.2) при пуске и торможении, а также кривые скорости, тока (момента) в зависимости от времени.

Пуск электродвигателя (замыкаются контакты КМ1). При подаче напряжения ток в ДПТ равен I_1 (точка A) и двигатель разгоняется с пусковым сопротивлением $(R_1 + R_2 + R_3)$. По мере разгона ток уменьшается и при токе I_2 (точка B) происходит закорачивание R_1 , ток возрастает до значения I_1 (точка C) и т. п. В точке F при токе I_2 происходит закорачивание последней ступени пускового реостата и ДПТ выходит на естественную характеристику (точка G). Разгон происходит до (точка H), которой соответствует ток I_C (зависит от нагрузки). Если в точке B не закоротить R_1 , то ДПТ разгонится до точки B' и будет иметь установившуюся скорость.

Динамическое торможение (размыкаются КМ1, замыкаются КМ7), при этом ЭД переходит в точку K , которой соответствует момент (ток) $(-M_{нач}(-I_{нач}))$ и его величина зависит от сопротивления R_T .

Торможение противовключением (размыкаются КМ1, замыкаются КМ2), при этом ЭД переходит в точку L и начинает очень быстро тормозиться с сопротивлением $(R_1 + R_2 + R_3 + R_{II})$. Наклон этой характеристики, а значит, и величина $(-M'_{нач}(-I'_{нач}))$, одинаков (параллелен) пусковой характеристике с сопротивлением $(R_1 + R_2 + R_3 + R_{II})$. В точке N необходимо закоротить R_{II} , ЭД переходит в точку P и происходит разгон в противоположную сторону. Если в точке N не закоротить R_{II} , то ЭД разгонится до точки N^1 и будет работать на этой скорости.

2.1. Схемы автоматического управления пуском двигателя постоянного тока

Наиболее часто в качестве реле времени в схемах электроприводов (ЭП) применяются электромагнитные реле времени. Они настраиваются на отсчет заданных выдержек времени $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$. Каждое реле времени должно включать соответствующий силовой контактор.

При линейных механических характеристиках ЭП время разгона на каждой ступени равно:

$$t_i = T_{Mi} \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c} = T_{Mi} \cdot \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c},$$

где $T_{Mi} = J \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{M_1 - M_2}$ – электромеханическая постоянная времени;

$\omega_{\text{кон}i}, \omega_{\text{нач}i}$ – конечное и начальное значения скорости i -й ступени; J – суммарный момент инерции, приведенный к валу ЭД.

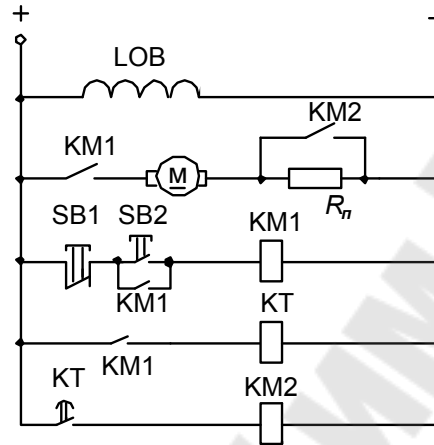


Рис. 2.3. Схема автоматического пуска в функции времени двигателя постоянного тока

Управление в функции скорости (чаще всего используется для динамического торможения и торможения противовключением).

Данный принцип автоматизации управления предполагает использование реле, которые прямо или косвенно контролируют скорость ЭД: для ДПТ осуществляется измерение ЭДС якоря, для АД и СД – измерение ЭДС или частоты тока.

Использование устройств, непосредственно измеряющих скорость (реле контроля скорости (РКС) сложного устройства) усложняет установку и схему управления. РКС чаще используют для контроля торможения, чтобы отключить ЭД от сети при скорости, близкой к нулю. Чаще используются косвенные методы.

При постоянном магнитном потоке ЭДС ДПТ прямо пропорционально скорости. Поэтому катушку реле напряжения можно включать непосредственно на зажимы якоря. Однако напряжение на зажимах якоря $U_{\text{я}}$ отличается от $E_{\text{я}}$ на величину падения напряжения на обмотке якоря. В общем случае:

$$U_c = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \sum R_{\text{я}} = k\Phi\omega + I_{\text{я}} R_{\text{я.о}} + I_{\text{я}} R_{\text{п.}}$$

$$\text{Откуда } U_{\text{я}} = k\Phi\omega + I_{\text{я}}R_{\text{я.о}} = U_{\text{с}} - I_{\text{я}}R_{\text{п}},$$

где $R_{\text{я.о}}$ – сопротивление якорной обмотки; $R_{\text{п}}$ – пусковое сопротивление.

При этом возможны два варианта:

- использование реле напряжений KV, допускающих настройку на разные напряжения срабатывания (рис. 2.4, а);
- использование контакторов КМ, подключенных через пусковые сопротивления (рис. 2.4, б).

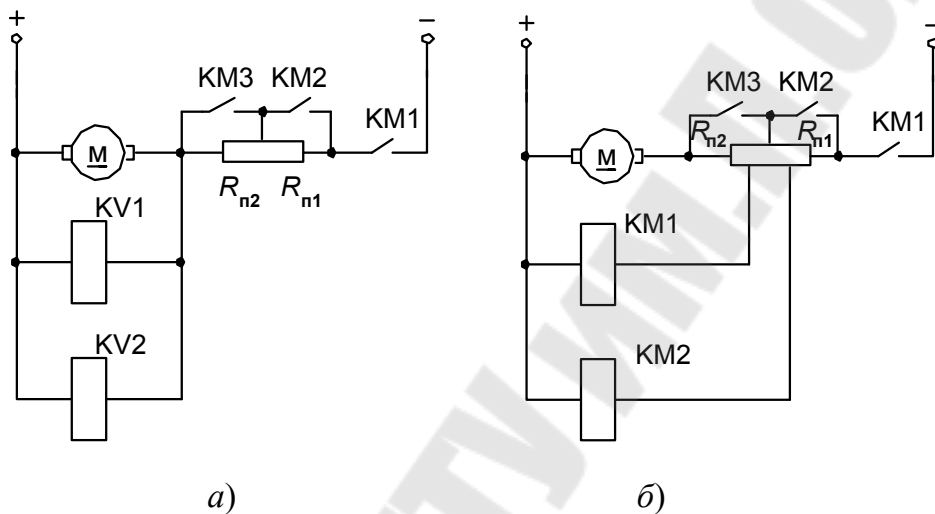


Рис. 2.4. Силовые схемы подключения двигателя постоянного тока при использовании в качестве реле контроля скорости реле напряжений (а) и контакторов (б)

В соответствии с пусковой диаграммой $\omega(t)$ (рис. 2.2) напряжения срабатывания при скоростях ω_1 и ω_2 можно определить как

$$U_{\text{ср1}} = U_{\text{KV1}} = k\Phi\omega_2 + I_{\text{я}}R_{\text{я.о}};$$

$$U_{\text{ср2}} = U_{\text{KV2}} = k\Phi\omega_2 + I_{\text{я}}R_{\text{я.о}}.$$

Замыкающие контакты реле KV1, KV2 подают напряжение на катушки силовых контакторов KM2, KM3.

При малом числе ступеней, когда скорости достаточно велики (ω_1, ω_2) и напряжения срабатывания тоже велики, могут быть использованы непосредственно силовые контакторы с напряжением срабатывания:

$$U_{\text{ср}} = U_1 = U_2,$$

где $U_1 = k\Phi\omega_1 + I_2(R_{я.о} + R_1 + R_2)$ – напряжение срабатывания контактора КМ2, соответствующее скорости ω_1 ; $U_2 = k\Phi\omega_2 + I_2(R_{я.о} + R_1)$ – напряжение срабатывания контактора КМ3, соответствующее скорости ω_2 .

