

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И.Г. Однокопылов, С.М. Семенов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД. СТАТИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 621.83

ББК 00000

О 00

Однокопылов И.Г., Семенов С.М.

О 00

Электрический привод. Статика. Лабораторный практикум: учебное пособие / И.Г. Однокопылов, С.М. Семенов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 135 с.

Лабораторный практикум содержит описания пяти лабораторных работ по курсам «Основы электропривода», «Электрический привод», «Автоматизированный электропривод» и предназначен для студентов всех форм обучения электромеханической и энергетических специальностей.

В данном практикуме приведена методика снятия механических характеристик, позволяющая получить практические навыки в изучении электропривода.

УДК 621.83

ББК 00000

Рецензенты

Кандидат технических наук, доцент зав. каф. ЭПА СГТА

С.Н. Кладиев

Кандидат технических наук, специалист по силовой электронике
отдела авт. эл. привода ООО «ЭлеТим»

В.Н. Черемисин

© Однокопылов И.Г., 2009

© Томский политехнический университет, 2009

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

ЧАСТЬ 1

РАЗДЕЛ 1. Методика снятия механических характеристик электродвигателей и порядок выполнения работ

В данном руководстве приводятся классификация электроприводов, основные сведения о механических характеристиках электродвигателей и производственных механизмов, энергетических режимах работы электрических машин, уравнениях движения электропривода.

В указаниях описан основной способ создания нагрузочных моментов на валу электродвигателей, рассмотрена методика определения моментов, развиваемых электрическими машинами.

Кроме того, изложены основные требования, предъявляемые к студентам при выполнении практических работ по курсу «Теория электропривода», «Электрический привод», «Автоматизированный электропривод», а также правила техники безопасности при работе на лабораторных стендах.

Руководство рассчитано на студентов технических вузов и имеет целью дать основные понятия об электроприводе и привить практические навыки по эксплуатации электроприводов.

1.1. Понятие «электропривод» и его классификация

Под электроприводом понимается электромеханическая система, служащая для преобразования электрической энергии в механическую энергию движения рабочих органов машин и управления технологическими процессами [1,3].

Электропривод состоит из четырех частей:

- электродвигательного устройства (преобразует электрическую энергию в механическую);
- преобразовательного устройства (служит для изменения и регулирования параметров электрической энергии, поступающей к электродвигательному устройству);
- устройства управления (обеспечивает управление процессом преобразования энергии);
- передаточного устройства (служит для согласования момента, частоты вращения, вида и характера движения электродвигательного устройства и рабочих органов машин).

Принято классифицировать все многообразие различных типов электроприводов по следующим признакам:

- По виду движения (вращательный, поступательный, однонаправленный, реверсивный, возвратно-поступательный, непрерывный, дискретный).
- По принципам регулирования скорости и положения (нерегулируемый, регулируемый, следящий, программно-управляемый, адаптивный, позиционный).
- По роду электрического преобразовательного устройства (электромашинные, магнитные усилители, полупроводниковые преобразователи).
- По роду потребляемого тока (постоянного тока, переменного тока).
- По роду механического передаточного устройства (безредукторный, редукторный).
- По способу передачи механической энергии рабочему органу (индивидуальный, взаимосвязанный, групповой).

1.2. Основные сведения о механических характеристиках электродвигателей и механизмов

Механические характеристики электродвигателей постоянного и переменного токов представляют собой зависимость их скорости вращения (частоты вращения) от развиваемого ими электромагнитного момента, то есть $n = f(M)$ или $\omega = f(M)$ [3,4].

Механические характеристики электродвигателей подразделяются на естественные и искусственные:

- естественная механическая характеристика электродвигателя соответствует паспортной схеме его включения, номинальным параметрам питающей сети и отсутствию добавочных активных и реактивных сопротивлений в цепях электродвигателя (имеется единственная естественная характеристика для данного электродвигателя);
- искусственные механические характеристики электродвигателя получены путем изменения схемы его включения, либо варьирования параметров питающей сети, либо введением добавочных сопротивлений в какую-либо цепь электродвигателя, а также путем сочетания указанных мер воздействия на электродвигатель (имеется множество различных искусственных характеристик для данного электродвигателя).

В процессе снятия механической характеристики электродвигателя его схема включения, параметры питающей сети, величины добавочных сопротивлений в цепях электродвигателя должны оставаться неизменными.

Вид естественных механических характеристик для различных типов электродвигателей представлен на рис. 1.

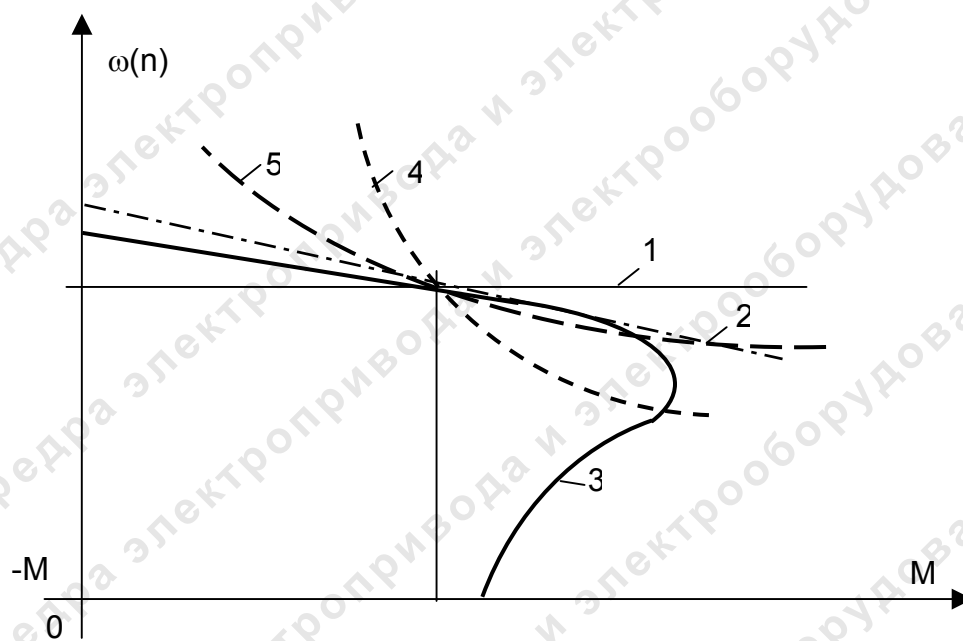


Рис. 1. Механические характеристики электродвигателей:
 1 – синхронного; 2 – постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением; 3 – асинхронного; 4 – постоянного тока с последовательным возбуждением; 5 – постоянного тока смешанного возбуждения

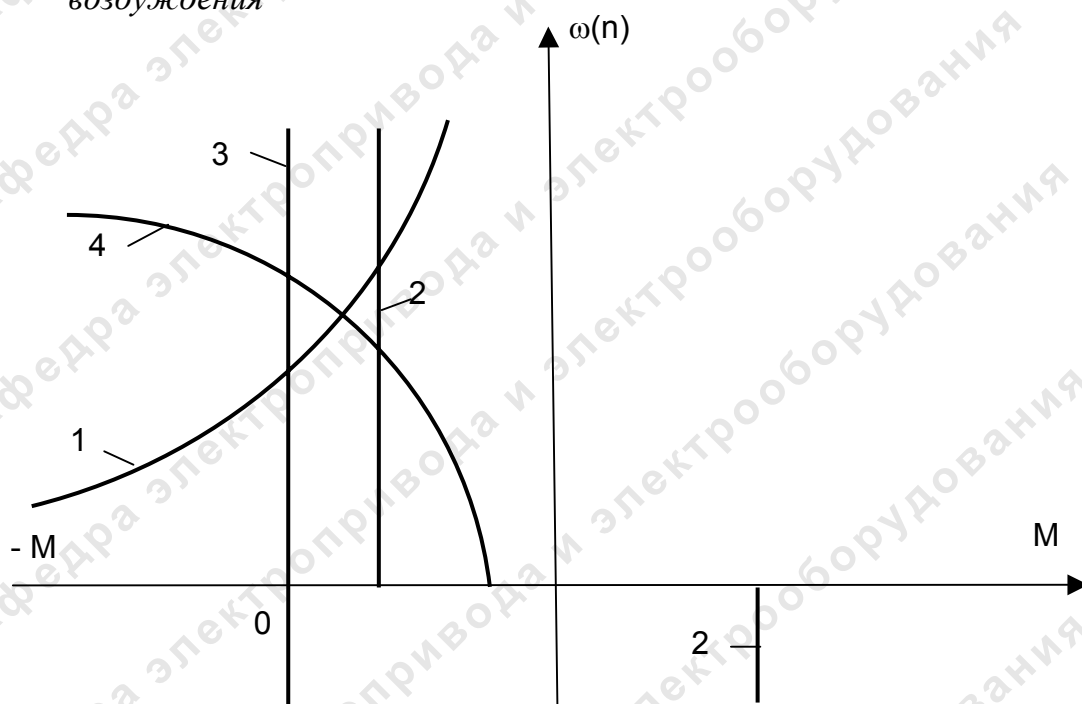


Рис. 2. Механические характеристики производственных механизмов:
 1 – механизма главного движения металлообрабатывающих станков;
 2 – транспортера; 3 – подъемного механизма; 4 – вентилятора

Нагрузкой электродвигателя, как правило, является какой-либо производственный механизм. Механическая характеристика производственного механизма представляет собой зависимость его скорости вращения (частоты вращения) от момента, создаваемого механизмом, т.е. $n_M = f(M_M)$ или $\omega_M = f(M_M)$ [2,3].

Вид механических характеристик ряда типов производственных механизмов представлен на рис. 2.

По характеру действия моменты производственных механизмов подразделяются на активные и реактивные:

- активный момент - имеет постоянное направление действия, которое не зависит от направления вращения производственного механизма (рис. 2, характеристика 3). Активный момент способен приводить в движение производственный механизм без воздействия электродвигателя;
- реактивный момент - имеет направление действия, противоположное направлению вращения производственного механизма (рис. 2, характеристика 2). Реактивный момент не способен приводить в движение производственный механизм, поскольку является следствием движения.

1.3. Энергетические режимы работы электрической машины

Электрическая машина может работать в двигательном или генераторном режимах. Характерные механические характеристики электрической машины постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением в различных режимах ее работы приведены на рис. 3 [3].

Здесь имеем:

- двигательный режим - направление вращения электрической машины совпадает с направлением создаваемого ею момента (участок 1 от точки А до точки В при прямом направлении вращения и участок 2 от точки D до точки С при обратном направлении вращения, т.е. отрезки механических характеристик в I и III квадрантах).

Электрическая энергия сети преобразуется в механическую энергию и отдается производственному механизму сетью.

- генераторный режим работы параллельно с сетью (торможение с рекуперацией энергии в сеть) - направления вращения и создаваемого момента не совпадают, направление вращения такое же, как и в двигательном режиме для рассматриваемой механической характеристики. Скорость вращения превышает скорость идеального холостого хода (участок 3 при прямом направлении вращения и участок 4 при обратном

направлении вращения, т.е. отрезки характеристик во II и IV квадрантах);

- генераторный режим работы последовательно с сетью (торможение противовключением) - направления вращения и создаваемого момента не совпадают, направление вращения противоположно направлению вращения в двигательном режиме для рассматриваемой механической характеристики (участок 5 при прямом направлении вращения, участок 6 при обратном направлении вращения, т.е. во II и IV квадрантах);

- режим автономного генератора (динамическое торможение) - направления вращения и создаваемого момента не совпадают, направление вращения совпадает с направлением вращения в двигательном режиме, механическая характеристика проходит через начало координат (участок 7 при прямом направлении вращения и участок 8 при обратном направлении вращения, т.е. характеристики во II и IV квадрантах).

Все генераторные режимы работы являются тормозными режимами. При этом механическая энергия, подаваемая на вал электрической машины, преобразуется в электрическую энергию.

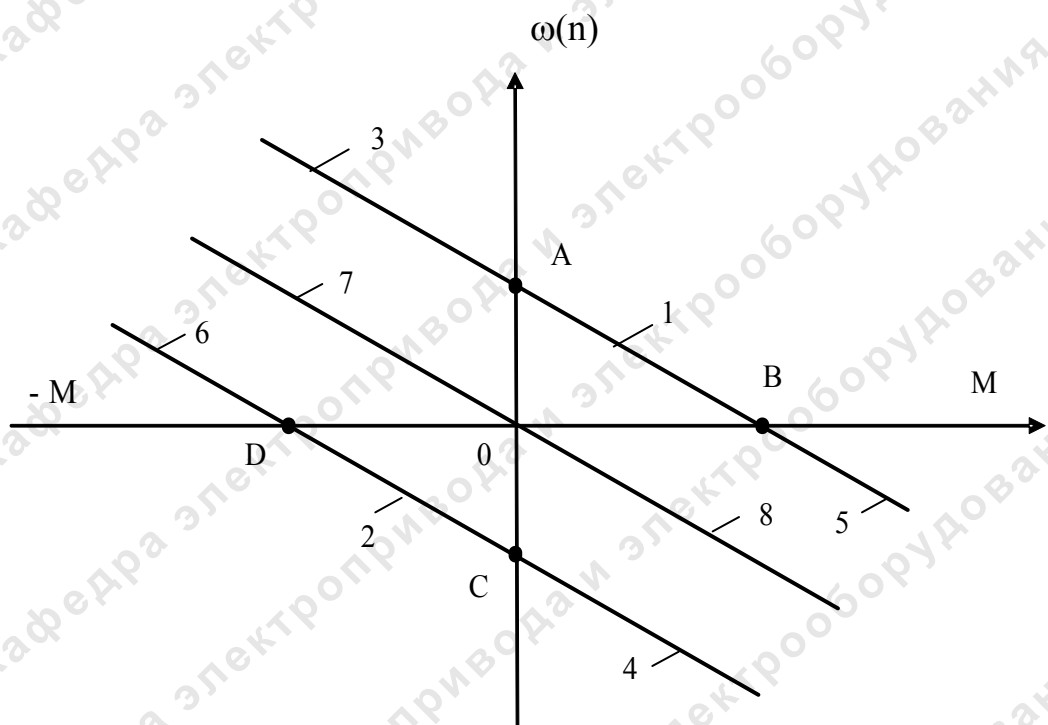


Рис. 3. Механические характеристики электрической машины постоянного тока независимого возбуждения

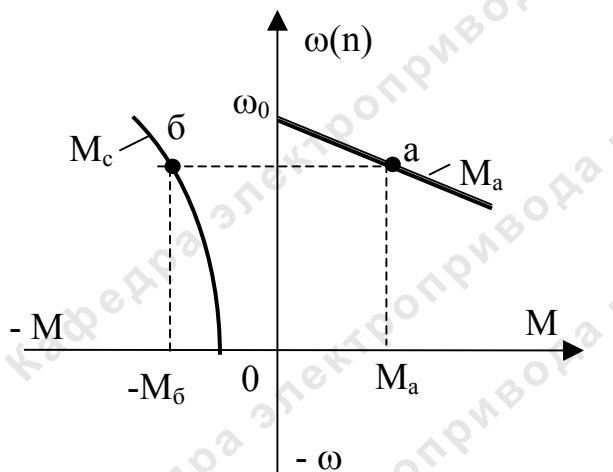


Рис. 4. Механические характеристики двигателя и производственного механизма

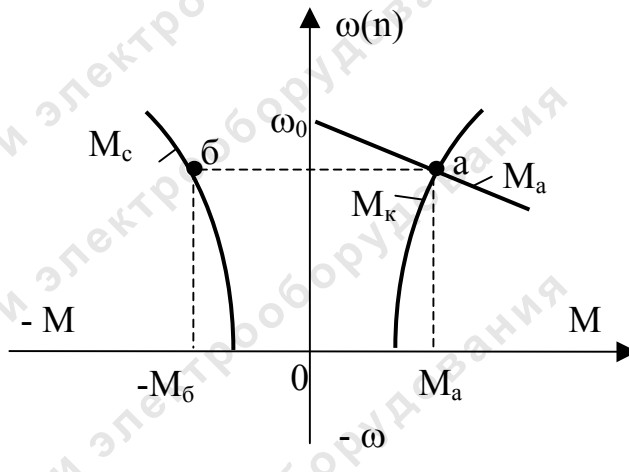


Рис. 5. Определение установившегося режима работы электропривода

1.4. Работа электропривода в статическом режиме

В общем случае на любой вращающийся элемент кинематической цепи электропривода действует совокупность моментов, определяющих характер его движения [1,4].

Принято анализировать закономерности движения электропривода на таком его элементе, как вал электродвигателя, являющийся неотъемлемой частью любого электропривода вращательного движения.

Основное уравнение движения, записанное относительно вала электродвигателя:

$$M + M_c = M_{\text{дин}}, \quad (1)$$

где M – развиваемый двигателем электромагнитный момент; M_c – момент сопротивления, приложенный к валу электродвигателя со стороны производственного механизма;

$M_{\text{дин}} = \frac{J_{\Sigma} d\omega}{dt}$ – динамический момент; J_{Σ} – момент инерции вращающихся масс, приведенный к валу электродвигателя;

$\frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение вала электродвигателя.

В статическом (установившемся) режиме работы электропривода, когда $\frac{d\omega}{dt} = 0$ и $M_{\text{дин}} = 0$, уравнение движения вала электродвигателя имеет вид:

$$M + M_c = 0. \quad (2)$$

Это означает:

- Моменты M и M_c равны по абсолютной величине.
- Моменты M и M_c противоположны по знаку, т.е. по направлению своего действия.
- Значения моментов M и M_c могут быть как положительными так и отрицательными в зависимости от режима работы электропривода.

На рис. 4 представлены механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения (M) и производственного механизма (M_c) в функции угловой скорости вала электродвигателя (ω), а также показаны точки **а** и **б** на механических характеристиках M и M_c , для которых выполняются равенства:

- $\omega_a = \omega_b = \omega_{уст}$ (угловая скорость вала равна угловой скорости вала в установившемся режиме работы).
- $|M_a| = |-M_b|$ (моменты двигателя и производственного механизма в точках **а** и **б** равны по абсолютной величине).
- $(M_a) + (-M_b) = 0$ или $M_a = M_b$ (моменты двигателя и производственного механизма в точках **а** и **б** противоположны по направлению).

Для удобства нахождения точки установившегося режима работы электропривода принято:

1. Определять зависимость угловой скорости электродвигателя от момента, развиваемого электродвигателем для уравнивания (компенсации) момента сопротивления производственного механизма (M_k на рис. 5). Данная механическая характеристика симметрична механической характеристике производственного механизма относительно оси ординат (ось ω на рис. 5).

2. Определять точку пересечения механической характеристики электродвигателя и характеристики $\omega = f(M_k)$, которая является точкой устойчивой работы электропривода с параметрами $\omega = \omega_a$, $M = M_a$. В данной точке момент электродвигателя M_a равен по величине такому моменту, который компенсирует противоположно направленный момент сопротивления производственного механизма M_a . При этом электропривод вращается с угловой скоростью $\omega_a = \omega_{уст}$.

Необходимо отметить, что точка установившейся работы электропривода (точка **а** на рис. 5) всегда лежит на механической характеристике электродвигателя, а ее положение на данной характеристике определяется величиной и направлением действия момента сопротивления производственного механизма M_c т. е. нагрузкой на валу электродвигателя.

Следовательно, для определения механической характеристики электродвигателя экспериментальным путем необходимо изменять момент нагрузки на его валу и фиксировать значения угловой скорости при каждой установленной нагрузке после достижения установившегося режима работы $\left(\frac{d\omega}{dt} = 0\right)$.

При этом момент электродвигателя может быть определен расчетным путем по его электрическим параметрам, либо косвенным путем по величине момента нагрузки на валу электродвигателя.

Примечание.

В технической литературе механические характеристики для компенсации моментов сопротивления производственных механизмов ($\omega = f(M_K)$) условно обозначают как механические характеристики производственных механизмов ($\omega = f(M_C)$).

В дальнейшем все обозначения в методических указаниях приводятся в соответствии с принятыми в технической литературе обозначениями.

1.5. Методические указания по снятию механических характеристик электрических двигателей

1. Методика экспериментального определения и расчета механических характеристик электрических двигателей

Значительное количество работ в лаборатории электропривода посвящено получению опытным путем механических характеристик электродвигателей постоянного и переменного токов, представляющих собой зависимость угловой скорости двигателя от его электромагнитного момента.

Характеристика $\omega = f(M)$ испытуемого двигателя (ИД) легко может быть снята экспериментально, если в качестве нагрузочного устройства использовать двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), скорость которой регулируется в широких пределах. В лаборатории электропривода используются два способа регулирования скорости нагрузочной машины (НМ):

- путем регулирования сопротивления реостата в якорной цепи и величины магнитного потока **при работе НМ** в режиме динамического торможения с независимым возбуждением;
- путем регулирования сопротивления реостата в якорной цепи, величин магнитного потока и напряжения питания НМ в режиме работы двигателем или генератором параллельно с сетью.

Оба указанных способа реализуются в лабораторных работах с помощью электромеханических устройств, аналогичных представленному на рис. 6.

В рассматриваемой схеме в качестве испытуемого двигателя используется асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором D1 (в лабораторных стендах в качестве испытуемого двигателя могут быть применены электродвигатели других типов). Вал **испытуемого** электродвигателя D1 механически соединен с валом нагрузочной машины **постоянного тока D2**.

Момент **испытуемого двигателя D1** в установившемся режиме работы может быть определен косвенным методом как алгебраическая сумма:

$$M_1 = M_2 + \Delta M, \quad (3)$$

где M_2 – электромагнитный момент нагрузочной машины D2;

ΔM – момент, требуемый для компенсации потерь в агрегате (механических, магнитных).

На рис. 7 показаны отдельно $\omega = f(M_2)$, кривые $\omega = \psi(\Delta M)$ и результирующая кривая $\omega = f(M_1)$, представляющая собой механическую характеристику **испытуемого двигателя D1**. Необходимо четко понимать, что правая часть выражения (3) представляет собой алгебраическую сумму моментов, то есть, знаки моментов M_2 и ΔM могут быть различными.

В тех случаях, когда нагрузочная машина D2 работает в двигательном режиме, она покрывает потери в агрегате; последнее имеет место в тормозных режимах **работы двигателя D1**. В этих случаях абсолютное значение момента двигателя D1 определяется следующим образом:

$$|M| = |M_2| - |\Delta M|.$$

В случае двигательного режима работы двигателя D1, машина D2 работает генератором, следовательно, потери в агрегате покрываются самим испытуемым двигателем, а его момент находится по выражению:

$$|M| = |M_2| + |\Delta M|.$$

Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что величина пускового момента (**при $\omega = 0$**) должна определяться графически, приблизительно по значениям момента при минимальных угловых скоростях в двигательном и тормозном режимах.

Электромагнитный момент нагрузочной машины D2 может быть определен на основании экспериментальных значений токов ее якоря в установившихся режимах работы:

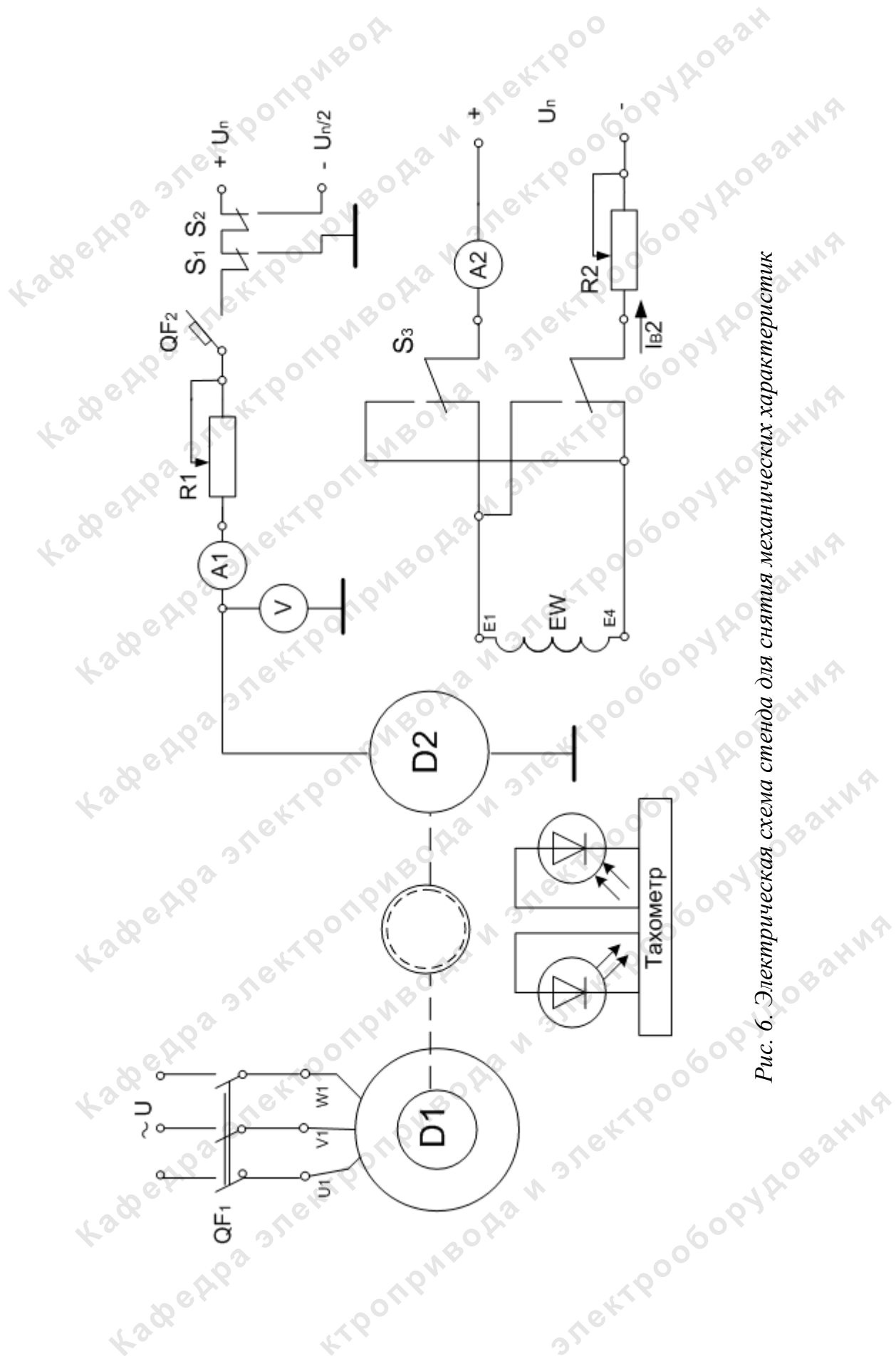


Рис. 6. Электрическая схема стенда для снятия механических характеристик

$$M_2 = C_2 \cdot I_2, \quad (4)$$

где C_2 – коэффициент пропорциональности между током якоря и моментом (коэффициент связи).

Данный коэффициент C_2 может быть определен как расчетным, так и опытным путем при тарировании нагрузочной машины D2 по следующим зависимостям:

– расчетным путем по паспортным данным электрической машины:

$$C_2 = \frac{U_H - I_H \cdot R}{\omega_H}, \quad (5)$$

где U_H , I_H , R , ω_H – соответственно номинальное напряжение питания, номинальный ток якоря, сопротивление якорной цепи, номинальная частота вращения машины D2;

– опытным путем:

$$C_2 = \frac{E_2}{\omega_2}, \quad (6)$$

где E_2 , ω_2 – соответственно ЭДС якорной обмотки и частота вращения машины D2.

Поскольку коэффициент C_2 зависит от величины основного магнитного потока машины D2, то его величина определяется для ряда значений токов обмотки возбуждения E_W в соответствии с методическими рекомендациями выполнения конкретной лабораторной работы (подраздел 2 данного раздела 1.5).

Используя экспериментальные данные скорости вращения нагрузочной машины D2 и расчетные значения ее электромагнитного момента строится механическая характеристика **нагрузочной машины D2** ($\omega = f(M_2)$), представленная на рис. 7. Данная кривая похожа на механическую характеристику испытуемого двигателя D1, но является разрывной при изменении знака скорости.

В соответствии с выражением (3) для определения электромагнитного момента **испытуемого двигателя D1** необходимо к величине электромагнитного момента нагрузочной машины D2 прибавить (с учетом знака) момент, обусловленный механическими потерями и **потерями в стали**, который определяется из кривой момента **потерь** $\omega = \psi(\Delta M)$.

При снятии кривой момента потерь машина D2 работает двигателем (приводится во вращение с разной скоростью и в разных направлениях), а испытуемый двигатель D1 отключается от сети (если испытуе-

мый двигатель выполнен с фазным ротором, то размыкается его роторная цепь).

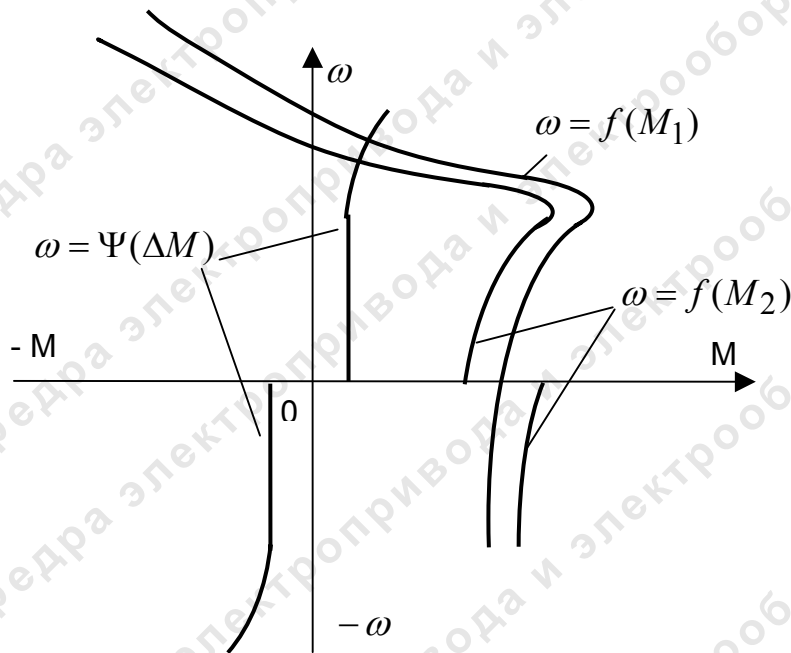


Рис. 7. Механические характеристики АД, нагрузочной машины и характеристика момента потерь

Порядок снятия кривой момента потерь подробно изложен в методических рекомендациях по выполнению конкретных лабораторных работ (подраздел 2 данного раздела 1.5).

Порядок работы на стенде.

Автоматическим выключателем (автоматом) QF1 подается питание на статор асинхронного двигателя D1 .

Напряжение на нагрузочную машину постоянного тока D2 подается от источника постоянного напряжения $U_{п}$. Величина напряжения $U_{п}$ на стенде может ступенчато регулироваться переключателем S1. Автоматический выключатель QF2 служит для включения и выключения цепи якоря машины D2. Переключатель S2 предназначен для включения машины D2 по схеме динамического торможения, либо по схеме работы двигателем. Переключатель S3 служит для реверсирования тока в обмотке возбуждения **двигателя D2** .

В исходном состоянии выключатели QF1 и QF2 разомкнуты.

Перед началом снятия механических характеристик запускается испытуемый электродвигатель D1 (включается автомат QF1) и фиксируются его скорость вращения холостого хода и направление вращения вала в двигательном режиме работы с помощью цифрового тахометра (либо визуально).

Далее испытуемый **двигатель D1** отключается от сети автоматом QF1 и запускается нагрузочная машина D2 (автомат QF2 включается) при максимальном значении величины сопротивления R_1 в цепи якоря и номинальном токе в обмотке возбуждения EW машины D2 (для снижения величины пускового тока). При этом фиксируются направление частоты вращения машины D2 и положение переключателя S3, соответствующее данному направлению вращения.

Затем запускают **испытуемый двигатель D1** и включают нагрузочную машину D2 на согласное с двигателем D1 вращение (пуск машины D2 осуществляется при максимальной величине сопротивления реостата R1 и номинальном токе в обмотке возбуждения EW).

С помощью реостатов R1 и R2, а также переключателя S1 устанавливается угловая скорость вращения двигателя D1, превышающая синхронную скорость на 20-30%. При этом фиксируется ток якоря нагрузочной машины D2 с помощью амперметра A1.