Теперь, зная напряжение срабатывания контакторов, можно рассчитать сопротивление:

$$R_1 = \frac{U_{ср} - k\Phi\omega_2 - I_2R_{я.о}}{I_2} \text{ и } R_2 = \frac{U_{ср} - k\Phi\omega_1 - I_2R_{я.о}}{I_2} - R.$$

Если сопротивления R_1 и R_2 велики и $(R_1 + R_2) > (R_{п1} + R_{п2})$, то необходимо использовать реле напряжения КВ1, КВ2 с одинаковым (фиксированным) значением, или следующую схему (рис. 2.5, а). Схема управления представлена на рис. 2.5, б).

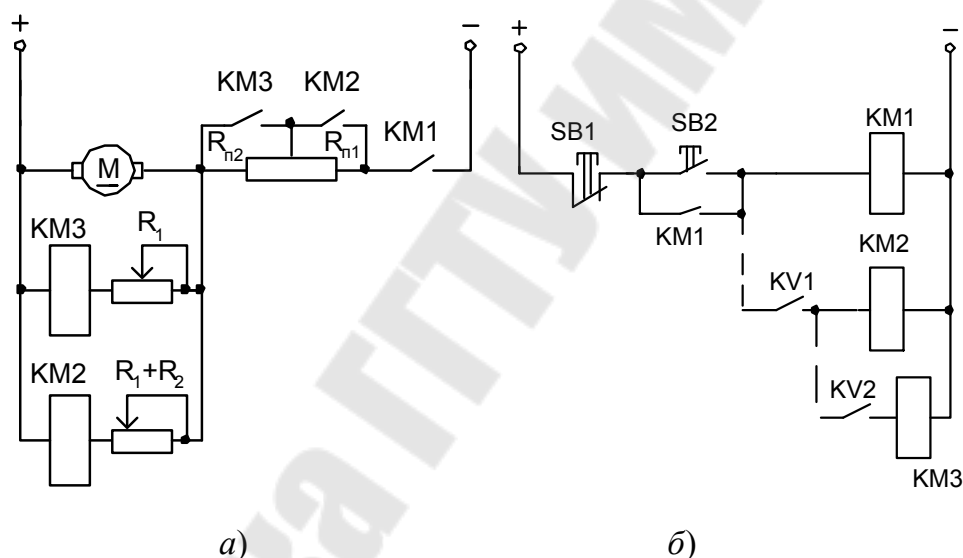


Рис. 2.5. Силовая схема (а) и схема управления (б) двигателя постоянного тока при автоматизации пуска в функции скорости

Штриховыми линиями показана схема, когда для измерения напряжения используются реле напряжения КВ1, КВ2.

Достоинства: шунтирование ступеней и переход на очередную характеристику происходит только при расчетной скорости и допустимых бросках тока; если для измерения скорости используются контакторы, то схема очень проста.

Недостатки: затягивание пуска при $\downarrow U$ или $\uparrow M_c$ и «застывание» ЭД на промежуточных характеристиках при $M_c > M_2 (I_c > I_2)$.

Управление в функции тока. Этот принцип управления реализуется с помощью реле минимального тока, которые включают силовые контакторы при достижении током значения I_2 (рис. 2.6, а). Применяется чаще всего для пуска до повышенной скорости при ослаблении магнитного потока.

Токовое реле КА выбирают таким образом, чтобы выполнялись следующие условия: $I_{cp} < I_1$, $I_{возб} > I_c$ (рис. 2.6, б). После срабатывания КМ3 ЭД разгоняется по естественной характеристике при $\Phi = \Phi_n$ (до срабатывания КМ3 напряжение подавалось на катушку КМ4 и сопротивление $R_{рег}$ было закорочено).

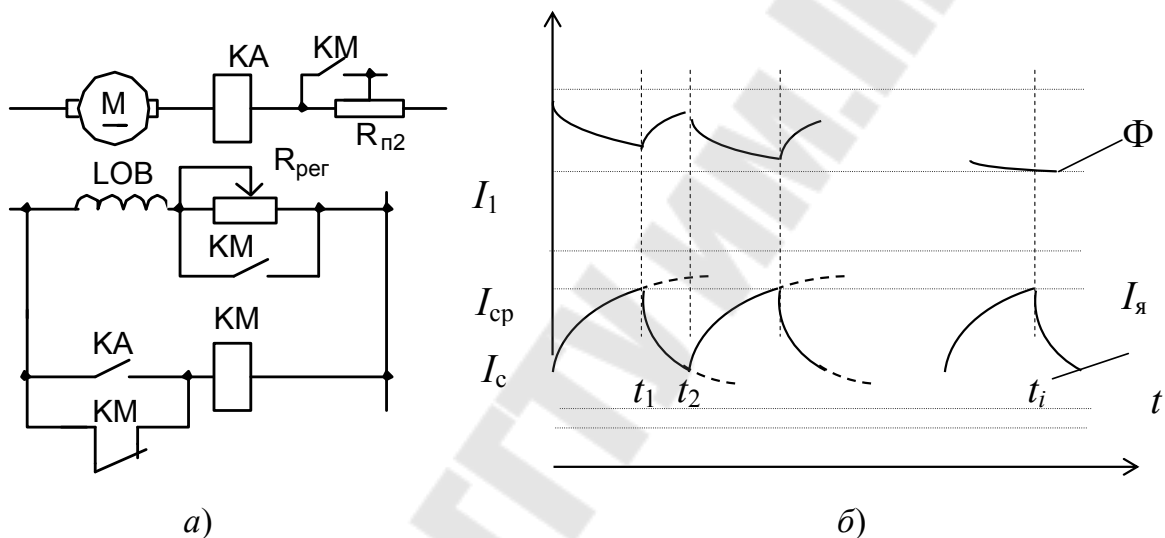


Рис. 2.6. Схема включения (а) и зависимость Φ , $I_я = f(t)$ (б) при пуске двигателя постоянного тока в функции тока

При броске тока ($R_{п2}$ закорочено) реле КА срабатывает и питание на катушку КМ4 подается через контакт КА. Когда ток якоря спадает до тока возврата, контактор КМ4 отключается и начинается уменьшение магнитного потока (в цепь обмотки возбуждения ЛОВ вводится $R_{рег}$). При этом ток якоря начинает возрастать (темп изменения тока якоря выше темпа изменения магнитного потока). При достижении $I_я = I_{cp}$ в точке t_1 реле КА и КМ4 срабатывают и $R_{рег}$ зашунтируется. Начнется процесс нарастания потока и уменьшение $I_я$ до момента t_2 , когда произойдет отключение КА и КМ4. При всех этих коммутациях $M > M_c$ и ЭД будет разгоняться. Процесс пуска заканчивается, когда величина магнитного потока приближает-

ся к заданному значению, определяемому введением в цепь обмотки возбуждения сопротивления $R_{рег}$, и когда при очередном отключении КА, КМ4 ток якоря не достигает $I_{ср}$ (точка t_i). Такой принцип управления называют вибрационным.

2.2. Автоматизация управления торможением двигателя постоянного тока

В данном случае применяются те же принципы, что и при автоматизации пуска. Задачей этих схем является отключение ЭД от сети при скорости, равной или близкой к нулю. Наиболее просто она решается при *динамическом торможении* с помощью принципов времени или скорости (рис. 2.7, а, б).

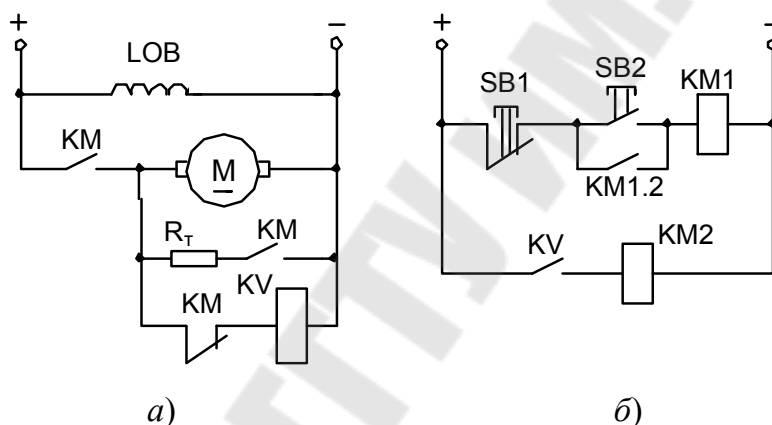


Рис. 2.7. Силовая схема (а) и схема управления (б) динамическим торможением

При пуске нажимаем SB2 и напряжение подается на катушку КМ1, при этом шунтируется кнопка SB2 (КМ1.2), подается напряжение на якорь ЭД (КМ 1.1), размыкается цепь питания КV (КМ 1.3). При торможении нажимаем SB1, при этом якорь отключается от сети, замыкается КМ1.3 и срабатывает реле КV (так как в момент отключения $E_{я} \approx U_c$ и уменьшается по мере уменьшения скорости). Напряжение подается на катушку КМ2 и к якорю ЭД подключается R_T . При угловой скорости, близкой к нулю ($E \approx 0$), якорь реле КV отпадает, обесточивается КМ2 и отключается R_T . Реле КV в данной схеме должно иметь как можно меньший коэффициент возврата ($k = 0,1 \div 0,15$), так как только в этом случае можно получить торможение до минимальной скорости.

При реверсе ЭД используется *торможение противовключением* и задача схемы управления заключается во введении дополнительной ступени сопротивления при подаче команды на реверс и шунтировании ее, когда скорость ЭД близка к нулю. Чаще всего для этих целей используется управление в функции скорости (рис. 2.8). Рассмотрим схему без узла автоматизации пуска.

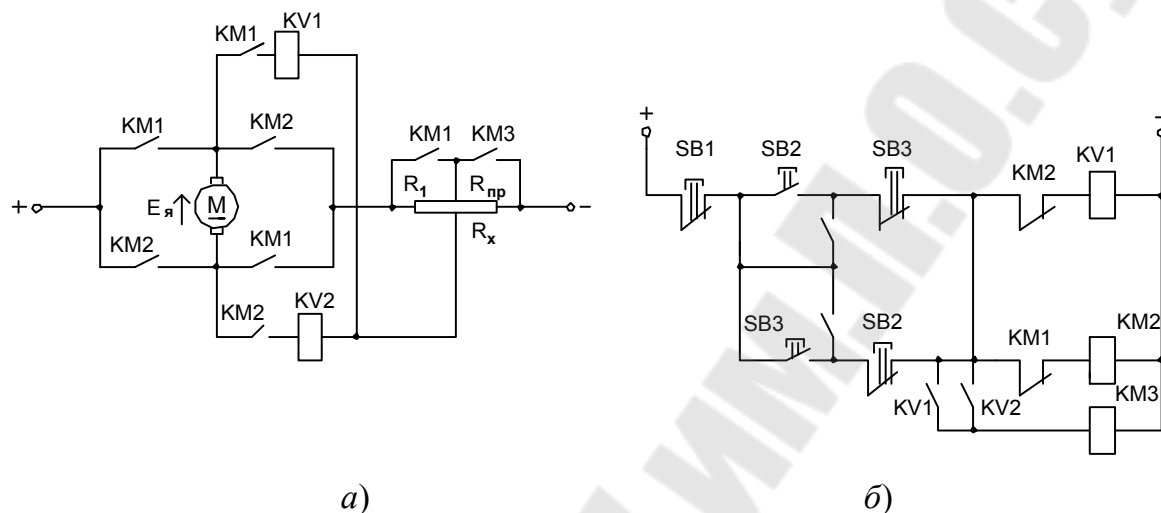


Рис. 2.8. Силовая схема (а), схема управления (б) и тормозные характеристики (в) торможения противовключением двигателя постоянного тока

Пусть ЭД работает «вперед» на естественной характеристике 1 (включение KM1, разгон не рассматривается). ЭДС якоря $E_{я}$ направлена вверх (рис. 2.8, а). При нажатии кнопки SB3 отключается KM1 и включается KM2. Изменяется полярность приложенного к якорю напряжения. Контакты KM и KM3 разомкнуты, в цепь якоря вводится

полное сопротивление. Происходит бросок тока и ЭД переходит работать на характеристику 2, по которой и осуществляется торможение. При скорости, близкой к нулю, должны включиться реле KV1 и контактор КМ3. Ступень $R_{пр}$ шунтируется и начинается разгон в противоположную сторону по характеристике 3.

Для расчета сопротивления R_x составим схему замещения для момента после включения КМ2 (рис. 2.9).

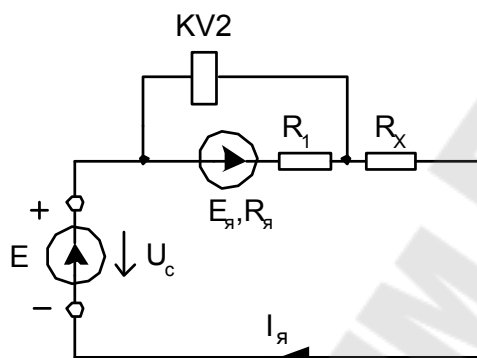


Рис. 2.9. Схема замещения при пуске двигателя постоянного тока

Для данной схемы по второму закону Кирхгофа составим два уравнения:

$$I_{я1} = \frac{U_c - E_{я.}}{R_{я\Sigma}};$$

$$U_{KV2} = U_c - I_{я1}R_x,$$

где $R_{я\Sigma} = R_1 + R_{пр}$ – суммарное сопротивление якорной цепи; U_c – напряжение питания (сети).

Если принять, что в начальный момент $U_{KV2} = 0$, то $R_x = \frac{U_c}{I_{я1}}$.

При скорости $\omega = 0$ ток якоря $I_{я.0} = \frac{U}{R_{я\Sigma}}$ и $U_{KV2_0} = U_c - \frac{U_c}{R_{я\Sigma}}R_x = U \left(1 - \frac{R_x}{R_{я\Sigma}} \right)$ и обычно выбирают $U_{срKV2} = 0,8U_{KV2_0}$, чтобы с учетом времени срабатывания аппаратов шунтирование $R'_{пр}$ произошло практически при скорости $\omega = 0$.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы выполняются на стенде, который позволяет исследовать 33 режима автоматизации пуска, торможения и реверса двигателя постоянного тока.

Студентам предлагается самостоятельно разработать одну из предложенных релейно-контакторных схем, собрать на стенде с помощью проводов и по загоранию светодиодов убедиться в правильности работы.