После этого скорость вращения нагрузочной машины D2 (и, соответственно, испытуемого двигателя D1) снижается посредством перехода на другую искусственную характеристику, осуществляемого путем регулирования сопротивлений реостатов R1 и R2, а также величины напряжения, подаваемого на **нагрузочную машину D2**.

На **рис. 8** приведены механическая характеристика испытуемого двигателя D1, ряд механических характеристик нагрузочной машины D2, полученных путем регулирования величины сопротивления реостата R1 и показанных сплошными линиями, а так же кривые момента потерь рассматриваемой электромеханической системы. На характеристиках двигателя D1 и машины D2 проставлены характерные точки равновесного состояния агрегата.

Точке *a* характеристики **двигателя D1** соответствует генераторный режим работы параллельно с сетью (рекуперативного торможения), нагрузочная машина D2 работает двигателем, развивая момент, **соответствующий отрезку o_1a_1** , уравновешивающий электромагнитный тормозной момент испытуемой машины D1 (отрезок o_1a) и момент потерь (отрезок o_1o_1'), т.е. $M_2 = M_1 + \Delta M$.

При переходе на характеристику с большей величиной сопротивления реостата R1 скорость **двигателя D1** уменьшается, становится равной синхронной (**точка б**) и может стать несколько меньше синхронной.

Чтобы снять область характеристики $\omega = f(M)$ двигателя D1 в двигательном режиме, нужно перевести нагрузочную машину D2 в ге-

нераторный режим. Для этого при полностью введенном реостате R1 переключателем S2 якорь **нагрузочной машины** D2 замыкается на реостат R1 и она переходит в генераторный режим (динамическое торможение).

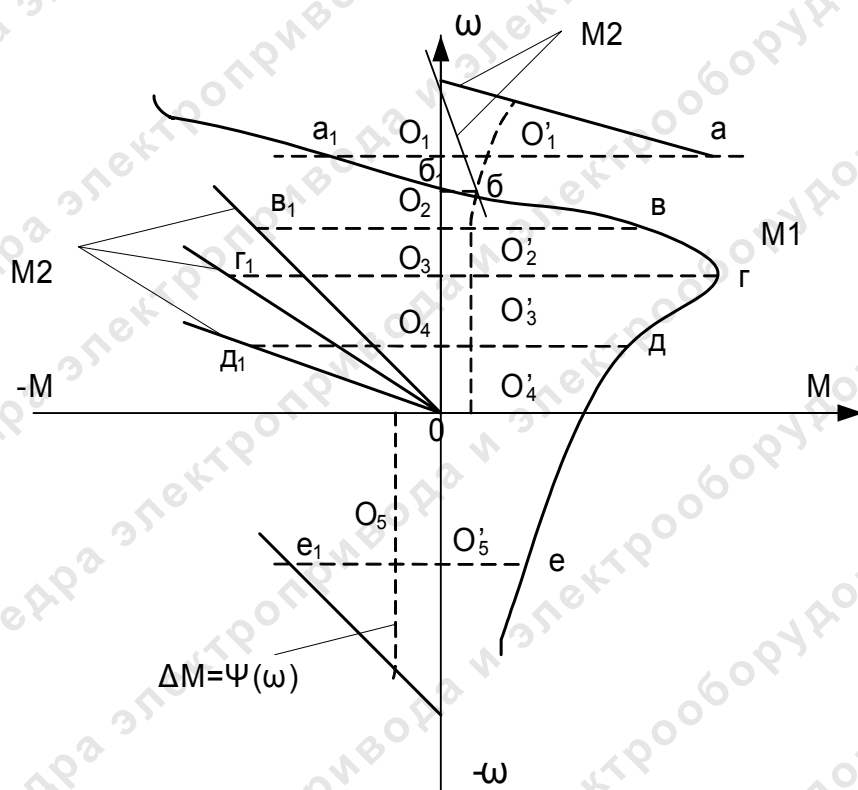


Рис. 8. Механические характеристики АД, нагрузочной машины и характеристика момента потерь

На рис. 8 отмечены три точки характеристики двигателя D1 двигательного режима v , z , d и три характеристики нагрузочной машины D2, соответствующие трем значениям сопротивлений ее якорной цепи. В данном случае **двигатель D1** покрывает потери в агрегате, поэтому для точки z электромагнитный момент двигателя D1 (отрезок $o_3 z$) равен сумме тормозного момента машины D2 (отрезок $o_3 z_1$) и момента потерь в агрегате (отрезок $o_3 o_3^1$), т.е. $M_1 = M_2 + \Delta M$. В точке d_1 нагрузочная машина работает на свое сопротивление якоря (сопротивление $R_1 = 0$).

Для дальнейшего снятия характеристик двигателя D1 необходимо снова перевести машину D2 в двигательный режим с обратным направлением вращения путем соответствующего включения переключателей S2 и S3 при введенном реостате R1.

Регулируя сопротивления реостатов R1 и R2 и напряжение на нагрузочной машине D2, можно снять необходимое количество точек в двигательном режиме работы машины D1 ниже точки d , а также в режиме противовключения ($\omega < 0$). Во всех точках также фиксируются скорость вращения и ток нагрузочной машины D2. В режиме противовключения двигателя D1 **нагрузочная** машина D2 работает двигателем, развивает момент, соответствующий отрезку $e_1 o_5$ и уравнивает момент двигателя D1 (отрезок $o_5 e$) и момент потерь (отрезок $o_5' o_5$), т.е. $M_1 = M_2 + \Delta M$.

На основании полученных экспериментальных значений тока якоря нагрузочной машины D2 определяется ее электромагнитный момент по выражению (4).

Снятие механических характеристик для случаев, когда испытуемый двигатель – машина постоянного тока, а также определение момента потерь производятся аналогичными методами.

2. Экспериментальное определение коэффициента пропорциональности между ЭДС вращения и угловой скоростью двигателей постоянного тока

Как известно, коэффициент связи (пропорциональности) между ЭДС и угловой скоростью вращения (то же между электромагнитным моментом и током якоря) двигателей постоянного тока определяется из выражений (4) и (6):

$$C = \frac{E}{\omega} = \frac{M}{I} = k \cdot \Phi, \quad (7)$$

где k – конструктивный коэффициент двигателя;

Φ – магнитный поток двигателя.

При постоянном магнитном потоке **коэффициент** связи C для данного двигателя становится постоянным, и если поток номинальный, то данный коэффициент может быть рассчитан по выражению (5), используя паспортные данные двигателя.

В электрических машинах лабораторных установок магнитный поток преимущественно изменяется, поэтому указанный коэффициент пропорциональности C также изменяется в зависимости от магнитного потока. Из выражения (7) видно, что для **определения** $C = \varphi(\Phi) = f(I_B)$ **необходимо выполнить измерения ЭДС и скорости в предполагаемом диапазоне изменения потока и рассчитать коэффициент C , по выше приведенному выражению.** Электрическая схема стенда для экспериментального определения коэффициента C **приведена** на рис. 6.

Если **испытуемый двигатель** независимого или параллельного возбуждения, то рекомендуется коэффициент C определять для испы-

туемого двигателя, так как при этом заметно упрощается расчет его электромагнитных моментов в различных режимах:

$$M_1 = C_1 \cdot I_1. \quad (8)$$

Для этого необходимо установить ток якоря равным нулю (разомкнуть цепь **якоря D1** либо компенсировать ЭДС **якоря D1** внешним источником напряжения) и вращать его нагрузочным двигателем D2, изменяя угловую скорость нагрузочного двигателя и ток возбуждения I_{B1} испытуемого двигателя. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

E_1	В						$C_1 = E_1/\omega$
ω	c^{-1}						
I_{B1}	А	$I_{B1.н}$				$I_{B1.мин}$	
C_1	В·с						

По данным таблицы 1 построить зависимость $C_1 = f(I_{B1})$.

При других типах испытуемого двигателя (последовательного возбуждения, асинхронный, синхронный) электромагнитные моменты испытуемого двигателя рассчитывают через момент нагрузочной машины:

$$M_1 = M_2 \pm \Delta M, \quad (9)$$

где M_2 – электромагнитный момент нагрузочной машины;

ΔM – момент потерь агрегата D1 + D2 .

Поэтому коэффициент связи в этих случаях находят для нагрузочной машины.

Для этого необходимо: **разомкнуть цепь якоря D2** ($I_2 = 0$) и вращать нагрузочную машину с помощью испытуемого двигателя; данные измерений вносить в таблицу 2, изменяя ток возбуждения нагрузочной машины, а также скорость испытуемого двигателя (если последнее возможно).

Таблица 2

E_2	В						$C_2 = E_2/\omega$
ω	c^{-1}						
I_{B2}	А	$I_{B2.н}$				$I_{B2.мин}$	
C_2	В·с						

По данным таблицы 2 построить зависимость $C_2 = f(I_{B2})$.

Экспериментальное определение момента потерь агрегата, состоящего из испытуемого двигателя и нагрузочной машины производится в нижеизложенной последовательности.

Отключить **испытуемый двигатель D1** от источника питания ($I_1 = 0$) и вращать агрегат (D1 + D2) двигателем D2 , изменяя в большом

диапазоне **скорость** ω введением добавочных сопротивлений в цепь якоря двигателя D2 и ослаблением его магнитного потока (рис.6). Данные измерений записать в таблицу 3. Значения коэффициента C_2 принять по характеристике $C_2 = f(I_{B2})$ или по таблице 2.

По данным таблицы 3 построить характеристику момента потерь агрегата $\omega = \Psi(\Delta M)$, для этого необходимо определить потери при различных скоростях с последующим расчетом полного момента испытуемого двигателя по выражению (9).

Таблица 3

I_{B2}	А	$I_{B2.H}$						$\Delta M = C_2 \cdot I_2$
I_2	А							
ω	c^{-1}							
C_2	В·с							
ΔM	Н·м							

1.6. Правила выполнения лабораторных работ и требования техники безопасности

1. К лабораторной работе студент готовится заранее, руководствуясь методическими указаниями по лабораторной работе и рекомендуемой литературой.

2. К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

3. Приходя на занятия, каждый студент должен иметь дневник проведения лабораторных работ, в котором вычерчивается схема опытной установки, приведена программа проведения работы, необходимые расчетные формулы и таблицы для внесения опытных и расчетных данных.

4. Перед началом занятия преподаватель проверяет готовность каждого студента к выполнению работы.

5. В соответствии с программой работы студент снимает опытные данные, производит необходимые расчеты и сравнивает их с опытными данными. Результаты проверяются и визируются преподавателем.

6. К следующему занятию студент представляет отчет по предыдущей работе. Отчет выполняется каждым студентом отдельно или группой студентов (бригадой) в соответствии с требованиями, приведенными в описании каждой лабораторной работы.

Все отчеты должны сопровождаться краткими пояснениями, свидетельствующими о сознательном применении расчетных зависимостей и методов построения характеристик электроприводов.

7. Запрещается замыкание и размыкание любых разъемов персонального компьютера и лабораторных стендов. Замыкание и размыкание разъемов может осуществлять инженер лаборатории при полном снятии напряжения.

8. За порчу приборов и аппаратуры, происшедшую по вине студентов, последние несут материальную ответственность.

9. Студент не допускается к лабораторной работе, если он не имеет дневника, не сдал отчет по предыдущей работе и не получил теоретический допуск к выполняемой работе.

10. Сборку испытываемой схемы, а также переключения проводников в схеме можно производить только при отсутствии напряжения на всех наборных панелях стенда.

11. Перед включением лабораторной установки необходимо предъявить собранную электрическую схему преподавателю для проверки. Включение установки и компьютера производится только с разрешения руководителя занятия.

12. Во время работы лабораторной установки запрещается касаться ее токоведущих и вращающихся (расположенных под стендами) частей, касаться экранов мониторов руками, карандашами и т.п.

13. Запрещается запускать на выполнение программы, а также изменять параметры и опции в выполняемых программах без разрешения преподавателя.

14. Не допускается использовать соединительные проводники с неисправной изоляцией.

15. Если выполнение лабораторной работы предполагает использование осциллографа, звукового генератора и других дополнительных приборов, то не следует допускать одновременного прикосновения к корпусу этих приборов и корпусу лабораторного стенда.

16. При работе в лаборатории следует соблюдать тишину и порядок на рабочем месте. По окончании работы рабочее место следует привести в порядок (сдать проводники, приборы и описания лаборанту или преподавателю, убрать со стенда посторонние предметы, поставить стулья на место и т.д.).

17. При обнаружении каких-либо признаков ненормальной работы оборудования (посторонний шум, дым, запах гари, обрыв соединительных проводников и т.п.) следует отключить лабораторную установку и заявить о неисправности преподавателю или лаборанту.

18. При возгорании стенда необходимо:

- отключить электропитание в лаборатории;
- ликвидировать очаг возгорания, используя штатные средства пожаротушения (огнетушитель, песок и т.д.);

- вызвать пожарных.

19. Пострадавшим от электрического тока должна быть оказана первая медицинская помощь:

- немедленное отключение той части электроустановки, которой касается пострадавший, при этом оказывающий помощь не должен прикасаться к пострадавшему без надлежащих мер предосторожности, чтобы самому не оказаться в электрическом контакте с токоведущей частью;

- если у пострадавшего отсутствуют сознание, дыхание, пульс, кожный покров синюшный и зрачки широкие (0,5 см в диаметре) нужно немедленно приступить к выполнению искусственного дыхания по способу «изо рта в рот» или «изо рта в нос» и наружного массажа сердца;

- в случае нарушения дыхания из-за западания языка выдвинуть нижнюю челюсть вперед, взявшись пальцами за ее углы, и поддерживать ее в таком положении, пока не прекратится западание языка;

- если у пострадавшего хорошо определяется пульс и необходимо проводить только искусственное дыхание, то интервал между искусственными вдохами должен составлять 5 с (12 дыхательных циклов в минуту);

- при искусственном дыхании и наружном массаже сердца нужно на каждое вдвухание производить 5 надавливаний на грудину. За 1 минуту необходимо сделать не менее 60 надавливаний и 12 вдвуханий, т.е. выполнить 72 манипуляции, поэтому темп реанимационных мероприятий должен быть высоким;

- вызвать «скорую помощь».

Виновные в нарушении правил работы, а также требований техники безопасности удаляются преподавателем из лаборатории.

1.7. Контрольные вопросы

1. Из каких основных частей состоит электропривод?
2. Дать определение электромеханической и механической характеристикам электродвигателя.
3. Что понимается под естественной и искусственной механическими характеристиками электродвигателя?
4. Какие параметры электродвигателя изменяются в процессе снятия механической характеристики?
5. Каков вид механических характеристик у наиболее распространенных типов электродвигателей?
6. Изобразить механические характеристики основных типов производственных механизмов.

7. Чем отличаются активные и реактивные моменты производственных механизмов?

8. Перечислить и дать характеристику основных энергетических режимов работы электрической машины.

9. Записать основное уравнение электропривода в статическом и динамическом режимах его работы.

10. Каким образом определить точку установившегося режима работы электропривода на его механической характеристике?

11. Как осуществить регулирование нагрузки испытуемого электродвигателя с использованием нагрузочной машины с регулируемым сопротивлением в якорной цепи и цепи обмотки возбуждения?

12. Что понимается под характеристикой момента потерь электропривода?

13. Каким образом учесть момент потерь при определении электромагнитного момента электрической машины косвенным методом в двигательном и генераторном режимах его работы?

14. Какова последовательность снятия механических характеристик электрической машины при использовании в качестве нагрузки машины постоянного тока независимого возбуждения с резистором в цепи якоря и обмотки возбуждения?

15. Как вычислить коэффициент связи между током якоря и моментом электрической машины расчетным путем с использованием паспортных данных двигателя?

16. Методика снятия характеристики момента потерь?

17. Как экспериментально определить коэффициент связи между током якоря и моментом электрической машины постоянного тока независимого возбуждения?

18. Перечислить основные требования по технике безопасности при **выполнении лабораторных работ.**

РАЗДЕЛ 2. Описание лабораторного стенда

Базовые эксперименты выполняются на комплекте типового лабораторного оборудования «Электрический привод». В ходе их воспроизводятся установившиеся процессы в электроприводах постоянного и переменного тока [5].

Типовой комплект лабораторного оборудования предназначен для выполнения лабораторных работ по учебной дисциплине «Электрический привод (общий курс)» и смежным с ней дисциплинам.

Аппаратная часть комплекта выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

- трехсоставной лабораторный стол со встроенным контейнером для хранения съемных функциональных блоков, проводников и методических материалов, рамами для установки необходимых в эксперименте функциональных блоков, выкатной полкой для клавиатуры компьютера и подставкой для системного блока последнего;
- электрические машины (выполненные в виде электромашинного агрегата), трансформаторы и элементы электрических цепей;
 - источники питания;
 - измерительные преобразователи и приборы.

Питание комплекса осуществляется от трехфазной электрической сети напряжением $\sim 380\text{В}$ с нейтральным и защитным проводниками.

- Потребляемая мощность Вт, не более 500;
- Габариты (длина / ширина / высота), мм 2750×900×1600;
- Масса, кг, не более 250.

2.1. Тактико-технические параметры электромашинного агрегата и функциональных блоков

Электромашинный агрегат предназначен для электромеханического преобразования энергии постоянного или переменного тока, получения сигналов, определяющих частоту вращения и угловое положение подвижных частей агрегата. Он включает сочлененные между собой и установленные на едином основании машину постоянного тока, машину переменного тока, маховик и преобразователь угловых перемещений.

Параметры электромашинного агрегата приведены в таблице 4.

Таблица 4

Наименование	Параметры
1	2
Машина постоянного тока (тип 101.2)	
Номинальная мощность, Вт	90
Номинальное напряжение якоря, В	220
Номинальный ток якоря, А	0,56
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	1500
Возбуждение	Независимое /параллельное/ последовательное
Номинальное напряжение возбуждения, В	220
Номинальный ток обмотки возбуждения, А	0,2
КПД, %	57,2
Направление вращения	любое
Режим работы	двигатель- ный/генераторный
Машина переменного тока (тип 102.1)	
Число фаз на статоре	3
Число фаз на роторе	3
<i>Как синхронная машина</i>	
Номинальная активная мощность, Вт	100
Номинальное напряжение, В	230
Схема соединения обмоток статора	Y
cos φ _н	1
Номинальный ток статора, А	0,26
Ток возбуждения холостого хода, А	1,6
Номинальное напряжение возбуждения, В	22
Номинальный ток возбуждения, А	1,85
Направление вращения	любое
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	1500
<i>Как асинхронная машина</i>	
Частота тока, Гц	50
Номинальная полезная активная мощность, Вт	30

Продолжение таблицы 4

1	2
Схема соединения обмотки ротора	Y
Номинальное напряжение, В	127
Схема соединения обмотки статора	Y
Номинальный ток статора, А	0,35
КПД, %	36
$\cos \varphi_H$	0,73
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	1250
Маховик	
Момент инерции, Н·м·с ²	0,032
Масса, кг, не более	7
Преобразователь угловых перемещений (тип 104)	
Модель	BE 178A
Количество выходных каналов	6
Выходные сигналы	серия импульсов и опорный импульс
Число импульсов за оборот в серии	2500
Диапазон изменения рабочих частот вращения вала, мин ⁻¹	0..6000

Функциональные блоки, используемые в лабораторной установке (таблица 5).

Таблица 5

Наименование блоков	Параметры	Код
1	2	3
Трехфазный источник питания	~ 400 В; 16 А Ток срабатывания УЗО – 30 мА	201.2
Источник питания машины постоянного тока	Цепь якоря – 0...250 В; 3 А Цепь возбуждения – 200 В; 1 А	206.1

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Тиристорный преобразователь / регулятор	$\sim 3 \times 400 \text{ В}; 2 \text{ А}$	207.2
Возбудитель машины переменного тока	$- 0 \dots 40 \text{ В};$ $3,5 \text{ А}$	209.2
Преобразователь частоты	$\sim 3 \times 0 \dots 230 \text{ В}; 3 \text{ А};$ $0 \dots 100 \text{ Гц}$	217
Трехполюсный выключатель	$\sim 400 \text{ В}; 10 \text{ А}$	301.1
Терминал	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд	304
Активная нагрузка	$3 \times 0 \dots 50 \text{ Вт};$ $220/380 \text{ В}$	306.1
Реостат для цепи ротора машины переменного тока	$3 \times 0 \dots 40 \text{ Ом};$ 1 А	307.1
Реостат возбуждения машины постоянного тока	$0 \dots 2000 \text{ Ом};$ $0,1 \dots 0,3 \text{ А}$	308.1
Линейный реактор	$50 \text{ Гц}; 0,5 \text{ А};$ $0,3 \text{ Гн}$	314.2
Выпрямитель	$400 \text{ В}; 10 \text{ А}$	322
Реостат	$0 \dots 200 \text{ Ом};$ $0,8 \text{ А}$	323.2
Трехфазная трансформаторная группа	$3 \times 80 \text{ В} \cdot \text{А};$ $230 / 240, 230, 220,$ $133, 127 \text{ В}$	347.1
Коннектор	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов	330

Продолжение таблицы 5

1	2	3
Блок ввода /вывода цифровых сигналов	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов	331
Блок датчиков тока и напряжения	3 измерительных преобразователя «ток – напряжение» (5 А/1 А)/5 В; 3 измерительных преобразователя «напряжение - напряжение» (1000 В/100 В) /5 В	402.3
Блок мультиметров	$\approx 0 \dots 1000 \text{ В};$ $\approx 0 \dots 10 \text{ А};$ $0 \dots 20 \text{ МОм}$	508.2
Указатель угла нагрузки синхронной машины	$-180^\circ \dots 0 \dots 180^\circ$	505.2
Указатель частоты вращения	$2000 \dots 0 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$	506.2
Измеритель мощностей	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А	507.2
Персональный компьютер	IBM-совместимый, плата сбора данных PCI 6024E	550

2.2. Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока

Блок – схема соединений тепловой защиты машины переменного тока изображена на рис. 9.



Рис. 9. Схема тепловой защиты машины переменного тока

Перечень аппаратуры схемы тепловой защиты (рис. 9) приведен в таблице 6.

Таблица 6

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
D	Машина переменного тока	02.1	100 Вт / ~ 230 В /1500 мин ⁻¹
GA	Трехфазный источник питания	01.2	~ 400 В / 16 А

2.3. Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. Схемы подключения мультиметра для измерения этих величин приведены на рис. 10, рис. 11, рис. 12. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установить род тока (постоянный/переменный);
- выбрать диапазон измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

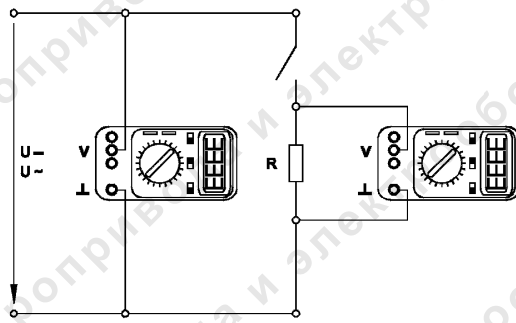


Рис. 10. Схема присоединения мультиметра (как вольтметра) для измерения напряжения

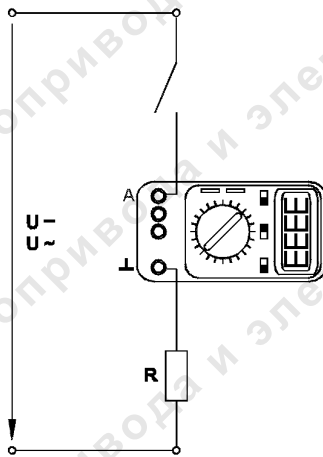


Рис. 11. Схема присоединения мультиметра (как амперметра) для измерения тока

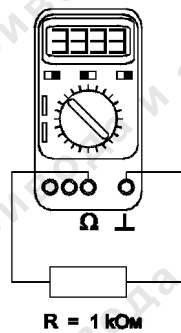


Рис. 12. Схема присоединения мультиметра (как омметра) для измерения омического сопротивления

Литература

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –416 с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
3. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
4. Электротехника: Учебное пособие для вузов. В 3-х книгах. Книга 3. Электроприводы. Электроснабжение / Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.А. Шестакова. – Челябинск: Изд-во Ю УрГУ, 2005. – 639 с.
5. Электрический привод: Руководство по выполнению базовых экспериментов ЭП. 001 РБЭ (905). – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2005. – 141 с.

ЧАСТЬ 2

Лабораторная работа №1

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

1.1. Цель работы

Исследования **электромеханических** $\omega=f(I)$ и механических $\omega=f(M)$ характеристик при различных режимах работы и способах регулирования скорости электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.

1.2. Оборудование стенда (состав аппаратуры)

1.2.1. Назначение и описание функциональных блоков лабораторной установки (рис 1.1, рис 1.2)

Трехфазный источник питания.

Предназначен для питания комплекта трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.

Источник питания машины постоянного тока.

Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно. Напряжение возбуждения нерегулируемое.

Возбудитель машины переменного тока.

Предназначен для питания обмотки возбуждения синхронной машины. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения регулируется вручную или дистанционно / автоматически. Выходные цепи изолированы от входных.

Активная нагрузка.

Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной энергии. Регулируется вручную.

Блок мультиметров.

Предназначен для измерения токов, напряжений, омических сопротивлений. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.

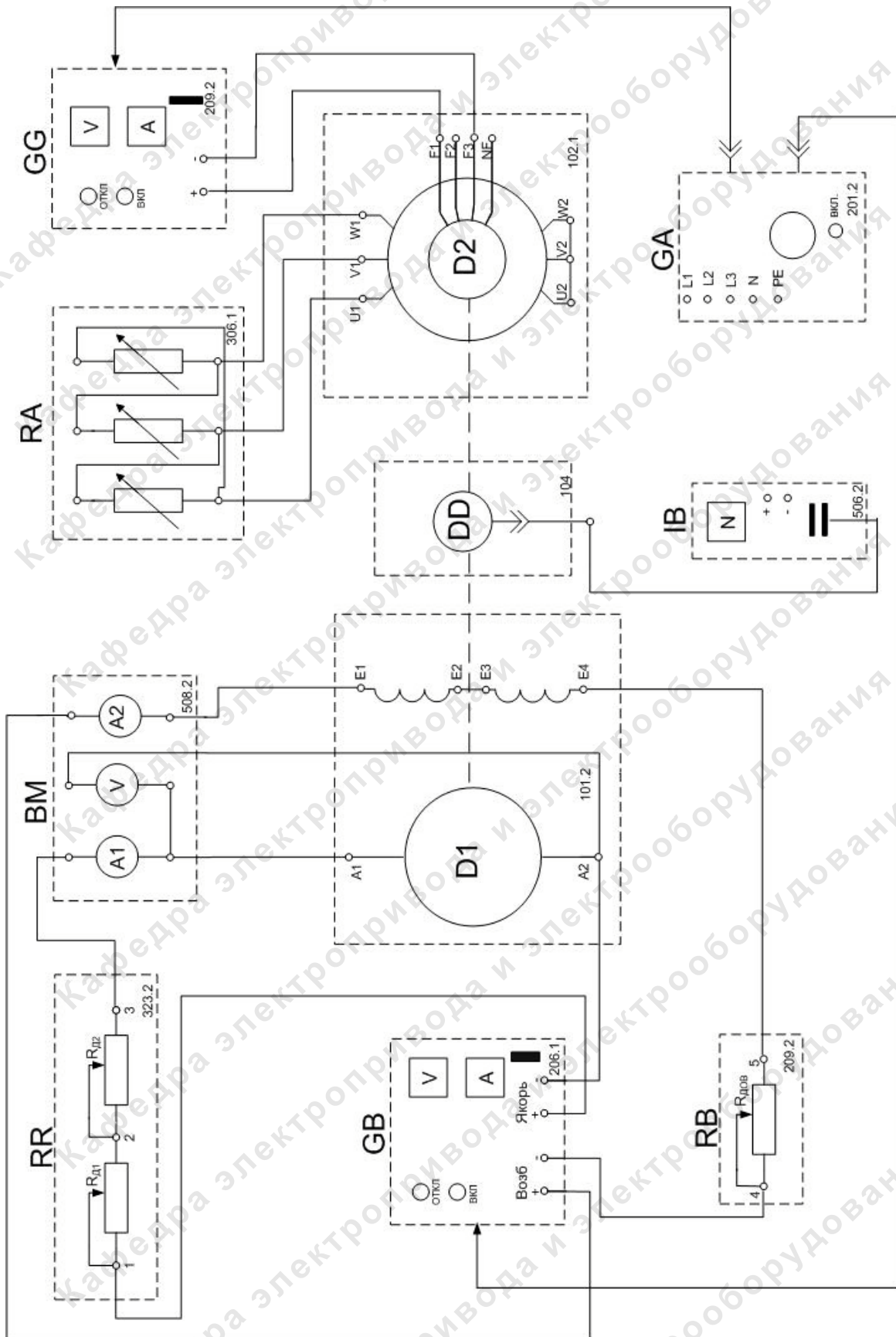


Рис. 1.1. Принципиальная электрическая схема для снятия характеристик в двигателе в режиме

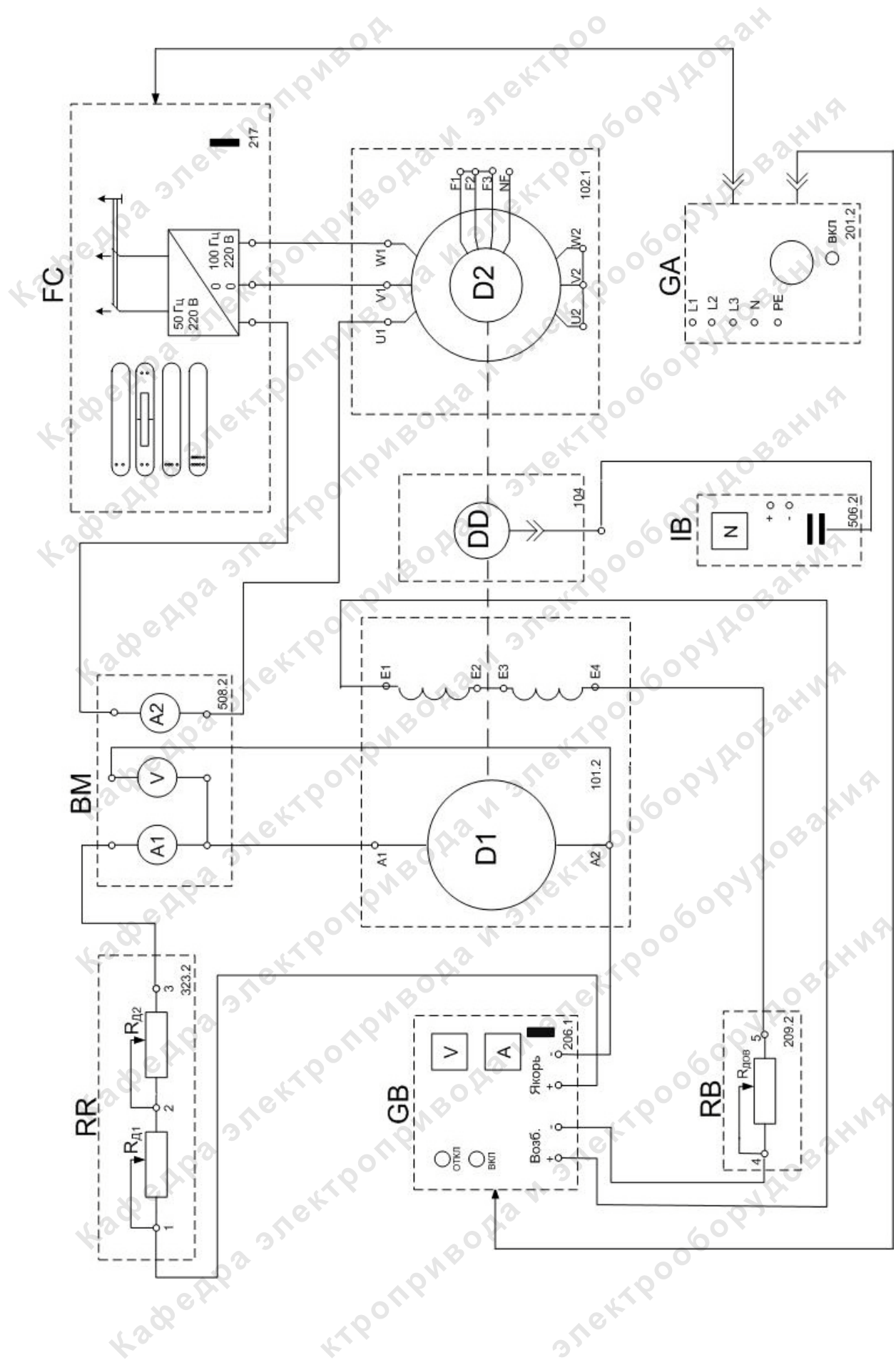


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема для снятия характеристик в тормозных режимах

Указатель частоты вращения.

Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате в аналоговой форме.

Преобразователь угловых перемещений

Предназначен для преобразования скорости вращения электрических машин в сигнал цифрового вида.

Реостат.

Предназначен для ограничения пускового тока в цепи якоря двигателя постоянного тока.

Реостат возбуждения машины постоянного тока.

Предназначен для ручного регулирования тока возбуждения машины постоянного тока.

Преобразователь частоты.

Предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя. Выходные частота и напряжение регулируются согласованно вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ).

Исследуемая машина постоянного тока (двигатель постоянного тока с независимым возбуждением):

$$P_H = 90 \text{ Вт};$$

$$U_H = 220 \text{ В};$$

$$I_H = 0,56 \text{ А};$$

$$n_H = 1500 \text{ об/мин};$$

$$I_{BH} = 0,2 \text{ А};$$

$$\eta_H = 57,2 \text{ \%};$$

$$\cos \varphi_H = 0,73;$$

$$R_{\text{я}} = 86 \text{ Ом};$$

$$R_{o.в.} = 1,15 \text{ кОм}.$$

Нагрузочная машина переменного тока (асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором):

$$P_H = 30 \text{ Вт};$$

$$U_H = 127 \text{ В};$$

$$I_H = 0,35 \text{ А};$$

$$n_H = 1250 \text{ об/мин};$$

$$\eta_H = 36 \text{ \%};$$

$$\cos \varphi_H = 0,73;$$

$$R_1 = 0,18 \text{ о.е.};$$

$$x_1 = 0,087 \text{ о.е.};$$

$$R_2' = 0,15 \text{ о.е.};$$

$$x_2' = 0,15 \text{ о.е.}$$

Исследуемая и нагрузочная машины жестко соединены между собой и представлены в виде электромашинного агрегата, дополненного маховиком и преобразователем угловых перемещений.

1.2.2. Обозначение и параметры исследуемой аппаратуры (таблица 1.1)

Таблица 1.1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
RA	Активная нагрузка	306.1	$3 \times 0 \dots 50$ Вт; 220/380 В
RR	Реостат	323.2	200 Ом; 0,8 А
RB	Реостат возбуждения машины постоянного тока	308.1	0...2000 Ом; 0,1...0,5 А
GA	Трехфазный источник питания	201.2	~ 400 В; 16 А
GB	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	$- 0 \dots 250$ В / 3 А (якорь); $- 200$ В / 1 А (возбуждение)
GG	Возбудитель машины переменного тока	209.2	$- 0 \dots 40$ В; 3,5 А
D2	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; ~ 230 В; 1500 мин ⁻¹
DD	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
D1	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт; $- 220$ В / 0,76 А (якорь); $- 220$ В (возбуждение)
IV	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин ⁻¹
BM	Блок мультиметров	508.2	$\approx 0 \dots 1000$ В; $\approx 0 \dots 20$ А
FC	Преобразователь частоты	217	0...100 Гц; $\sim 3 \times 220$ В; 3 А

1.3. Режимы работы, статические характеристики двигателей постоянного тока независимого возбуждения

Аналитическое выражение электромеханических $\omega=f(I)$ и механических $\omega=f(M)$ характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ):

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} \pm \frac{IR_{\Sigma}}{k\Phi} = \frac{U}{C} \pm \frac{IR_{\Sigma}}{C^2} = \omega_0 \pm \Delta\omega;$$

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} \pm \frac{MR_{\Sigma}}{(k\Phi)^2} = \frac{U}{C} \pm \frac{MR_{\Sigma}}{C^2} = \omega_0 \pm \Delta\omega,$$

где знак “+” соответствует режиму рекуперативного (генераторного) торможения;

знак “-” режимам двигательному, противовключения и динамического торможения;

U – напряжение питания двигателя;

I – ток якоря двигателя;

R_{Σ} – сопротивление якорной цепи, состоящее в общем случае из сопротивлений добавочного резистора $R_{д}$ и якоря $R_{я} = R_{оя} + R_{дп} + R_{ко}$;

$R_{оя}, R_{дп}, R_{ко}$ – **сопротивления** соответственно обмотки якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки;

M – электромагнитный момент двигателя;

$k\Phi$ – соответственно конструктивный коэффициент и магнитный поток двигателя;

C – коэффициент связи двигателя;

ω_0 – **скорость идеального** холостого хода;

$\Delta\omega$ – падение скорости относительно скорости ω_0 при изменении нагрузки от нуля до заданного значения.

Возможные режимы работы электродвигателя:

- двигательный режим (характеристика 1-2, рис. 1.3);
- режим рекуперативного (генераторного) торможения (характеристика 2-3);
- режим торможения противовключением при сохранении полярности питающего напряжения и наличии активной нагрузки (характеристика 1-4);
- режим динамического торможения с независимым возбуждением (характеристика 0-5).

Скорость вращения в электроприводе с ДПТ независимого возбуждения регулируют изменением питающего напряжения U , включением в якорную цепь добавочного сопротивления $R_{д}$, изменением магнитного **потока** Φ , шунтированием обмотки якоря сопротивлением $R_{ш}$. На **рис. 1.4** показаны естественная и искусственные характеристики при указанных способах регулирования.

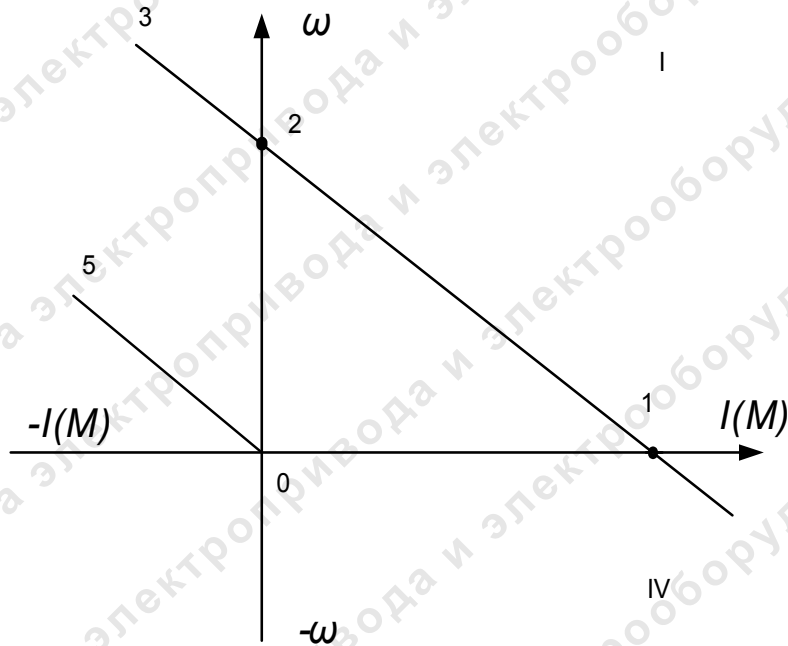


Рис. 1.3. Электромеханические и механические характеристики электропривода с ДПТ НВ

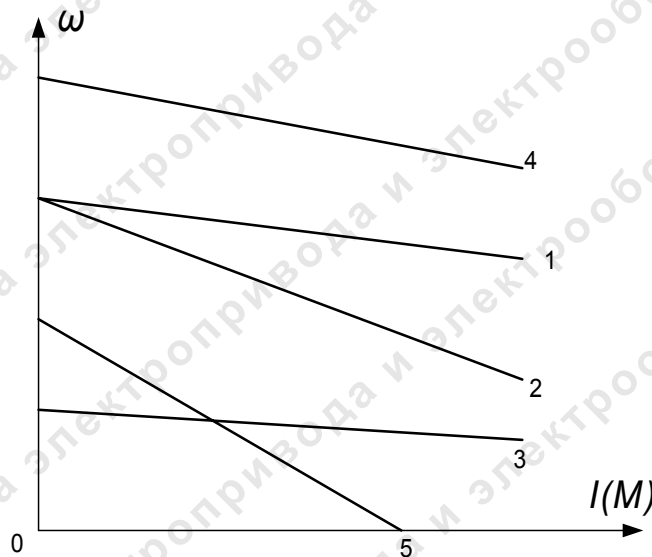


Рис. 1.4. Естественная и искусственные электромеханические и механические характеристики ДПТ НВ:

- 1 – естественная ($U=U_H$; $\Phi=\Phi_H$; $R_d=0$; $R_{ш}=0$);
- 2 – искусственная ($R_d \neq 0$);
- 3 – искусственная ($U < U_H$);
- 4 – искусственная ($\Phi < \Phi_H$);

5 – искусственная с шунтированием ($R_d \neq 0$, $R_{ш} \neq 0$)

1.4. Принципиальная электрическая схема стенда

Принципиальная электрическая схема стенда подразделяется на два варианта (рис. 1.1, рис. 1.2).

Источник GA – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока GB используется для питания регулируемым напряжением обмоток машины (двигателя) постоянного тока D1, работающей с независимым возбуждением. В этом случае половины обмотки возбуждения **двигателя D1 следует соединить последовательно.**

Преобразователь угловых перемещений DD генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения IB электромашинного агрегата.

Машина переменного тока D2, работающая в режиме генератора и обеспечивающая нагрузку на валу исследуемого двигателя, нагружена на активную нагрузку RA. Возбудитель GG питает обмотку возбуждения **машины D2** регулируемым напряжением.

Реостат блока RR ограничивает ток цепи якоря двигателя D1. Реостат блока RB возбуждения машины постоянного тока ограничивает ток цепи возбуждения двигателя D1.

С помощью мультиметров блока BM контролируются ток и напряжение якоря, а также ток возбуждения двигателя D1.

Преобразователь частоты FC предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя D2 с целью получения тормозных режимов работы **исследуемого двигателя D1.**

Для величин исследуемого двигателя D1 принят индекс 1, для нагрузочного двигателя D2 – индекс 2.

Согласное или встречное включение двигателей D1 и D2 устанавливаются по изменению направления скорости вращения предварительно включенного двигателя. Если после пуска другого двигателя скорость возросла – двигатели включены согласно, если скорость снизилась – двигатели включены встречно.

1.5. Программа экспериментов

Порядок экспериментального исследования электропривода:

- проверка работоспособности стенда;
- снятие естественной характеристики **двигателя;**
- снятие характеристик электропривода изменением напряжения питания U двигателя;

- снятие характеристик электропривода введением добавочных сопротивлений $R_{д1}$, $R_{д2}$ в якорную **цепь двигателя**;
- снятие характеристик электропривода изменением магнитного потока Φ обмотки возбуждения двигателя;
- снятие характеристик электропривода при шунтировании якоря **двигателя**;
- исследование режима рекуперативного торможения;
- исследование режима торможения противовключением;
- исследование режима динамического торможения;
- определение коэффициента связи $C_1 = k\Phi$ исследуемого двигателя D1.

1.6. Подготовка стенда к эксперименту

1.6.1. Проверка работоспособности стенда по схеме первого варианта опытов (рис 1.1)

Для этого необходимо сделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр.28, часть 1 раздела 2, рис. 9).
- Соединить гнезда защитного заземления " \oplus " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой **соединений (рис 1.1)**.
- Переключатели режима работы источника GB и возбудителя GG установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и возбудителя GG повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в положения соответственно 50 и 200 Ом, а активной нагрузки RA в крайнее по часовой стрелке положение.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров BM и указателя частоты вращения IB.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая плавно регулировочную рукоятку источника GB по часовой **стрелки**, разогнать двигатель D1.
- Частоту вращения n [мин⁻¹] двигателя измерять с помощью указателя IB.
- Ток якоря I_1 [A] (с помощью амперметра A1), ток возбуждения I_B [A] (с помощью амперметра A2) и напряжение якоря U_1 [В] (вольтметром V) измерять блоком мультиметров BM.

1.6.2. Проверка работоспособности стенда по схеме второго варианта опытов (рис 1.2)

Для этого необходимо проделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (**стр.28**, часть 1 раздела 2, рис. 9).
- Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис 1.2).
- Переключатель режима работы источника GB установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и преобразователя частоты FC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB, в положения соответственно 50 и 200 Ом.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров BM и указателя частоты вращения IB.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включить выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты FC. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выбрать режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выбрать «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками

«ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выбрать следующие значения параметров: U номинальное – 127 В, тип характеристики – линейная, выход 1 – скорость, выход 2 – скорость, управление – ручное.

- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выбрать «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».
- Нажать кнопку «ВПЕРЕД», вращая **регулирующую рукоятку преобразователя частоты FC, установить задание скорости вращения** магнитного поля двигателя D2, например, 157 рад/с. Убедиться, что электродвигатель D2 пришел во вращение и на дисплее преобразователя FC по завершении разгона двигателя D2 отображается скорость вращения его магнитного поля: +157 рад/с.

1.7. Снятие естественной характеристики двигателя D1

Естественные электромеханическая $\omega=f(I)$ и механическая $\omega=f(M)$ характеристики **снимаются** при номинальных **параметрах** ($U_n, \Phi_n, R_{я}$ и т.д.) исследуемого двигателя D1 (рис. 1.5).

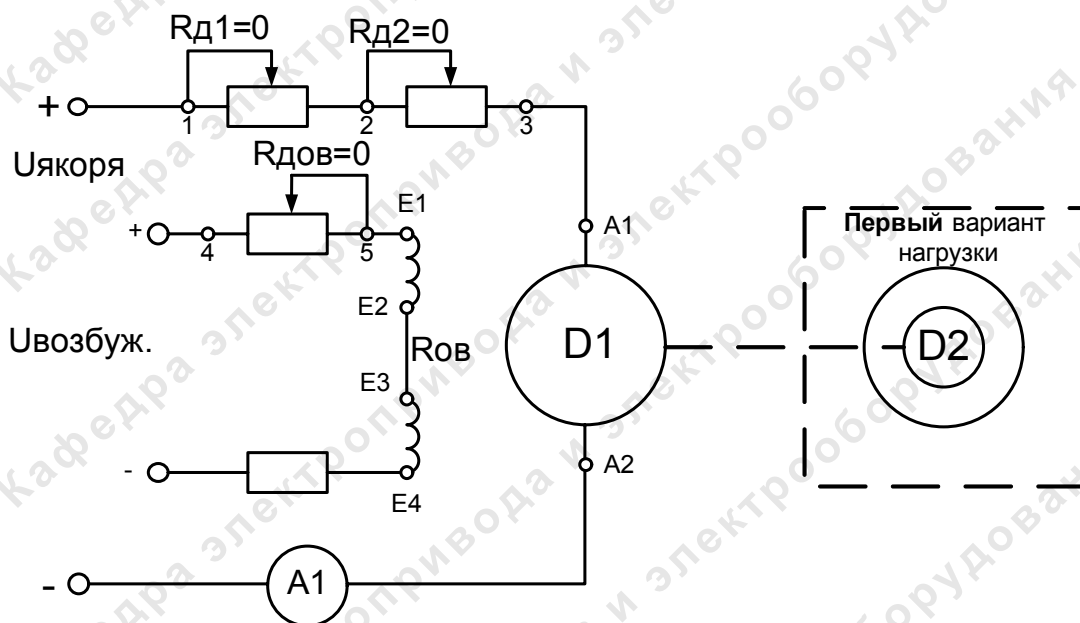


Рис. 1.5. Схема для снятия естественной характеристики в двигательном режиме

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.1.

- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RV в **крайнее левое положение**, а активной нагрузки RA- в крайнее правое.

- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

I_1, A								
$U_1, \text{В}$								
$n, \text{мин}^{-1}$								

- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1.1)$$

и его электромагнитного момента M_1 по формуле:

$$M_1 = \frac{60}{2\pi n} (U_1 - 65 \cdot I_1) \cdot I_1 \quad (1.2)$$

и занести полученные результаты в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

$M_1, \text{Н} \cdot \text{м}$								
$\omega, \text{с}^{-1}$								

Привести пример расчета

- По данным таблиц 1.2 и 1.3 построить электромеханическую $\omega = f(I_1)$ и механическую $\omega = f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.8. Снятие характеристик электропривода изменением напряжения питания U_1 двигателя D1

Характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимают при $R_{д1}$ и $R_{д2}$ равных нулю и различном напряжении питания $U_1=U_{якоря}$ двигателя D1, устанавливаемым потенциометром источника GB (рис. 1.5).

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.1.

- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA- в крайнее правое.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки, установить уменьшенное напряжение питания якоря U_1 двигателя D1 (по заданию преподавателя).
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра А1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 1.2.
- Провести опыты для уменьшенных значений напряжения питания якоря U_1 двигателя D1 (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.9. Снятие характеристик электропривода введением добавочных сопротивлений $R_{д1}$, $R_{д2}$ в якорную цепь двигателя D1

Характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимают при напряжении $U_H = 220$ В источника питания GB и различных добавочных сопротивлениях $R_{д1}$ и $R_{д2}$ в цепи якоря двигателя D1 (рис. 1.6).

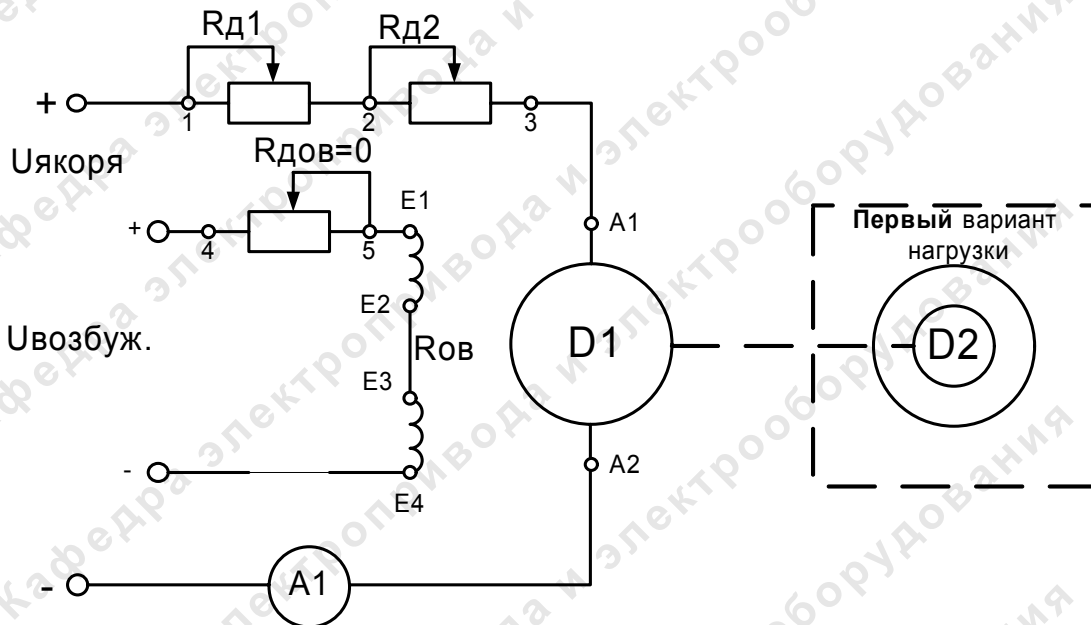


Рис. 1.6. Схема для снятия реостатных характеристик в двигательном режиме

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.1.

- Перевести регулировочную рукоятку реостата блоков RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA - в крайнее правое.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Установить рукоятки регулировочных реостатов в положение $R_{д1} = 100$ Ом, $R_{д2} = 0$ Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 1.2.
- Прodelать опыт для больших значений сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (по заданию преподавателя).

- По завершении эксперимента сначала у возбuditеля GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega=f(I)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.10. Снятие характеристик электропривода изменением магнитного потока Φ обмотки возбуждения двигателя D1

Характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимают при $R_{д1}$ и $R_{д2}$ равных нулю и напряжении $U_n = 220$ В источника питания GB. Уменьшение тока возбуждения I_B осуществляется введением $R_{дов}$ в цепь обмотки возбуждения двигателя D1 (рис. 1.7).

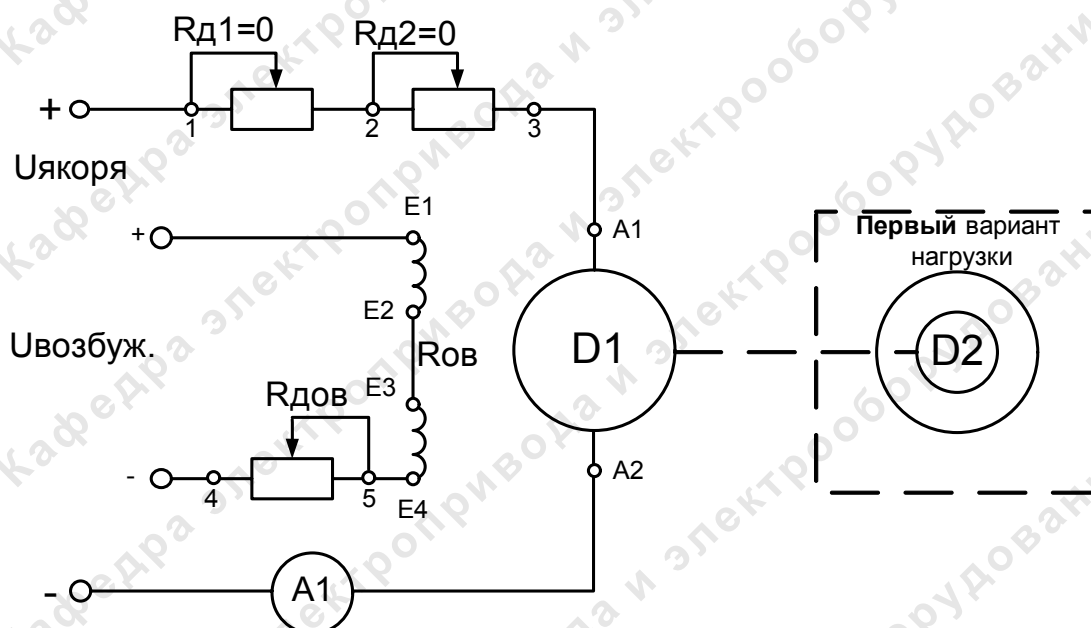


Рис. 1.7. Схема для снятия характеристик в двигательном режиме при ослаблении магнитного потока

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.1.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA - в крайнее правое.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Установить величину сопротивления $R_{\text{дов}} = 200$ Ом реостата блока RB.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 1.2.
- Прodelать опыт для больших значений сопротивления $R_{\text{дов}}$ (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.11. Снятие характеристик электропривода при шунтировании якоря двигателя D1

Характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимают при напряжении $U_n = 220$ В источника GB (рис. 1.8).

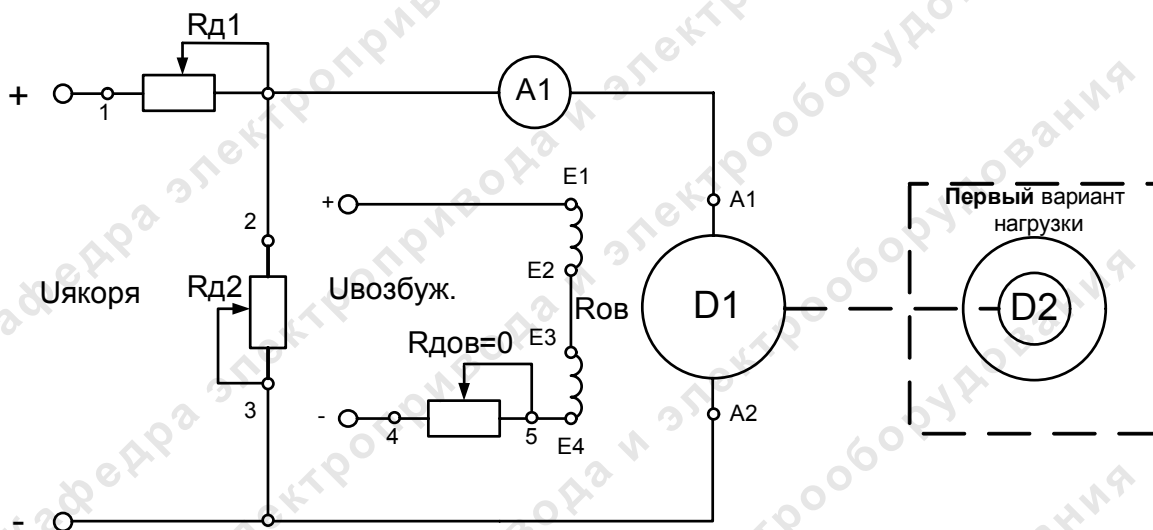


Рис. 1.8. Схема для снятия характеристик в двигательном режиме при шунтировании якоря

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.1.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блока RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA - в крайнее правое.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Установить рукоятки регулировочных реостатов в положение $R_{д1} = 100$ Ом и $R_{д2} = 70$ Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 1.2.
- Прodelать опыт для различных значений сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.

- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.12. Исследование режима рекуперативного торможения при работе двигателя D1 на реостатной характеристике

Рекуперативное торможение возможно, если $\omega > \omega_0$. На стенде этот режим двигателю D1 создает согласно с ним включенный нагрузочный двигатель D2.

Опыт проводится по схеме (рис. 1.9) с введенными сопротивлениями $R_{д1}$, $R_{д2}$ в цепь якоря двигателя D1.

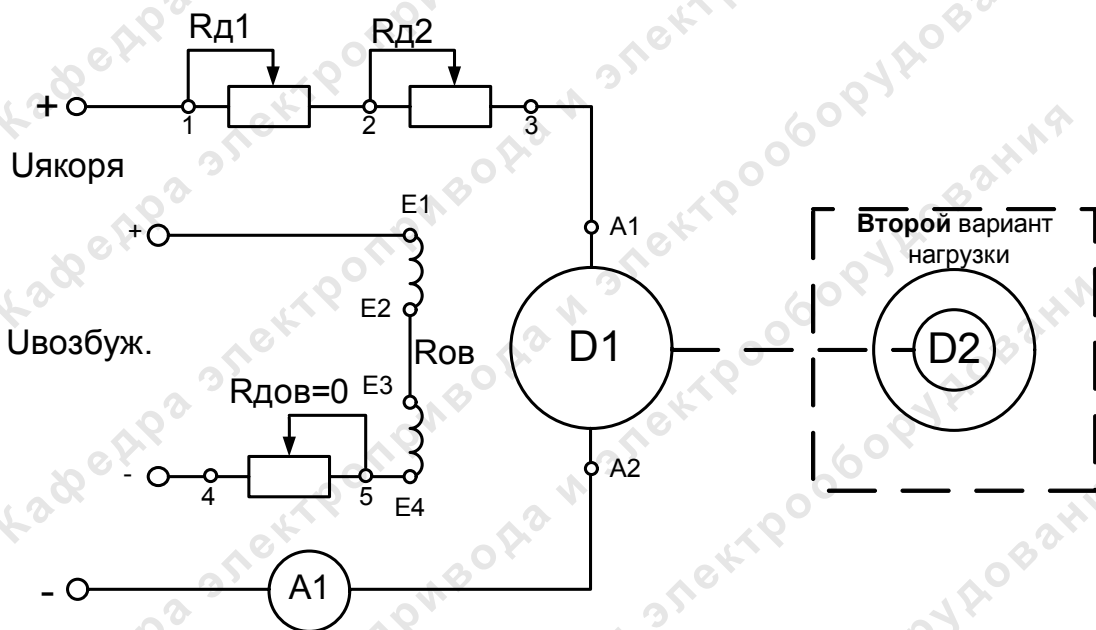


Рис. 1.9. Схема для снятия реостатных характеристик в тормозных режимах

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ.
- Регулировочную рукоятку преобразователя частоты FC повернуть против часовой стрелки до упора.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов $R_{д2}$ (блока RR) , $R_{дов}$ (блока RB) в крайнее левое положение, а $R_{д1}$ - в положение равное 50 Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору IB. Убедиться, что двигатели включены согласно (знаки скоростей совпадают). При несовпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D2 путем переключения кнопок «вперед» и «назад» преобразователя FC.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя FC изменять тока якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 1.2. Ток статора двигателя D2 (показание амперметра A2) не должен превышать 1 А. Переход из двигательного режима в режим рекуперации (и наоборот) фиксировать по амперметру A1 и прибору IB.
- Прodelать опыт для различных значений сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у преобразователя частоты FC , а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega = f(I_1)$ и механическую $\omega = f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.13. Исследования режима торможения противовключением при работе двигателя D1 на реостатной характеристике

Режим противовключения для двигателя D1 наступает при $\Delta\omega_1 > \omega_0$ (при $\Delta\omega_1 = \omega_0$ – режим стопорения двигателя D1, а при $\Delta\omega_1 < \omega_0$ – двигательный режим).

Опыт проводится по схеме (рис. 1.9) введением сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ в цепь якоря двигателя D1.

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору IB.
- Регулировочную рукоятку преобразователя частоты FC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов $R_{дов}$ (блок RB) в крайнее левое положение, а $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (блок RR) – в положение, равное 100 Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору IB. Убедиться, что двигатели включены встречно (знаки скоростей противоположны). При совпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D2 путем переключения кнопок «вперед» и «назад» преобразователя FC.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя FC изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 1.2. Ток статора двигателя D2 (показание амперметра A2) не должен превышать 1 А. Переход из двигательного режима в режим рекуперации (и наоборот) фиксировать по амперметру A1 и прибору IB.
- По завершении эксперимента сначала у преобразователя частоты FC, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выраже-

нию (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.14. Исследования режима динамического торможения двигателя D1

В этом режиме якорь двигателя D1 отключается от источника питания GB и замыкается на реостаты $R_{д1}$ и $R_{д2}$, а двигатель D2 подключен к питающей сети (рис. 1.10).

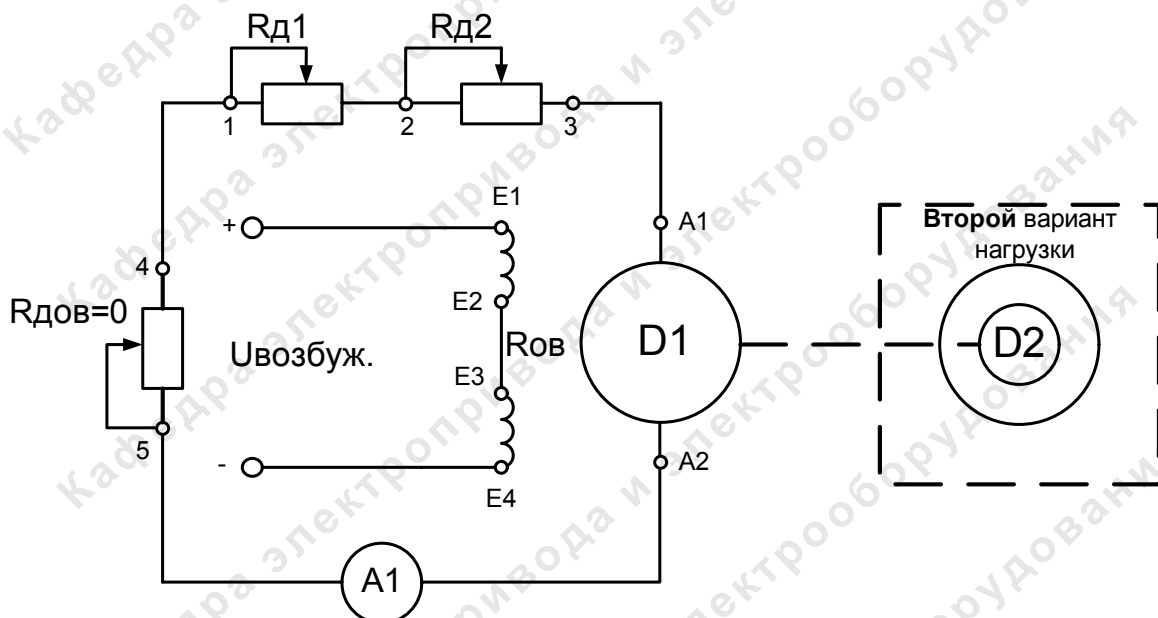


Рис. 1.10. Схема для снятия характеристик динамического торможения

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.2 предварительно отключив обмотку якоря двигателя D1 от источника GB.