Релейно-контакторные схемы автоматизации пуска, торможения и реверса ДПТ включают:

1. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС).
2. Пуск ДПТ в функции времени.
3. Пуск ДПТ в функции тока.
4. Прямой пуск ДПТ и торможение противовключением в функции скорости (ЭДС).
5. Прямой пуск ДПТ и торможение противовключением в функции времени.
6. Прямой пуск ДПТ и торможение противовключением в функции тока.
7. Прямой пуск ДПТ и динамическое торможение в функции скорости (ЭДС).
8. Прямой пуск ДПТ и динамическое торможение в функции времени.
9. Прямой пуск ДПТ и динамическое торможение в функции тока.
10. Пуск и торможение противовключением ДПТ в функции скорости (ЭДС).
11. Пуск и торможение противовключением ДПТ в функции времени.
12. Пуск и торможение противовключением ДПТ в функции тока.
13. Пуск и динамическое торможение ДПТ в функции скорости (ЭДС).
14. Пуск и динамическое торможение ДПТ в функции времени.
15. Пуск и динамическое торможение ДПТ в функции тока.
16. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС) и торможение противовключением в функции времени.
17. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС) и торможение противовключением в функции тока.

18. Пуск ДПТ в функции времени и торможение противовключением в функции скорости (ЭДС).

19. Пуск ДПТ в функции времени и торможение противовключением в функции тока.

20. Пуск ДПТ в функции тока и торможения противовключением в функции скорости (ЭДС).

21. Пуск ДПТ в функции тока и торможение противовключением в функции времени.

22. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС) и динамическое торможение в функции времени.

23. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС) и динамическое торможение в функции тока.

24. Пуск ДПТ в функции времени и динамическое торможение в функции скорости (ЭДС).

25. Пуск ДПТ в функции времени и динамическое торможение в функции тока.

26. Пуск ДПТ в функции тока и динамическое торможение в функции скорости (ЭДС).

27. Пуск ДПТ в функции тока и динамическое торможение в функции времени.

28. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС) и реверсирование в функции времени.

29. Пуск ДПТ в функции скорости (ЭДС) и реверсирование в функции тока.

30. Пуск ДПТ в функции времени и реверсирование в функции скорости (ЭДС).

31. Пуск ДПТ в функции времени и реверсирование в функции тока.

32. Пуск ДПТ в функции тока и реверсирование в функции скорости (ЭДС).

33. Пуск ДПТ в функции тока и реверсирование в функции времени.

В качестве защиты лабораторных работ предлагается выбрать все электрические аппараты, которые используются для автоматизации пуска, торможения и реверса ДПТ.

4. РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

4.1. Графический и аналитический методы расчета пусковых сопротивлений двигателя постоянного тока

Электромеханическая и механическая характеристики для ДПТ ПВ описываются уравнениями:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{k\Phi} I_{\text{я}}; \quad (4.1)$$

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} M, \quad (4.2)$$

где ω – гловая скорость якоря, рад/с; U – питающее напряжение якорной цепи, В; $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи двигателя (обмотки якоря, щеточного контакта, обмотки дополнительных полюсов (компенсационной обмотки), Ом; Φ – магнитный поток одного полюса, Вб; $I_{\text{я}}$ – ток якоря, А; M – электромагнитный момент, Н · м.

Если ДПТ НВ работает с $U = \text{const}$ и $\Phi = \text{const}$, то пренебрегая реакцией якоря зависимости $\omega(I_{\text{я}})$ (4.1) и $\omega(M)$ (4.2) представляют собой прямые линии. При использовании в качестве базовых величин скорости идеального холостого хода $\omega_0 = U/k\Phi$, номинальных значений $U_{\text{н}}$, $I_{\text{н}}$, $M_{\text{н}}$, $\Phi_{\text{н}}$ и фиктивного номинального сопротивления двигателя $R_{\text{н}} = U_{\text{н}}/I_{\text{н}}$ относительные величины, входящие в (4.1) и (4.2), запишутся:

$$v = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad i = \frac{I}{I_{\text{н}}}; \quad \mu = \frac{M}{M_{\text{н}}}; \quad \varphi = \frac{k\Phi}{k\Phi_{\text{н}}}; \quad \rho = \frac{R}{R_{\text{н}}}; \quad \gamma = \frac{U}{U_{\text{н}}}.$$

В относительных единицах электромеханическая и механическая характеристики описываются уравнениями:

$$v = \frac{\gamma - \rho i}{\varphi} \quad \text{и} \quad v = \frac{\gamma}{\varphi} - \frac{\rho}{\varphi^2} \mu.$$

При номинальных $U = U_{\text{н}}$, а $\Phi = \Phi_{\text{н}}$ получим:

$$v = 1 - \rho i \quad \text{и} \quad v = 1 - \rho \mu. \quad (4.3)$$

Естественные характеристики с $\rho_{\text{я}} = \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{н}}}$:

$$v = 1 - \rho_{\text{я}} i \quad \text{и} \quad v = 1 - \rho_{\text{я}} \mu. \quad (4.4)$$

Графический способ расчета сопротивлений

Вначале строится естественная характеристика 1.

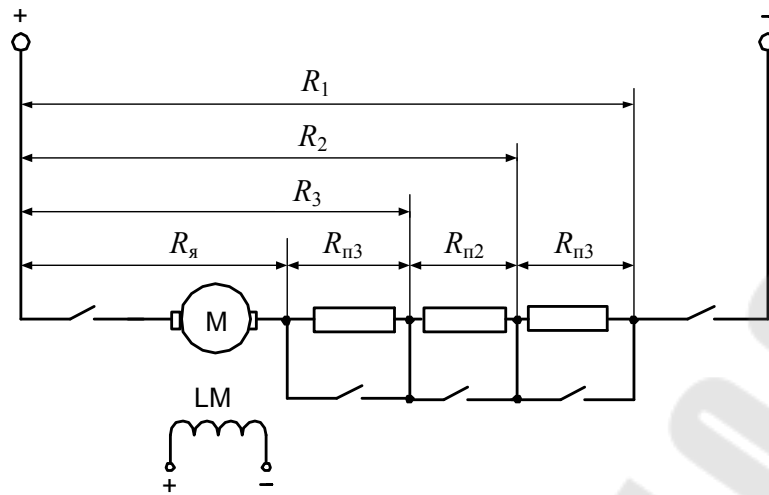
На практике возможны несколько ситуаций при расчете пусковых сопротивлений. Рассмотрим их на примере с использованием рис. 4.1:

1. Число ступеней задано и пуск нормальный. При этом значения задаются переключающими моментом μ_2 или током i_2 , которые должны быть больше на 10–20 %, чем статические значения. Далее предположительно задаются максимальными значениями $\mu_1(i_1)$, чтобы для заданного количества ступеней получить одинаковые моменты переключения и пиковые – для всех характеристик. Практически эти построения приводятся методом подбора легкими линиями на миллиметровой бумаге.

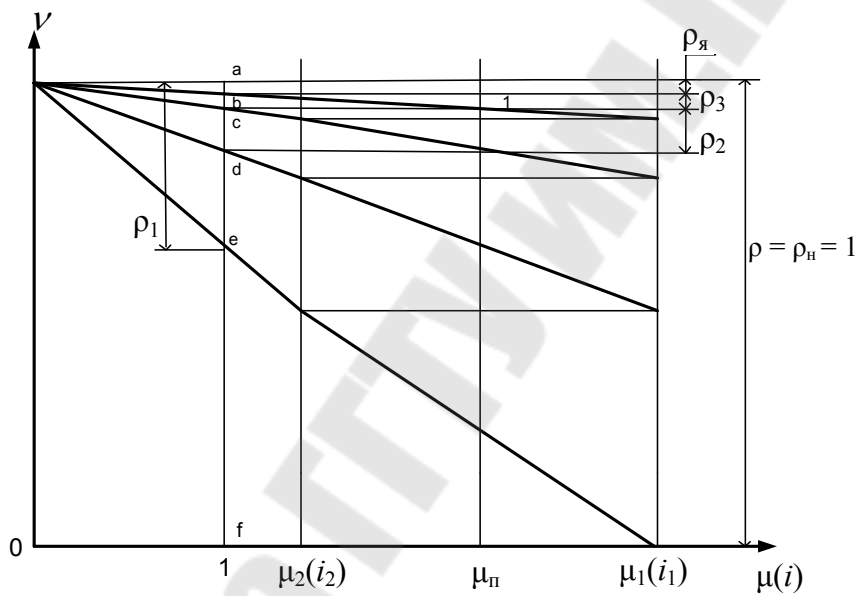
2. Число ступеней задано и пуск форсированный. В данном случае задаются максимально допустимыми значениями μ_1 или i_1 , а подбирают момент μ_2 или ток i_2 переключения.

3. Число ступеней неизвестно, а задано ускорение. Если задано ускорение исполнительного органа механизма, то его в начале приводят к скорости якоря, получая угловое ускорение ε . По уравнению движения электропривода определяют средний пусковой момент $M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + J\varepsilon$ и его относительное значение $\mu_{\text{п}}$. Далее, задаваясь одинаковыми отклонениями $(\mu_1 - \mu_{\text{п}}) = (\mu_{\text{п}} - \mu_2)$, подбирают характеристики и определяют количество пусковых ступеней. Окончательное их число уточняется после расчета пусковой диаграммы с учетом времени срабатывания аппаратуры.

После построения пусковых характеристик определяют сопротивление ступеней по длине отрезков при номинальном моменте или токе: $\rho_{\text{п1}} = de/af$, $\rho_{\text{п2}} = cd/af$, $\rho_{\text{п3}} = bc/af$, а затем в абсолютных величинах: $R_{\text{п1}} = \rho_{\text{п1}} R_{\text{н}}$, $R_{\text{п2}} = \rho_{\text{п2}} R_{\text{н}}$, $R_{\text{п3}} = \rho_{\text{п3}} R_{\text{н}}$.



a)



б)

Рис. 4.1. Схема включения (а) и пусковые характеристики (б) двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с тремя ступенями пускового сопротивления

Аналитический способ расчета сопротивлений

Включает следующее:

1. Число ступеней задано и пуск нормальный.

В этом случае, аналогично, как и при графическом, задаются моментом μ_2 или током i_2 переключения. Соотношения между максимальным значением и переключением:

$$\lambda = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{i_1}{i_2}.$$

определяются как

$$\lambda = m+1 \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{я}} \mu_2}} = m+1 \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{я}} i_2}},$$

где m – число ступеней пускового сопротивления.

2. Число ступеней задано и пуск форсированный.

В этой ситуации опять же задаются максимально-допустимыми значениями μ_1 или i_1 . Соотношение значений:

$$\lambda = m \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{я}} \mu_2}} = m \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{я}} i_2}}.$$

3. Число ступеней не задано.

В данном случае задаются μ_1 и μ_2 в соответствии с режимами, а число ступеней определяется по выражению

$$m = \frac{\lg \frac{1}{\rho_{\text{я}} \mu_1}}{\lg \frac{\mu_1}{\mu_2}}.$$

Если число m получается дробным, то изменяют μ_1 или μ_2 , или оба, так, чтобы получить m целым числом. По принятым значениям рассчитывают λ . После определения соотношения λ находят полные значения сопротивлений $R_3 = R_{\text{я}} \lambda$, $R_2 = R_3 \lambda$, $R_1 = R_2 \lambda$, или $R_{\text{пз}} = R_{\text{я}} (\lambda - 1)$, $R_{\text{пз}} = R_{\text{я}} \lambda$, $R_{\text{пз}} = R_{\text{я}} \lambda$.

Аналитический метод более простой и точный, но если по каким-то условиям на разных пусковых ступенях требуются разные значения максимальных или переключающих величин, то он не применим.

4.2. Расчет пусковых сопротивлений для двигателя постоянного тока при помощи лучевой диаграммы

Данный способ основан на том, что если для семейства характеристик (рис. 4.2, б) провести прямые линии через две точки при одинаковых значениях токов I_1 и I_2 , то они пересекутся в одинаковой точке «О».

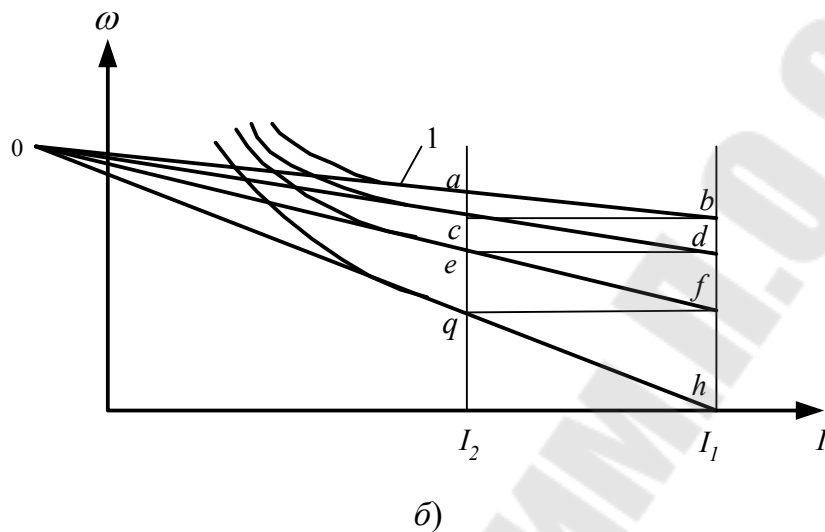
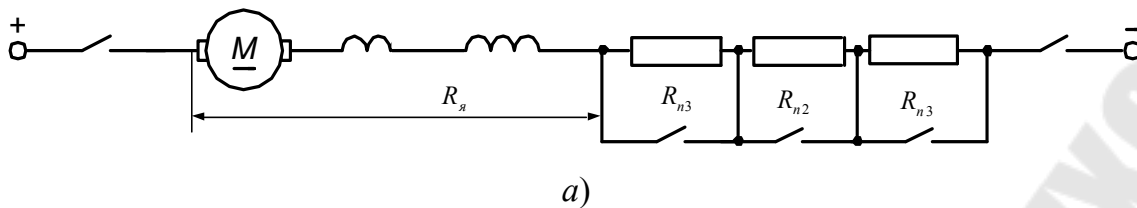


Рис. 4.2. Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения (а) и построение лучевой диаграммы (б)

Порядок построения следующий:

1. Строится естественная характеристика 1 (рис. 4.2, б).
2. Исходя из желательных значений максимального момента определяется ток I_1 и рассчитывается полное сопротивление силовой цепи при неподвижном якоре $R = U / I_1$.

3. Предположительно для получения одинаковых значений максимальных и переключающих токов при заданном количестве ступеней задаются током I_2 и скорость двигателя $\omega_{н.д}$ в точке «q» при полностью введенном сопротивлении (аналитически):

$$\omega_{н.д} = \omega_{е.а} \frac{U - I_2 R}{U - I_2 R_я},$$

где $\omega_{е.а}$ – скорость на естественной характеристике в точке «a» при токе I_2 .

4. Через точки «a–b» и «q–h» проводятся прямые до пересечения в точке «O».
5. Из точки «O» проводятся лучи и строятся пусковые характеристики.