- Перевести регулировочную рукоятку реостата блока RB в крайнее левое положение.
- Установить рукоятки регулировочных реостатов в положение $R_{д1}=100$ Ом и $R_{д2}=100$ Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя FC изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таб-

лицу, аналогичную таблице 1.2. Ток статора двигателя D2 (показание амперметра A2) не должен превышать 1 А.

- Прodelать опыт для различных значений сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (по заданию преподавателя).
- По завершению эксперимента у преобразователя частоты FC повернуть регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажать кнопку «ОТКЛ.» и отключить выключатель «СЕТЬ» блока. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатель «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 1.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (1.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 1.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 1.2 и 1.3, построить электромеханическую $\omega = f(I_1)$ и механическую $\omega = f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

1.15. Определение коэффициента связи C_1 , исследуемого двигателя D1

Известно, что скорость идеального холостого хода двигателя постоянного тока находится по выражению:

$$\omega_0 = \frac{U_1}{k\Phi} = \frac{U_1}{C_1}. \quad (1.3)$$

При постоянном потоке коэффициент связи двигателя $C = k\Phi = \text{const}$. При переменном потоке $k\Phi$ приобретает свойства переменного коэффициента, что имеет место в данной работе (пункт 1.10).

Режим идеального холостого хода двигателя D1, при котором ток якоря равен нулю, создается вращением двигателя D1 согласно с включенным нагрузочным двигателем D2 (рис 1.9).

Подготовить стенд к работе по пункту 1.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору IB.
- Регулировочную рукоятку преобразователя частоты FC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.

- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору IB. Убедиться, что двигатели включены согласно (знаки скоростей совпадают). При несовпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D2 путем переключения кнопок «вперед» и «назад» преобразователя FC.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя FC добиться показания тока якоря (амперметр A1) исследуемого двигателя $I_1=0$.
- Занести показания амперметра A2 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу 1.4.
- Изменяя реостатом $R_{\text{дов}}$ блока RB ток возбуждения I_B и создавая двигателем D2 режим идеального холостого хода D1, занести соответствующие показания в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

I_B, A	$I_{\text{вмакс}}$	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	. . .	Примечания
$n, \text{мин}^{-1}$								
$U_1, \text{В}$								

- По завершении эксперимента сначала у преобразователя частоты FC, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы 1.4, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (1.1) и коэффициента связи по формуле (1.3) и занести полученные результаты в таблицу 1.5.

Таблица 1.5

$\omega_0, \text{с}^{-1}$								
$C_1, \text{В} \cdot \text{с}$								

Привести пример расчета.

- По данным таблиц 1.4 и 1.5 построить характеристику $C_1 = f(I_B)$.

1.16. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема стенда с краткими пояснениями.
3. Таблицы опытных данных и характеристики: $C_1=f(I_B)$, $\omega=f(I_1)$ для всех опытов на одном графике, $\omega=f(M_1)$ для всех опытов на другом графике.
4. Сравнительная оценка жесткости характеристик $\omega=f(M_1)$ при различных способах регулирования скорости. Коэффициент статической жесткости характеристик данного двигателя:
$$\dot{r}_c = A \frac{(k_1 \Phi_1)^2}{R_{1f}} = \frac{C_1^2}{R_{1f}}.$$
5. Расчетные (по паспортным данным) характеристики $\omega=f(I_1)$ в двигательном режиме испытуемой машины D1 при:
 - $U_1=U_H$ – естественная характеристика;
 - $R_{д1}=100$ Ом – реостатная характеристика;
 - $I_B=1,0$ А – характеристика при ослаблении потока.Расчетные характеристики сравнить с соответствующими опытными.
6. Показатели регулирования скорости вращения D1 (диапазон, точность и плавность).
7. Краткие выводы.

1.17. Контрольные вопросы

- 1.17.1. Чем отличается скорость идеального холостого хода от скорости холостого хода?
- 1.17.2. Почему электромеханические и механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения имеют наклон?
- 1.17.3. Какие характеристики $\omega_1=f(I_1)$ и $\omega_1=f(M_1)$ исследуемого двигателя называются естественными?
- 1.17.4. Как перевести двигатель постоянного тока независимого возбуждения из двигательного режима в тормозные режимы: рекуперации, противовключения, динамического торможения?

1.17.5. Какие энергетические преобразования совершаются в исследуемом двигателе при тормозных режимах: рекуперации, противовключения, динамического торможения?

1.17.6. Изобразить в одних осях координат характеристики $\omega_1=f(I_1)$ или $\omega_1=f(M_1)$: естественную и при регулировании скорости вращения добавочным сопротивлением в цепи якоря, напряжением на якоре, ослаблением магнитного потока. Дать пояснения изображенному.

1.17.7. Объяснить несовпадение характеристик $\omega_1=f(I_1)$ и $\omega_1=f(M_1)$ при регулировании скорости ослаблением магнитного потока, в то время как при других способах регулирования эти характеристики совпадают?

1.17.8. Почему при торможении противовключением необходимо вводить в цепь якоря большое добавочное сопротивление (большее, чем при пуске двигателя)?

1.17.9. Почему даже кратковременно следует ограничивать ток якоря величиной не более $(2\div 2,5)I_N$?

Литература

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
3. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
4. Электротехника: Учебное пособие для вузов. В 3-х книгах. Книга 3. Электроприводы. Электроснабжение / Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.А. Шестакова. – Челябинск: Изд-во Ю УрГУ, 2005. – 639 с.

Лабораторная работа №2

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

2.1. Цель работы

Исследования электромеханических $\omega=f(I)$ и механических $\omega=f(M)$ характеристик при различных режимах работы и способах регулирования скорости электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения.

2.2. Оборудование стенда (состав аппаратуры)

2.2.1. Назначение и описание функциональных блоков лабораторной установки (рис. 2.1, рис. 2.2)

Трехфазный источник питания.

Предназначен для питания комплекта трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.

Источник питания машины постоянного тока.

Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно. Напряжение возбуждения нерегулируемое.

Возбудитель машины переменного тока.

Предназначен для питания обмотки возбуждения синхронной машины. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения регулируется вручную или дистанционно / автоматически. Выходные цепи изолированы от входных.

Активная нагрузка.

Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной энергии. Регулируется вручную.

Блок мультиметров.

Предназначен для измерения токов, напряжений, омических сопротивлений. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.

Указатель частоты вращения.

Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате в аналоговой форме.

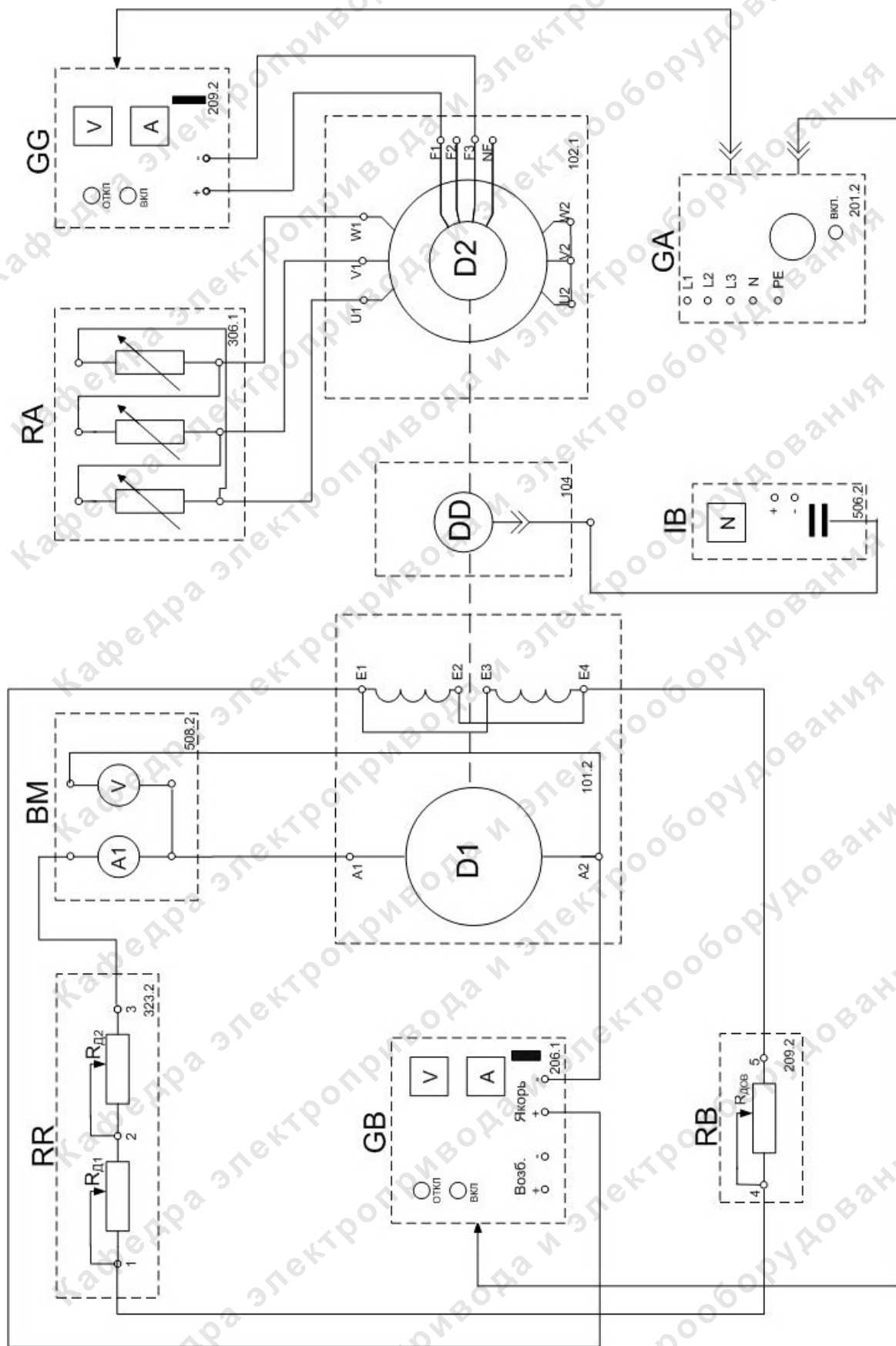


Рис. 2.1. Принципиальная электрическая схема для снятия характеристик в двигательном режиме

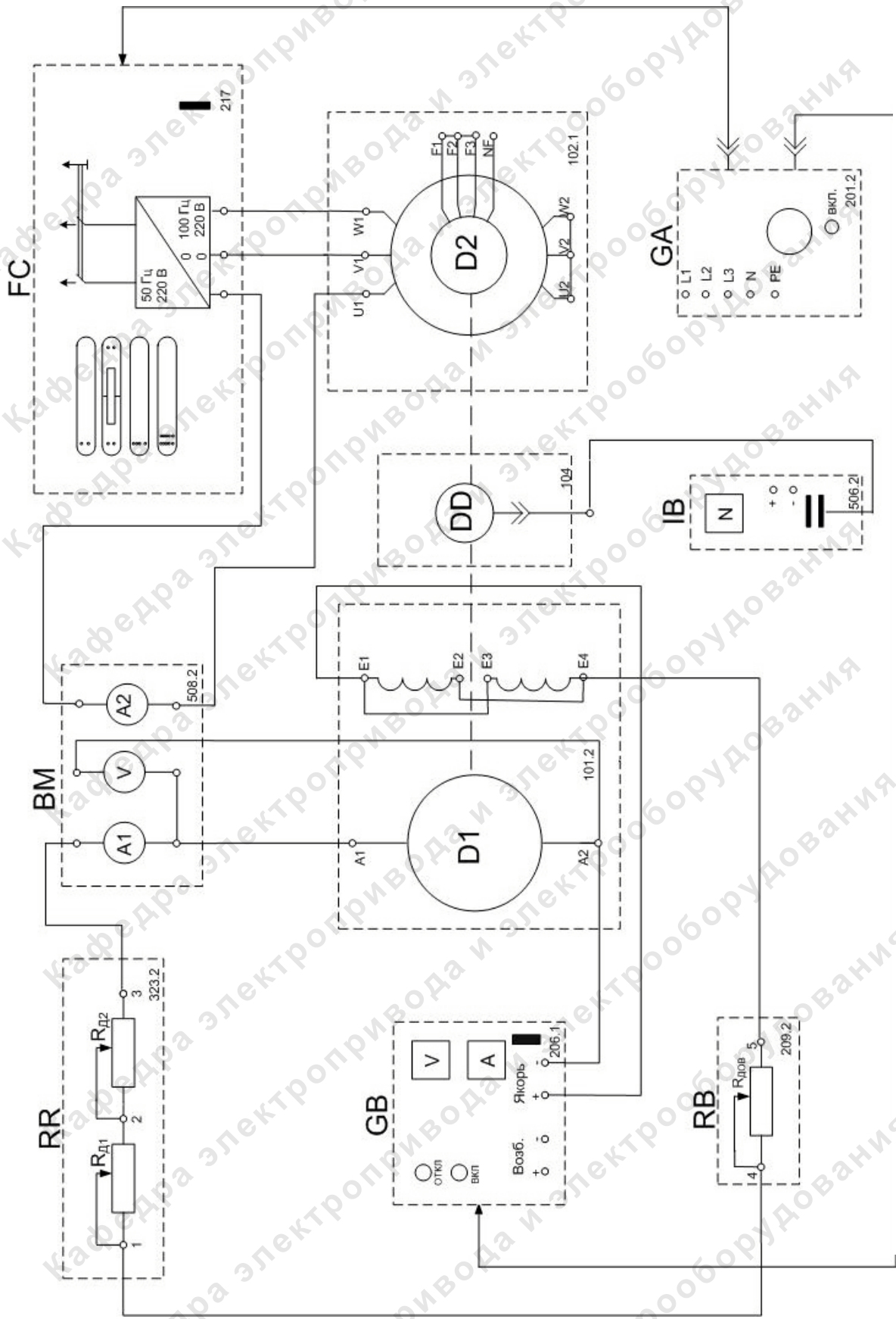


Рис. 2.2. Принципиальная электрическая схема для снятия характеристик в тормозных режимах

Преобразователь угловых перемещений.

Предназначен для преобразования скорости вращения электрических машин в сигнал цифрового вида.

Реостат.

Предназначен для ограничения пускового тока в цепи якоря двигателя постоянного тока.

Реостат возбуждения машины постоянного тока.

Предназначен для ручного регулирования тока возбуждения машины постоянного тока.

Преобразователь частоты.

Предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя. Выходные частота и напряжение регулируются согласованно вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ).

Исследуемая машина постоянного тока (двигатель постоянного тока с независимым возбуждением):

$$\begin{aligned} P_H &= 90 \text{ Вт}; & \eta_H &= 57,2 \%; \\ U_H &= 220 \text{ В}; & \cos \varphi_H &= 0,73; \\ I_H &= 0,56 \text{ А}; & R_{\text{я}} &= 86 \text{ Ом}; \\ n_H &= 1500 \text{ об/мин}; & R_{\text{о.в.}} &= 1,15 \text{ кОм}. \\ I_{\text{вн}} &= 0,2 \text{ А}; \end{aligned}$$

Нагрузочная машина переменного тока (асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором):

$$\begin{aligned} P_H &= 30 \text{ Вт}; & \cos \varphi_H &= 0,73; \\ U_H &= 127 \text{ В}; & R_1 &= 0,18 \text{ о.е.}; \\ I_H &= 0,35 \text{ А}; & x_1 &= 0,087 \text{ о.е.}; \\ n_H &= 1250 \text{ об/мин}; & R_2' &= 0,15 \text{ о.е.}; \\ \eta_H &= 36 \%; & x_2' &= 0,15 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Исследуемая и нагрузочная машины жестко соединены между собой и представлены в виде электромашинного агрегата, дополненного маховиком и преобразователем угловых перемещений.

2.2.2. Обозначение и параметры исследуемой аппаратуры (таблица 2.1)

Таблица 2.1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
RA	Активная нагрузка	306.1	$3 \times 0 \dots 50$ Вт; 220/380 В
RR	Реостат	323.1	200 Ом; 0,8 А
RB	Реостат возбуждения машины постоянного тока	308.1	0...2000 Ом; 0,1...0,5 А
GA	Трехфазный источник питания	201.2	~ 400 В; 16 А
GB	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	– 0...250 В 3 А (якорь) – 200 В; 1 А (возбуждение)
GG	Возбудитель машины переменного тока	209.2	– 0...40 В; 3,5 А
D2	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; ~ 230 В; 1500 мин ⁻¹
DD	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
D1	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт; – 220 В 0,76 А (якорь) – 220 В (возбуждение)
IB	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин ⁻¹
BM	Блок мультиметров	508.2	$\approx 0 \dots 1000$ В; $\approx 0 \dots 20$ А
FC	Преобразователь частоты	217	0...100 Гц; $\sim 3 \times 220$ В; 3 А.

2.3. Режимы работы, статические характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения

Так как магнитный поток двигателя постоянного тока последовательного возбуждения (ДПТ с ПВ) не остается постоянным при изменении нагрузки на валу двигателя, то характеристики $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$ являются нелинейными. Скорость идеального холостого хода ДПВ

$$\omega_0 = \frac{U}{k\Phi} \approx \frac{U}{k_1 I} \rightarrow \infty,$$

что обуславливает недопустимость работы ДПВ на холостом ходу, исключая двигатели малой мощности.

Для ДПВ возможны все режимы работы электродвигателей, за исключением рекуперативного торможения:

- двигательный режим (характеристики 1-2, 3-4, рис. 2.3);
- режим реверсирования производится изменением полярности напряжения на якоре или обмотке возбуждения в неподвижном состоянии (характеристики 1-2, 3-4);
- режим торможения противовключением осуществляется изменением полярности напряжения на якоре или обмотке возбуждения вращающегося двигателя или при сохранении полярности напряжений противовращением активной нагрузкой (например, другим двигателем); в данной работе противовключение создает нагрузочный двигатель (характеристики 5-3, 1-6);
- режим динамического торможения с независимым возбуждением (характеристики 7-0, 8-0) или с самовозбуждением (характеристики 9-0, 10-0); в данной работе принято последнее.

Скорость вращения регулируют изменением питающего напряжения U , включением последовательного добавочного сопротивления $R_{д}$, шунтированием обмотки якоря сопротивлением $R_{ш}$, изменением магнитного потока Φ . На рис. 2.4 приведены естественная характеристика и искусственные характеристики при указанных способах регулирования.

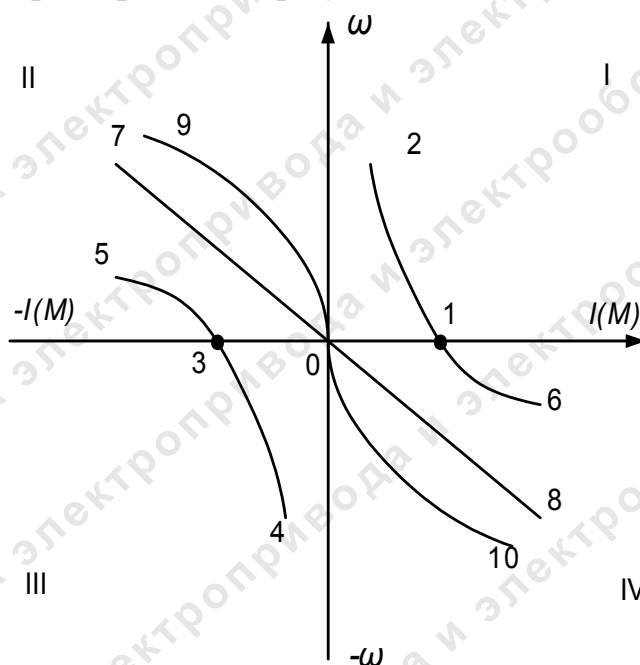


Рис. 2.3. Электромеханические и механические характеристики электропривода с ДПТ ПВ

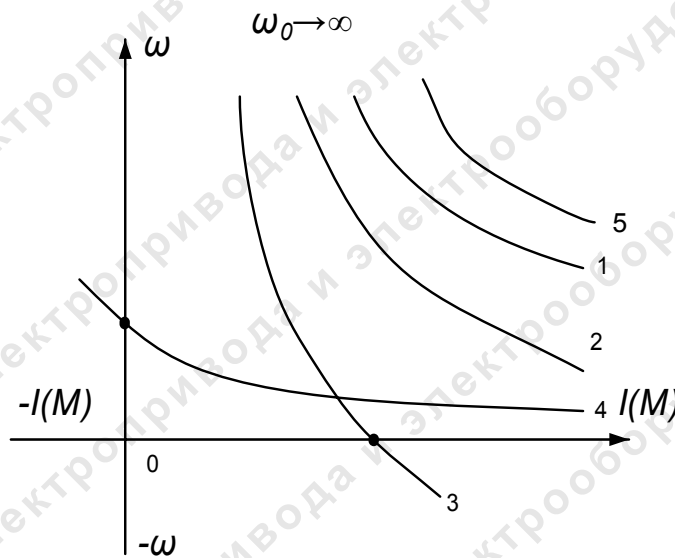


Рис. 2.4. Естественная и искусственные электромеханические и механические характеристики ДПТ ПВ:

- 1 – естественная ($U_n, R_d=0, \Phi=\Phi_n, R_{ш}=0$);
- 2 – искусственная ($U < U_n$);
- 3 – искусственная ($R_d \neq 0$);
- 4 – искусственная ($\Phi > \Phi_n$); искусственная с шунтированием ($R_d \neq 0, R_{ш} \neq 0$);
- 5 – искусственная ($\Phi < \Phi_n$)

2.4. Принципиальная электрическая схема стенда

Принципиальная электрическая схема стенда подразделяется на два варианта (рис. 2.1, рис. 2.2).

Источник GA – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока GB используется для питания регулируемым напряжением обмоток машины (двигателя) постоянного тока D1, работающей с последовательным возбуждением. В этом случае половины обмотки возбуждения двигателя D1 следует соединить параллельно.

Преобразователь угловых перемещений DD генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения IB электромашинного агрегата.

Машина переменного тока D2, работающая в режиме генератора и обеспечивающая нагрузку на валу исследуемого двигателя, нагружена на активную нагрузку RA. Возбудитель GG питает обмотку возбуждения машины D2 регулируемым напряжением.

Реостаты блоков RR и RB ограничивают ток в цепи якоря и цепи обмотки возбуждения двигателя D1.

С помощью мультиметров блока BM контролируются ток и напряжение якоря, а также ток возбуждения двигателя D1.

Преобразователь частоты FC предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя D2 с целью получения тормозных режимов работы исследуемого двигателя D1.

Для величин исследуемого двигателя D1 принят индекс 1, для нагрузочного двигателя D2 – индекс 2.

Согласное или встречное включение двигателей D1 и D2 устанавливаются по изменению направления скорости вращения предварительно включенного двигателя. Если после пуска другого двигателя скорость возросла – двигатели включены согласно, если скорость снизилась – двигатели включены встречно.

2.5. Программа экспериментов

Порядок экспериментального исследования электропривода:

- проверка работоспособности стенда;
- снятие естественной характеристики двигателя;
- снятие характеристик электропривода изменением напряжения питания U двигателя;
- снятие характеристик электропривода введением добавочных сопротивлений $R_{д1}$, $R_{д2}$ в якорную цепь двигателя;
- снятие характеристик электропривода изменением магнитного потока Φ обмотки возбуждения двигателя;
- снятие характеристик электропривода при шунтировании якоря двигателя;
- исследование режима торможения противовключением;
- исследование режима динамического торможения.

2.6. Подготовка стенда к эксперименту

2.6.1. Проверка работоспособности стенда по схеме первого варианта опытов (рис. 2.1)

Для этого необходимо сделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр.28, часть 1 раздела 2, рис. 9).

- Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис 2.1).
- Переключатели режима работы источника GB и возбудителя GG установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и возбудителя GG повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в положение соответственно 50 и 200 Ом, а активной нагрузки RA в крайнее по часовой стрелке положение.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров BM и указателя частоты вращения IB.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая плавно регулировочную рукоятку источника GB до упора по часовой стрелки, разогнать двигатель D1.
- Частоту вращения n [мин⁻¹] двигателя измерять с помощью указателя IB.
- Ток якорной цепи I_1 [А] (с помощью амперметра A1) и напряжение якоря U_1 [В] (вольтметром V) измерять блоком мультиметров BM.

2.6.2. Проверка работоспособности стенда по схеме второго варианта опытов (рис. 2.2)

Для этого необходимо проделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр.28, часть 1 раздела 2, рис. 9).
- Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 2.2).

- Переключатель режима работы источника GB установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и преобразователя частоты FC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB, в положение соответственно 50 и 200 Ом.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров VM и указателя частоты вращения IV.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включить выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты FC. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выбрать режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выбрать «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выбрать следующие значения параметров: U номинальное – 127 В, тип характеристики – линейная, выход 1 – скорость, выход 2 – скорость, управление – ручное.
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выбрать «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».
- Нажать кнопку «ВПЕРЕД», вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты FC, установить задание скорости вращения магнитного поля двигателя D2, например, 157 рад/с. Убедиться, что электродвигатель D2 пришел во вращение и на дисплее преобразователя FC по завершении разгона двигателя D2 отображается скорость вращения его магнитного поля: +157 рад/с.

2.7. Снятие естественной характеристики двигателя D1

Естественные электромеханическая $\omega=f(I)$ и механическая $\omega=f(M)$ характеристики снимаются при номинальных параметрах (U_n , R_y и т.д.) исследуемого двигателя D1 (рис. 2.5).

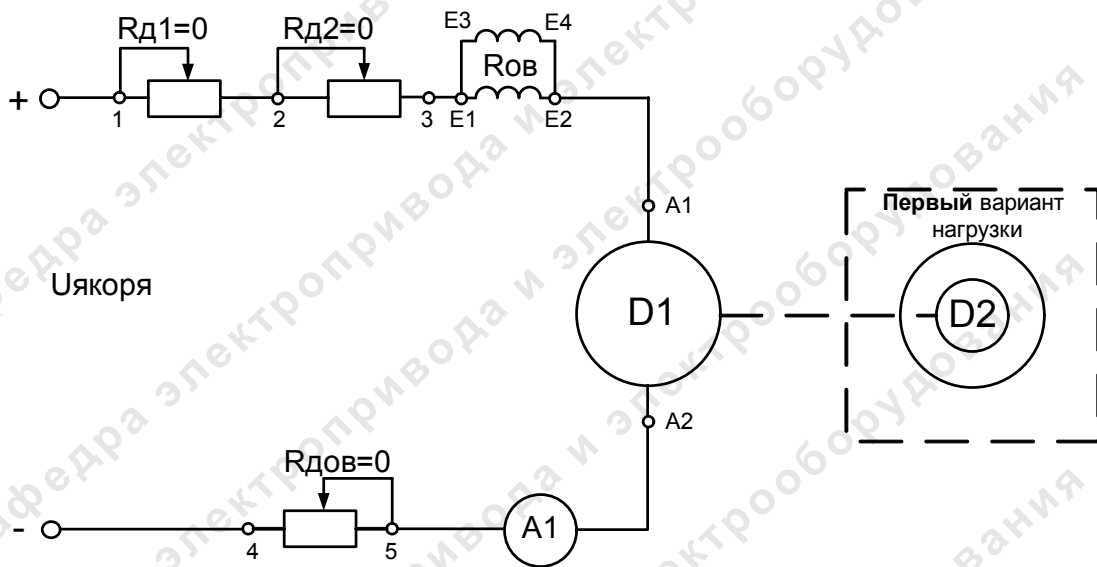


Рис. 2.5. Схема для снятия естественной характеристики в двигательном режиме

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.1.

- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA- в крайнее правое.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

I_1, A							
U_1, B							
$n, \text{мин}^{-1}$							

- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против ча-

совой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.

- Используя данные таблицы 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.1)$$

и его электромагнитного момента M_1 по формуле

$$M_1 = \frac{60}{2\pi n} (U_1 - 65 \cdot I_1) \cdot I_1 \quad (2.2)$$

и занести полученные результаты в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

$M_1,$ Н·м								
$\omega, \text{с}^{-1}$								

Привести пример расчета.

- По данным таблиц 2.2 и 2.3 построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.8. Снятие характеристик электропривода изменением напряжения питания U_1 двигателя

Характеристики $\omega=f(M)$ и $\omega=f(I)$ снимают при $R_{д1}$ и $R_{д2}$ равных нулю и различном напряжении питания $U_1=U_{\text{якоря}}$ двигателя D1, устанавливаемых потенциометром источника GB (рис. 2.5).

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.1.

- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA- в крайнее правое.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки, установить уменьшенное напряжение питания U_1 якоря двигателя D1 (по заданию преподавателя).
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 2.2.
- Прodelать опыты для уменьшенных значений напряжения питания U_1 якоря двигателя D1 (по заданию преподавателя).

- По завершении эксперимента сначала у возбуждателя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (2.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (2.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 2.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 2.2 и 2.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.9. Снятие характеристик электропривода введением добавочных сопротивлений $R_{д1}$, $R_{д2}$ в якорную цепь двигателя D1

Характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимают при напряжении $U_H = 220$ В источника питания GB и различных добавочных сопротивлениях $R_{д1}$ и $R_{д2}$ в цепи якоря двигателя D1 (рис. 2.6).

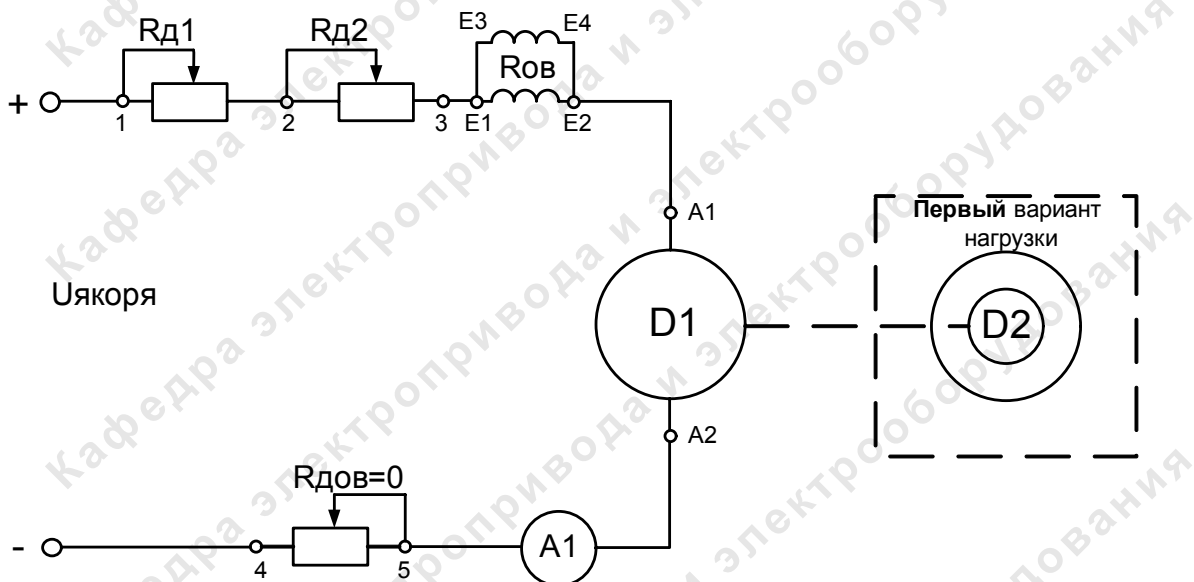


Рис. 2.6. Схема для снятия реостатных характеристик в двигательном режиме

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.1.