6. Находится полное пусковое сопротивление:
 $R_{\text{п}} = R_{\text{п1}} + R_{\text{п2}} + R_{\text{п3}} = R - R_{\text{я}}$ и сопротивление ступеней:

$$R_{\text{п1}} = \frac{fh}{bh} R_{\text{п}}, \quad R_{\text{п2}} = \frac{ef}{bh} R_{\text{п}}, \quad R_{\text{п3}} = \frac{uv}{bh} R_{\text{п}}.$$

Если при построении пусковых характеристик пики токов оказываются разными, то необходимо задаться иным значением I_2 и построение повторить.

При построении можно не строить сами характеристики, а определить значение скорости в точках «а» и «b».

Пример: ДПТ параллельного возбуждения с параметрами $P_{\text{н}} = 75$ кВт, $U_{\text{н}} = 220$ В, $I_{\text{н}} = 380$ А, $n_{\text{н}} = 900$ об/мин используется для автоматизации пуска, реверса и торможения в функции ЭДС.

Для данного двигателя необходимо:

- 1) рассчитать и построить естественную механическую характеристику;
- 2) рассчитать и построить две искусственные характеристики и характеристику торможения противовключением;
- 3) рассчитать пусковые и тормозные сопротивления;
- 4) определить, при каком напряжении происходят срабатывания реле KV1, KV2 и KV3.

Решение

1. Построение естественной механической характеристики.

Рассчитаем номинальный КПД двигателя:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} I_{\text{н}}} = \frac{75 \cdot 10^3}{220 \cdot 380} = 0,9.$$

Сопротивление обмотки якоря

$$R_{\text{я.н}} = \frac{0,5 \cdot U_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{н}})}{I_{\text{н}}} = \frac{0,5 \cdot 220 \cdot (1 - 0,9)}{380} = 0,029 \text{ Ом}.$$

Частота вращения идеального холостого хода, считая, что $I_{\text{я}} = I_{\text{н}}$:

$$n_0 = n_{\text{н}} \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я.н}}} = 900 \frac{220}{220 - 380 \cdot 0,029} = 950 \text{ об/мин}.$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_{\text{н}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{н}}}{n_0} = \frac{9550 \cdot 75}{900} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

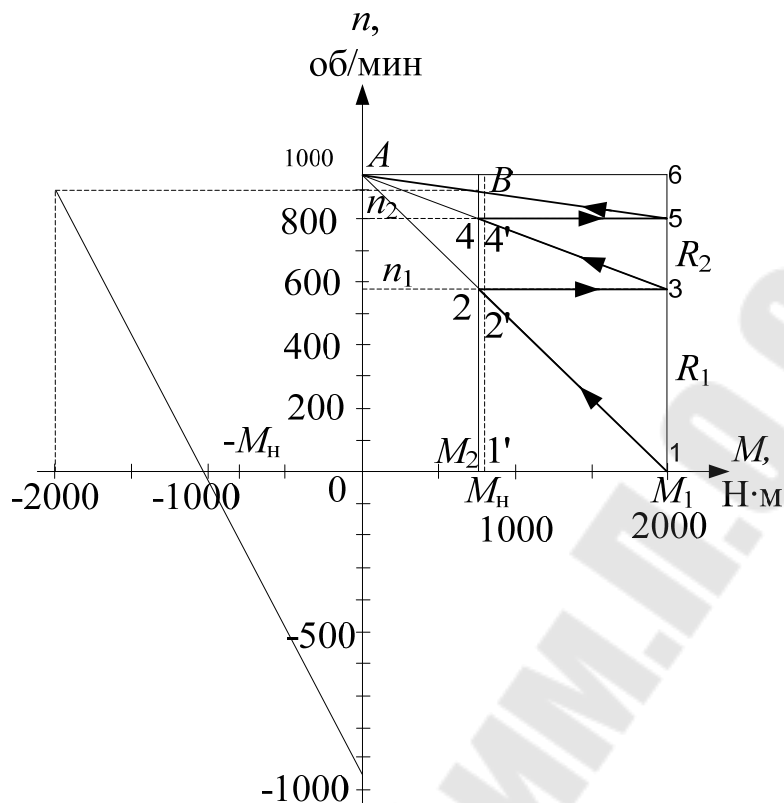


Рис. 4.3. Пусковая диаграмма

Естественную характеристику строим по двум точкам (рис. 4.3):

- точка A $n_{(A)} = n_0 = 950$ об/мин, $M_{(A)} = 0$;
- точка B $n_{(B)} = n_H = 900$ об/мин, $M_{(B)} = M_H = 800$ Н·м.

2. Построение искусственных и тормозной характеристик.

Для построения искусственных характеристик задаемся:

- а) наибольшим моментом $M_1 = (2 - 2,5)M_H$;
- б) моментом $M_2 = (1,1 - 1,2)M_c$, при котором происходит шунтирование пусковых сопротивлений.

Пусть:

$$M_1 = 2,5M_H = 2,5 \cdot 800 = 2000 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 0,94M_H = 0,94 \cdot 800 = 750 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент M_2 подбирается графически, в зависимости от мощности электродвигателя и числа пусковых ступеней.

Через точки, соответствующие моментам M_1 и M_2 , проводим линии, перпендикулярные оси моментов. Соединяем точки 1 и A . Получаем первую искусственную характеристику, по которой разгоняется двигатель с пусковым сопротивлением $R_1 + R_2$. В точке 2 срабатывает реле $KV1$ и закорачивается сопротивление R_1 . Двигатель

«переходит» в точку 3 и разгоняется по второй искусственной характеристике. В точке 4 срабатывает реле KV2, закорачивающее пусковое сопротивление R_2 , и двигатель выходит на естественную характеристику в точке 5. Если при построении пусковой диаграммы не попадаем в точку 5, то необходимо изменить значение M_2 независимо от предварительного расчета.

3. Расчет сопротивлений.

Рассчитаем номинальное сопротивление двигателя:

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{220}{380} = 0,579 \text{ Ом.}$$

Определим масштаб сопротивлений.

Длина отрезка [1–6] = 9,5 см соответствует $R_H = 0,579$ Ом, тогда

$$m_R = \frac{R_H}{[1-6]} = \frac{0,579}{9,5} = 0,0609 \text{ Ом/см.}$$

Сопротивления пускового реостата (отрезки берутся при номинальном моменте двигателя M_H) равны:

$$R_1 = m_R[1' - 2'] = 0,0609 \cdot 5,6 = 0,341 \text{ Ом;}$$

$$R_2 = m_R[2' - 4'] = 0,0609 \cdot 2,3 = 0,14 \text{ Ом.}$$

Сопротивление торможения противовключением равно (задаем-ся током $I_{\text{доп}} = 2,5I_H$):

$$R_{T\Sigma} = \frac{2U_H}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{я.н}} = \frac{2U_H}{2,5I_H} - R_{\text{я.н}} = \frac{2 \cdot 220}{2,5 \cdot 380} - 0,029 = 0,434 \text{ Ом.}$$

Определим напряжения срабатывания реле KV1, KV2 и KV3. При постоянном магнитном потоке ЭДС ДПТ прямо пропорциональна скорости $E = k\Phi\omega$. Поэтому катушку реле напряжения можно включать непосредственно на зажимы якоря. Однако напряжение на зажимах якоря $U_{\text{я}}$ отличается от $E_{\text{я}}$ на величину падения напряжения в обмотке якоря, тогда $U_{\text{я}} = E + I_{\text{я}}R_{\text{я}} = k\Phi\omega + I_{\text{я}}R_{\text{я}}$.

В соответствии с пусковой диаграммой (рис. 4.4) шунтирование пусковых сопротивлений происходит при моменте двигателя $M_2 = 0,94M_H$. Так как момент M пропорционален току $M = k\Phi I$, то величина тока, при котором происходит шунтирование, равна:

$$I_2 = 0,94 \cdot I_H = 0,94 \cdot 380 = 357 \text{ А.}$$

Определим напряжение срабатывания реле KV1:

$$U_{\text{ср1}} = U_{\text{KV1}} = k\Phi\omega_1 + I_2 R_{\text{я.н}} = 2,1 \cdot 61,7 + 357 \cdot 0,029 = 140 \text{ В},$$

где $\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 590}{30} = 61,7$ рад/с – угловая скорость, при которой шунтируется R_1 (по рис. 4.3);

$$k\Phi = \frac{M_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{800}{380} = 2,1 \text{ В} \cdot \text{с} \text{ – из формулы } M = k\Phi I.$$

Напряжение срабатывания реле KV2 определим аналогично:

$$U_{\text{ср1}} = U_{\text{KV2}} = k\Phi\omega_2 + I_2 R_{\text{я.н}} = 2,1 \cdot 85,9 + 357 \cdot 0,029 = 191 \text{ В},$$

где $\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 820}{30} = 85,9$ рад/с – угловая скорость, при которой шунтируется R_2 .

Определим напряжение срабатывания реле KV3, когда двигатель остановится ($\omega = 0$).

Напряжение на катушке KV3 может быть определено по формуле

$$U_{\text{KV3}} = U_{\text{с}} - (U_{\text{с}} + k\Phi\omega) \frac{R_x}{R_{\text{я}\Sigma}},$$

где $U_{\text{с}} = 220$ В – напряжение сети; $k\Phi = 2,1$ В · с – определено ранее; $\omega = 0$; $R_{\text{я}\Sigma} = R_{\text{я.н}} + R_1 + R_2 + R_{\text{т}}$ – суммарное сопротивление цепи якоря при пуске; R_x – часть сопротивления пускового реостата, которая зависит от точки подключения катушки реле KV3.

Как видно из предыдущей формулы, напряжение U_{KV3} зависит от величины R_x .

Зададимся отношением $\frac{R_x}{R_{\text{я}\Sigma}} = 0,5$, тогда

$$U_{\text{KV3}} = 220(220 + 2,1 \cdot 0)0,5 = 110 \text{ В}.$$

С учетом времени срабатывания аппаратов напряжение срабатывания реле KV3 равно:

$$U_{\text{ср3}} = 0,8U_{\text{KV3}} = 0,8 \cdot 110 = 88 \text{ В}.$$

При таком напряжении скорость двигателя практически равна нулю.

5. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

5.1. Выбор предохранителей

Предохранители и плавкие вставки к ним выбираются по номинальным напряжению и току. Номинальное напряжение предохранителей и вставок должно равняться или быть больше номинального напряжения сети, к которой подключена защищаемая нагрузка, т. е. $U_{н.пр} \geq U_c$, где $U_{н.пр}$ – номинальное напряжение предохранителя; U_c – номинальное напряжение сети.

Для надежной работы предохранителя как защитного аппарата при выборе номинальных токов плавкой вставки и патрона необходимо выполнить следующие основные условия:

– номинальный ток плавкой вставки по нагреву должен быть равен или несколько больше номинального тока защищаемой установки ($I_{н.вст} \geq I_{н.уст}$);

– плавкая вставка не должна перегорать: при пуске, кратковременных допустимых для двигателя перегрузках, и в них не должно происходить старение плавкой вставки под действием этих токов;

– должна быть обеспечена селективность срабатывания, т. е. при нарушении нормального режима работы отключаться должен только поврежденный участок электрической сети. Это осуществляется за счет того, что время срабатывания плавких вставок, стоящих выше в цепи, увеличивается на одну-две ступени по отношению к предохранителям, установленным ниже по схеме от пункта питания.

При пуске *асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором* пусковой ток может достигать значения $7I_{ном}$. По мере разгона пусковой ток падает до значения, равного номинальному току электродвигателя. Поэтому для защиты таких электродвигателей от коротких замыканий величина плавкой вставки предохранителя должна удовлетворять условию:

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{I_{н.дв} K_I}{\alpha},$$

где $I_{пуск}$ – пусковой ток двигателя; $I_{н.дв}$ – номинальный ток двигателя; K_I – кратность пускового тока; α – коэффициент, учитывающий условия пуска и длительность пускового периода ($\alpha = 2,5$ – нормальные (легкие) условия пуска, время разгона от 2 до 5 с (привода металло-

режущих станков с относительно небольшой инерцией механизма), $\alpha = 1,6-2,0$ – тяжелые условия пуска, время разгона больше 10 с (мощные вентиляторы, компрессоры, насосные установки, прессы, дробилки или работа в повторно-кратковременном режиме)).

Если предохранитель стоит в линии, питающей несколько двигателей, плавкую вставку рекомендуется выбирать по двум условиям:

$$I_{н.вст} \geq \Sigma I_{н.дв},$$
$$I_{н.вст} \geq \frac{\Sigma I_{н.дв} + (I_{п.дв} - I_{н.дв})}{\alpha},$$

где $\Sigma I_{н.дв}$ – сумма номинальных токов двигателей, подключенных к линии; $I_{п.дв} - I_{н.дв}$ – разность пускового и номинального токов берется для двигателя, у которого она наибольшая.

Ток плавкой вставки выбирается по большей из величин, определенных по этим формулам.

Плавкие вставки предохранителей для защиты *асинхронных двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока*, если они запускаются с помощью пусковых реостатов (кратность пускового тока не превышает 2,5), рекомендуется выбирать в соответствии с формулой

$$I_{н.вст} \geq (1,15 \div 1,25) I_{н.дв}.$$

Для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, за номинальный принимается ток в режиме продолжительности включения (ПВ) = 25 %.

Для расчета плавкой вставки при использовании предохранителей для защиты *цепей управления релейно-контакторных схем* поступают следующим образом. Рассматривают режимы работы релейно-контакторной схемы (пуск, торможение, реверс) и определяют наиболее тяжелый режим, т.е. включено наибольшее количество электрических аппаратов. Плавкая вставка выбирается по условию:

$$I_{н.вст} \geq I_{пmax} + \Sigma I_p,$$

где $I_{пmax}$ – пусковой ток катушки наибольшего аппарата; ΣI_p – сумма рабочих токов катушек аппаратов, кроме наибольшего, включенных в наиболее тяжелом режиме.

5.2. Выбор автоматических воздушных выключателей (автоматов)

Автоматы могут иметь электромагнитный, тепловой, комбинированный и другие расцепители. Для защиты электродвигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, номинальный ток электромагнитного расцепителя принимается равным току двигателя в режиме ПВ = 25 %.

Выбор автомата в общем случае осуществляется по двум условиям:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \quad I_{н.а} \geq I_{н.с},$$

где $U_{н.а}$ и $U_{н.с}$ – соответственно номинальные напряжения автомата и сети; $I_{н.а}$, $I_{н.с}$ – соответственно номинальные токи автомата и нагрузки.