- Перевести регулировочную рукоятку реостата блока RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA – в крайнее правое.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220$ В (вольтметр V блока BM).
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Установить рукоятки регулировочных реостатов в положение $R_{д1} = 100$ Ом, $R_{д2} = 0$ Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 2.2.
- Прodelать опыт для $R_{д1} = 100$ Ом, $R_{д2} = 100$ Ом.
- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (2.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (2.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 2.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 2.2 и 2.3, построить электромеханическую $\omega = f(I_1)$ и механическую $\omega = f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.10. Снятие характеристик электропривода изменением магнитного потока Φ обмотки возбуждения двигателя D1

Характеристики $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$ снимают при напряжении $U_H = 220$ В источника питания GB. Уменьшение тока возбуждения I_B осуществляется шунтированием обмотки возбуждения двигателя D1 добавочными сопротивлениями $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (рис. 2.7).

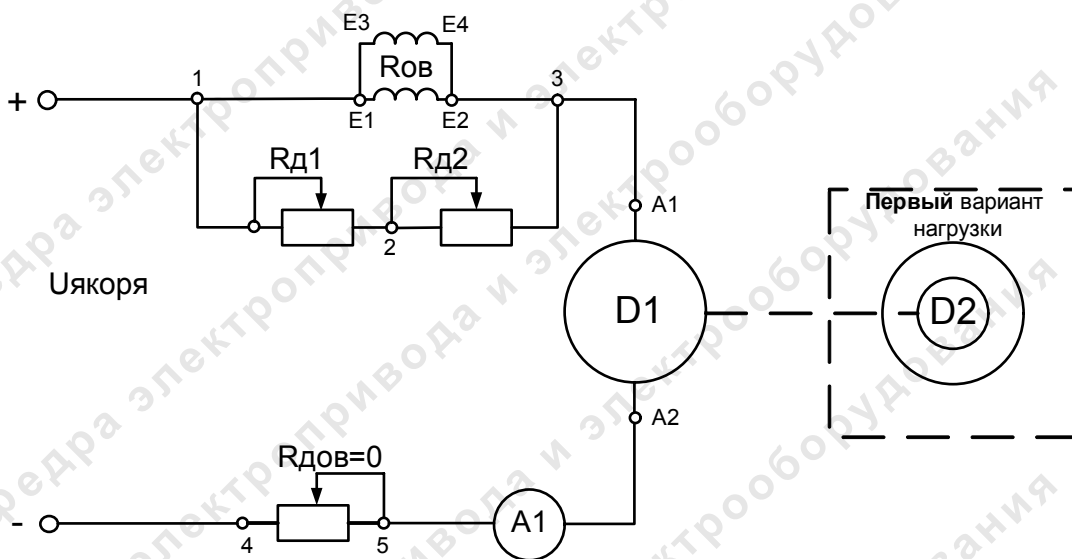


Рис. 2.7. Схема для снятия характеристик в двигательном режиме при ослабленном магнитном потоке

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.1.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Перевести регулировочную рукоятку реостата блока RB в крайнее левое положение, а активной нагрузки RA- в крайнее правое.
- Установить рукоятки добавочных сопротивлений в положение $R_{д1}=100 \text{ Ом}$, $R_{д2}= 100 \text{ Ом}$.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить на якоре двигателя D1 напряжение $U_1 = 220 \text{ В}$ (вольтметр V блока BM).
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 2.2.
- Прodelать опыт для других значений сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.

- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (2.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (2.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 2.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 2.2 и 2.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.11. Снятие характеристик электропривода при шунтировании якоря двигателя D1

Характеристики $\omega=f(M)$ и $\omega=f(I)$ снимают при напряжении $U_H = 220$ В источника питания GB (рис. 2.8).

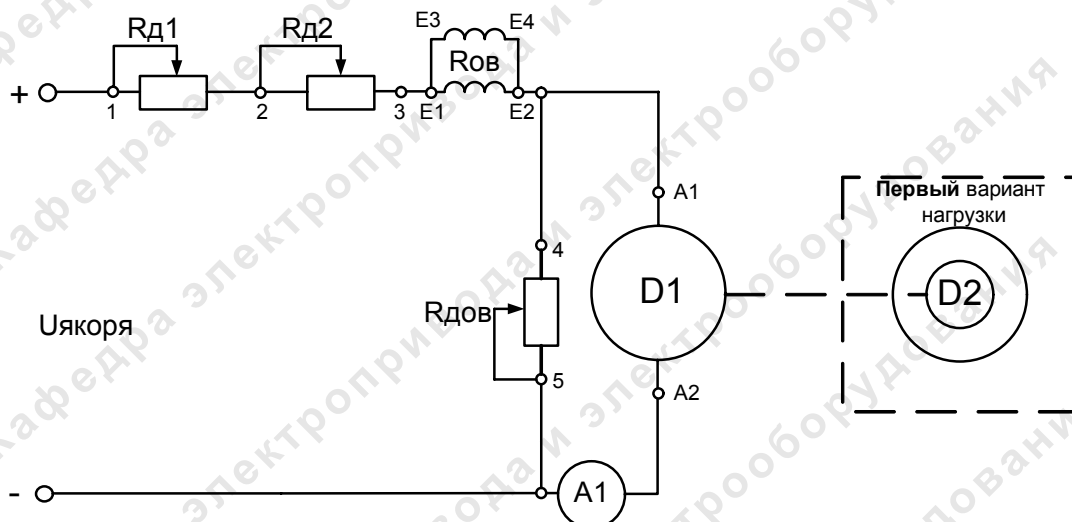


Рис. 2.8. Схема для снятия характеристик в двигательном режиме при шунтировании якоря

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.1.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG нагрузочного генератора.
- Перевести регулировочные рукоятки активной нагрузки RA в крайнее правое положение.
- Установить положение регулировочных реостатов $R_{д1}=100$ Ом и $R_{д2}=100$ Ом, а $R_{дов} = 2000$ Ом.
- Выставить номинальное напряжение $U_H = 220$ В на источнике GB.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания

амперметра А1 и вольтметра V блока ВМ, а также указателя ИВ в таблицу, аналогичную таблице 2.2.

- Прodelать опыт для других значений сопротивлений блока RB (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у возбуждателя GG, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (2.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (2.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 2.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 2.2 и 2.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.12. Исследования режима торможения противовключением при работе двигателя D1 на реостатной характеристике

Режим противовключения для двигателя D1 наступает при $\Delta\omega_1 > \omega_0$ (при $\Delta\omega_1 = \omega_0$ – режим стопорения двигателя D1, а при $\Delta\omega_1 < \omega_0$ – двигательный режим).

Опыт проводится по схеме (рис. 2.9) введением сопротивлений R_{D1} и R_{D2} в цепь якоря двигателя D1.

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ.
- Регулировочную рукоятку преобразователя частоты FC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.

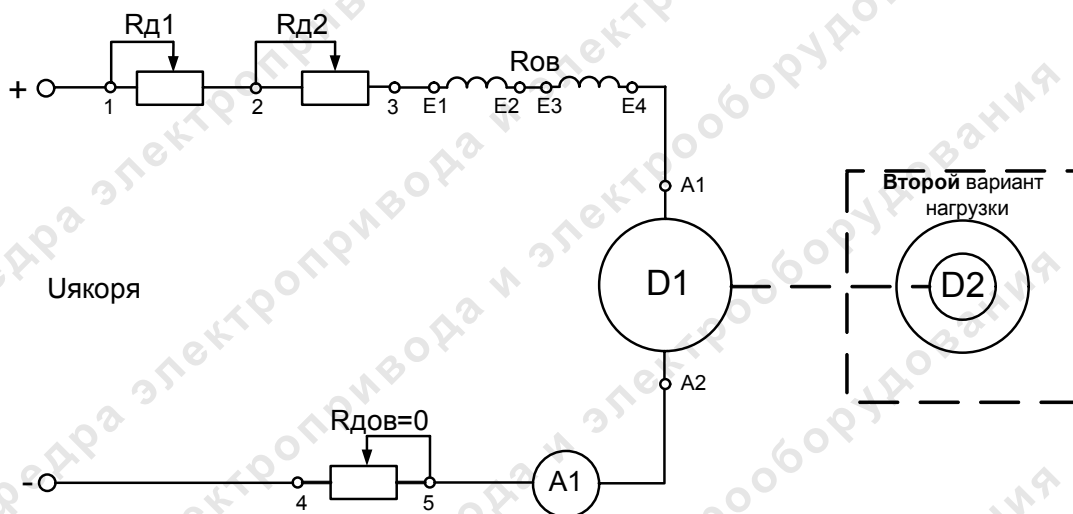


Рис. 2.9. Схема для снятия реостатных характеристик в режиме торможения противовключением

- Перевести регулировочные рукоятки реостатов $R_{\text{дов}}$ (блок RB) в крайнее левое положение, а $R_{\text{д1}}$ и $R_{\text{д2}}$ (блок RR) – в положение, равное 100 Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, выставить напряжение $U = 80$ В.
- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору IB. Убедиться, что двигатели включены встречно (знаки скоростей противоположны). При совпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D2 путем переключения кнопок «вперед» и «назад» преобразователя FC.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя FC изменять тока якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таблицу, аналогичную таблице 2.2. Ток статора двигателя D2 (показание амперметра A2) не должен превышать 1 А. Переход из двигательного режима в режим рекуперации (и наоборот) фиксировать по амперметру A1 и прибору IB.
- По завершении эксперимента сначала у преобразователя частоты FC, а затем у источника GB повернуть регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажать кнопки «ОТКЛ.» и отключить выключатели «СЕТЬ» указанных блоков. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.

- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (2.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (2.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 2.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 2.2 и 2.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.13. Исследования режима динамического торможения двигателя D1

В этом режиме якорная цепь двигателя D1 отключается от источника питания и замыкается на сопротивления $R_{д1}$ и $R_{д2}$, а двигатель D2 подключен к питающей сети (рис. 2.10).

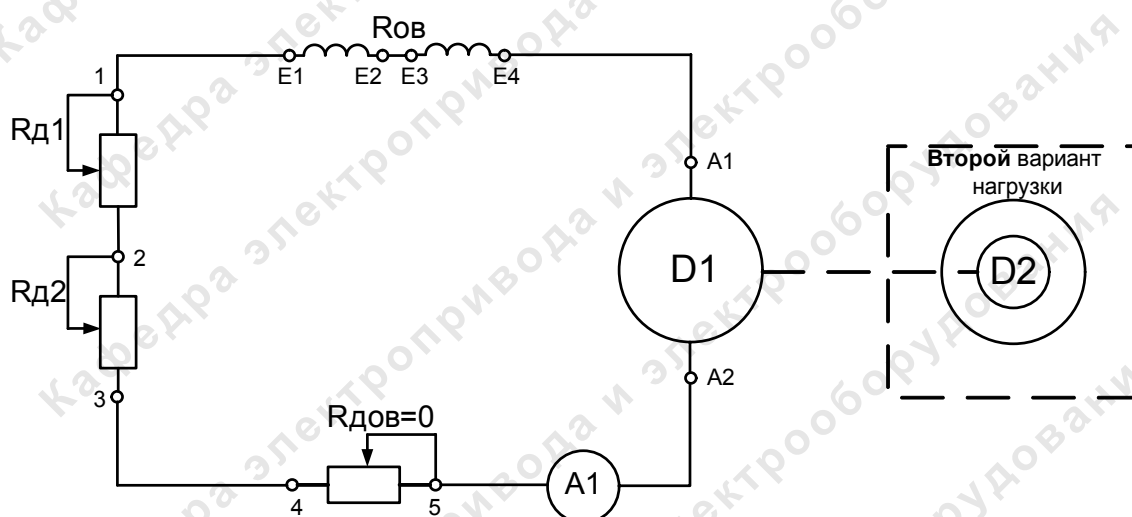


Рис. 2.10. Схема для снятия характеристик в режиме динамического торможения

Подготовить стенд к работе по пункту 2.6.2, предварительно отключив обмотки якоря и возбуждения двигателя D1 от источника GB.

- Перевести регулировочную рукоятку реостата блока RB в крайнее левое положение.
- Установить положение регулировочных реостатов $R_{д1}=100$ Ом и $R_{д2}=100$ Ом.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя FC изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IB в таб-

лицу, аналогичную таблице 2.2. Ток статора двигателя D2 (показание амперметра A2) не должен превышать 1 А.

- Прodelать опыт для различных значений сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$ (по заданию преподавателя).
- По завершению эксперимента у преобразователя частоты FC повернуть регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажать кнопку «ОТКЛ.» и отключить выключатель «СЕТЬ» блока. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 2.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (2.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (2.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 2.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 2.2 и 2.3, построить электрохимическую $\omega = f(I_1)$ и механическую $\omega = f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

2.14. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема стенда с краткими пояснениями.
3. Таблицы опытных данных и характеристики: $\omega = f(I_1)$ для всех опытов на одном графике; $\omega = f(M_1)$ для всех опытов на другом графике.
4. Показатели регулирования скорости вращения двигателя D1 (диапазон, точность и плавность);
5. Краткие выводы.

2.15. Контрольные вопросы

- 2.15.1. Чем вызвано значительное увеличение скорости ДПВ при малых нагрузках?
- 2.15.2. Объяснить нелинейность характеристик $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$ двигателя с последовательным возбуждением?
- 2.15.3. При каких условиях характеристики исследуемого двигателя $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$ считаются естественными?
- 2.15.4. Как реализовать различные тормозные режимы ДПВ?

2.15.5. Пояснить процесс самовозбуждения ДПВ при динамическом торможении. Почему самовозбуждение прекращается при $\omega > 0$?

2.15.6. Пояснить способы регулирования скорости исследуемого двигателя, изобразить характеристики $\omega = f(M)$.

2.15.7. Как измерить электромагнитный момент и момент на валу ДПВ в двигательном и тормозном режимах?

2.15.8. Какие особенности имеет исследуемый двигатель в сравнении с двигателем параллельного возбуждения?

2.15.9. Как выполнить реверс двигателя последовательного возбуждения?

2.15.10. Почему исследуемый двигатель лучше переносит нагрузку по моменту, чем двигатель параллельного возбуждения?

Литература

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544с.
3. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368с.
4. Ключев В. И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704с.

Лабораторная работа №3

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

3.1. Цель работы

Исследования электромеханических $\omega=f(I)$ и механических $\omega=f(M)$ характеристик при различных режимах работы и способах регулирования скорости асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

3.2. Оборудование стенда (состав аппаратуры)

3.2.1. Назначение и описание функциональных блоков лабораторной установки (рис. 3.1, рис. 3.2)

Трехфазный источник питания.

Предназначен для питания комплекта трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.

Источник питания машины постоянного тока.

Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно. Напряжение возбуждения нерегулируемое.

Блок мультиметров.

Предназначен для измерения токов, напряжений, омических сопротивлений. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.

Указатель частоты вращения.

Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате в аналоговой форме.

Измеритель мощностей.

Предназначен для измерения активной и реактивной мощностей в однофазной электрической цепи и отображения их в аналоговой форме.

Трехфазная трансформаторная группа.

Предназначена для преобразования однофазного / трехфазного напряжения.

Трехполюсный выключатель.

Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического (от ПЭВМ) включения / отключения электрических цепей.

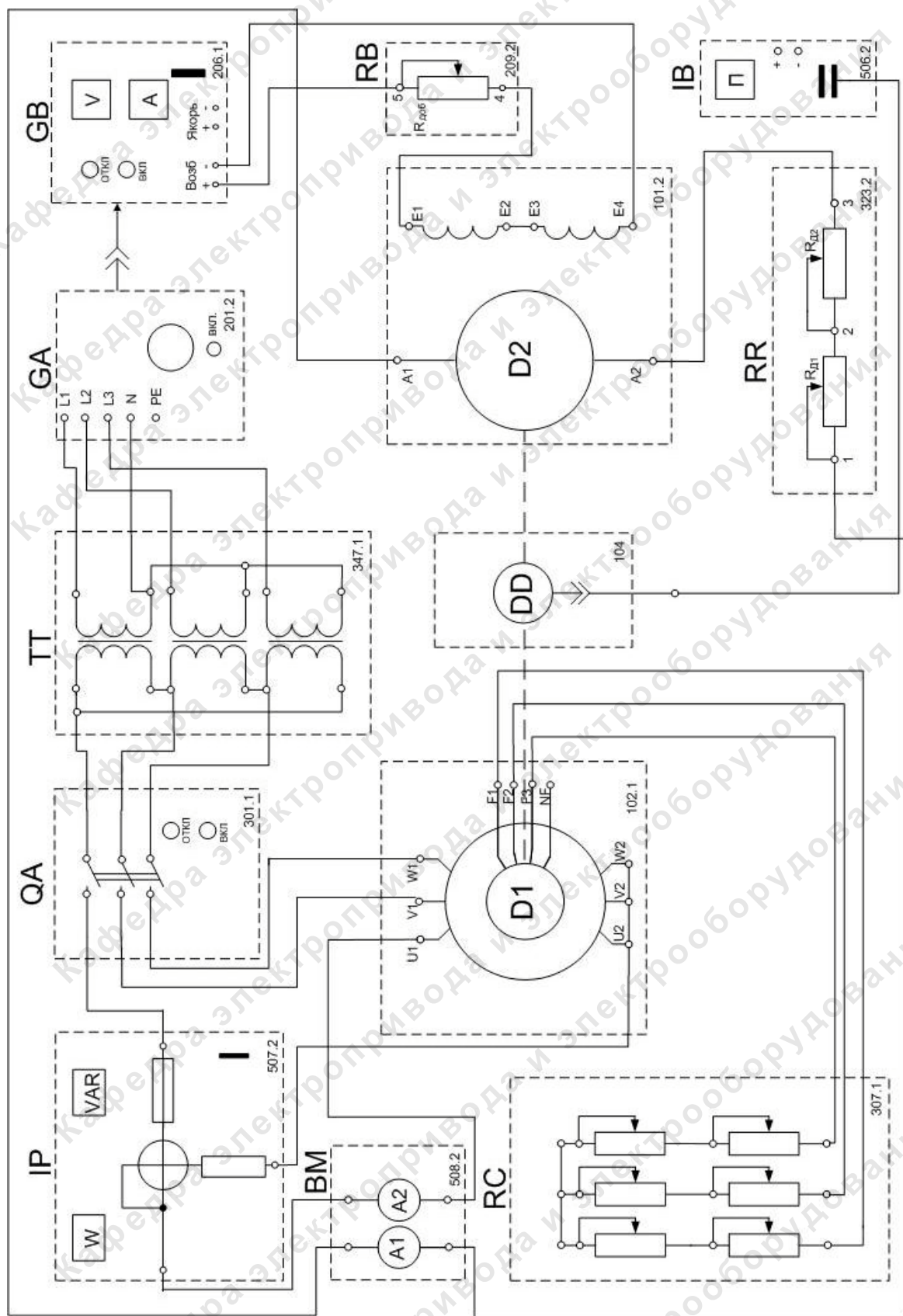


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема стенда для снятия характеристик в двигательном режиме

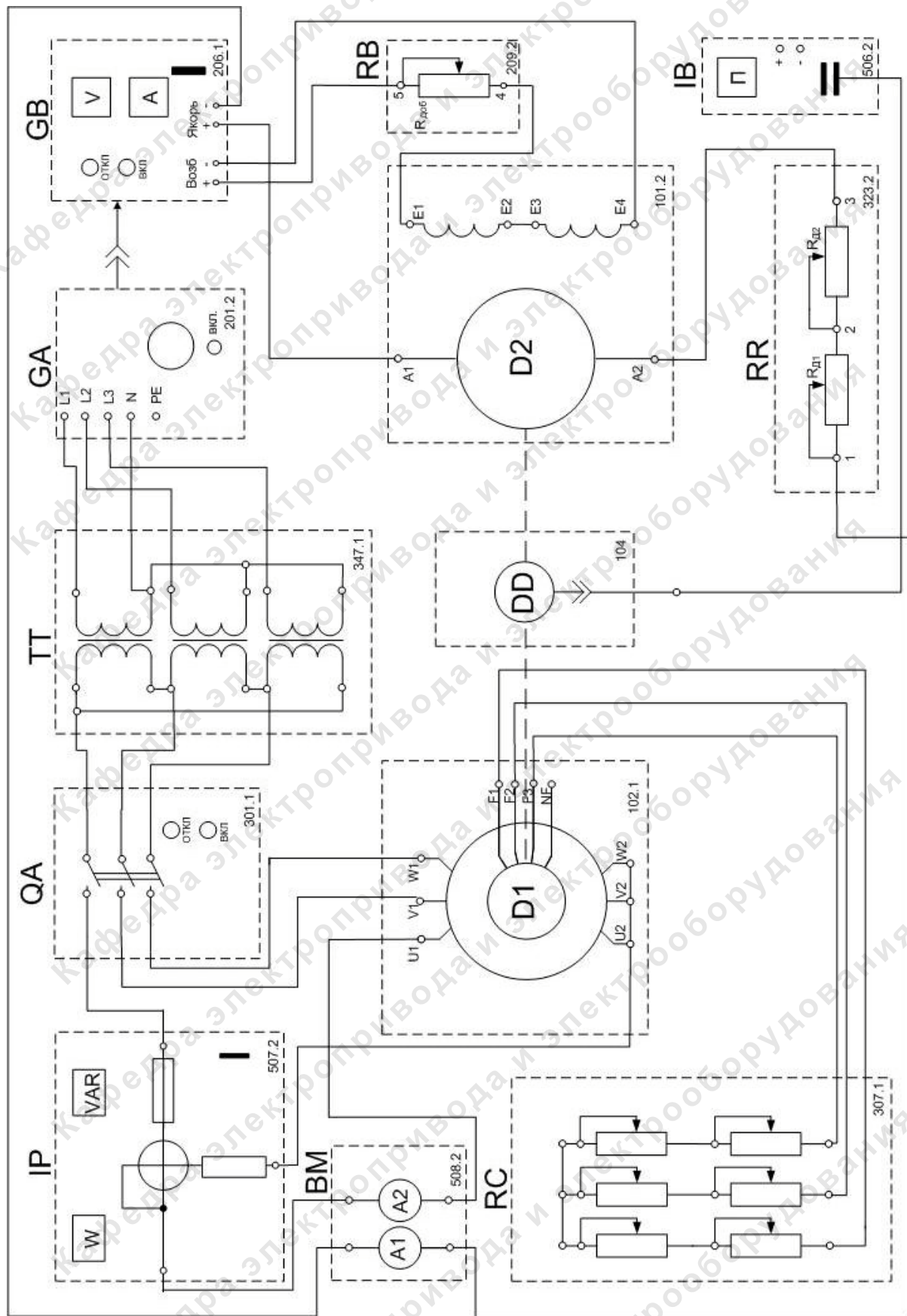


Рис. 3.2. Принципиальная электрическая схема стенда для снятия характеристик в тормозных режимах

Реостат для цепи ротора машины переменного тока.
Предназначен для ручного регулирования тока в обмотке ротора машины переменного тока.

Реостат.

Предназначен для ограничения пускового тока в цепи якоря двигателя постоянного тока.

Реостат возбуждения машины постоянного тока.

Предназначен для ручного регулирования тока возбуждения машины постоянного тока.

Преобразователь угловых перемещений.

Предназначен для преобразования скорости вращения электрических машин в сигнал цифрового вида.

Исследуемая машина переменного тока (асинхронный двигатель с фазным ротором):

$$P_H = 30 \text{ Вт};$$

$$U_H = 127 \text{ В};$$

$$I_H = 0,35 \text{ А};$$

$$n_H = 1250 \text{ об/мин};$$

$$\eta_H = 36 \%;$$

$$\cos \varphi_H = 0,73;$$

$$R_1 = 0,18 \text{ о.е.};$$

$$x_1 = 0,087 \text{ о.е.};$$

$$R_2' = 0,15 \text{ о.е.};$$

$$x_2' = 0,15 \text{ о.е.}$$

Нагрузочная машина постоянного тока (двигатель постоянного тока с независимым возбуждением):

$$P_H = 90 \text{ Вт};$$

$$U_H = 220 \text{ В};$$

$$I_H = 0,56 \text{ А};$$

$$n_H = 1500 \text{ об/мин};$$

$$I_{BH} = 0,2 \text{ А};$$

$$\eta_H = 57,2 \%;$$

$$\cos \varphi_H = 0,73;$$

$$R_{я} = 86 \text{ Ом};$$

$$R_{O.B.} = 1,15 \text{ кОм.}$$

Исследуемая и нагрузочная машины жестко соединены между собой и представлены в виде электромашинного агрегата, дополненного маховиком и преобразователем угловых перемещений.

3.2.2. Обозначение и параметры исследуемой аппаратуры (таблица 3.1)

Таблица 3.1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
GA	Трехфазный источник питания	201.2	~ 400 В; 16 А

Продолжение таблицы 3.1

GB	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	- 0...250 В; 3 А (якорь) - 200 В; 1 А (возбуждение)
D2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт; - 220 В 0,76 А (якорь) - 220В (возбуждение)
BM	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра = 0...1000 В; = 0...10 А; 0...20 МОм
IB	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин ⁻¹
IP	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А
DD	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
QA	Трехполюсный выключатель	301.1	~ 400 В; 10 А
BC	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307.1	3 × 0...40 Ом; 1 А
TT	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 × 80 В·А; 230 / 242, 235, 230, 226, 220, 133, 127 В
RR	Реостат	323.1	200 Ом; 0,8 А
D1	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; ~ 230 В; 1500 мин ⁻¹
RB	Реостат возбуждения машины постоянного тока	308.1	0...2000 Ом; 0,1...0,5 А.

3.3. Режимы работы, статические характеристики асинхронного электродвигателя с фазным ротором

Для электропривода с асинхронным двигателем (АД) при работе в двигательном и тормозных режимах приближенно характеристики могут быть рассчитаны, если известны основные технические данные двигателя и параметры его обмоток.

Расчеты выполняют, как правило, на основе Г-образной схемы замещения асинхронного двигателя.

Механические характеристики АД в режимах двигательном, торможения противовключением и рекуперативного (генераторного) торможения можно определить по формуле Клосса:

$$M = \frac{2 M_K (1 + a s_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2 a s_K},$$

где M_K – максимальный (критический) момент АД;

$$M_K = \frac{3U_1^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2})},$$

где U_1 – напряжение фазы статора;

R_1 – активное сопротивление фазы статора;

$X_K = X_1 + X_2'$ – индуктивное сопротивление к.з. фазы двигателя (X_1 , X_2' – индуктивные сопротивления фазы статора и приведенное фазы ротора);

ω_0 – угловая синхронная скорость вращения;

знак «+» – двигательный режим и торможение противовключением;

знак «-» – рекуперативное торможение;

$a = R_1/R_2'$ – коэффициент (R_2' – приведенное активное сопротивление фазы ротора);

$$s_K = \frac{R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2}} - \text{критическое скольжение};$$

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{n_0 - n}{n_0} - \text{скольжение двигателя},$$

где ω , n – текущие скорости вращения ротора.

На рис. 3.3 приведены механические характеристики АД в различных режимах работы.

При скольжении:

$s=1 \div 0$ – двигательный режим (I квадрант);

- $s \geq 1$ – режим торможения противовключением (IV квадрант);
- $s \leq 0$ – режим рекуперативного (генераторного) торможения (II квадрант);
- $s \leq 1$ – режим динамического торможения (II квадрант).

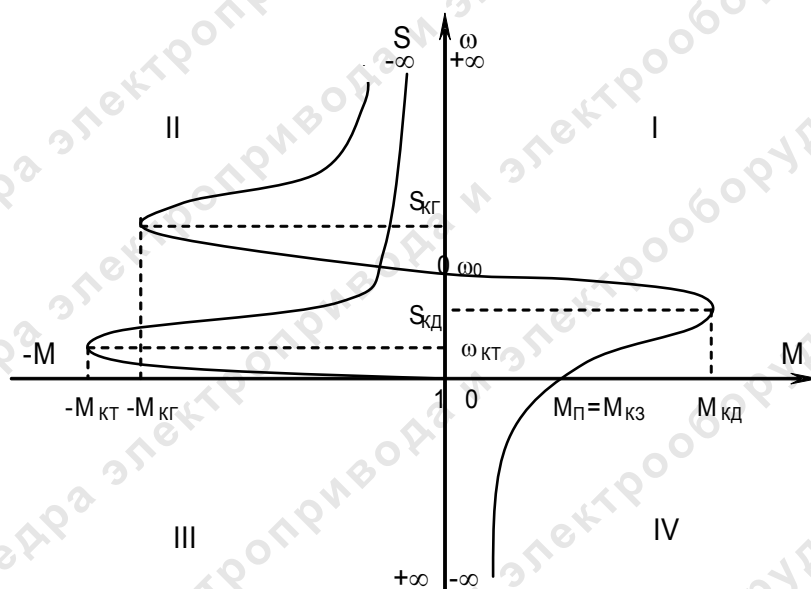


Рис .3.3. Механические характеристики режимов работы АД

Характерные точки механической характеристики в режимах двигательном, рекуперативном и противовключении следующие:

$s=0, \omega=\omega_0, M=0$ – точка идеального холостого хода (синхронная скорость вращения);

$s=1, \omega=0, M=M_{КЗ}=M_{П}$ – точка короткого замыкания;

$s=s_{КД}, M=M_{КД}, s=s_{КГ}, M=M_{КГ}$ – точки экстремума;

$s \rightarrow \pm\infty, \omega \rightarrow \mp\infty, M \rightarrow 0$ – асимптота механической характеристики, которой является ось скорости.

Механическую характеристику АД при динамическом торможении можно рассчитать по следующим формулам:

$$M \approx \frac{2M_{КТ}}{\frac{v_k^*}{v_k} + \frac{v_k}{v_k^*}},$$

где $v_k^* = \frac{\omega_k}{\omega_0}$ – критическая скорость (критическое скольжение)

при динамическом торможении;

$v^* = \frac{\omega}{\omega_0}$ – относительная скорость (скольжение) при торможении;

$M_{\text{КТ}} = \frac{3(K_{\text{СХ}} I_{\text{П}})^2 X_0^2}{2\omega_0(X_0 + X_2')}$, – максимальный (критический) момент при

динамическом торможении;

$K_{\text{СХ}}$ – коэффициент, зависящий от способа соединения обмотки статора ($K_{\text{СХ}}=0,816$, если обмотка статора соединена Y, и $K_{\text{СХ}}=0,472$, если обмотка статора соединена Δ);

$I_{\text{П}}$ – величина постоянного тока;

$X_0 \approx X_{\mu} = \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_0}\right)^2 - R_1^2 - X_1}$ – индуктивное сопротивление намагни-

чивающего контура в начальной части кривой намагничивания АД;

I_0 – ток намагничивающей цепи АД;

$v_k^* = \frac{R_{2\Sigma}'}{X_0 + X_2'}$, – критическая скорость при динамическом тормо-

жении.

Выражения для расчета электромеханических характеристик АД ($s=f(I_1)$, $s=f(I_2')$) выглядят следующим образом.

Ток фазы статора:

$$I_{1\text{С}} \approx \sqrt{I_0^2 + B(I_2')^2},$$

где $B = 1 + \frac{2I_0 X_{\text{К}}}{U_1}$ – коэффициент;

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{К}}^2}} \text{ – приведенный ток фазы ротора.}$$

Электромеханическая характеристика АД изображена на рис. 3.4.

Характерные точки электромеханической характеристики:

$s=0$, $\omega=\omega_0$, $I_2'=0$ – точка идеального холостого хода (синхронная скорость вращения);

$s=1$, $\omega=0$, $I_2'=I_{\text{кз}}$ – точка короткого замыкания;

$s_1=-R_2'/R_1$, $\omega_1=\omega_0(1+s_1)$, $I_2'=I_{\text{МАКС}}=U/X_{\text{К}}$ – точка максимального значения тока ротора, лежащая в области отрицательных скольжений;

$s \rightarrow \pm\infty, \omega \rightarrow \mp\infty, I_2' \rightarrow I_{\text{МАКС}} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}$ – асимптотическое значение

тока ротора при бесконечно большом увеличении скольжения и скорости.

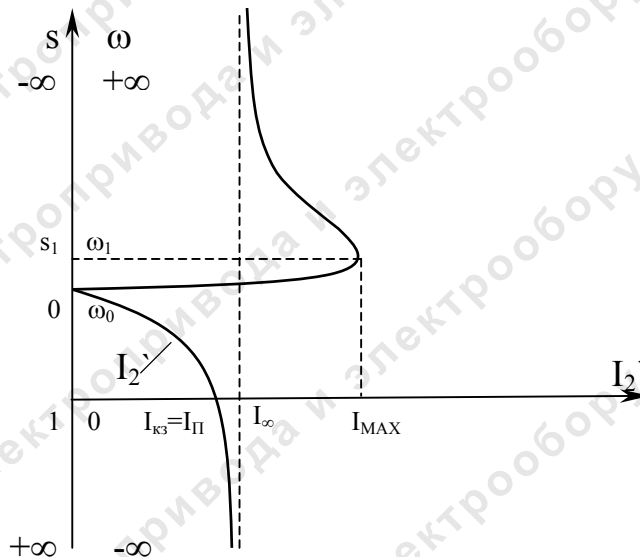


Рис. 3.4. Электромеханическая характеристика для различных режимов работы АД

Скорость вращения в электроприводе с асинхронным двигателем регулируется изменением частоты f и величины U питающего напряжения, числа пар полюсов $2p$, активного сопротивления статора R_1 , активного сопротивления ротора R_2' , индуктивного сопротивления статора X_1 и ротора X_2' .

На рис. 3.5 показаны механические естественная и искусственные характеристики при вышеуказанных способах регулирования.

АД с короткозамкнутым ротором наиболее просты по конструкции и надежны в эксплуатации, имеют высокие технические показатели; так, например, у асинхронных двигателей общепромышленного применения перегрузочная способность $\frac{M_M}{M_H} = 1,7 \div 2,5$. Главные недостатки

АД с КЗ ротором – излишняя чувствительность к напряжению питания ($M \equiv U_1^2$) и трудность регулирования скорости вращения.

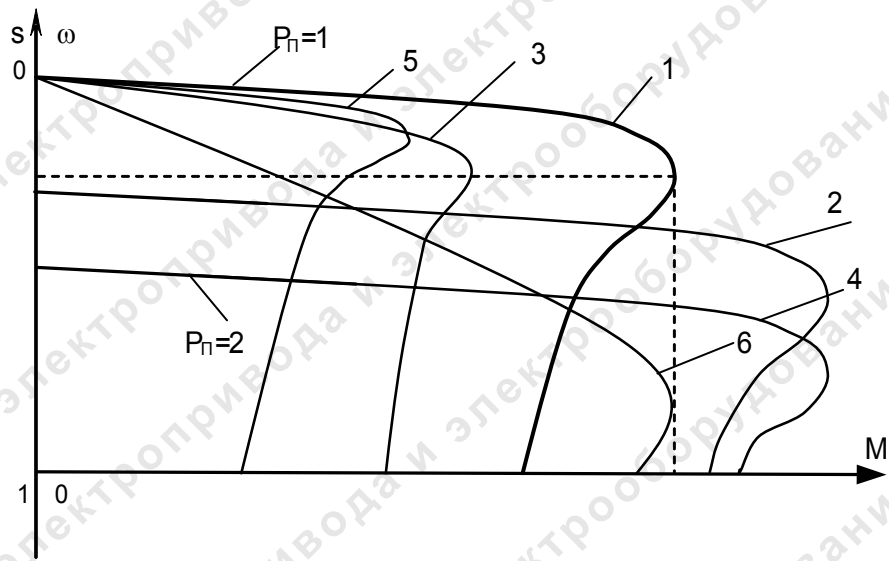


Рис. 3.5. Естественная и искусственные механические характеристики АД
 1– естественная ($U=U_H, f=f_H, r_1, r_2', x_1, x_2', 2P_{II}=2$);
 2– искусственная ($f < f_H$);
 3– искусственная ($U < U_H$);
 4– искусственная ($2P_{II}=4$);
 5– искусственная ($R_1 > r_1, X_K > x_1, X_K > x_2'$);
 6– искусственная ($R_2' > r_2'$)

3.4. Принципиальная электрическая схема стенда

Принципиальная электрическая схема стенда подразделяется на два варианта (рис. 3.1, рис. 3.2).

Источник GA – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока GB используется для питания регулируемым напряжением обмоток машины постоянного тока D2 с независимым возбуждением.

Преобразователь угловых перемещений DD генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения IB электромашинного агрегата.

Машина (асинхронный двигатель с фазным ротором) D1 получает питание от источника GA через трехфазную трансформаторную группу TT и трехполюсный выключатель QA.

Реостат блока RC служит для изменения активного сопротивления цепи ротора асинхронного двигателя D1.

Реостат блока RR ограничивает ток цепи якоря двигателя D1. Реостат блока RB возбуждения машины постоянного тока ограничивает ток цепи возбуждения двигателя D2.

Измеритель мощностей IP используется для измерения активной мощности в фазе «А» исследуемого двигателя D1.

С помощью мультиметров блока ВМ контролируются ток фазы «А» двигателя D1 (амперметр А2) и ток цепи якоря двигателя D2 (амперметр А1).

Для величин исследуемого двигателя D1 принят индекс 1, для нагрузочного двигателя D2 – индекс 2.

Согласное или встречное включение двигателей D1 и D2 устанавливаем по изменению направления скорости вращения предварительно включенного двигателя. Если после пуска другого двигателя скорость возросла – двигатели включены согласно, если скорость снизилась – двигатели включены встречно.

3.5. Программа экспериментов

Порядок экспериментального исследования электропривода:

- проверка работоспособности стенда;
- снятие естественных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ в двигательном режиме;
- снятие естественных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ в режиме рекуперативного торможения;
- снятие естественных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ в режиме торможения противовключением;
- снятие реостатных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ в двигательном режиме;
- снятие реостатных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ в режиме рекуперативного торможения;
- снятие реостатных характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ в режиме торможения противовключением ;
- снятие момента потерь $\omega = f(\Delta M)$ агрегата.

3.6. Подготовка стенда к эксперименту

3.6.1. Проверка работоспособности стенда по схеме первого варианта опытов (рис. 3.1)

Для этого необходимо проделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 28, часть 1 раздел 2, рис. 9).

- Соединить гнезда защитного заземления « \oplus » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 3.1).
- Переключатели режима работы источника GB и выключателя QA установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и реостата RC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочную рукоятку реостата блока RB в положение 200 Ом.
- Установить переключателем в блоке ТТ номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторов 133 В.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блоков, используемых в эксперименте.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Осуществить пуск двигателя D1 нажатием соответствующей кнопки выключателя QA.
- Частоту вращения n [мин⁻¹] двигателя D1 измерять с помощью указателя IB.
- Активную P [Вт] и реактивную Q [Вар] мощности, потребляемые двигателем D1, определять с помощью измерителя IP.
- Ток статора двигателя D1 измерять амперметром A2 блока BM.

3.6.2. Проверка работоспособности стенда по схеме второго варианта опытов (рис. 3.2)

Для этого необходимо проделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 28, часть 1 раздел 2, рис. 9).
- Соединить гнезда защитного заземления « \oplus » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 3.2).
- Переключатели режима работы источника GB и выключателя QA установить в положение «РУЧН.».

- Регулировочные рукоятки источника GB и реостата блока RC повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в положение 50 и 200 Ом.
- Установить переключателем в блоке ТТ номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторов 133 В.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блоков, используемых в эксперименте.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Осуществить пуск двигателя D1 нажатием соответствующей кнопки выключателя QA.
- Частоту вращения n [мин⁻¹] двигателя D1 измерять с помощью указателя IB.
- Активную P [Вт] и реактивную Q [Вар] мощности, потребляемые двигателем D1, определять с помощью измерителя IP.
- Ток статора двигателя D1 измерять амперметром A2 блока BM.

3.7. Снятие естественной характеристики двигателя D1

Естественные электромеханическая $\omega=f(I)$ и механическая $\omega=f(M)$ характеристики снимаются при номинальных параметрах ($U_H, f_H, R_1, R_2, X_1, X_2$ и т.д.) исследуемого двигателя D1 (рис. 3.6).

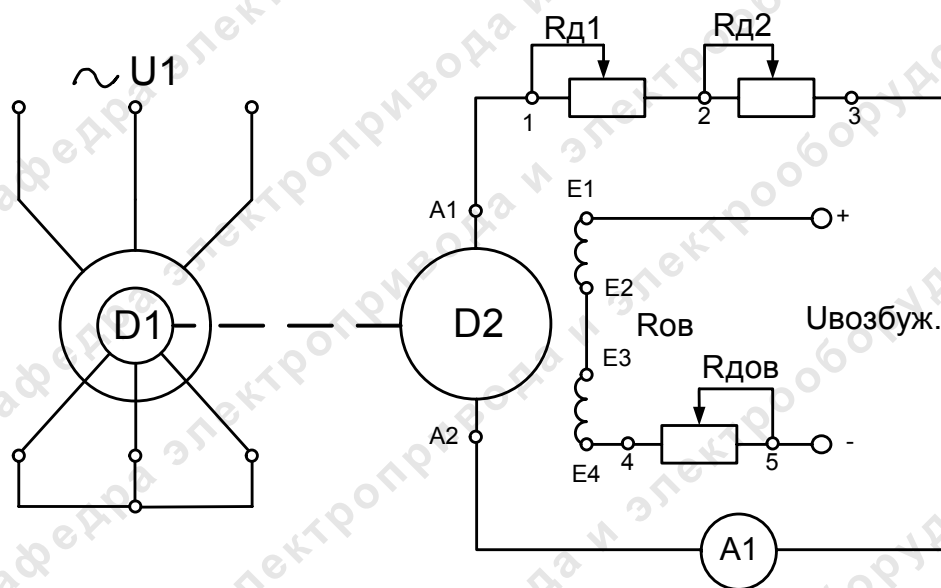


Рис. 3.6. Схема для снятия естественной характеристики в двигательном режиме

Подготовить стенд к работе по пункту 3.6.1.

- Занести значения тока I_1 (амперметр А2) статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу 3.2 (режим холостого хода).
- Нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять момент на валу исследуемого двигателя D1 и заносить значения тока I_1 (амперметр А2) статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

I_1, A								
$P, \text{Вт}$								
$n, \text{мин}^{-1}$								

- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить выключатель QA нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник GA нажатием на кнопку – гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы 3.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3.1)$$

и его электромагнитного момента M_1 двигателя по выражению

$$M_1 = \frac{3 \cdot P - 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1}{\omega_0}, \quad (3.2)$$

где R_1 – активное сопротивление фазы статорной обмотки двигателя D1 ($R_1 = 21 \text{ Ом}$);

ω_0 – угловая частота вращения магнитного поля двигателя D1 ($\omega_0 = 157 \text{ с}^{-1}$).

Полученные результаты занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

$M_1, \text{Н} \cdot \text{м}$							
$\omega, \text{с}^{-1}$							

- Прodelать опыт для больших значений сопротивлений $R_{\text{доб } 2}$ рeостата блока РС (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить выключатель QA нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 3.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (3.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (3.2) с занесением полученных результатов в таблицы, аналогичные таблице 3.3.
Привести пример расчета.
- По данным таблиц, аналогичных таблицам 3.2 и 3.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M)$ характеристики двигателя D1.

3.9. Снятие естественной характеристики двигателя D1 в режиме рекуперативного торможения

Рекуперативное торможение возможно, если $\omega > \omega_0$. На стенде этот режим двигателю D1 создает согласно с ним включенный нагрузочный двигатель D2.

В режиме рекуперативного торможения естественные электромеханическая $\omega=f(I)$ и механическая $\omega=f(M)$ характеристики снимаются при номинальных параметрах ($U_n, f_n, R_1, R_2, X_1, X_2$ и т.д.) двигателя D1 (рис. 3.8).

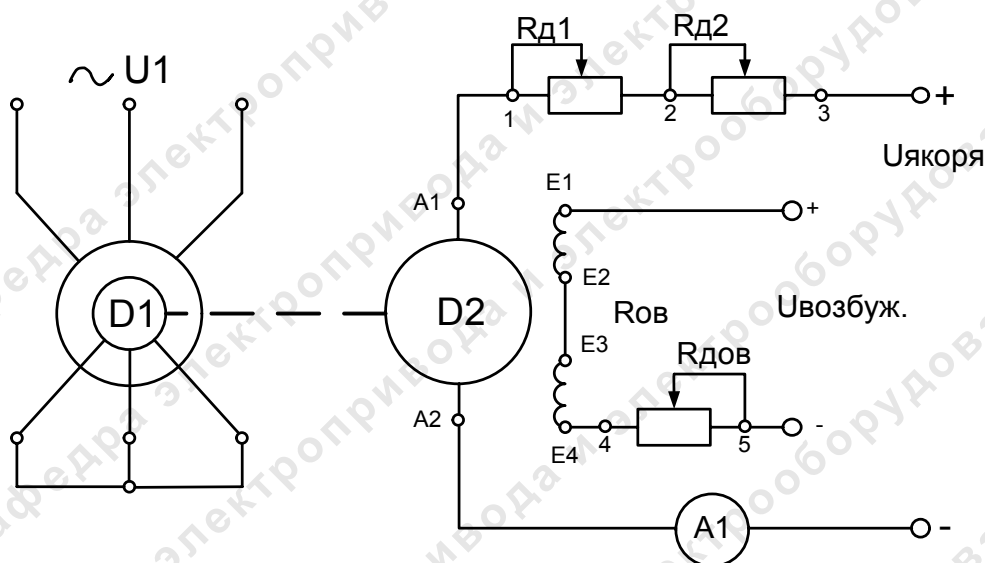


Рис. 3.8. Схема для снятия естественной характеристики в режиме рекуперативного торможения

Подготовить стенд к работе по пункту 3.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ.
- Отключить двигатель D1 выключателем QA нажав на кнопку «ОТКЛ.»
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB разогнать двигатель D1 и зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ. Убедиться, что двигатели включены согласно (знаки скоростей совпадают). При несовпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D1 путем изменения порядка чередования фаз.
- Повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора.
- Осуществить пуск двигателя D1 нажатием соответствующей кнопки выключателя QA.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять момент на валу исследуемого двигателя D1 и заносить значения тока I_1 (амперметр A1) статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу, аналогичную таблице 3.2. Переход

из двигательного режима в режим рекуперации (и наоборот) фиксировать по амперметру А1 и прибору ИВ.

- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить выключатель QA нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы, аналогичной таблице 3.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (3.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (3.2) с занесением полученных результатов в таблицу, аналогичную таблице 3.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 3.2 и 3.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

3.10. Снятие естественной характеристики двигателя D1 в режиме торможения противовключением

Торможение противовключением возможно, если $\omega < 0$. На стенде этот режим двигателю D1 создает встречно с ним включенный нагрузочный двигатель D2.

В режиме торможения противовключением естественные электромеханическая $\omega=f(I)$ и механическая $\omega=f(M)$ характеристики снимаются при номинальных параметрах ($U_H, f_H, R_1, R_2, X_1, X_2$ и т.д.) двигателя D1 (рис. 3.9).

Подготовить стенд к работе по пункту 3.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ.
- Отключить двигатель D1 выключателем QA нажав на кнопку «ОТКЛ.»
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB разогнать двигатель D1 и зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ. Убедиться, что двигатели включены встречно (знаки скоростей противоположны). При совпадении знаков необходимо по-

менять направление вращения двигателя D1 путем изменения порядка чередования фаз.

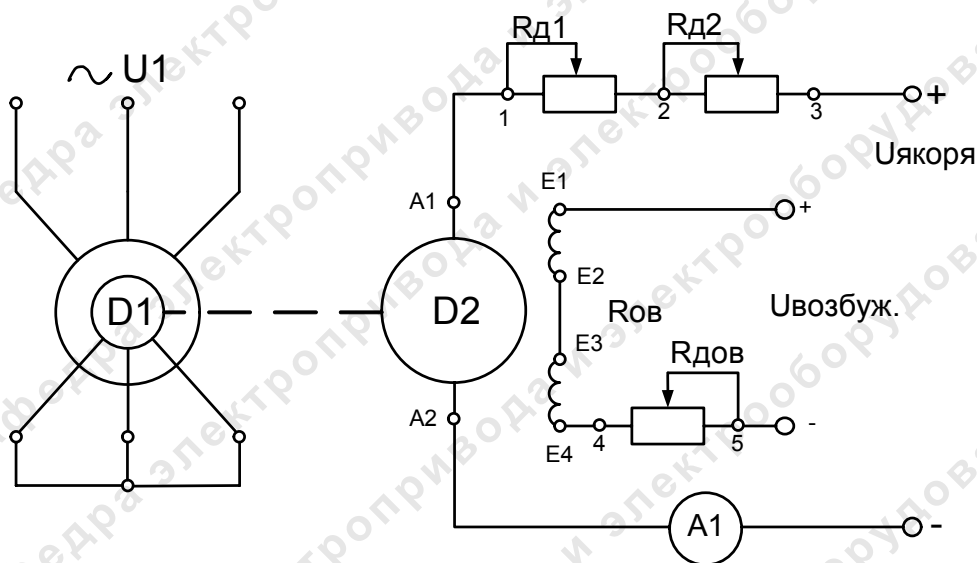


Рис. 3.9. Схема для снятия естественной характеристики в режиме торможения противовключением

- Повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора.
- Осуществить пуск двигателя D1 нажатием соответствующей кнопки выключателя QA.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять момент на валу исследуемого двигателя D1 и заносить значения тока I_1 (амперметр A1) статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу, аналогичную таблице 3.2. Переход из двигательного режима в режим противовключения (и наоборот) фиксировать по амперметру A1 и прибору IB.
- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить выключатель QA нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы, аналогичной таблице 3.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (3.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (3.2) с

занесением полученных результатов в таблицу, аналогичную таблице 3.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 3.2 и 3.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

3.11. Снятие реостатных характеристик двигателя D1 в режиме рекуперативного торможения

Рекуперативное торможение возможно, если $\omega > \omega_0$. На стенде этот режим двигателю D1 создает согласно с ним включенный нагрузочный двигатель D2.

Реостатные характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимаются при номинальных значениях напряжения U_H и частоты f_H питающей сети и введенных добавочных сопротивлений $R_{доб2}$ в цепь ротора (рис. 3.10).

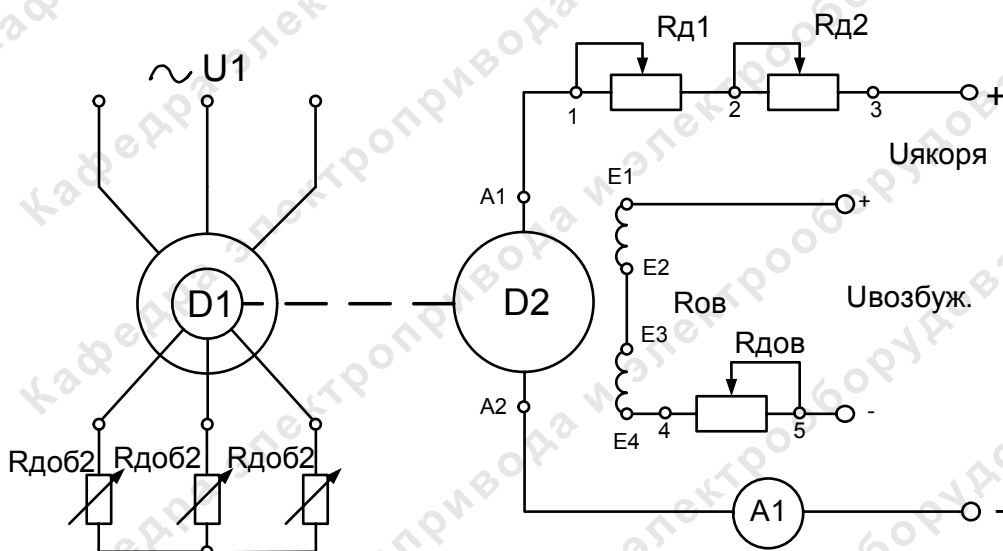


Рис. 3.10. Схема для снятия реостатных характеристик в режиме рекуперативного торможения

Подготовить стенд к работе по пункту 3.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ.
- Отключить двигатель D1 выключателем QA нажав на кнопку «ОТКЛ.»
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB разогнать двигатель D1 и зафиксировать знак скорости вращения n по прибору

IV. Убедиться, что двигатели включены согласно (знаки скоростей совпадают). При несовпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D1 путем изменения порядка чередования фаз.

- Повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора.
- Осуществить пуск двигателя D1 нажатием соответствующей кнопки выключателя QA.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Установить величину сопротивления $R_{\text{доб2}}=20$ Ом реостата блока RC.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять момент на валу исследуемого двигателя D1 и заносить значения тока I_1 (амперметр A1) статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу, аналогичную таблице 3.2. Переход из двигательного режима в режим рекуперации (и наоборот) фиксировать по амперметру A1 и прибору IV.
- Провести опыт для больших значений сопротивлений $R_{\text{доб2}}$ реостата RC (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить выключатель QA нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы, аналогичной таблице 3.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (3.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (3.2) с занесением полученных результатов в таблицу, аналогичную таблице 3.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 3.2 и 3.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

3.12. Снятие реостатных характеристик двигателя D1 в режиме торможения противовключением

Торможение противовключением возможно, если $\omega < 0$. На стенде этот режим двигателю D1 создает встречно с ним включенный нагрузочный двигатель D2.

Реостатные характеристики снимаются $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$ снимать при номинальных значениях напряжения U_N и частоты f_N питающей сети и введенных добавочных сопротивлений $R_{доб2}$ в цепь ротора (рис. 3.11).

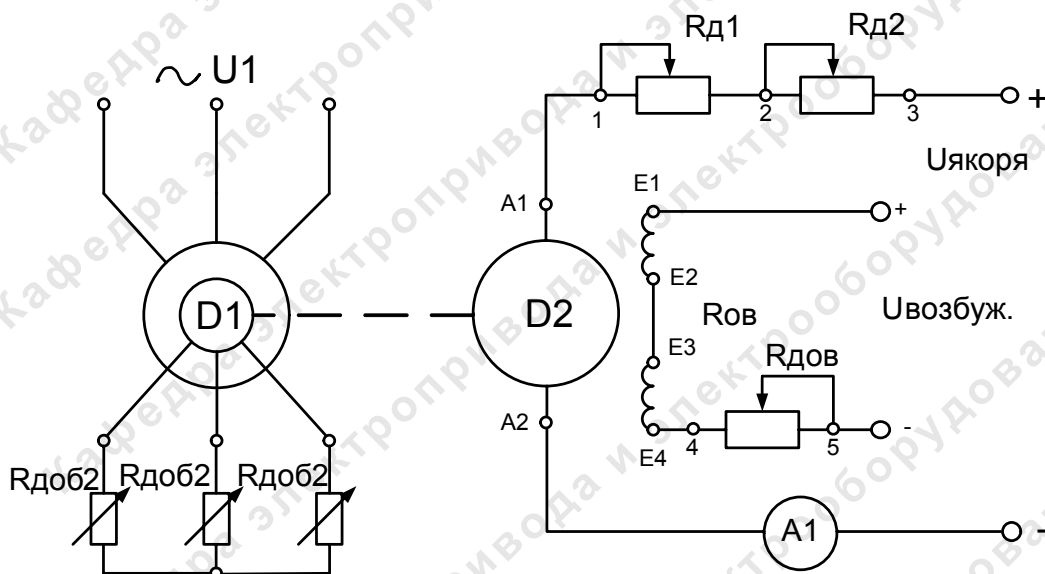


Рис. 3.11. Схема для снятия реостатных характеристик в режиме торможения противовключением

Подготовить стенд к работе по пункту 3.6.2.

- Зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ.
- Отключить двигатель D1 выключателем QA нажав на кнопку «ОТКЛ.»
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB разогнать двигатель D1 и зафиксировать знак скорости вращения n по прибору ИВ. Убедиться, что двигатели включены встречно (знаки скоростей противоположны). При совпадении знаков необходимо поменять направление вращения двигателя D1 путем изменения порядка чередования фаз.
- Повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора.

- Осуществить пуск двигателя D1 нажатием соответствующей кнопки выключателя QA.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Установить величину сопротивления $R_{\text{доб2}}=20$ Ом реостата блока RC.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять момент на валу исследуемого двигателя D1 и заносить значения тока I_1 (амперметр A1) статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу, аналогичную таблице 3.2. Переход из двигательного режима в режим противовключения (и наоборот) фиксировать по амперметру A1 и прибору IB.
- Провести опыт для больших значений сопротивлений $R_{\text{доб2}}$ реостата блока RC (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить выключатель QA нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 3.2, вычислить значения угловой частоты вращения ω двигателя D1 по выражению (3.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (3.2) с занесением полученных результатов в таблицы, аналогичные таблице 3.3.

Привести пример расчета.

- По данным таблиц, аналогичных таблицам 3.2 и 3.3, построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики двигателя D1.

3.13. Снятие момента потерь агрегата

Момент потерь ΔM (рис. 3.13) агрегата, необходимый для определения полного электромагнитного момента исследуемой машины, находится в ниже приведенной последовательности (рис. 3.12).

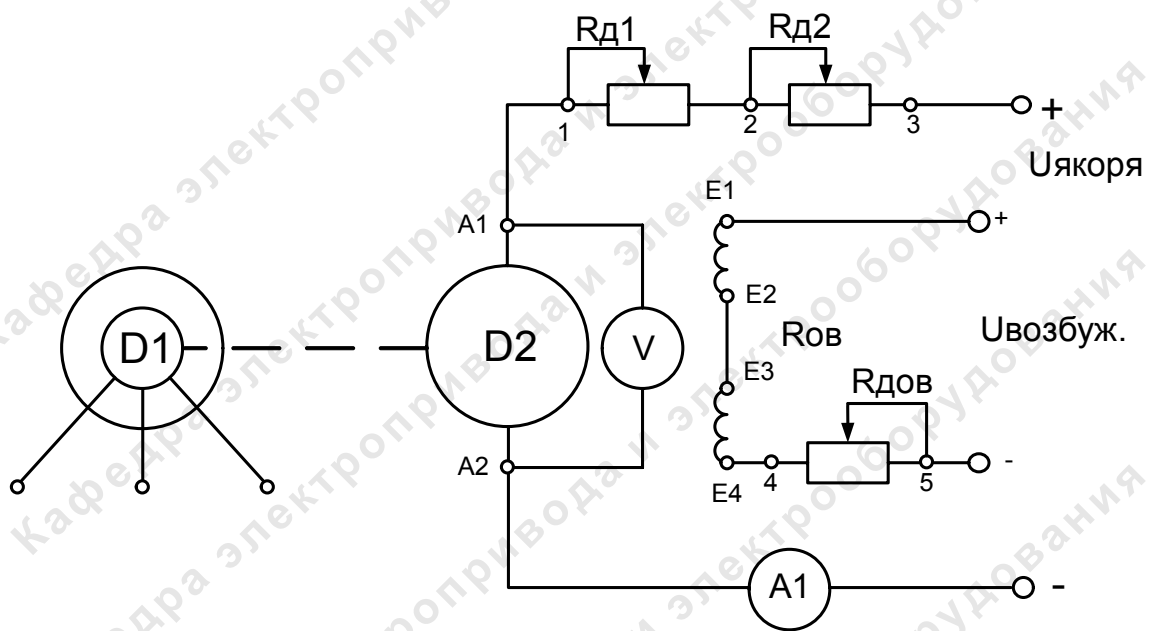


Рис. 3.12. Схема для снятия кривой потерь

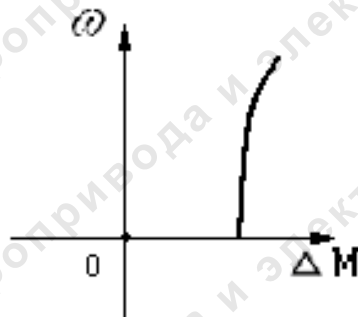


Рис. 3.13. Характеристика момента потерь

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр.28, часть 1 раздела 2, рис. 9.).
- Соединить гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника GA.
- Подключить электрическую цепь нагрузочной машины D2 в соответствии с электрической схемой соединения (рис. 3.2).
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в положения соответственно 50 и 200 Ом.
- Переключатель режима работы источника GB установить в положение «РУЧН».

- Регулировочную рукоятку источника GB повернуть против часовой стрелки до упора.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров BM и указателя частоты вращения IB.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Перевести регулировочные рукоятки реостатов блоков RR и RB в крайнее левое положение.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять ток якоря I_2 (до 1А) двигателя D2 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а так же указателя IB в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

I_2, A							
$U_{\text{я}}, \text{В}$							
$n, \text{мин}^{-1}$							

- По завершении эксперимента повернуть регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до упора и нажать кнопку «ОТКЛ.». Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы 3.4, вычислить значения угловой частоты вращения ω (по выражению 3.1) двигателя D2 и его значения момента потерь ΔM по формуле:

$$\Delta M = \frac{60}{2\pi n} (U_{\text{я}} - 65 \cdot I_2) \cdot I_2 \quad (3.3)$$

и занести полученные результаты в таблицу 3.5.

Таблица 3.5

$\Delta M, \text{Н}\cdot\text{м}$							
$\omega, \text{с}^{-1}$							

Пример расчета.

- По данным таблицы 3.5 построить характеристику момента потерь $\omega = f(\Delta M)$ двигателя D1.

3.14. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема стенда с краткими пояснениями.
3. Таблицы опытных данных и характеристики $\omega=f(I_1)$ для всех опытов на одном графике: $\omega=f(M_1)$ для всех опытов на другом графике в том числе и для опыта момента потерь агрегата;
4. Показатели регулирования скорости вращения двигателя D1 (диапазон, точность, плавность);
5. Краткие выводы.

3.15. Контрольные вопросы

- 3.15.1. Преимущества и недостатки АД с короткозамкнутым и фазным роторами.
- 3.15.2. Что такое «скольжение» двигателя? Доказать значение скольжений в различных режимах.
- 3.15.3. Почему при синхронной скорости ток ротора равен нулю, а ток статора отличен от нуля?
- 3.15.4. Почему формы характеристик $\omega=f(I_1)$ и $\omega=f(M_1)$ АД существенно различаются?
- 3.15.5. Как вызвать различные тормозные режимы исследуемого двигателя?
- 3.15.6. Как экспериментально определить электромагнитный момент АД?
- 3.15.7. Как экспериментальным путем определить момент потерь ΔM агрегата (АД+ДНВ)?

Литература

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
3. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
4. Электротехника: Учебное пособие для вузов. В 3-х книгах. Книга 3. Электроприводы. Электроснабжение / Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.А. Шестакова. – Челябинск: Изд-во Ю УрГУ, 2005. – 639 с.

Лабораторная работа №4

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ «ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ - ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ»

4.1. Цель работы

Изучение принципа работы, исследование электромеханических $\omega=f(I)$ и механических $\omega=f(M)$ характеристик системы тиристорного электропривода постоянного тока.

4.2. Оборудование стенда (состав аппаратуры)

4.2.1. Назначение и описание функциональных блоков лабораторной установки (рис. 4.1)

Трехфазный источник питания.

Предназначен для питания комплекта трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.

Активная нагрузка.

Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной энергии. Регулируется вручную.

Блок мультиметров.

Предназначен для измерения токов, напряжений, омических сопротивлений. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.

Указатель частоты вращения

Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате в аналоговой форме.

Трехфазная трансформаторная группа.

Предназначена для преобразования однофазного / трехфазного напряжения.

Преобразователь угловых перемещений.

Предназначен для преобразования скорости вращения электрических машин в сигнал цифрового вида.

Возбудитель машины переменного тока.

Предназначен для питания обмотки возбуждения синхронной машины. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ).

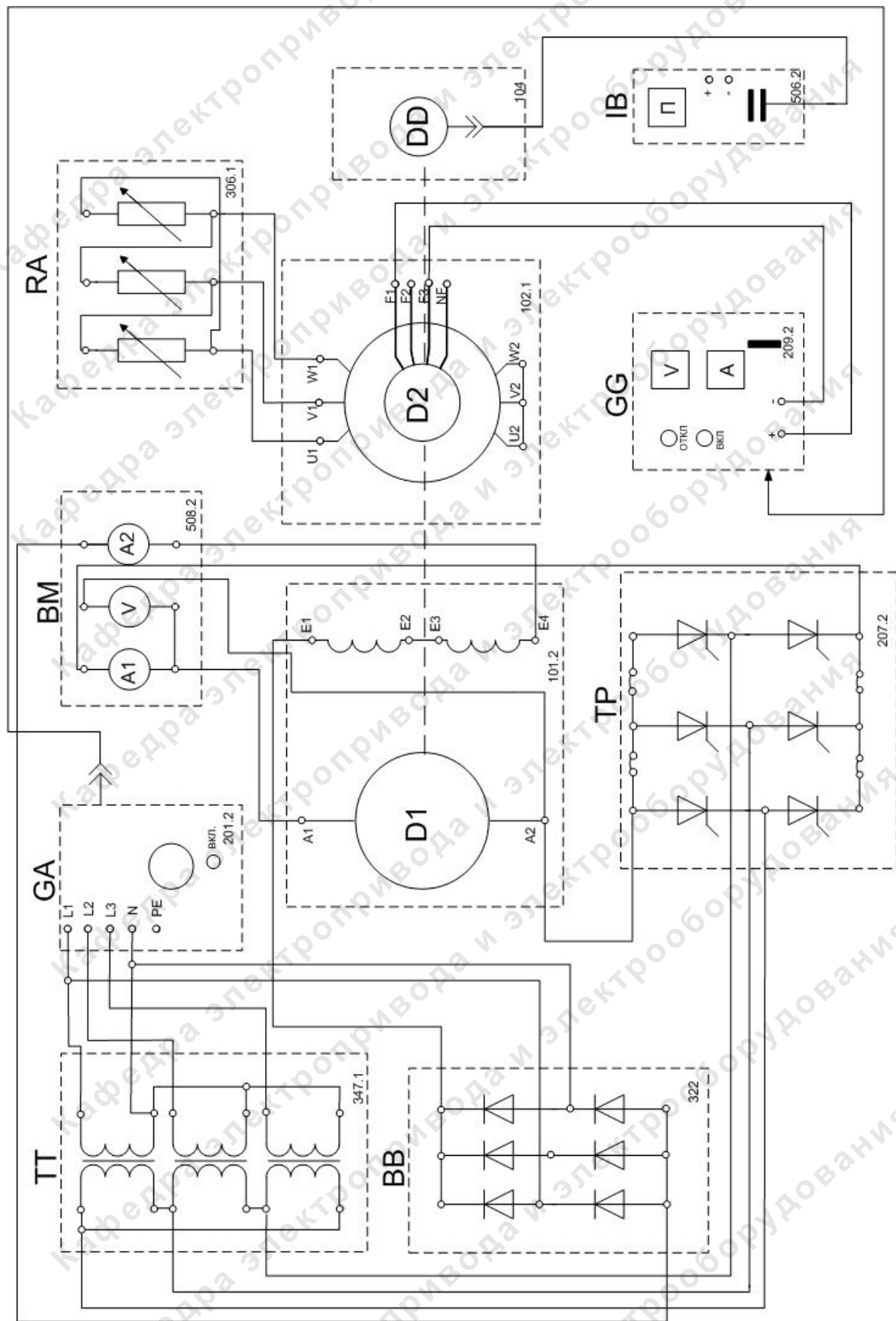


Рис. 4.1. Принципиальная электрическая схема тиристорного электропривода

Напряжение возбуждения регулируется вручную или дистанционно / автоматически. Выходные цепи изолированы от входных.

Выпрямитель.

Предназначен для неуправляемого преобразования энергии трехфазного переменного тока в энергию постоянного тока.

Тиристорный преобразователь – регулятор.

Предназначен для регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока (режим преобразователя) и трехфазного асинхронного двигателя (режим регулятора). Преобразует трехфазное напряжение синусоидального тока в напряжение постоянного тока, а также в трехфазное напряжение переменной величины. Выходное напряжение регулируется вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ).

Исследуемая машина постоянного тока (двигатель постоянного тока с независимым возбуждением):

$$\begin{aligned}
 P_H &= 90 \text{ Вт}; & \eta_H &= 57,2 \%; \\
 U_H &= 220 \text{ В}; & \cos \varphi_H &= 0,73; \\
 I_H &= 0,56 \text{ А}; & R_{я} &= 86 \text{ Ом}; \\
 n_H &= 1500 \text{ об/мин}; & R_{O.B.} &= 1,15 \text{ кОм}. \\
 I_{BH} &= 0,2 \text{ А};
 \end{aligned}$$

Нагрузочная машина переменного тока (асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором):

$$\begin{aligned}
 P_H &= 30 \text{ Вт}; & \cos \varphi_H &= 0,73; \\
 U_H &= 127 \text{ В}; & R_1 &= 0,18 \text{ о.е.}; \\
 I_H &= 0,35 \text{ А}; & x_1 &= 0,087 \text{ о.е.}; \\
 n_H &= 1250 \text{ об/мин}; & R_2' &= 0,15 \text{ о.е.}; \\
 \eta_H &= 36 \%; & x_2' &= 0,15 \text{ о.е.}
 \end{aligned}$$

Исследуемая и нагрузочная машины жестко соединены между собой и представлены в виде электромашинного агрегата, дополненного маховиком и преобразователем угловых перемещений.

4.2.2. Обозначение и параметры исследуемой аппаратуры (таблица 4.1)

Таблица 4.1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
GA	Трехфазный источник питания.	201.2	~ 400 В; 16 А

Продолжение таблицы 4.1

GG	Возбудитель машины переменного тока	209.2	-0...40 В; 3,5 А
RA	Активная нагрузка	306.1	$3 \times 0...50$ Вт; 220/380 В
BM	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра $\approx 0...1000$ В; $\approx 0...10$ А; 0...20 МОм
IB	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин ⁻¹
DD	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
D2	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; ~ 230 В; 1500 мин ⁻¹
D1	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; - 220 В 0,76 А (якорь); - 220 В (возбуждение)
BB	Выпрямитель	322	Трехфазный мост 3x400 В / 2 А
TT	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 / 242, 235, 230, 226, 220, 133, 127 В
TP	Тиристорный преобразователь - регулятор	207.2	$\sim 3 \times 400$ В / 2 А 6 тиристоров

4.3. Режимы работы, статические характеристики системы тиристорного электропривода постоянного тока

В данной работе исследуются мостовая трехфазная схема выпрямления переменного тока в постоянный, режимы работы двигателя при питании от вентильных преобразователей, электромеханические и механические характеристики исследуемого электропривода.

Регулирование напряжения преобразователя осуществляется изменением момента включения каждого тиристора, иначе говоря, изменением угла управления α , или угла включения ν_0 (рис. 4.2). Отсчет угла управления ведется относительно точки естественной коммутации ν_{ek} , а угла включения – относительно начала положительной полуволны фаз-

ного напряжения. Для включения тиристора при положительном напряжении на аноде следует подать на управляющий электрод относительно катода положительный импульс.

На рис. 4.2 представлены линейные диаграммы напряжений U на входе и выходе трехфазного преобразователя в предположении мгновенной коммутации, т.е. когда ток i из цепи работающего вентиля мгновенно переходит в цепь следующего. Мгновенная коммутация возможна при отсутствии или малости индуктивности на стороне переменного тока преобразователя. Практически при наличии указанной индуктивности ток нагрузки не может мгновенно перейти из цепи одного вентиля в цепь другого, поэтому некоторое время после подачи сигнала на включение очередного вентиля работают два вентиля, ток в цепи одного увеличивается и в цепи другого уменьшается (рис. 4.3). Продолжительность работы двух вентилях называется углом коммутации γ . При больших токах преобразователя величина угла γ может растянуться на все время работы вентиля, т.е. может быть $\gamma > 2\pi/m$, где m – число фаз преобразователя.

Зависимость среднего значения ЭДС многофазного преобразователя от угла управления тиристорами α имеет вид:

$$E_{cp} = E_{max} m \sin(\pi / m) \cos(\alpha / \pi) = E_{cp0} \cos \alpha ,$$

где m – число фаз;

E_{max} – амплитудное значение ЭДС преобразователя;

E_{cp0} – ЭДС преобразователя при $\alpha=0^\circ$.

Уравнения для электромеханической и механической характеристик двигателя, питаемого от тиристорного преобразователя будут иметь вид:

$$\omega = E_{cp0} \cos \alpha / (k\Phi) - I(R_{я} + R_{II}) / (k\Phi);$$

$$\omega = E_{cp0} \cos \alpha / (k\Phi) - M(R_{я} + R_{II}) / (k\Phi)^2 ,$$

где $R_{II} = x_T m / (2\pi) + R_T$ – эквивалентное сопротивление преобразователя;

R_T, x_T – соответственно приведенные ко вторичной обмотке активное сопротивление обмоток трансформатора и индуктивное сопротивление рассеяния.

При работе преобразователя на двигатель, кроме указанных, могут возникнуть дополнительные режимы, связанные с наличием в двигателе противо-ЭДС. Поэтому различают в этих случаях режим непрерывного (рис. 4.2, рис. 4.3) и прерывистого (рис. 4.4) тока.

В режимах прерывистого тока на участках, где противо-ЭДС двигателя больше, чем мгновенная величина выпрямленного напряжения, ток двигателя протекает под действием ЭДС самоиндукции, и он может

снизиться до нуля раньше, чем включится очередной вентиль (рис. 4.4). В этом случае в напряжении на нагрузке появляется площадка, величина которой соответствует противо-ЭДС двигателя. При включении очередного вентиля ток нагрузки начинает увеличиваться с нуля, а угла коммутации здесь не существует.

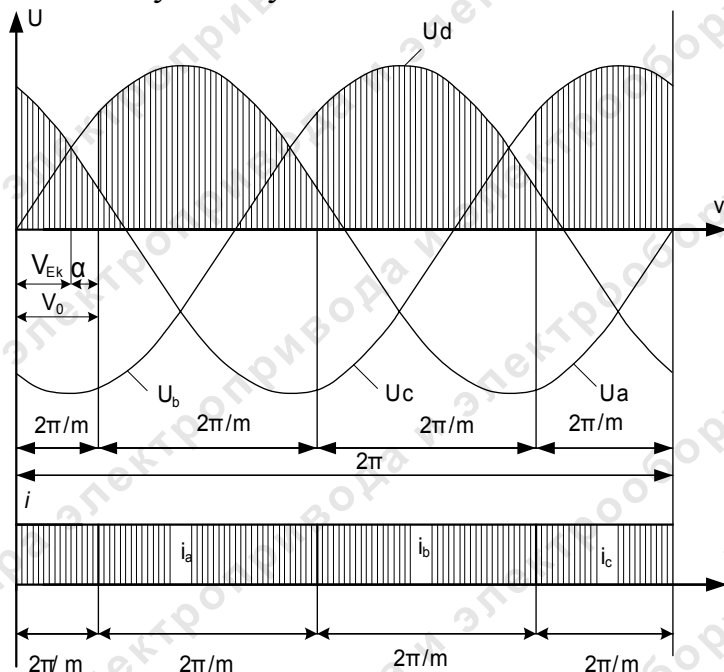


Рис. 4.2. Режим непрерывного тока при $\gamma=0$

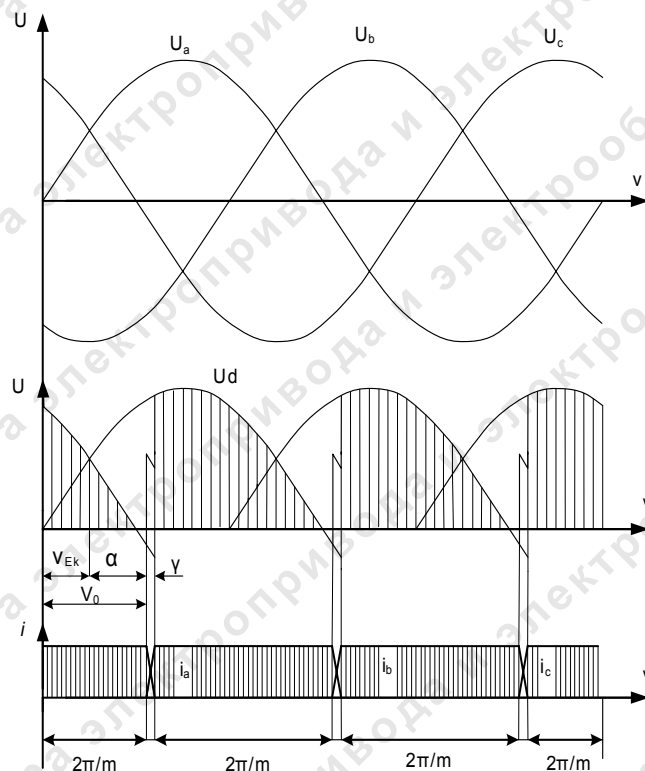


Рис. 4.3. Режим непрерывного тока при $\gamma \neq 0$

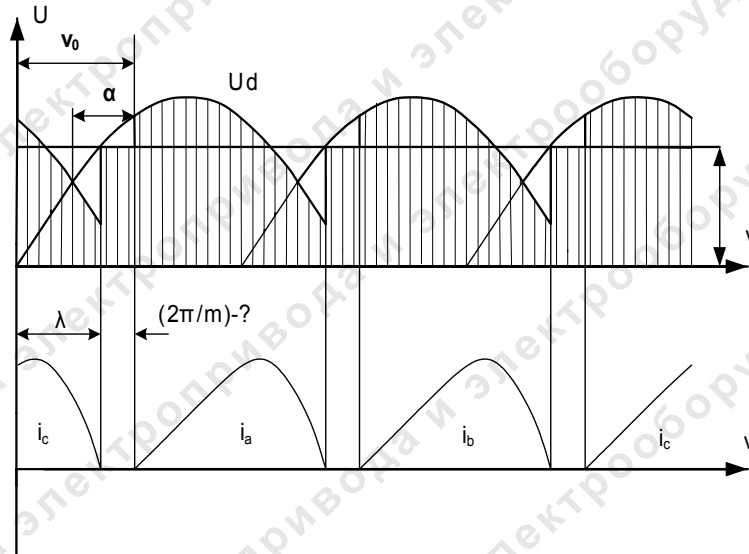


Рис. 4.4. Режим прерывистого тока

4.3.1. Режим непрерывного тока при мгновенной коммутации (питание преобразователя от сети бесконечной мощности)

Выражение для расчета выпрямленного напряжения:

$$U_d = \frac{I}{2\pi/m} \int_0^{2\pi/m} \sqrt{2}U \sin(v_{ek} + \alpha + v) dv = \frac{\sqrt{2}m \sin \frac{p}{m}}{p} U \cos \alpha = U_{d0} \cos(\alpha) ,$$

где v_{ek} – угол естественной коммутации;

U_{d0} – средняя величина выпрямленного напряжения идеального ($\Delta U=0$) неуправляемого выпрямителя;

U – действующее значение фазного напряжения.

4.3.2. Режим непрерывного тока при наличии угла коммутации с учетом активного сопротивления на стороне переменного тока

Выражение для расчета выпрямленного напряжения:

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{1}{2\pi/m} \int_0^{2\pi/m} U_d(v) dv = \\
 &= \frac{1}{2\pi/m} \left[\int_0^\gamma \frac{U_1(v) + U_2(v)}{2} dv + \int_\gamma^{2\pi/m} \sqrt{2}U \sin(v_{ek} + \alpha + \gamma + v) dv + \int_0^{2\pi/m} R_{mp} i_d(v) dv \right] = \frac{1}{2\pi/m} \\
 &\left\{ \frac{\sqrt{2}U}{2} \int_0^\gamma [\sin(v_{ek} + \alpha + v) + \sin(v_{ek} + \alpha + 2\pi/m + v)] dv + \int_\gamma^{2\pi/m} \sqrt{2}U \sin(v_{ek} + \alpha + \gamma + v) dv \right\} - I_d R_{mp},
 \end{aligned}$$

где γ – угол коммутации;

$U_1(v), U_2(v)$ – мгновенные величины фазных напряжений в цепи включаемого и выключаемого вентиля соответственно;

i_d – мгновенная величина тока нагрузки;

R_{mp} – активное сопротивление фазы на стороне переменного тока преобразователя;

I_d – среднее значение тока нагрузки.

Точное решение ввиду сложности выражения для γ получается громоздким, поэтому при практических расчетах в предположении прямолинейной коммутации используют формулу:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - I_d R_{mp} - I_d \frac{x_{mp} m}{2\pi},$$

где x_{mp} – индуктивное сопротивление фазы на стороне переменного тока преобразователя.

В последней формуле величина $I_d \frac{x_{mp} m}{2\pi}$ учитывает коммутационное падение напряжения.

Электромеханические и механические характеристики для режима непрерывного тока приведены на рис. 4.5 в незаштрихованной области.

4.3.3. Режим прерывистого тока

Здесь величина среднего выпрямленного напряжения на нагрузке определяется выражением $U_d = \frac{1}{2\pi/m} \int_0^{2\pi/m} U_d(v) dv$, которое в развернутом виде для практических случаев переписывается так:

$$U_d = \frac{1}{2\pi/m} \left[\int_0^\pi \sqrt{2}U \sin(v_0 + v) dv + \int_0^{2\pi/m-\lambda} E dv \right] - I_d R_{mp},$$

где λ – длительность работы вентилей в режиме прерывистого тока;

E – ЭДС двигателя;

ν_0 – угол включения вентилей.

Если в режиме непрерывного тока $\lambda=2\pi/m$, то в режиме прерывистого тока λ является функцией ЭДС двигателя, угла управления и электромагнитной постоянной времени контура, по которому протекает ток нагрузки.

Решив уравнение режима прерывистого тока, получим:

$$U_d = \frac{\sqrt{2}m}{\pi} U \sin \frac{\pi}{2} \sin(\nu_0 + \frac{\pi}{2}) + E(1 - \frac{\lambda m}{2\pi}) - I_d R_{mp}.$$

Для использования этой формулы в расчетах необходимо знать величину λ и величину угла включения ν_0 .

Величина угла включения соответствует:

$$\nu_0 = \alpha + \nu_{ek}, \text{ если } \alpha \geq \arcsin \frac{E}{\sqrt{2}U};$$

$$\nu_0 = \arcsin \frac{E}{\sqrt{2}U}, \text{ если } \alpha \leq \arcsin \frac{E}{\sqrt{2}U},$$

где угол $\arcsin \frac{E}{\sqrt{2}U}$ берется в первой четверти.

Для определения угла λ в режиме прерывистого тока составим уравнение электрического равновесия контура, по которому протекает ток нагрузки, в интервале проводимости вентилей:

$$\sqrt{2}U \sin(\nu_0 + \nu) = E + iR + L \frac{di}{dt},$$

где $R = R_{mp} + R_{дв}$ – активное сопротивление контура;

$L = L_{mp} + L_{дв}$ – индуктивность контура.

Данное уравнение имеет вид:

$$i = \frac{\sqrt{2}U}{R} \left[\{ \cos \theta \sin(\nu_0 + \nu + \theta) - \varepsilon \} + \{ \varepsilon - \cos \theta \sin(\nu_0 - \theta) \} \right] e^{\frac{-\nu}{\tau}},$$

где $\varepsilon = \frac{E}{\sqrt{2}U}$ – относительная ЭДС цепи нагрузки;

$\theta = \arctg \frac{2\pi fL}{R}$ – фазовый угол контура;

f – частота сети переменного тока.

На основании условия $i_{\nu=\lambda} = 0$ получим выражение, связывающее соответствующие друг другу величины:

$$\varepsilon = \frac{\sin(\nu_0 - \theta) - \sin(\nu_0 + \theta) e^{\pi \text{ctg} \theta}}{1 - e^{\pi \text{ctg} \theta}} \cos \theta.$$

Граница режима прерывистого тока (рис. 4.5) определяется условием $i_v = \frac{2\pi}{m} = 0$, откуда с помощью уравнения электрического равновесия контура получим уравнение границы:

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{m} + \nu_0 - \theta\right) - \sin(\nu_0 + \theta)e^{-\frac{2\pi}{m}ctg\theta}}{1 - e^{-\frac{2\pi}{m}ctg\theta}} \cos \theta.$$

При всех $\varepsilon > \varepsilon_{cp}$ для данных θ, ν_0 система будет работать в режиме прерывистого тока.

Электромеханические и механические характеристики для режима прерывистого тока приведены на рис. 4.5 в заштрихованной области.

Зная в каждом из режимов величину среднего выпрямленного напряжения на нагрузке, можно перейти к электромеханической характеристике двигателя.

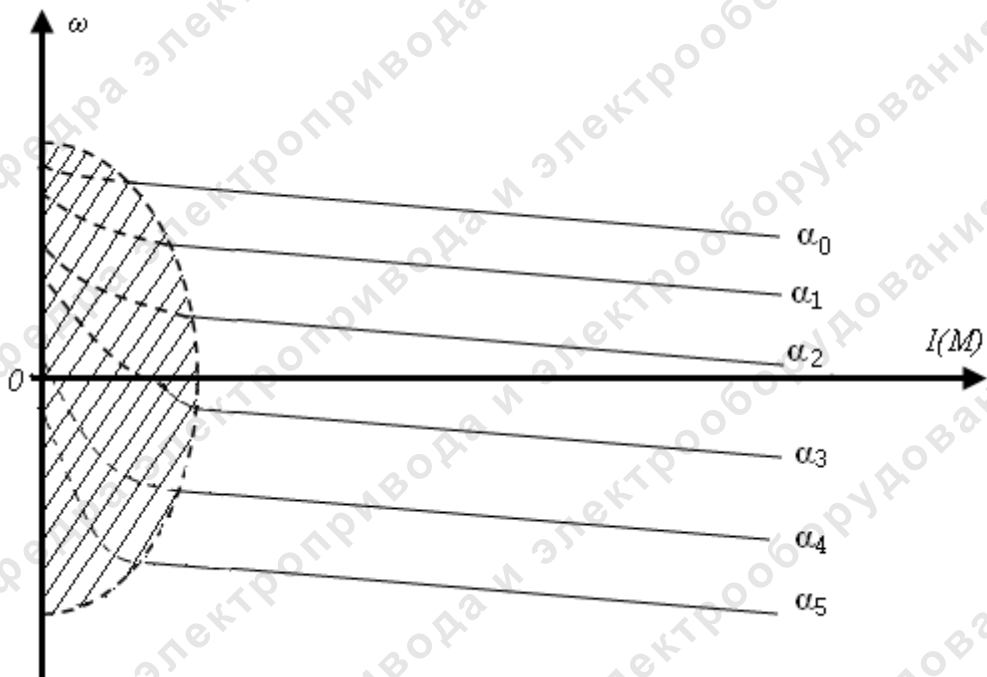


Рис. 4.5. Электромеханические и механические характеристик системы

Математические выражения для электромеханических и механических характеристик в системе «Тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока» (ТП – ДПТ) описываются сложными трансцендентными уравнениями (в области прерывистых токов) и поэтому при расчетах обычно применяют графоаналитические методы.

4.4. Краткое описание работы системы трехфазного мостового неперевосимного тиристорного преобразователя - двигателя

На рис. 4.6 приведена схема электропривода (ЭП) с трехфазным мостовым неперевосимным тиристорным преобразователем. Характеристики двигателя при использовании этого типа выпрямителя аналогичны показанным на рис. 4.5. В ТП используются два основных принципа управления комплектами вентилей: совместное и раздельное.

Совместное управление предусматривает подачу от системы импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорами импульсов управления U_{α} одновременно на тиристоры обоих комплектов – VS1, VS3, VS5 (анодная группа) и VS2, VS4, VS6 (катодная группа). Причем за счет наличия угла сдвига между импульсами управления двух комплектов тиристоров, близкого к π , один из них работает в выпрямительном режиме и проводит ток, а другой, работая в инверторном режиме, ток не проводит.

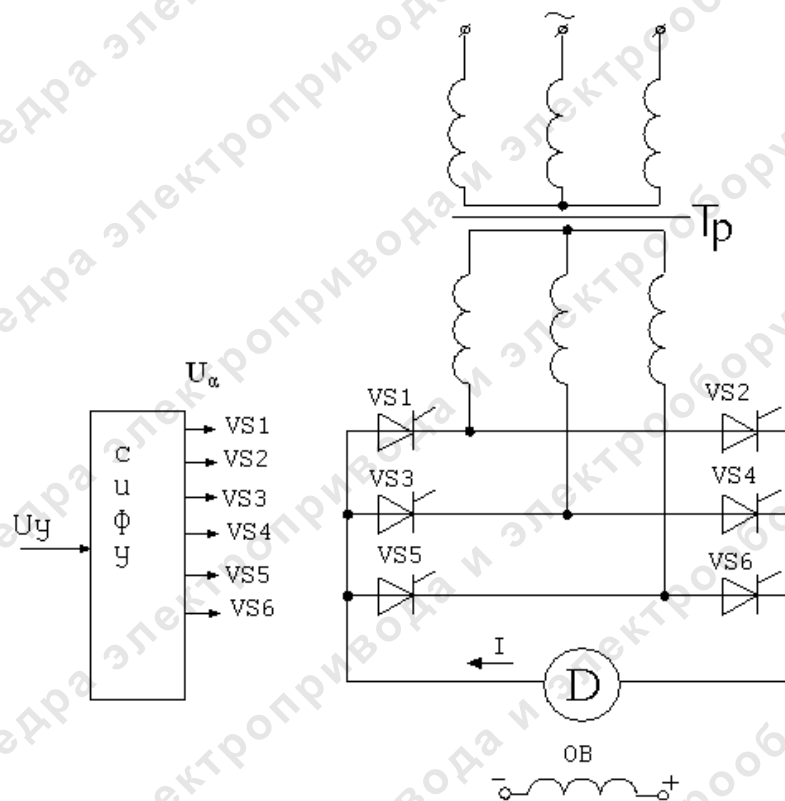


Рис. 4.6. Схема ЭП с трехфазным мостовым неперевосимным ТП

Для обеспечения такого управления между средними значениями ЭДС выпрямителя и инвертора должно существовать соотношение $E_{ср.и} \geq E_{ср.в}$, однако за счет разности мгновенных значений ЭДС между

комплектами тиристоров протекает так называемый уравнивающий ток. Для его ограничения могут применяться ограничительные реакторы.

Раздельное управление используется для полного исключения уравнивающих токов между комплектами тиристоров преобразователя. Сущность его состоит в том, что импульсы управления подаются только на один из комплектов, который должен в данный момент проводить ток. На второй комплект импульс не подается, и он не работает (закрыт).

Управление преобразователем осуществляется в этом случае с помощью логического переключающего устройства (ЛПУ). Это устройство, осуществляя контроль за током преобразователя, обеспечивает включение в работу и выключение комплектов тиристоров с небольшой паузой в 5...10 мс. Вследствие этого вблизи оси скорости имеет место режим прерывистых токов (рис. 4.5), что отражается в нелинейности характеристик двигателя.

4.5. Принципиальная электрическая схема стенда

Принципиальная электрическая схема стенда приведена на рис. 4.1.

Источник GA – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Тиристорный преобразователь/регулятор TP питает регулируемым напряжением обмотки машины (двигателя) постоянного тока D1, работающей с независимым возбуждением. В этом случае половины обмоток возбуждения двигателя D1 следует соединить последовательно.

Трехфазная трансформаторная группа ТТ преобразует напряжение источника GA в пониженное напряжение, подаваемое на тиристорный преобразователь/регулятор TP.

Блок ВВ выпрямляет однофазное сетевое напряжение для питания обмотки возбуждения двигателя D1 с независимым возбуждением.

Преобразователь угловых перемещений DD генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения IB электромашинного агрегата.

Машина переменного тока D2, работающая в режиме генератора и обеспечивающая нагрузку на валу исследуемого двигателя, нагружена на активную нагрузку RA. Возбудитель GG питает обмотку возбуждения машины D2 регулируемым напряжением.

С помощью мультиметров блока BM контролируются ток и напряжение якоря, а также ток возбуждения двигателя D1.

4.6. Программа экспериментов

Порядок экспериментального исследования системы электропривода:

- проверка работоспособности стенда;
- снятие характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ системы в двигательном режиме при угле управления $\alpha = 0^\circ$;
- снятие характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ изменением напряжения питания U_1 якоря двигателя;
- снятие регулировочной характеристики $\omega=f(U_1)$.

4.7. Проверка работоспособности стенда (рис. 4.1)

Для этого необходимо сделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 28, часть 1 раздела 2, рис. 9).
- Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника ГА.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 4.1).
- Переключатель режима работы возбуждателя GG установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки возбуждателя GG и тиристорного преобразователя TP повернуть против часовой стрелки до упора.
- Перевести регулировочные рукоятки активной нагрузки RA в крайнее по часовой стрелке положение.
- Установить переключателем в блоке ТТ номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторов 133 В.
- Включить выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров ВМ и указателя частоты вращения ИВ.
- Включить выключатель «СЕТЬ» тиристорного преобразователя / регулятора TP.
- Включить источник ГА. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.

- Нажать кнопку «3Ф ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» на лицевой панели преобразователя TP и удерживать ее до тех пор, пока не загорится расположенный рядом с ней светодиод.
- Вращая регулировочную рукоятку тиристорного преобразователя TP, разогнать двигатель D1.

4.8. Снятие характеристики системы при угле управления $\alpha = 0^\circ$ тиристорного преобразователя

Электромеханическая $\omega=f(I)$ и механическая $\omega=f(M)$ характеристики системы снимаются при минимальном угле управления α и номинальных параметрах двигателя D1.

Подготовить стенд к работе по пункту 4.7.

- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя TP, установить угол управления $\alpha = 0^\circ$.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра A1 и вольтметра V блока BM, а также указателя IV частоты вращения в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

I_1, A								
U_1, B								
$n, \text{мин}^{-1}$								

- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у преобразователя TP повернуть регулировочные рукоятки влево до упора, нажать кнопку «ОТКЛ.» возбудителя GG. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы 4.2, вычислить значение угловой скорости вращения ω двигателя D1 по выражению:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (4.1)$$

и его электромагнитного момента M по формуле

$$M_1 = \frac{60}{2\pi n} (U_1 - 65 \cdot I_1) \cdot I_1 \quad (4.2)$$

и занести полученные результаты в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

$M_1, \text{Н} \cdot \text{м}$								
$\omega, \text{с}^{-1}$								

Привести пример расчета.

- По данным таблиц 4.2 и 4.3 построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики системы.

4.9. Снятие характеристик изменением напряжения питания U_1 якоря двигателя D1

Характеристики $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$ снимают при различном напряжении питания U_1 двигателя D1, устанавливаемого вращением регулировочной рукоятки преобразователя ТР, т.е. изменением угла регулирования α .

Подготовить стенд к работе по пункту 4.7.

- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя ТР, установить угол управления $\alpha = 55^\circ$.
- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора GG, изменять ток якоря I_1 (до 1 А) двигателя D1 и заносить показания амперметра А1 и вольтметра V блока ВМ, а также указателя ИВ частоты вращения в таблицу, аналогичную таблице 4.2.
- Прodelать опыт для больших значений угла управления α (по заданию преподавателя).
- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у преобразователя ТР повернуть регулировочные рукоятки влево до упора, нажать кнопку «ОТКЛ.» возбудителя GG. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблиц, аналогичных таблице 4.2, вычислить значение угловой скорости вращения ω двигателя D1 по выражению (4.1) и его электромагнитного момента M_1 по формуле (4.2) и занести полученные результаты в таблицы, аналогичные таблице 4.3.
- По данным таблиц, аналогичных таблицам 4.2 и 4.3 построить электромеханическую $\omega=f(I_1)$ и механическую $\omega=f(M_1)$ характеристики системы.

4.10. Снятие регулировочной характеристики

Снятие регулировочной характеристики $\omega=f(U_1)$ осуществляется в ниже приведенной последовательности:

Подготовить стенд к работе по пункту 4.7.

- Включить выключатель «СЕТЬ» и нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя GG установить ток якоря I_1 двигателя D1 равным 0,5 А (амперметр А1) и поддерживать его в ходе эксперимента с помощью возбудителя GG.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя TP, изменять угол управления α в диапазоне $30^\circ \dots 170^\circ$ и заносить показания вольтметра V блока ВМ и указателя ИВ в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

$U_1, \text{В}$								
$n, \text{мин}^{-1}$								

- По завершении эксперимента сначала у возбудителя GG, а затем у преобразователя TP повернуть регулировочные рукоятки влево до упора, нажать кнопку «ОТКЛ.» возбудителя GG. Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб и последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» всех используемых в эксперименте блоков.
- По данным таблицы 4.4 построить регулировочную характеристику $\omega=f(U_1)$.

4.11. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема стенда с краткими пояснениями.
3. Таблицы опытных данных и характеристики $\omega=f(I)$ для всех опытов на одном графике: $\omega=f(M)$ для всех опытов на другом графике.
4. Таблицы опытных данных и характеристика $\omega=f(U_1)$.
5. Показатели регулирования скорости вращения двигателя D1 (диапазон, точность, плавность).
6. Краткие выводы.

4.12. Контрольные вопросы

- 4.12.1. Описать структуру и принцип действия тиристорного управляемого выпрямителя.
- 4.12.2. Каковы достоинства и недостатки системы ТП-ДПТ?

4.12.3. Изобразить механические $\omega=f(M)$ и электромеханические $\omega=f(I)$ характеристики изучаемой системы при различных углах управления α .

4.12.4. Условия при которых система ТП-ДПТ переходит в режим прерывистого тока?

4.12.5. Привести формулы для определения координат граничных значений скорости вращения (ω_{cp}) и тока (I_{cp}).

Литература

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –416 с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
3. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
4. Электротехника: Учебное пособие для вузов. В 3-х книгах. Книга 3. Электроприводы. Электроснабжение / Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.А. Шестакова. – Челябинск: Изд-во Ю УрГУ, 2005. – 639 с.

Лабораторная работа №5

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

5.1. Цель работы

Исследование статических режимов работы и характеристик синхронного электропривода.

5.2. Оборудование стенда (состав аппаратуры)

5.2.1. Назначение и описание функциональных блоков лабораторной установки (рис. 5.1, 5.2)

Трехфазный источник питания.

Предназначен для питания комплекта трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.

Источник питания машины постоянного тока.

Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно. Напряжение возбуждения нерегулируемое.

Возбудитель машины переменного тока.

Предназначен для питания обмотки возбуждения синхронной машины. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения регулируется вручную или дистанционно / автоматически. Выходные цепи изолированы от входных.

Трехполюсный выключатель.

Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического (от ПЭВМ) включения / отключения электрических цепей.

Активная нагрузка.

Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной энергии. Регулируется вручную.

Реостат для цепи ротора машины переменного тока.

Предназначен для ручного регулирования тока в обмотке ротора машины переменного тока.

Трехфазная трансформаторная группа.

Предназначена для преобразования однофазного / трехфазного напряжения.

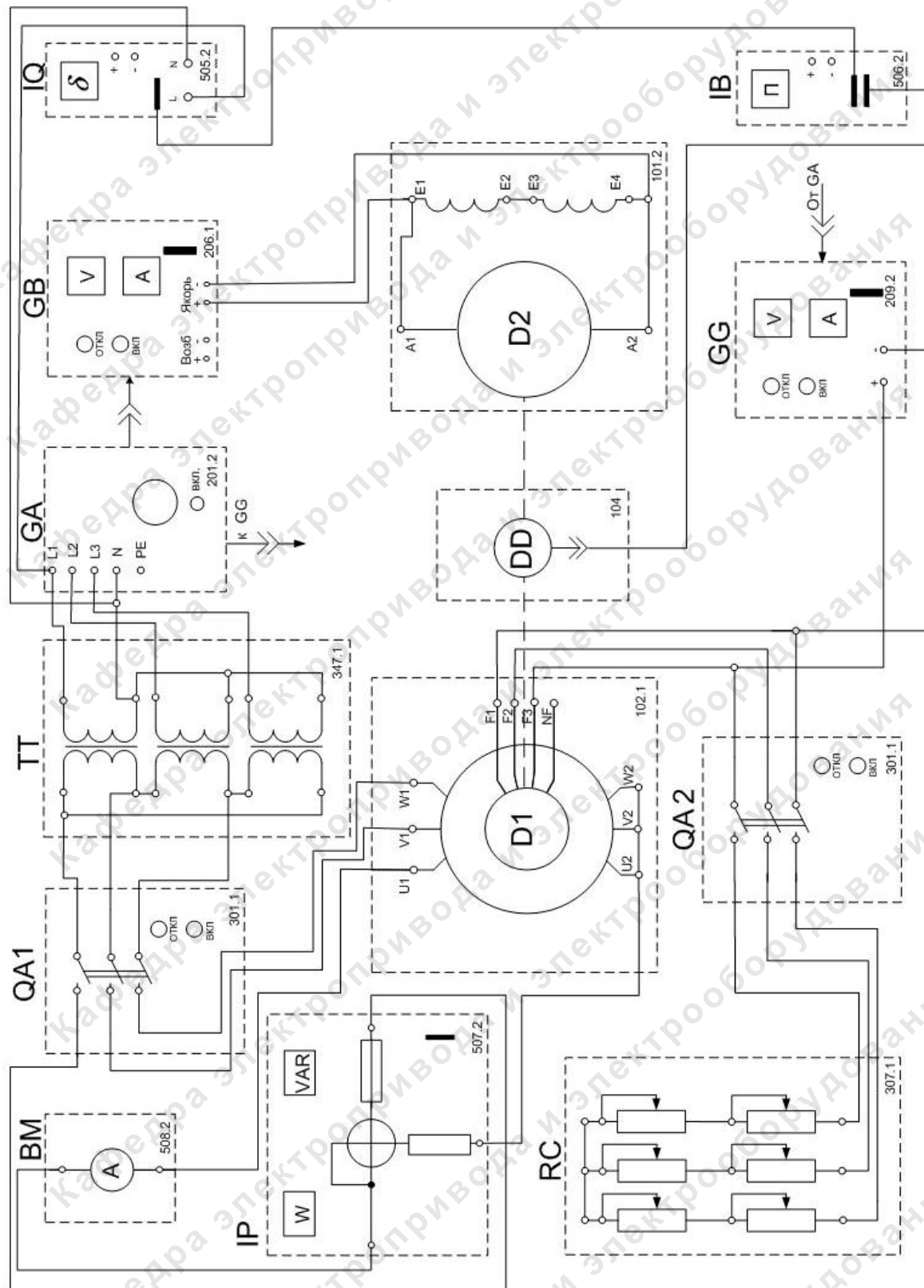


Рис. 5.1. Принципиальная электрическая схема настройки угла нагрузки синхронного двигателя

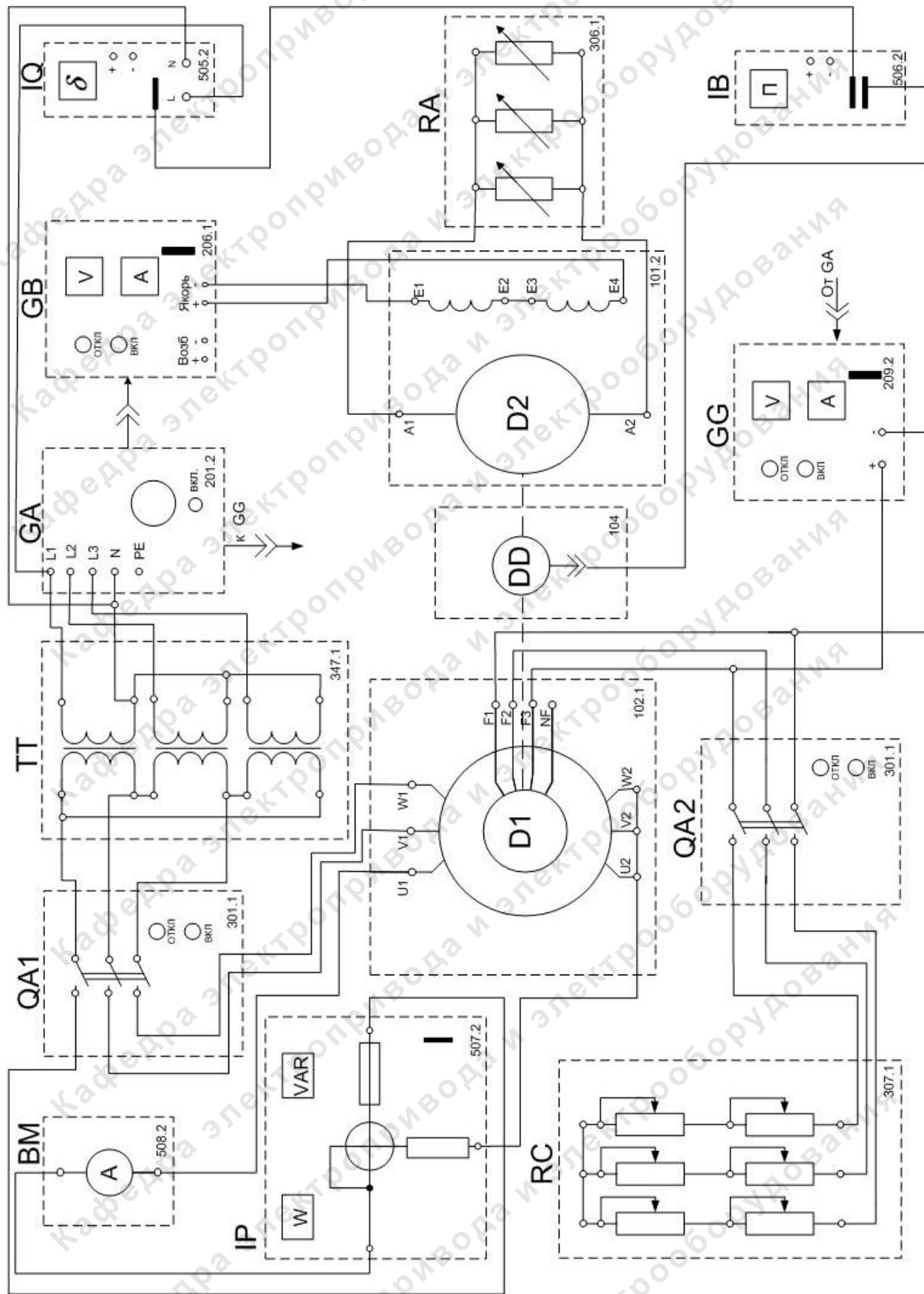


Рис. 5.2. Принципиальная электрическая схема синхронного электропривода

Блок мультиметров.

Предназначен для измерения токов, напряжений, омических сопротивлений. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.

Указатель угла нагрузки синхронной машины.

Предназначен для измерения и отображения в аналоговой форме угла нагрузки синхронной машины. Имеет выходные гнезда для подключения к ПЭВМ.

Указатель частоты вращения.

Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате в аналоговой форме.

Измеритель мощностей.

Предназначен для измерения активной и реактивной мощностей в однофазной электрической цепи и отображения их в аналоговой форме.

Преобразователь угловых перемещений.

Предназначен для преобразования скорости вращения электрических машин в сигнал цифрового вида.

Исследуемая машина переменного тока (синхронный двигатель):

$$P_H = 100 \text{ Вт};$$

$$U_{BH} = 22 \text{ В};$$

$$U_H = 230 \text{ В};$$

$$I_{BH} = 1,85 \text{ А};$$

$$I_H = 0,26 \text{ А};$$

$$n_H = 1500 \text{ об/мин};$$

$$I_{BXX} = 1,6 \text{ А};$$

$$\cos \varphi_H = 1.$$

Нагрузочная машина постоянного тока (двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением):

$$P_H = 90 \text{ Вт};$$

$$\eta_H = 57,2 \%;$$

$$U_H = 220 \text{ В};$$

$$\cos \varphi_H = 0,73;$$

$$I_H = 0,56 \text{ А};$$

$$R_{\text{я}} = 86 \text{ Ом};$$

$$n_H = 1500 \text{ об/мин};$$

$$R_{O.B.} = 1,15 \text{ кОм}.$$

$$I_{BH} = 0,2 \text{ А};$$

Исследуемая и нагрузочная машины жестко соединены между собой и представлены в виде электромашинного агрегата, дополненного маховиком и преобразователем угловых перемещений.

5.2.2. Обозначения и параметры используемой аппаратуры (таблица 5.1)

Таблица 5.1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
ТТ	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3×80 В·А; 230/242,235, 230, 226, 220, 133, 127 В

Продолжение таблицы 5.1

QA1, QA2	Трехполюсный выключатель	301.1	~ 400 В; 10 А
BC	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307.1	$3 \times 0 \dots 40$ Ом; 1 А
RA	Активная нагрузка	306.1	$3 \times 0 \dots 50$ Вт; 220 В; 0,5 А
GA	Трехфазный источник питания	201.2	~ 400 В; 16 А
GB	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	$- 0 \dots 250$ В 3 А (якорь) $- 200$ В; 1 А (возбуждение)
GG	Возбудитель машины переменного тока	209.2	$-0 \dots 40$ В; 3,5 А
D2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт; 220 В 0,76 А (якорь) 220 В(возбуждение)
DD	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
D1	Машина переменного тока	102.1	~ 50 Вт; 230 В; 1500 мин^{-1}
IP	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А
BM	Блок мультиметров	508.2	$\approx 0 \dots 1000$ В; $\approx 0 \dots 20$ А
IV	Указатель частоты вращения	506.3	$2000 \dots 0 \dots 2000$ мин^{-1}
IQ	Указатель угла нагрузки синхронной машины	505.2	$- 180^\circ \dots 0 \dots 180^\circ$.

5.3. Общие сведения

На рис. 5.3 приведена схема включений синхронного двигателя (СД). Токи, протекающие по трехфазной обмотке статора, создают намагничивающие силы, результирующий вектор которых образует вращающееся в пространстве электромагнитное поле статора ψ_1 . Скорость вращения поля равна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{P_{\text{п}}},$$

где f – частота питающей сети;

$P_{\text{п}}$ – число пар полюсов машины;

и является рабочей скоростью синхронного двигателя.

На роторе СД расположена обмотка возбуждения, которая питается постоянным током от независимого регулируемого источника напряжения – возбудителя. Ток возбуждения создает электромагнитное поле ψ_0 , неподвижное относительно ротора, и вращающееся в установившемся режиме вместе с ротором со скоростью ω_0 . Взаимодействие полей статора и ротора создает электромагнитный момент синхронной машины

$$M = K \cdot \bar{\Phi}_1 \cdot \bar{\Phi}_0.$$

При отсутствии нагрузки векторы полей $\bar{\Phi}_1$ и $\bar{\Phi}_0$ совпадают в пространстве и вращаются со скоростью ω_0 . При возникновении на валу двигателя момента сопротивления, векторы $\bar{\Phi}_1$ и $\bar{\Phi}_0$ расходятся на угол θ , называемый углом нагрузки.

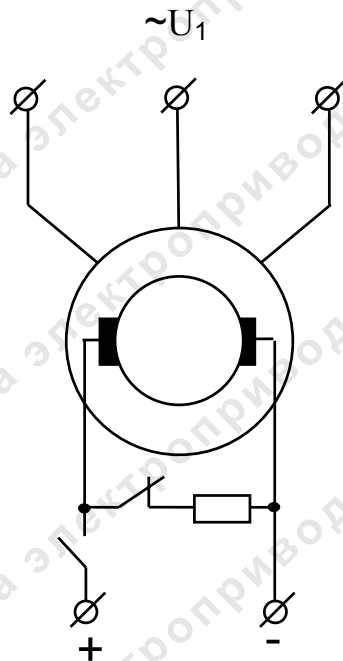


Рис.5.3. Схема включения синхронного двигателя

Изменению нагрузки на валу машины соответствует изменение θ (рис. 5.4). Максимальный момент – при угле $\theta = \frac{\pi}{2}$. Если нагрузка на

валу будет больше $M_{\text{макс}}$, то синхронный режим нарушается и машина выпадает из синхронизма.

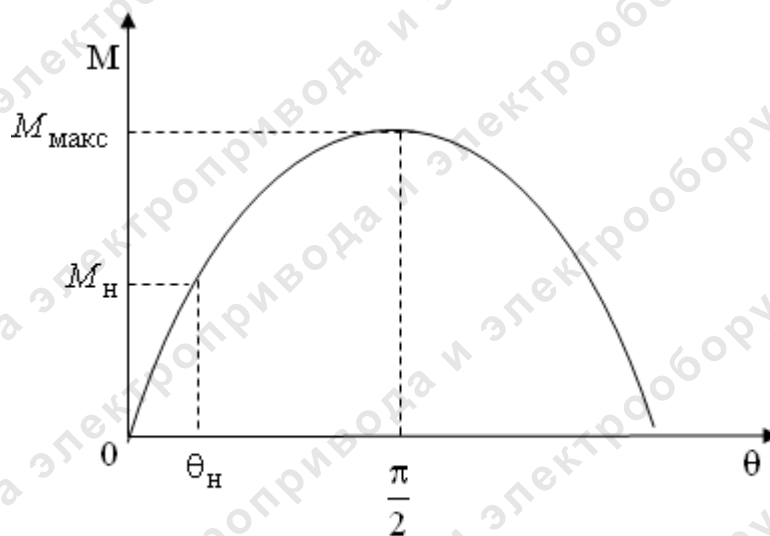


Рис. 5.4. Угловая характеристика СД (невполюсная машина)

Механическая характеристика СД (рис. 5.5) представляет абсолютно жесткую прямую линию 1, ограниченную значениями момента $\pm M_{\text{макс}}$.

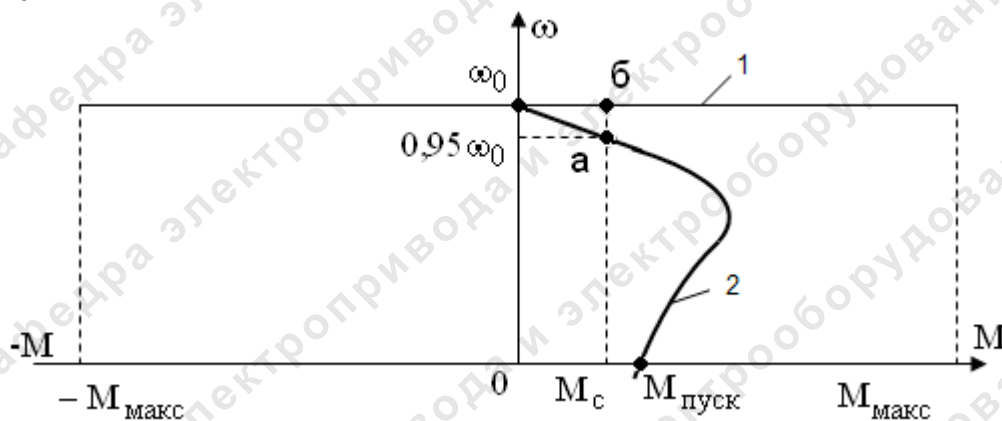


Рис. 5.5. Механическая характеристика СД

Так как ротор двигателя вращается со скоростью ω_0 и скольжение отсутствует, то вся мощность электромагнитного поля статора P_1 преобразуется в механическую мощность на валу. Если пренебречь потерями в статоре, то $P_{\text{эм}} = 3U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1 = M \cdot \omega_0$, откуда

$$M = \frac{3 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1}{\omega_0}. \quad (5.1)$$

Как известно, пуск СД осуществляется в асинхронном режиме. Для этого в конструкции используется обмотка короткозамкнутого асинхронного двигателя. Поэтому при разгоне до подсинхронной скорости двигатель работает как асинхронный короткозамкнутый с механической характеристикой 2. По достижении подсинхронной скорости ($0,95 \cdot \omega_0$) в обмотку возбуждения подается постоянный ток и двигатель втягивается в синхронизм, переходя на работу в точку б, соответствующей синхронному режиму.

Достоинством синхронного двигателя является возможность регулирования реактивной мощности, циркулирующей в цепи статора, в том числе возможность, работая двигателем, т.е. потребляя активную мощность, одновременно генерировать реактивную мощность (компенсатор реактивной мощности).

Применение на предприятиях СД позволяет уменьшить реактивную мощность, потребляемую предприятием в целом, и поддерживать нормативное значение $\cos \varphi$ в энергосистеме потребителя.

При токе возбуждения меньше номинального, вектор тока статора I_1 отстает от вектора напряжения сети U_1 на угол φ , т.е. двигатель работает с отстающим $\cos \varphi$ (реактивная мощность «потребляется»).

При увеличении тока возбуждения ток статора будет опережать по фазе напряжение U_1 , $\cos \varphi$ станет опережающим и синхронный двигатель будет генерировать реактивную мощность.

Зависимость тока статора от тока возбуждения СД отражается U-образными характеристиками (рис. 5.6).

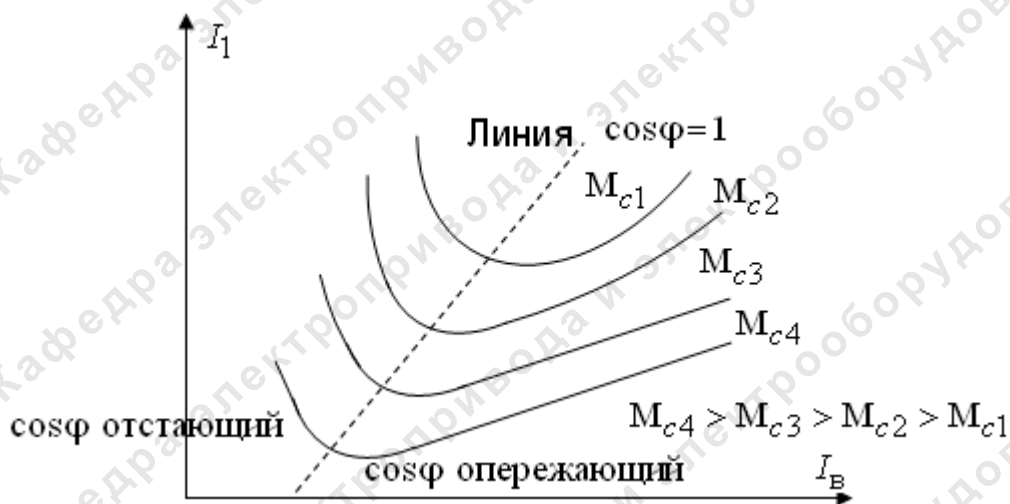


Рис. 5.6. U-образные характеристики СД

5.4. Принципиальная электрическая схема стенда

Принципиальная электрическая схема стенда приведена на рис. 5.1, рис. 5.2.

Источник GA - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока GB используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока D2, работающей в режиме генератора, нагруженного на активную нагрузку RA.

Возбудитель GG используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения синхронного двигателя D1.

Преобразователь угловых перемещений DD генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения IB и указателя угла нагрузки IQ.

Машина переменного тока (синхронный двигатель) D1 получает питание от источника GA через трехфазную трансформаторную группу TT и трехполюсный выключатель QA1.

Реостат для цепей ротора машины переменного тока включен в цепь ротора двигателя D1 через трехполюсный выключатель QA2.

Измеритель мощностей IP используется для измерения активной мощности в фазе «А» исследуемого двигателя D1.

С помощью мультиметра блока BM контролируется ток фазы «А» двигателя D1.

5.5. Программа экспериментов

Порядок экспериментального исследования электропривода:

- подготовка стенда к эксперименту (рис. 5.1);
- настройка указателя угла нагрузки;
- проверка работоспособности стенда (рис. 5.2);
- снятие угловых статических характеристик $P = f(\Theta)$ и $M = f(Q)$;
- снятие статической U-образной характеристики $I_1 = f(I_B)$;
- снятие характеристики реактивной мощности двигателя изменением возбуждения $Q = f(I_B)$.

5.6. Подготовка стенда к эксперименту (рис. 5.1)

Для этого необходимо сделать следующее:

- Убедиться, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.

- Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 28, часть 1 раздела 2, рис. 9).
- Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника GA.
- Подключить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 5.1).
- Переключатели режима работы источника GB, возбудителя GG и выключателей QA1, QA2 установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и возбудителя GG повернуть против часовой стрелки до упора.
- Тумблер пределов измерения указателя угла нагрузки IQ синхронной машины установить в положение 200° .
- Установить переключателем в блоке ТТ номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторов 220 В.
- Установить сопротивления фаз реостата блока RC равными 8 Ом.

5.7. Настройка блока указателей угла нагрузки IQ (рис. 5.1)

Последовательность настройки блока указателя угла нагрузки:

- Включить выключатели «СЕТЬ» всех используемых в эксперименте блоков.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» трехполюсного выключателя QA2.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя GG, установить напряжение на его выходе равным 20 В.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» трехполюсного выключателя QA1. Двигатель должен прийти во вращение.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG.
- Сразу после вхождения двигателя D1 в синхронизм отключить выключатель QA2 нажатием кнопки «ОТКЛ.».
- Нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая регулировочные рукоятки источника GB и возбудителя GG, установить потребляемые двигателем D1 активную и реактивные мощности, равные соответственно 0 Вт и 0 Вар.
- Установить с помощью потенциометров «УСТАНОВКА НУЛЯ» («ГРУБО» и «ТОЧНО») указателя угла нагрузки IQ угол нагрузки, равный 0° .

- Отключить источник GA нажатием на кнопку-гриб. Отключить выключатели «СЕТЬ» блоков, используемых в эксперименте.

5.8. Проверка работоспособности стенда (рис. 5.2)

Для этого необходимо проделать следующее:

- Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 5.2).
- Переключатели режима работы источника GB, возбудителя GG и выключателей QA1, QA2 установить в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника GB и возбудителя GG повернуть против часовой стрелки до упора.
- Тумблер пределов измерения указателя угла нагрузки IQ синхронной машины установить в положение 200° .
- Переключатели блока активной нагрузки RA установить в крайнее по часовой стрелке положение.
- Установить переключателем в блоке ТТ номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторов 220 В.
- Установить сопротивления фаз реостатов блока RC равными 8 Ом.
- Включить выключатели «СЕТЬ» всех используемых в эксперименте блоков.
- Включить источник GA. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Установить мультиметры на соответствующие пределы измерений токов и напряжений.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» трехполюсного выключателя QA2.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя GG, установить напряжение на его выходе равным 20 В.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» трехполюсного выключателя QA1. Двигатель должен прийти во вращение.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» возбудителя GG.
- Сразу после вхождения двигателя D1 в синхронизм отключить выключатель QA2 нажатием кнопки «ОТКЛ.».

5.9. Снятие угловых статических характеристик

Последовательность снятия зависимости момента сопротивления (M_{C1}) на валу машины от угла нагрузки (θ).

Подготовить стенд к работе по пунктам 5.6, 5.7, 5.8.

- Частоту вращения n [мин⁻¹] двигателя D1 измерять с помощью указателя IV.
- Активную P [Вт] и реактивную Q [Вар] мощности, потребляемые двигателем D1, определять с помощью измерителя IP.
- Ток статора I_1 двигателя D1 измерять мультиметром блока BM.
- Ток возбуждения I_B двигателя D1 измерять амперметром возбуждителя GG.
- Угол нагрузки Θ (фазовый сдвиг между ЭДС двигателя D1 и напряжением источника GA) фиксировать по указателю блока IQ.
- Нажать кнопку «ВКЛ.» источника GB.
- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, изменять угол нагрузки Θ двигателя D1 и заносить показания блока IQ, ваттметра W измерителя мощностей IP и амперметра A блока BM в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

Θ , Град							
P , Вт							
I_1 , А							

- В случае перехода двигателя D1 в асинхронный режим работы разгрузить его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя с сетью.
- По завершении эксперимента повернуть регулировочные рукоятки источника GB (разгрузить двигатель D1 по активной мощности) и возбуждителя GG против часовой стрелки до упора и нажать кнопки «ОТКЛ.». Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- Используя данные таблицы 5.2, вычислить значения электромагнитного момента M_1 двигателя D1 по выражению:

$$M_1 = \frac{3 \cdot P - 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1}{\omega_0} \quad (5.2)$$

и занести полученные результаты в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Θ , Град							
M_1 , Н·м							

Привести пример расчета.

- По данным таблиц 5.2 и 5.3 построить угловые характеристики $P = f(\Theta)$ и $M_l = f(\Theta)$ двигателя D1.

5.10. Снятие статической U-образной характеристики

Последовательность снятия зависимости тока статора (I_1) от тока возбуждения (I_B) при различных значениях активной нагрузки.

Подготовить стенд к работе по пунктам 5.6, 5.7, 5.8.

- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, установить активную мощность, потребляемую двигателем D1 из сети, равной, например, 75 Вт и поддерживать её в ходе эксперимента.
- Вращая регулировочную рукоятку возбуждителя GG, изменять ток возбуждения I_B двигателя D1 в диапазоне 0,8...2 А и занести показания амперметра возбуждителя GG и амперметра А блока ВМ в таблицу 5.4.

Таблица 5.4

I_B, A								
I_1, A								

- В случае перехода двигателя D1 в асинхронный режим работы разгрузить его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя с сетью.
- По завершении эксперимента повернуть регулировочные рукоятки источника GB (разгрузить двигатель D1 по активной мощности) и возбуждителя GG против часовой стрелки до упора и нажать кнопки «ОТКЛ.». Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- По данным таблицы 5.4 построить U-образную характеристику $I_1 = f(I_B)$ двигателя D1.

5.11. Снятие характеристики реактивной мощности

Последовательность снятия зависимости реактивной мощности (Q) от тока возбуждения (I_B) при различных значениях нагрузки.

Подготовить стенд к работе по пунктам 5.6, 5.7, 5.8.

- Вращая регулировочную рукоятку источника GB, установить активную мощность, потребляемую двигателем D1 из сети, равной, например, 75 Вт и поддерживать её в ходе эксперимента.

- Вращая регулировочную рукоятку возбуждателя GG, изменять ток возбуждения I_B двигателя D1 в диапазоне 0,8...2 А и занести показания амперметра возбуждателя GG и варметра VAR измерителя мощностей IP в таблицу 5.5.

Таблица 5.5

I_B, A								
$Q, \text{ВАр}$								

- В случае перехода двигателя D1 в асинхронный режим работы разгрузить его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника GB против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя с сетью.
- По завершении эксперимента повернуть регулировочные рукоятки источника GB (разгрузить двигатель D1 по активной мощности) и возбуждателя GG против часовой стрелки до упора и нажать кнопки «ОТКЛ.». Отключить источник GA нажатием на кнопку - гриб с последующим поворотом против часовой стрелки ключа - выключателя. Отключить выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.
- По данным таблицы 5.5 построить зависимость $Q = f(I_B)$.

5.12. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема стенда с краткими пояснениями.
3. Таблица опытных данных и графики зависимости $P = f(\theta)$ и $M_1 = f(\theta)$
4. Таблица опытных данных и график зависимости $I_1 = f(I_B)$.
5. Таблица опытных данных и график зависимости $Q = f(I_B)$.
6. Краткие выводы.

5.13. Контрольные вопросы

- 5.13.1. Перечислить виды конструктивных исполнений СД.
- 5.13.2. Достоинства и недостатки синхронного двигателя.
- 5.13.3. В чем особенность пуска изучаемого двигателя?
- 5.13.4. Что такое угловая характеристика синхронного двигателя?
- 5.13.5. Способы ограничения тока при пуске СД.
- 5.13.6. За счет чего синхронный двигатель может компенсировать реактивную мощность в питающей сети?

5.13.7. Изобразить основные характеристики изучаемого двигателя и поясните эти зависимости.

5.13.8. По каким критериям может происходить регулирование тока возбуждения двигателя?

5.13.9. Области применения СД.

Литература

1. Онищенко Г.Б. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
2. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
3. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
4. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования. – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
5. Электротехника: Учебное пособие для вузов. В 3-х книгах. Книга 3. Электроприводы. Электроснабжение / Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.А. Шестакова. – Челябинск: Изд-во Ю УрГУ, 2005. – 639 с.

СОДЕРЖАНИЕ

с.

ЧАСТЬ 1

РАЗДЕЛ 1. Методика снятия механических характеристик электродвигателей и порядок выполнения работ.....	3
РАЗДЕЛ 2. Описание лабораторного стенда.....	23

ЧАСТЬ 2

Лабораторная работа №1

Статические характеристики и режимы работы электропривода с электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения.....	31
--	----

Лабораторная работа №2

Статические характеристики и режимы работы электропривода с электродвигателем постоянного тока последовательного возбуждения.....	56
---	----

Лабораторная работа №3

Статические характеристики и режимы работы асинхронного электродвигателя с фазным ротором.....	78
--	----

Лабораторная работа № 4

Статические характеристики и режимы работы электропривода системы «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения».....	104
--	-----

Лабораторная работа № 5

Статические характеристики и режимы работы синхронного электропривода.....	121
--	-----

Учебное издание

ОДНОКОПЫЛОВ Иван Георгиевич

СЕМЕНОВ Сергей Михайлович

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД. СТАТИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук,
профессор

Р.Ф. Бекишев

Верстка

О.А. Гречко

Подписано к печати 00.00.2009. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л.


Заказ . Тираж экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.