Ток уставки электромагнитного расцепителя:

– для АД с короткозамкнутым ротором:

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 1,8) I_{п.дв};$$

– для АД с фазным ротором и двигателей постоянного тока:

$$I_{уст.эм} \geq (2,5 \div 3) I_{н.дв};$$

– для группы короткозамкнутых АД

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 1,8) [\sum I_{н.дв} + (I_{п.дв} - I'_{н.дв})];$$

– для групп двигателей с фазным ротором

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 2) I'_{н.дв} + \sum I_{н.дв},$$

где $I_{уст.эм}$ – ток уставки электромагнитного расцепителя; $I_{п.дв}$, $I_{н.дв}$ – соответственно пусковой и номинальный токи двигателя; $(I_{п.дв} - I'_{н.дв})$ – разность пускового и номинального токов для двигателя, у которого она наибольшая; $I'_{н.дв}$ – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Ток срабатывания (отсечки) $I_{ср.эм}$ электромагнитного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току $I_{кр}$ линии (установки):

$$I_{ср.эм} \geq 1,25 I_{кр}.$$

Выбор автомата с электромагнитным расцепителем для защиты цепи управления релейно-контакторной схемы аналогичен выбору предохранителей.

Ток уставки *теплового расцепителя и теплового реле*:

– при питании одного электродвигателя

$$I_{уст.тр} \geq I_{н.дв};$$

– при затяжных пусках двигателя

$$I_{уст.тр} \geq (1,2 \div 1,25) I_{н.дв};$$

– с учетом температуры окружающей среды

$$I_{уст.тр} = I_{н.дв} / \beta,$$

где $\beta = 1 + 0,006(40 - t_{окр})$ – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды; $t_{окр}$ – температура окружающей среды.

Автоматические выключатели с *комбинированным расцепителем* выбирается по двум условиям:

$$I_{н.тр} \geq (1,15 \div 1,25) I_{н.дв};$$

$$I_{ср.эм.(отс)} \geq 1,25 I_{п.дв},$$

где $I_{н.тр}$ – номинальный ток уставки теплового расцепителя; $I_{ср.эм(отс)}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечка).

5.3. Выбор токовых реле

Выбор *максимально-токовых реле* (для защиты от токов короткого замыкания) осуществляется из условия $I_{н.р} \geq I_{н.дв}$, а для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме при ПВ = 25 % (рис. 5.1):

$$I_{н.дв} = I_{н.дв25},$$

где $I_{н.р}$, $I_{н.дв}$ – номинальные токи реле и защищаемого двигателя; $I_{н.дв25}$ – номинальный ток двигателя, работающего при ПВ = 25 %.

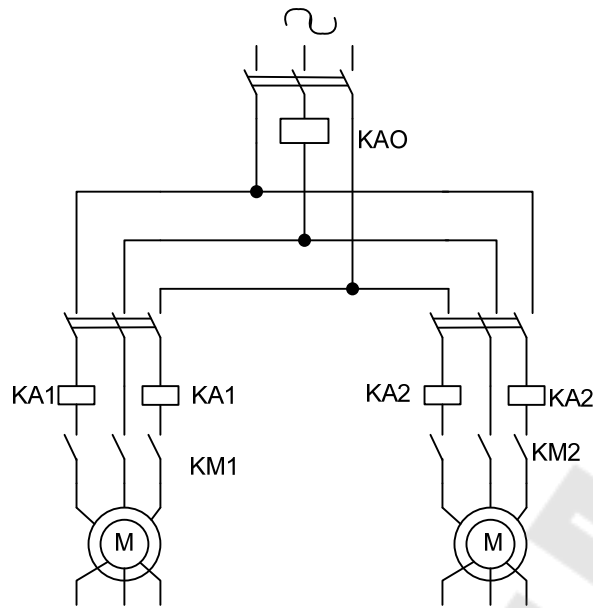


Рис. 5.1. Схема включения максимальных токовых реле

Уставка реле по току срабатывания для АД с короткозамкнутым ротором должна быть $I_{уст} \geq (1,3 \div 1,5) I_{п.дв}$, где $I_{п.дв}$ – пусковой ток двигателя. Для защиты двигателей с фазным ротором и ДПТ ток срабатывания выбирается из условия

$$I_{уст} \geq (2,25 \div 2,5) I_{н.дв}$$

Если несколько двигателей с фазным ротором питаются через общий ввод (рис. 5.1), уставка реле КА1 и КА2 должна быть $I_{уст} \geq (2,25 \div 2,5) I_{н.дв}$. Уставка реле КА0 выбирается из условия

$$I_{уст} = (1,25 \div 1,5) I'_{н.дв25} + \sum I_{н.дв25},$$

где $I'_{н.дв25}$ – номинальный ток двигателя наибольшей мощности (режим ПВ = 25 %); $\sum I_{н.дв25}$ – сумма номинальных токов всех двигателей, защищаемых реле КА0.

Если токовое реле используется в качестве *реле управления по-лем*, то

$$I_{вкл} \approx I_1, \quad I_{отк} = I_{вкл} / K_B,$$

где $I_{отк}$, $I_{вкл}$ – токи включения и отключения реле; K_B – коэффициент возврата реле (должен быть как можно больше); I_1 – максимально допустимый ток на пусковой диаграмме.

Если токовое реле используется в качестве *реле обрыва поля*, то

$$I_{\text{отк}} = 0,9I_{\text{вmin}}; I_{\text{вmin}} < I_{\text{вкл}} \leq 0,85I_{\text{в.н}},$$

где $I_{\text{в.н}}$ – номинальный ток возбуждения двигателя; $I_{\text{вmin}}$ – ток возбуждения при ослабленном магнитном потоке двигателя.

5.4. Выбор контакторов и пускателей

Выбор силовых аппаратов необходимо производить с учетом следующих основных требований: напряжение и максимальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и допустимому длительному току цепи, аппараты должны без повреждений включать пусковой ток нагрузки и отключать полный рабочий ток, а также без разрушения допускать отключение пускового тока.

При выборе контакторов или пускателей, если не учитывать количество главных и вспомогательных контактов, продолжительность включения, число включений в час и требуемую электрическую износостойкость контактов, следует руководствоваться условиями:

$$I_{\text{н.к}} \geq I_{\text{н.дв}}, I_{\text{н.в}} \geq I_{\text{п}},$$

где $I_{\text{н.к}}$ – номинальный ток главных контактов контактора; $I_{\text{н.в}}$ – допустимый ток включения контактора; $I_{\text{н.дв}}$, $I_{\text{п}}$ – номинальный и пусковой токи двигателя.

Если окажется, что число вспомогательных контактов в выбранном контакторе или пускателе меньше числа контактов данного аппарата в принципиальной электрической схеме, то для «размножения» контактов выбирают промежуточное реле. Катушка этого реле получает питание от одного контакта уже выбранного аппарата, а все недостающие контакты этого аппарата заменяются на соответствующие контакты промежуточного реле.

Содержание

1. Релейно-контакторное управление электроприводами	3
2. Принципы автоматического управления пуском и торможением двигателя постоянного тока	3
2.1. Схемы автоматического управления пуском двигателя постоянного тока.....	6
2.2. Автоматизация управления торможением двигателя постоянного тока.....	11
3. Выполнение лабораторных работ	14
4. Расчет пусковых сопротивлений.....	16
4.1. Графический и аналитический методы расчета пусковых сопротивлений двигателя постоянного тока	16
4.2. Расчет пусковых сопротивлений для двигателя постоянного тока при помощи лучевой диаграммы	19
5. Выбор электрических аппаратов.....	25
5.1. Выбор предохранителей.....	25
5.2. Выбор автоматических воздушных выключателей (автоматов)	27
5.3. Выбор токовых реле	28
5.4. Выбор контакторов и пускателей	30

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Вепер Леонид Владимирович
Логвин Владимир Васильевич**

РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Т. Н. Мисюрова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 30.11.22.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,10.

Изд. № 18.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель