

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
институт информационных технологий и управления
кафедра «системы и технологии управления»

Ефимов И.Г., Викторов О.А.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Санкт-Петербург
2014

Ефимов И.Г., Викторов О.А. Основы электропривода: Лабораторный практикум.- 2014-40с.

Изложены методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Электропривод». В них содержатся сведения об учебных установках, рекомендации по подготовке и выполнению практикума, пояснения к расчетам и экспериментальным исследованиям, а также требования к содержанию и оформлению отчетов.

Предназначено для студентов электротехнических и неэлектротехнических специальностей в рамках подготовки бакалавров, изучающих вопросы теории электропривода и выполняющих лабораторные работы по исследованию электромеханических и регулировочных свойств электроприводов постоянного и переменного тока.

Оглавление

Введение.....	4
Подготовка и оформление отчёта.....	5
1. Содержание отчета	5
2. Обработка экспериментальных данных	5
2.1. Общие положения.	5
2.2. Двигатели постоянного тока (Работы №1; 2 и 3).....	6
2.3. Асинхронный двигатель (Работа № 4).....	6
3. Рекомендации по оформлению отчёта	7
 РАБОТА № 1. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при питании от нерегулируемого источника постоянного тока.....	 9
 РАБОТА № 2. Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.....	 18
 РАБОТА № 3. Исследование характеристик системы генератор – двигатель.	 26
 РАБОТА № 4. Исследование механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором при питании от сети.....	 33

Введение.

В практикуме основное внимание уделено методикам теоретических и экспериментальных исследований электроприводов постоянного и переменного тока при питании двигателей от сети или регулируемых источников.

Теоретические исследования включают расчеты характеристик электроприводов по паспортным данным для указанных в задании схем включения, параметров и режимов работы. Все необходимые данные, электрические схемы, а также методики расчетов приведены в пособии.

Цель экспериментальных исследований состоит в приобретении студентами знаний и практического опыта по:

- методикам снятия характеристик приводов в двигательном и тормозных режимах и обработке данных эксперимента;
- работе с измерительными приборами и освоению методов измерения электрических и неэлектрических величин.
- анализу и качественной оценке полученных результатов;
- определению причин расхождения расчетных и экспериментальных характеристик.

Лабораторные установки, на которых выполняются работы, состоят из машинных агрегатов и стендов с силовыми преобразователями, измерительными приборами и электрическими аппаратами. В состав машинных агрегатов входят испытуемая машина, нагрузочная машина с инкрементным датчиком скорости. Электрические схемы стендов готовы к проведению экспериментов и требуют только сборки (конфигурации) с помощью пакетных переключателей, расположенных на стенде.

Подготовка и оформление отчёта.

1. Содержание отчета

Отчет должен включать:

- принципиальную электрическую схему установки;
- данные машин;
- задание на работу;
- расчетные формулы с необходимой расшифровкой величин;
- примеры расчета, доведенные до числового результата с указанием размерности;
- таблицы, в которых сведены результаты расчета характеристик;
- таблицы обработки экспериментальных данных;
- графики теоретических и экспериментальных характеристик;
- выводы с оценкой влияния параметров схемы на вид механических характеристик и обоснованием причин расхождения теоретических и экспериментальных характеристик.

2. Обработка экспериментальных данных

2.1. Общие положения.

Для сравнения расчетных и экспериментальных механических характеристик необходимо располагать значениями ω в рад/с и момента двигателя M_d . Для скорости пересчет экспериментальных значений n в об/мин выполняется по формуле: $\omega = \pi n / 30$. При расчетах M_d необходимо учитывать не только величины, но и знаки моментов, что зависит от режимов работы машин и направления вращения. Первый и третий квадранты соответствуют двигательному режиму работы двигателя, второй и четвертый – тормозному, а положительные значения переменных – первому квадранту.

Как известно, в установившемся режиме:

$$M_d + M_{HM} + M_{XX} = 0.$$

При расчетах нужно обязательно учитывать знаки моментов, зависящие от режимов работы машин и направления их вращения, т.е. $M_d = \pm M_{HM} \pm M_{XX}$.

ВНИМАНИЕ: Необходимо учитывать, что клавишная панель, на которой индицируется ток нагрузочной машины I_0 , показывает только его величину, но не показывает знак.

С учетом вышеизложенного, рассмотрим, как при обработке экспериментальных данных следует определять момент испытуемых машин в различных режимах работы.

2.2. Двигатели постоянного тока (Работы №1; 2 и 3)

1) Холостой ход: нагрузочная машина отключена, $I_0 = 0$, $M_{HM} = 0$. Направления скорости, момента и тока якоря двигателя положительные, что соответствует двигательному режиму. В этом случае механические потери преодолевает двигатель ($I_{я} > 0$), поэтому:

$$M_{д} = M_{ХХ}.$$

2) Машины включены встречно ($I_{я} > 0$ – двигательный режим). При увеличении нагрузки растут токи $I_{я}$ и I_0 , скорость снижается, и вплоть до остановки двигатель преодолевает момент нагрузки M_{HM} и момент холостого хода $M_{ХХ}$:

$$M_{д} = M_{HM} + M_{ХХ}.$$

Если при дальнейшем увеличении нагрузки скорость изменит свое направление, то это означает переход двигателя в тормозной режим (противовключения). Так как момент потерь холостого хода всегда препятствует движению, то при изменении направления движения он меняет знак, т.е. при $n < 0$ и $I_{я} > 0$:

$$M_{д} = M_{HM} - M_{ХХ}.$$

3) Машины включены согласно. Нагрузочная машина работает в двигательном режиме, преодолевая потери и разгружая двигатель. Таким образом, момент HM меняет свое направление ($M_{HM} < 0$), а $M_{ХХ}$ нет, т.к. направление вращения сохранилось. В результате:

$$M_{д} = -M_{HM} + M_{ХХ}.$$

При увеличении I_0 сначала наступает режим идеального холостого хода ($I_{я} = M_{д} = 0$, $M_{HM} = M_{ХХ}$), после которого ток якоря меняет направление ($I_{я} < 0$) и двигатель переходит в режим рекуперативного торможения ($M_{д} < 0$).

Этот режим возможен только в тех случаях, когда схема включения двигателя позволяет протекать току в обоих направлениях.

2.3. Асинхронный двигатель (Работа № 4)

1) Холостой ход: нагрузочная машина отключена, $I_0 = 0$, $M_{HM} = 0$. Направления скорости, момента двигателя положительные, что соответствует двигательному режиму. В этом случае механические потери преодолевает двигатель, поэтому:

$$M_{д} = M_{ХХ}.$$

2) Машины включены встречно. При уменьшении скорости от точки холостого хода до достижения критического скольжения растут ток статора I_C и I_0 . При дальнейшем снижении скорости вплоть до остановки растет только ток статора I_C . На этих участках характеристики (где $n > 0$) испытуемая машина работает в двигательном режиме преодолевая момент нагрузки M_{HM} и момент холостого хода $M_{ХХ}$:

$$M_{д} = M_{HM} + M_{ХХ}.$$

При дальнейшем изменении скорости в данном направлении двигатель переходит в тормозной режим (противовключения) и скорость меняет свой

знак. Изменение направления движения приводит к изменению знака момента потерь холостого хода, т.е. при $n < 0$:

$$M_{\text{д}} = M_{\text{нм}} - M_{\text{хх}}.$$

3) Машины включены согласно. Нагрузочная машина работает в двигательном режиме, преодолевая потери и разгружая двигатель. Таким образом, момент НМ меняет свое направление ($M_{\text{нм}} < 0$), а $M_{\text{хх}}$ нет, т.к. направление вращения сохранилось. В результате:

$$M_{\text{д}} = -M_{\text{нм}} + M_{\text{хх}}.$$

С ростом скорости выше скорости холостого хода сначала наступает режим идеального холостого хода, когда скорость вращения равна синхронной ($n = n_0$, $M_{\text{д}} = 0$, $M_{\text{нм}} = M_{\text{хх}}$). При дальнейшем увеличении скорости двигатель переходит в режим рекуперативного торможения ($M_{\text{д}} < 0$).

Момент нагрузочной машины рассчитывается по измеренным значениям ее тока I_0 : $M_{\text{нм}} = k_m \cdot I_0$, где: 1) $k_m = 2,27 \text{ Нм/А}$ для работ № 1, 2, 3; 2) $k_m = 1,52 \text{ Нм/А}$ для работы № 4.

$M_{\text{хх}}$ определяется по измеренным значениям скорости n из таблицы 2, приведенной в п.2.4.

Результаты сводятся в следующую таблицу, приводимую в отчете:

Экспериментальные данные				Результаты обработки			
$U_{\text{я}}$	$I_{\text{я}}$	n	I_0	ω	$M_{\text{нм}}$	$M_{\text{хх}}$	$M_{\text{д}}$
В	А	об/мин	А	рад/с	Нм	Нм	Нм

3. Рекомендации по оформлению отчёта

1. Оформление отчета предпочтительно выполнять на компьютере, т.к. для этого можно использовать электронную версию учебного пособия: схему, паспортные данные, формулы и т.п.
2. В расчетах для каждой характеристики необходимо привести пример для одной точки. В результатах расчетов необходимо указывать не только численные значения величин, но и их размерность.
3. Расчетные и экспериментальные характеристики по каждому пункту работы не следует строить на отдельных графиках. Для всех опытов они должны строиться на одном графике. При большом числе характеристик их следует разместить на двух рисунках. Характеристики на графиках должны иметь обозначения (номера), которые расшифровываются в подрисуночной надписи.
4. Все графики должны строиться в диапазоне изменения переменных, использованных в экспериментах, т.е. не более: для тока $\pm 5 \text{ А}$, для скорости от $+1200$ до -500 об/мин.
5. Сравнение и анализ характеристик с точки зрения влияния внешних факторов, а также расхождение теоретических и экспериментальных механических характеристик должны проводиться раздельно по двум показателям: скорости идеального холостого хода и наклону механических

характеристик. В зависимости от того, по какому из этих показателей характеристики отличаются устанавливается предполагаемая причина расхождения.

РАБОТА № 1. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при питании от нерегулируемого источника постоянного тока.

1. Программа работы.

- 1.1. Подготовка к работе: Рассчитать и построить следующие механические характеристики:
 - 1.1.1. Естественную.
 - 1.1.2. Искусственные при ослабленном магнитном потоке Φ' .
 - 1.1.3. Искусственные с последовательным сопротивлением в цепи якоря R_{Π} .
 - 1.1.4. Искусственные для сложной схемы включения с последовательным сопротивлением R_{Π} и шунтированием якоря сопротивлением $R_{\text{ш}}$.
 - 1.1.5. Искусственные в режиме динамического торможения для заданных значений сопротивления R_{Γ} .
- 1.2. Работа в лаборатории.
 - 1.2.1. Ознакомление с устройством лабораторной установки, расположением и назначением оборудования.
 - 1.2.2. Подготовка к работе.
 - 1.2.3. Снятие механических характеристик, указанных в п.п. 1.1.1 ÷ 1.1.5.
- 1.3. Оформление отчета.

2. Данные машин и сопротивлений.

- 2.1. Испытуемая машина (ИМ): Двигатель постоянного тока независимого возбуждения, тип : 4ПО100S1.

$P_H = 0,55\text{кВт}$; $U_H = 220\text{В}$; $I_H = 3,5\text{А}$; $n_H = 1000\text{об/мин}$; $I_{\text{ВДН}} = 0,58\text{А}$;
 $R_d = 11,0\text{Ом}$;

Зависимость коэффициента $c\Phi$ двигателя от тока возбуждения $I_{\text{ВД}}$:

Таблица 1

$c\Phi$	Вб	1,02	1,3	1,45	1,55	1,65	1,7	1,73	1,75	1,79
$I_{\text{ВД}}$	А	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,58	0,65

- 2.2. Нагрузочная машина (НМ). Тип: CFM 71S. $M_H = 5,0\text{Нм}$; $U_H = 380\text{В}$;
 $f_H = 100\text{Гц}$; $I_H = 2,2\text{А}$; $n_H = 2000\text{об/мин}$.

- 2.3. Приводной преобразователь: MOVIDRIVE MDX61B 0022 - 5A3. $U_H = 3 \times 380\text{В}$, $f_H = 50\text{Гц}$; $P_{\text{Н вых}} = 2,2\text{кВт}$; $I_{\text{Н вых}} = 5,5\text{А}$; $k_M = 2,27\text{Нм/А}$.

- 2.4. Механические потери (момент холостого хода $M_{\text{ХХ}}$):

Таблица 2

Скорость, рад/с		20	40	60	80	100	120	140	150
Момент $M_{\text{ХХ}}$, Нм	ЛУ1	0,55	0,63	0,7	0,75	0,78	0,85	0,9	0,93
	ЛУ3	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64

2.5. Добавочные сопротивления R_{II} и R_T (R_{III}) в Ом:

Таблица 3

Положение переключателя S1	1	2	3	4	5	6	7	8
Сопротивление R_{II} , Ом	63,0	33,5	43,1	49,7	13,7	20,3	29,8	0

Таблица 4

Положение переключателя S2	1	2	3	4
Сопротивления $R_T = R_{III}$, Ом	∞	68,5	31,0	38,9

Таблица 5

Положение переключателя S3	1	2	3
Обозначение	СЕТЬ, Г-Д, УВ-Д	$R_{III} -$ уст. S2	$R_{III} = 0$
	Питание от источника	Динамическое торможение	

3. Расчет характеристик.

Основной статической характеристикой двигателя является его механическая характеристика $\omega = f(M)$, выражение которой для двигателя постоянного тока имеет вид:

$$\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R}{(c\Phi)^2} M, \quad (1)$$

где U – напряжение сети, Φ – магнитный поток, R – полное сопротивление якорной цепи, c – конструктивная постоянная двигателя; ω и M – текущие значения скорости (рад/с) и момента (Нм).

В двигателях постоянного тока независимого возбуждения магнитный поток не зависит от нагрузки, т.е. $c\Phi = \text{const}$, а его величина устанавливается заданием тока возбуждения согласно условиям эксперимента и кривой намагничивания, приведенной в паспортных данных двигателя (Таблица 1). U и R для различных схем включения двигателя могут отличаться, но при изменении нагрузки остаются постоянными, т.е. для конкретной характеристики $U = \text{const}$ и $R = \text{const}$. Поэтому в координатах ω и M механические характеристики представляют собой прямые линии (рис.1).

Выражение (1) можно представить иначе:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c, \quad (2)$$

где: $\omega_0 = \frac{U_H}{c\Phi_H}$ – скорость идеального холостого хода ($M = 0$), которая

соответствует точке пересечения характеристик с осью ω ;

$\Delta\omega_c = \frac{R}{(c\Phi_H)^2} M$ – статическое падение скорости, обусловленное изменением

нагрузки M , которое определяет наклон характеристики.

Так как M является аргументом функции ω , то угол наклона зависит только от величины множителя $\frac{R}{(c\Phi_H)^2}$. При его постоянстве падение

скорости $\Delta\omega_c$ пропорционально нагрузке M , а все механические характеристики представляют собой прямые линии и строятся по двум точкам: 1) $M = 0, \omega = \omega_0$; 2) $M = M_H, \omega = \omega_0 - \Delta\omega_{CH}$, где: $M_H = c\Phi_H I_{ЯН}$, $\Delta\omega_{CH} = \frac{R}{(c\Phi_H)^2} M_H$. Расчет производится по паспортным данным двигателя.

Величина $c\Phi_H$ определяется из Таблицы 1, приведенной в п.2.1. При номинальном токе возбуждения $I_{ВН} = 0,58$ А она равна: $c\Phi_H = 1,75$ Вб. Далее рассчитываются значения: $\omega_0 = \frac{U_H}{c\Phi_H}$ и $M_H = c\Phi_H I_{ЯН}$. Величина R зависит от схемы включения и заданных значений R_{II} и R_{III} .

3.1. Расчет естественной механической характеристики. При работе на естественной характеристике дополнительных сопротивлений в цепи якоря нет, поэтому. Построение естественной механической характеристики (линия 1 на рис.1) производится по двум точкам: 1) $\omega_0, M = 0$; 2) $\omega_H = \pi n_H / 30, M_H$.

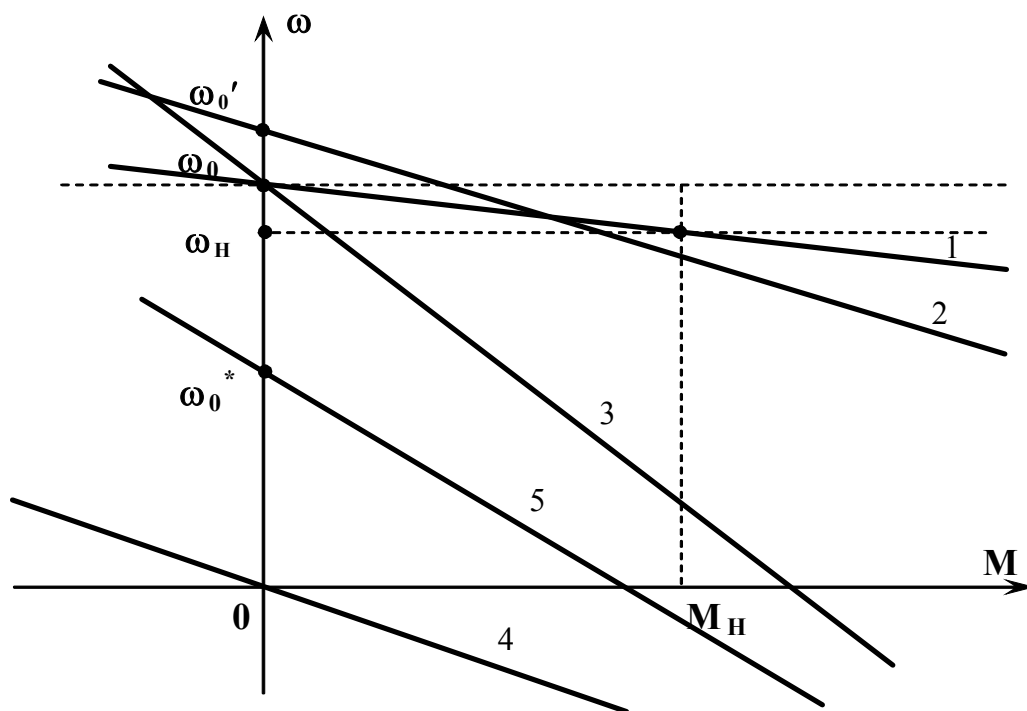


Рис.1. Механические характеристики.

3.2. Расчет искусственных механических характеристик при ослабленном магнитном потоке двигателя Φ' . Так как магнитный поток двигателя $\Phi' < \Phi_H$, то по сравнению с естественной характеристикой в правой части выражений (1) и (2) обе составляющие увеличиваются. Для определения новых значений ω_0' и $\Delta\omega_{C'}$ необходимо для заданных значений тока возбуждения $I_{ВД}'$ из той же Таблицы 1 найти новые значения $c\Phi'$ и провести расчеты.

Построение искусственной характеристики 2 производится по двум точкам:

1) $\omega_0' = \frac{U_H}{c\Phi'}$, $M = 0$; 2) $M' = c\Phi' I_{ЯН}$, $\Delta\omega_{C'} = \frac{R_d}{(c\Phi')^2} M'$, $\omega' = \omega_0' - \Delta\omega_{C'}$.

3.3. Расчет искусственных механических характеристик при включении последовательного сопротивления в цепи якоря R_{Π} ограничивается

вычислением $\Delta\omega_c$. Так как скорость идеального холостого хода не зависит от сопротивления якорной цепи и характеристика снимается при номинальном магнитном потоке, то ω_0 будет такой же как на естественной. Статическое падение скорости $\Delta\omega_c$ рассчитывается по (2) при $M = M_H$ для заданных значений R_{Π} с учетом того, что $R = R_d + R_{\Pi}$. Искусственная механическая характеристика 3 строится по двум точкам: 1) $M = 0$, $\omega = \omega_0$; 2) $M = M_H$, $\omega = \omega_0 - \Delta\omega_{cH}$. При больших R_{Π} значение скорости может стать отрицательным, что свидетельствует о переходе двигателя в режим противовключения.

3.4. Расчёт искусственных механических характеристик для сложной схемы включения с последовательным сопротивлением R_{Π} и шунтированием якоря сопротивлением $R_{Ш}$ выполняется по формуле:

$$\omega = \omega_0 \frac{R_{Ш}}{R_{Ш} + R_{\Pi}} - (R_d + \frac{R_{Ш}R_{\Pi}}{R_{Ш} + R_{\Pi}}) \frac{M}{(c\Phi)^2} = \omega_0^* - \Delta\omega_c^*. \quad (4)$$

Из (4) следует, что при такой схеме включения двигателя изменятся обе составляющие выражения (2). Это объясняется тем, что напряжение сети приложено к включенным между собой последовательно сопротивлениям R_{Π} и $R_{Ш}$ и оно распределяется между ними. Таким образом, эта схема играет роль делителя напряжения. Так как якорь включен параллельно $R_{Ш}$, то напряжение на нем $U_{я}$ определяется соотношением сопротивлений, оно меньше напряжения сети U и равно: $U_{я} = U \frac{R_{Ш}}{R_{Ш} + R_{\Pi}}$. Скорость идеального холостого хода рассчитывается по формуле: $\omega_0^* = \omega_0 \frac{R_{Ш}}{R_{Ш} + R_{\Pi}}$. Из-за сложной схемы включения сопротивлений изменяется эквивалентное сопротивление схемы и, как следствие, вторая составляющая выражения (4):

$$\Delta\omega_c^* = (R_d + \frac{R_{Ш}R_{\Pi}}{R_{Ш} + R_{\Pi}}) \frac{M}{(c\Phi)^2}. \quad (5)$$

Характеристика 5 строится так же по двум точкам при: $M = 0$ и $M = M_H$. Отличительной особенностью данной схемы является то, что характеристика проходит через три квадранта, т.е. двигатель может работать в трех режимах: двигательном, противовключения и даже рекуперативного торможения, т.к. ток I_{Π} , потребляемый от источника, не меняет своего направления и при $I_{я} < 0$.

3.1. Расчёт механических характеристик в режиме динамического торможения 4 выполняется с учетом того, что они проходят через начало координат. Так как якорь отключен от сети, то $U = 0$ и $\omega_0 = 0$. Скорость во второй точке механической характеристики 4 определяется по формуле

$\omega = -\Delta\omega_c = -\frac{R}{(c\Phi_H)^2} M$ при $M = M_H$ и сопротивлении $R = R_D + R_T$. Так как на стенде в качестве R_T используется сопротивление $R_{Ш}$, то $R_T = R_{Ш}$.

Расчеты выполняются только для положительных значений скорости.

4. Работа в лаборатории.

4.1. Описание лабораторной установки, назначение оборудования.

Работа выполняется на одной из двух идентичных лабораторных установок ЛУ1(ЛУ3), схема которых приведена на рис.2. В центре стенда установлен агрегат, состоящий из двигателя постоянного тока независимого возбуждения ИМ (испытуемая машина) и нагрузочной машины (НМ).

Питание якорной цепи ИМ осуществляется через автоматический выключатель АВ1 от установленного на стенде ЛУ2 нерегулируемого источника постоянного тока (полупроводниковый выпрямитель) напряжением 220В. По этой причине ток, потребляемый от источника, не может менять направление, а двигатель – переходить в режим рекуперации энергии в сеть.

НМ питается от сети переменного тока через выключатель АВ2.

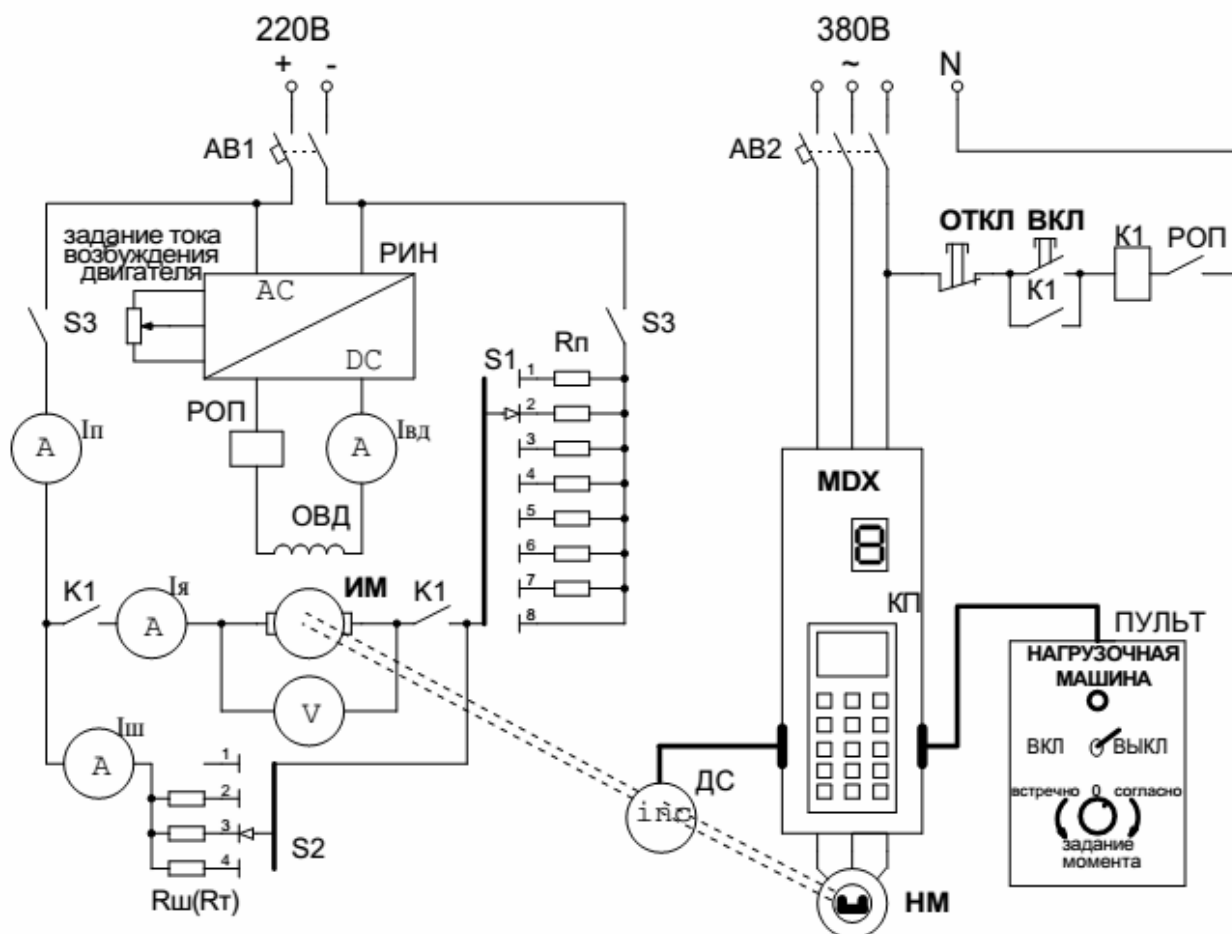


Рис.2. Схема лабораторной установки.

Испытуемая машина. В цепи обмотки возбуждения двигателя (ОВД) имеются амперметр ($I_{вд}$) и регулируемый источник напряжения (РИН), а также катушка реле РОП, выполняющего защиту двигателя при отсутствии

возбуждения. Управление РИН осуществляется с помощью потенциометра «задание тока возбуждения двигателя». Хотя переключатель S3 позволяет подключать цепь якоря двигателя к источнику питания независимо от обмотки возбуждения, однако напряжение на якорь подается только при срабатывании магнитного пускателя K1, что возможно лишь при замкнутых контактах РОП. Магнитным пускателем называется устройство, у которого в одном корпусе смонтированы контактор и две кнопки. Контактор K1 используется для коммутации силовых цепей, а кнопки «Вкл» (зеленая) и «Выкл» (красная) для управления им.

Для получения требуемых характеристик используются сопротивления, включенные последовательно (R_{Π}) и параллельно $R_{\text{ш}}$ (шунтирующие) якорю. Заданные значения сопротивления R_{Π} устанавливаются переключателем S1, а $R_{\text{ш}}$ – переключателем S2 согласно таблицам 3 и 4, приведенным в п.2.5. Три амперметра необходимы для измерения токов в схеме шунтирования, в других опытах измеряется только ток якоря $I_{\text{я}}$.

Нагрузочная машина предназначена для снятия механических характеристик ИМ не только в двигательном, но и в тормозных режимах, и поэтому с ее помощью необходимо создавать и регулировать моменты, направленные не только встречно с моментом ИМ, но и согласно с ним. С этой целью управление ИМ осуществляется от специального приводного преобразователя MOVIDRIVE, работающего в режиме регулирования момента. ИМ имеет встроенный датчик скорости (ДС), показания которого в об/мин используются при снятии характеристик.

Преобразователь MOVIDRIVE, работающий в режиме регулирования момента, позволяет изменять момент, развиваемый нагрузочной машиной, пропорционально ее току I_0 : $M_{\text{ИМ}} = k_M \cdot I_0$, где: $k_M = 2,27 \text{ Нм/А}$. На экране дисплея клавишной панели (КП), расположенной на корпусе преобразователя, отображается информация: текущие значения частоты вращения n в об/мин (rpm) и тока I_0 в А (Amp), а также режим работы – регулирование момента (TORQUE OPERATION), как это показано на рисунке.

750 rpm
1,25 Amp
TORQUE OPERATION

После включения АВ2 преобразователь производит внутреннее тестирование и установку параметров, что отображается цифрами «8» и затем «0» на его семисегментном индикаторе, а после их окончания появляется цифра «1». Управление преобразователем осуществляется от отдельного ПУЛЬТа, на котором установлены тумблер включения и выключения привода нагрузочной машины и потенциометр «Задание момента». При выключенном тумблере преобразователь заблокирован и момент $M_{\text{ИМ}} = 0$. После включения он готов к работе, и потенциометром задаются величина и направление момента $M_{\text{ИМ}}$: встречное или согласное.

Переключатели S1, S2, S3 предназначены для установки заданных значений сопротивлений и переключений в схеме. Для защиты двигателя при пуске подача напряжения заблокирована, если рукоятка переключателя S1

находится в положении 8 ($R_{\Pi} = 0$). Чтобы произвести пуск ее необходимо установить в любое другое положение.

4.2. Подготовка к работе.

1. На пульте управления преобразователем тумблер установить в положение «ВЫКЛ».
2. Включить автоматические выключатели АВ1 и АВ2;
3. С помощью потенциометра «задание тока возбуждения двигателя» установить номинальное значение тока возбуждения $I_{ВДН} = 0,58A$;
4. Установить: 1) переключатель S1 в положение «7» (в цепь якоря вводится сопротивление R_{Π} для ограничения пускового тока); 2) переключатель S2 в положение «1»; 3) переключатель S3 в положение 1 («Сеть»);
5. Нажатием кнопки «Вкл» (зеленая) пускателя К1 запустить двигатель. Лабораторная установка готова к проведению экспериментов.

ВНИМАНИЕ! При повторных пусках двигателя переключатель S1 всегда нужно устанавливать в любое положение кроме положения «8».

4.3. Снятие механических характеристик.

Первой всегда снимается точка холостого хода двигателя, когда он преодолевает механические потери агрегата ($M_{НМ} = 0$). Для этого необходимо установить тумблер включения нагрузочной машины в положение «ВЫКЛ» и снять эту точку характеристики. Затем необходимо тумблер включения нагрузочной машины перевести в положение «ВКЛ» и, поворачивая потенциометр «задание момента» в направлении «согласно», установить ток якоря $I_{я} = 0$. Это соответствует точке идеального холостого хода (механические потери преодолевает НМ). Прodelать измерения. После чего, поворачивая потенциометр в направлении «встречно» и увеличивая ток якоря, снять остальные точки характеристики. На искусственных характеристиках при больших значениях R_{Π} скорость может снизиться до нуля и даже изменить свое направление, а в схеме шунтирования, кроме того, ток якоря может протекать в обоих направлениях.

Измерения следует проводить в пределах: ток якоря – не более 5А в обоих направлениях, скорость от +1300 до –500об/мин.

Рекомендация: Так как в опытах 4.3.1, 4.3.2 и 4.3.3 токи $I_{я}$ и I_{Π} одинаковы, то измерения $I_{я}$ следует выполнять по амперметру I_{Π} , у которого цена деления в 2 раза больше. В опытах 4.3.4 и 4.3.5 – по амперметру $I_{я}$.

4.3.1. Естественная механическая характеристика. Переключатель S1 установить в положение «8» – скорость двигателя возрастет, что говорит о том, что двигатель перешел на естественную характеристику. Записывать значения скорости (n) и тока (I_0) НМ с дисплея КП, а также по приборам – тока $I_{я}$ и напряжения $U_{я}$ якоря двигателя. Следует обратить внимание на то, что напряжение остается неизменным. Данные опыта заносятся в Таблицу 6:

Таблица 6

$U_{\text{я}}$	$I_{\text{я}}$	n	I_0
В	А	об/мин	А

4.3.2. Искусственная механическая характеристики при ослабленном магнитном потоке Φ' . С помощью потенциометра «задание тока возбуждения двигателя» установить заданное значение тока возбуждения $I_{\text{вд}}' < I_{\text{вдн}}$ и повторить эксперимент по той же методике.

4.3.3. Искусственные механические характеристики с добавочным последовательным сопротивлением в цепи якоря $R_{\text{п}}$.

Установить переключатель S1 в положение, соответствующее заданному значению сопротивления $R_{\text{п}}$. В зависимости от величины $R_{\text{п}}$ при увеличении нагрузки скорость может не только уменьшиться до нуля, но и изменить направление, что соответствует переходу двигателя в тормозной режим противовключения. Обратит внимание на то, что в этом и последующих экспериментах напряжение $U_{\text{я}}$ при изменении нагрузки меняется. Опыт выполнять для всех заданных значений $R_{\text{п}}$ по методике, описанной в п.4.3.1.

4.3.4. Искусственные механические характеристики для сложной схемы включения с последовательным сопротивлением $R_{\text{п}}$ и шунтированием якоря сопротивлением $R_{\text{ш}}$.

Установить переключатель S1 в положение, соответствующее заданному значению сопротивления $R_{\text{п}}$, а переключатель S2 в положение, соответствующее заданному значению сопротивления $R_{\text{ш}}$.

Особенностью данной схемы включения является то, что ток $I_{\text{п}}$, потребляемый от источника равен сумме токов якоря и шунтирующей цепи: $I_{\text{п}} = I_{\text{я}} + I_{\text{ш}}$. Поэтому, благодаря перераспределению токов, ток $I_{\text{п}}$ может не изменить своего направления даже при отрицательных $I_{\text{я}}$. Таким образом, в данной схеме возможен режим рекуперативного торможения. Поэтому ток якоря $I_{\text{я}}$ следует изменять в обоих направлениях, не превышая $\pm 5\text{А}$.

При снятии характеристик обратит внимание на: 1) уменьшение значения ω_0 и наклона механической характеристики по сравнению с п.4.3.3 при тех же $R_{\text{п}}$; 2) возможность работы двигателя при отрицательных токах якоря; 3) перераспределение токов в отдельных цепях ($I_{\text{я}}$, $I_{\text{п}}$, $I_{\text{ш}}$) и их соотношение.

Опыт выполнять для всех заданных значений $R_{\text{п}}$ и $R_{\text{ш}}$ по методике, описанной в п.4.3.1, но в таблице необходимо добавить два столбца для записи значений токов $I_{\text{п}}$ и $I_{\text{ш}}$.

4.3.5. Искусственные механические характеристики в режиме динамического торможения.

Установить переключатель S3 в положение 2 (отключив тем самым якорь от сети), а переключатель S2 в положение, соответствующее заданному значению $R_{\text{т}}$. Опыт выполнять для всех заданных значений $R_{\text{т}}$ по методике,

описанной в п.4.3.1. Характеристики снимать только для одного направления скорости.

4.4. Отключение установки. После снятия всех требуемых механических характеристик необходимо: 1) Установить тумблер включения нагрузочной машины в положение «ВЫКЛ»; 2) Нажатием кнопки на корпусе пускателя К1 отключить его; 3) Выключить автоматические выключатели АВ1 и АВ2.

5. Обработка результатов экспериментов

При обработке результатов экспериментов для расчета момента M_d необходимо учитывать, какая из машин преодолевает механические потери. Результаты обработки сводятся в следующую таблицу, приводимую в отчете:

Таблица 7

Экспериментальные данные				Результаты обработки			
$U_{я}$	$I_{я}$	n	I_0	ω	$M_{нм}$	$M_{хх}$	M_d
В	А	об/мин	А	рад/с	Нм	Нм	Нм

Методика вычисления моментов и порядок оформления отчета изложены в разделе пособия «Подготовка и оформление отчета».

РАБОТА № 2. Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

1. Программа работы.

1.1. Подготовка к работе:

1.1.1 Рассчитать переходную характеристику для всех значений тока I_B , указанных в п.2.1 для естественной электромеханической характеристики.

1.1.2. Рассчитать искусственные механические характеристики для двух заданных значений добавочных сопротивлений в цепи якоря $R_{П1}$ и $R_{П2}$.

1.1.3. Рассчитать искусственные характеристики для схемы шунтирования якоря ИМ сопротивлением $R_{Ш}$ при двух значениях $R_{Ш1}$ и $R_{Ш2}$ и одном значении последовательного сопротивления $R_{П1}$, заданном в п. 1.1.2.

1.1.4. Рассчитать механические характеристики в режиме динамического торможения с самовозбуждением для двух значений добавочных сопротивлений в цепи якоря $R_{Т1} = R_{Ш1}$ и $R_{Т2} = R_{Ш2}$.

1.2. Работа в лаборатории.

1.2.1 Ознакомление с устройством лабораторной установки, расположением и назначением оборудования.

1.2.2 Подготовка к работе.

1.2.3 Снятие естественной и искусственных механических характеристик, указанных в п.п. 1.1.2 ÷ 1.1.4.

1.3. Оформление отчета.

2. Данные машин и сопротивлений.

2.1. Испытуемая машина (ИМ): Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения, тип : ДП100L.

$P_H = 0,55\text{кВт}$ (S1); $U_H = 220\text{В}$; $I_H = 3,7\text{А}$; $n_H = 1000\text{об/мин}$;

$R_{\text{я}} = 12,0\text{Ом}$; $R_B = 4,8\text{Ом}$.

Естественная электромеханическая характеристика двигателя: Таблица 1

n_e	об/мин	2650	2100	1750	1470	1250	1100	980	890	800	760	710
I_B	А	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

2.2. Нагрузочная машина (НМ): Вентильный двигатель, тип: CFM 71S. $M_H = 5,0\text{Нм}$; $U_H = 380\text{В}$; $f_H = 100\text{Гц}$; $I_H = 2,2\text{А}$; $n_H = 2000\text{об/мин}$.

2.3. Приводной преобразователь: MOVIDRIVE MDX61B 0022 - 5A3.

$U_H = 3 \times 380\text{В}$, $f_H = 50\text{Гц}$; $P_{\text{Нвых}} = 2,2\text{кВт}$; $I_{\text{Нвых}} = 5,5\text{А}$; $k_M = 2,27\text{Нм/А}$.

2.4. Механические потери (момент холостого хода $M_{\text{ХХ}}$): Таблица 2

ω	рад/с	5	10	20	40	60	80	100	120	140
$M_{\text{ХХ}}$	Нм	0,25	0,37	0,40	0,45	0,48	0,51	0,53	0,54	0,55

2.5. Добавочные сопротивления:

Таблица 3

Положение переключателя S1	1	2	3	4	5	6	7	8
Величина сопротивления R _П , Ом	66,0	36,0	45,0	51,0	15,0	21,0	30,0	0

Таблица 4

Положение переключателя S2	1	2	3	4
Величина сопротивления R _Ш , Ом	Выкл	70,0	30,0	40,0

2.6. Способ шунтирования

Таблица 5

Положение переключателя S3	1	2
Наименование схемы шунтирования	двигателя	якоря

3. Расчет искусственных механических характеристик.

В электрических машинах с последовательным соединением обмоток якоря и возбуждения ток якоря I_A является одновременно и током возбуждения I_B . Так как магнитный поток Φ нелинейно зависит от I_B , то уравнение механической характеристики $\omega = f(M)$, выражение которой для всех двигателей постоянного тока имеет вид:

$$\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R}{(c\Phi)^2} M, \quad (1)$$

представляет собой сложную нелинейную зависимость ω от M . Поэтому их естественная механическая характеристика приводится в каталогах (п.2.1, таблица 1), а все искусственные характеристики рассчитываются методом переходной характеристики (рис.1), определяемой выражением:

$$c\Phi = \left(\frac{E}{\omega}\right)_e = f(I_B). \quad (2)$$

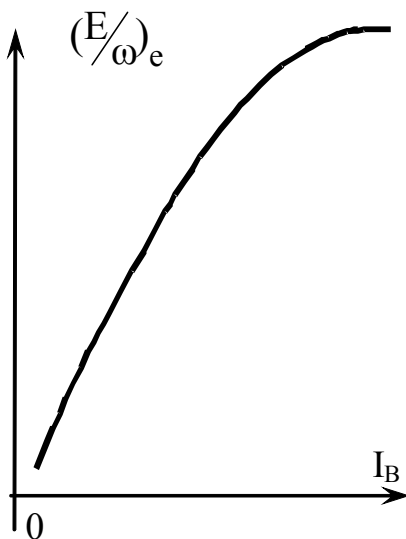


Рис.1. Переходная характеристика

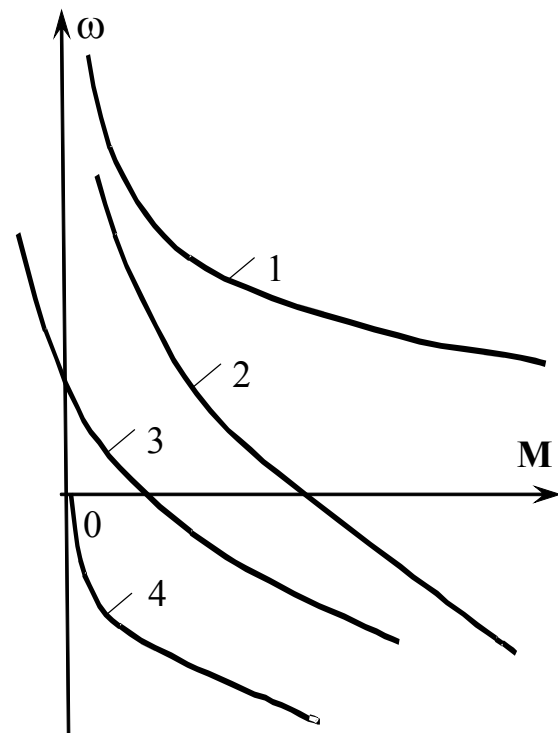


Рис.2. Механические характеристики

Для расчета переходной характеристики используется электромеханическая характеристика $n_e = f(I_B)$, которая для двигателей последовательного возбуждения приводится в каталогах (п.2.1, таблица 1):

$$c\Phi = \frac{E_e}{\omega_e} = \frac{U_H - I_B \cdot R_d}{\omega_e}, \quad (3)$$

где $R_d = R_{\text{я}} + R_B$. Нужно также пересчитать скорость n_e в об/мин на ω_e в рад/с: $\omega_e = \pi n_e / 30$. Расчёт следует проводить, последовательно задаваясь значениями тока I_B , указанными в таблице 1.

Для построения естественной механической характеристики (кривая 1 на рис.2) необходимо, кроме того, рассчитать момент двигателя M_e , задаваясь значениями $I_{\text{я}} = I_B$:

$$M_e = \left(\frac{E}{\omega} \right)_e \cdot I_{\text{я}}. \quad (4)$$

Момент двигателя на искусственных характеристиках $M_{\text{и}}$ для всех схем включения двигателя (кроме схемы шунтирования), у которых $I_{\text{я}} = I_B$, такой же, как и на естественной: $M_{\text{и}} = M_e$ (Таблица 5).

Расчет скоростей для всех искусственных механических характеристик выполняется с помощью переходной характеристики, используя выражения:

$$\omega_{\text{и}} = \frac{E_{\text{и}}}{\left(\frac{E}{\omega} \right)_e}; \quad (5)$$

$$E_{\text{и}} = U_H - I_B \cdot R. \quad (6)$$

Величина R зависит от схемы включения двигателя. Для расчета механических характеристик с последовательным сопротивлением в цепи якоря (кривая 2) необходимо в (6) подставлять $R = R_d + R_{\text{п}}$ для заданных значений $R_{\text{п1}}$ и $R_{\text{п2}}$.

Расчёт характеристик для режима динамического торможения с самовозбуждением (кривая 4) выполняется с учетом того, что в этом режиме напряжение $U = 0$ и поэтому $E_{\text{и}} = -I_{\text{я}} R$, где $R = R_d + R_T$ – полное сопротивление замкнутой цепи якоря двигателя, R_T – заданные значения тормозного сопротивления R_{T1} и R_{T2} . Результаты расчетов следует представить в виде таблицы 6:

Таблица 6

Исходные данные		Переходная характеристика			Момент	Искусственная характеристика с $R_{\text{п}}$			Динамическое торможение с R_T	
$I_B = I_{\text{я}}$	ω_e	$I_{\text{я}} R_d$	$E_e = U_H - I_{\text{я}} R_d$	$(E/\omega)_e$	$M_e = M_{\text{и}} = I_{\text{я}} (E/\omega)_e$	$I_{\text{я}} R$	$E_{\text{и}} = U_H - I_{\text{я}} R$	$\omega_{\text{и}} = E_{\text{и}} / (E/\omega)_e$	$E_T = -I_{\text{я}} R$	$\omega_T = E_T / (E/\omega)_e$
A	рад/с	B	B	B·с	Нм	B	B	рад/с	B	рад/с

Расчёт характеристик в схеме шунтирования якоря сопротивлением $R_{Ш}$ с последовательным сопротивлением $R_{П}$ (кривая 3) связан с особым способом вычисления $E_{и}$. Последовательность расчёта представлена в таблице 7. Задаваясь значениями тока возбуждения $I_{В}$, необходимо:

- 1) определить падения напряжений в последовательном и параллельном контурах;
- 2) рассчитать токи в указанных контурах и в цепи якоря;
- 3) рассчитать $E_{и}$. Далее определяются, соответственно, $\omega_{и}$ и $M_{и}$. Необходимо обратить внимание на то, что в этой схеме токи якоря и возбуждения не равны. Ток возбуждения равен сумме токов якоря и шунтирующей цепи. Благодаря этому, ток возбуждения всегда больше нуля, даже при $I_{Я} = 0$, следовательно, могут быть получены не только скорость идеального холостого хода, но и режим рекуперативного торможения ($I_{Я} < 0$). В двигателях последовательного возбуждения это возможно только для данной схемы включения.

Таблица 7

Исходные данные			Расчетные величины							
$I_{В}$	$(E/\omega)_{е}$	$M_{е}$	$I_{В}(R_{В} + R_{П})$	$U_{Ш} = U_{Н} - I_{В}(R_{В} + R_{П})$	$I_{Ш} = U_{Ш} / R_{Ш}$	$I_{Я} = I_{В} - I_{Ш}$	$I_{Я}R_{Д}$	$E_{и} = U_{Ш} - I_{Я}R_{Д}$	$\omega_{и} = E_{и}/(E/\omega)_{е}$	$M_{и} = M_{е}(I_{Я}/I_{В})$
А	В·с	Нм	В	В	А	А	В	В	рад/с	Нм

4. Работа в лаборатории.

4.1. Описание лабораторной установки, назначение оборудования.

Схема лабораторной установки приведена на рис.3. Она аналогична схеме в работе №1, где она описана более подробно.

Питание двигателя последовательного возбуждения (ИМ) выполнено от нерегулируемого источника постоянного тока 220В через автоматический выключатель АВ1, а НМ через автоматический выключатель АВ2 – от сети переменного тока 380В. Разница между схемами работ №1 и №2 состоит в том, что обмотка возбуждения включена последовательно с якорем и изменен способ подключения сопротивления $R_{Ш}$ переключателем S3.

Испытуемая машина. Напряжение на якорь двигателя подается через контакты магнитного пускателя К1 после его срабатывания. Для снятия характеристик используются сопротивления, включенные последовательно – $R_{П}$ и параллельно якорю – $R_{Ш}$ (шунтирующее). Заданные значения сопротивлений $R_{П}$ и $R_{Ш}$ устанавливаются соответственно переключателями

S1 и S2 согласно таблицам 3 и 4, приведенным в п.2.5. Переключателем S3 задается способ шунтирования – якоря или двигателя. Три амперметра необходимы для измерения токов в схемах шунтирования, когда они становятся разными. В других опытах измеряется только ток якоря $I_{\text{я}}$.

Нагрузочная машина. Вентильный двигатель (НМ) имеет встроенный датчик скорости (ДС), показания которого в об/мин используются при снятии характеристик. Благодаря приводному преобразователю MOVIDRIVE момент, развиваемый нагрузочной машиной, пропорционален отображаемому на дисплее КП току статора I_0 : $M = k_M \cdot I_0$, где: $k_M = 2,27 \text{ Нм/А}$.

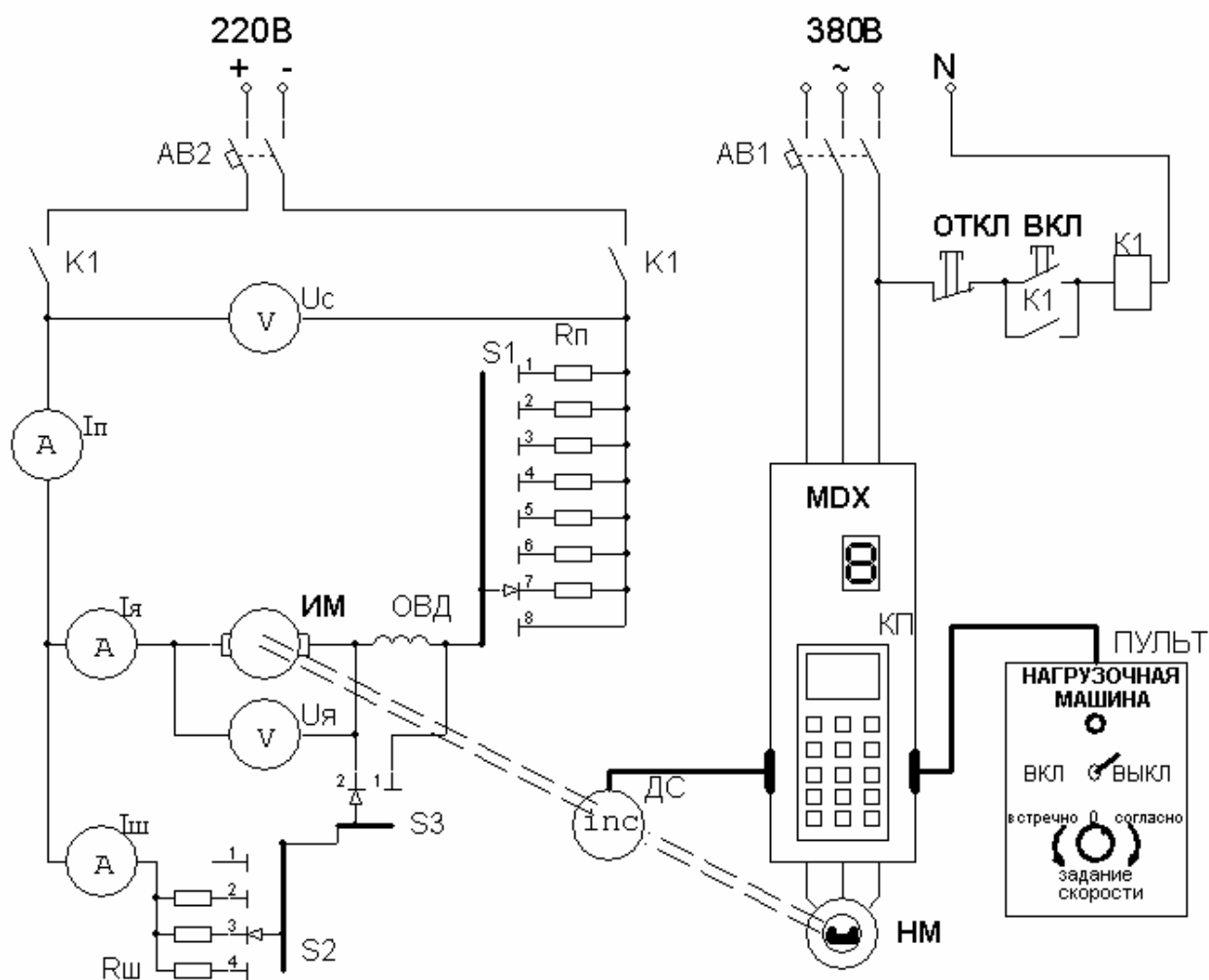


Рис.3. Схема лабораторной установки.

Приводной преобразователь MOVIDRIVE. После включения АВ1 производится внутреннее тестирование преобразователя и установка параметров, а после их окончания в окне индикатора преобразователя появляется цифра «1».

Управление преобразователем выполняется от отдельного ПУЛЬТа. Величина скорости устанавливается потенциометром «задание скорости». Он имеет среднее положение «0», а при повороте его рукоятки происходит изменение скорости в направлениях «ВСТРЕЧНО» или «СОГЛАСНО». Перед пуском его нужно установить в положение «0». Для начала работы необходимо разблокировать преобразователь включением тумблера, после

чего на индикаторе преобразователя появляется цифра «5», соответствующая режиму работы – «регулирование скорости».

При работе НМ на экране дисплея клавишной панели (КП), расположенной на корпусе преобразователя отображается следующая информация: текущие значения частоты вращения n в об/мин (rpm) и тока I_0 в А (Amp), а также режим работы – регулирование скорости (SPEED CONTROL), как это показано на рисунке 4.

750 rpm 1,25 Amp SPEED CONTROL

Рис.4. Индикация на экране дисплея клавишной панели

4.2. Подготовка к работе.

1. Включить автоматические выключатели АВ1 и АВ2.
2. Установить переключатели: S1 – в положение 7 «30 Ом»; S2 – в положение 1 «выкл»; S3 – в положение 2 «Шунтирование якоря».
2. Пуск машин выполняется в следующей последовательности.

Нажатием кнопки «Вкл» (зеленая) пускателя К1 запустить двигатель с добавочным сопротивлением R_{Π} для ограничения пускового тока. Затем нажатием красной кнопки на корпусе пускателя отключить двигатель и при его остановке определить направление вращения (по часовой стрелке).

После этого запускается нагрузочная машина. Для этого: На ПУЛЬТе управления нагрузочной машиной тумблер установить в положение «ВКЛ», а затем потенциометром «задание скорости» установить скорость $1000 \div 1200$ об/мин в том же направлении вращения (по часовой стрелке).

Нажатием кнопки «Вкл» (зеленая) пускателя К1 снова запустить двигатель. Такая последовательность необходима для согласованного пуска машин и ограничения скорости двигателя при малых нагрузках.

Лабораторная установка готова к проведению экспериментов.

4.3. Снятие механических характеристик.

На искусственных характеристиках при больших значениях R_{Π} скорость может снизиться до нуля и даже изменить свое направление, а в схеме шунтирования, кроме того, ток якоря может протекать в обоих направлениях.

Измерения следует проводить в пределах: ток якоря – не более 5А, скорость от +1500 до –500 об/мин.

Рекомендация: Так как в опытах 4.3.1, 4.3.2 и 4.3.3 токи $I_{\text{я}}$ и I_{Π} одинаковы, то измерения $I_{\text{я}}$ следует выполнять по амперметру I_{Π} , у которого цена деления в 2 раза больше, в опытах 4.3.4 и 4.3.5 – по амперметру $I_{\text{я}}$.

4.3.1. Естественная механическая характеристика. После пуска двигателя переключатель S1 установить в положение «О 0м» – двигатель переходит на естественную характеристику. Потенциометром «задание скорости» уменьшать скорость, записывать значения скорости (n) и тока (I_0) НМ с дисплея КП, а также по приборам – тока $I_{я}$ и напряжения $U_{я}$ якоря двигателя. Данные опыта заносятся в таблицу:

$U_{я}$	$I_{я}$	n	I_0
В	А	об/мин	А

4.3.2. Искусственные характеристики с добавочным сопротивлением в цепи якоря. Заданные значения сопротивлений $R_{П1}$ и $R_{П2}$ устанавливаются переключателем S1. При снятии характеристик при больших нагрузках возможен переход ИМ из двигательного режима в режим противовключения, что сопровождается изменением направления вращения якоря. При этом скорость достаточно изменять до $n = - 500$ об/мин.

4.3.3. Искусственные механические характеристики схемы с шунтированием якоря сопротивлением $R_{Ш}$ и последовательным сопротивлением $R_{П}$.

Для снятия механических характеристик необходимо установить переключатель S3 в положение 2 «шунтирование якоря», переключателем S1 установить заданное значение сопротивления $R_{П}$, а переключателем S2 – заданное значение сопротивления $R_{Ш}$. При снятии этих характеристик кроме тока якоря $I_{я}$ нужно записывать токи возбуждения $I_{П}$ и шунтирующей цепи $I_{Ш}$. Снимать механическую характеристику нужно как при встречном, так и при согласном включении ИМ и НМ. При согласном включении ток якоря ИМ может достичь значения $I_{я} = 0$, которое соответствует скорости идеального холостого хода – границе между двигательным режимом и режимом рекуперативного торможения. При этом потери в агрегате полностью покрываются НМ. При дальнейшем увеличении скорости ИМ перейдет в режим рекуперативного торможения, что сопровождается изменением направления тока якоря. В двигателях последовательного возбуждения работа в этом режиме возможна только в схеме шунтирования. При встречном включении ИМ может работать не только в двигательном, но и в тормозном режиме (противовключения).

4.3.4. Механические характеристики в режиме динамического торможения. Для перевода двигателя в этот режим необходимо: 1) нажатием красной кнопки на пускателе К1 отключить двигатель от источника питания; 2) переключатель S3 установить в положение 1 «шунтирование двигателя»; 3) переключателем S2 установить заданное значение сопротивления (сначала $R_{Т1}$, а затем $R_{Т2}$).

Так как двигатель отключен от сети, то для создания момента необходимо, чтобы произошел процесс его самовозбуждения. Он возникает за счет остаточного магнитного потока при вращении якоря. Поэтому необходимо сначала разогнать двигатель до максимальной скорости (не

более 1500об/мин), а затем снимать характеристику, уменьшая скорость так же, как это делалось ранее.

Следует убедиться в том, что самовозбуждение происходит только при направлении вращения, когда знак ЭДС и направление тока возбуждения таковы, что создаваемый этим током поток совпадает по направлению с остаточным магнитным потоком. При другом направлении вращения напряжение и ток якоря не увеличиваются – процесс самовозбуждения не происходит.

РАБОТА № 3. Исследование характеристик системы генератор – двигатель.

1. Программа работы.

Подготовка к работе. Рассчитать и построить:

- 1.1.1. Естественную механическую характеристику двигателя.
- 1.1.2. Искусственные механические характеристики при питании якоря двигателя от генератора для заданных значений ЭДС генератора E_G .
- 1.1.3. Характеристики $P_d = f(\omega)$ и $M_d = f(\omega)$ при $I_{я} = I_H = \text{const}$ для двух зон:
 - 1) При изменении ЭДС генератора от 0 до максимального значения $U_{G \text{ макс}}$ и номинальном потоке возбуждения двигателя ($I_{ВДН} = 0,58 \text{ А} = \text{const}$);
 - 2) При $U_G = U_{G \text{ макс}} = \text{const}$ и уменьшении тока возбуждения двигателя до 0,35А.

1.2. Работа в лаборатории.

- 1.2.1. Ознакомление с устройством лабораторной установки, расположением и назначением оборудования.
 - 1.2.2. Подготовка к работе.
 - 1.2.3. Снятие характеристики холостого хода генератора $E_G = f(I_{ВД})$.
 - 1.2.4. Снятие характеристик, указанных в п.п. 1.1.2 ÷ 1.1.3.
- 1.3. Составление отчёта.

2. Паспортные данные машин.

2.1. Генератор. Тип : 4ПО100S.

$P_H = 1,1 \text{ кВт}$; $U_H = 220 \text{ В}$; $I_H = 6,5 \text{ А}$; $n_H = 1500 \text{ об/мин}$; $R_G = 6,2 \text{ Ом}$;

2.2. Двигатель. Тип : 4ПО100S1.

$P_H = 0,55 \text{ кВт}$; $U_H = 220 \text{ В}$; $I_H = 3,5 \text{ А}$; $n_H = 1000 \text{ об/мин}$; $I_{ВДН} = 0,58 \text{ А}$;
 $R_d = 11,0 \text{ Ом}$;

Зависимость коэффициента $c\Phi_d$ от тока возбуждения $I_{ВД}$: Таблица 1

$c\Phi_d$	Вб	1,02	1,3	1,45	1,55	1,65	1,7	1,73	1,75	1,79
$I_{ВД}$	А	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,58	0,65

2.3. Нагрузочная машина. Тип: CFM 71S.

$M_H = 5,0 \text{ Нм}$; $U_H = 380 \text{ В}$; $f_H = 100 \text{ Гц}$; $I_H = 2,2 \text{ А}$; $n_H = 2000 \text{ об/мин}$.

2.4. Асинхронный двигатель (АД). Тип : АИР 80А4 В1.

$P_H = 1,1 \text{ кВт}$; $U_H = 380 \text{ В}$; $I_H = 3,2 \text{ А}$; $n_H = 1335 \text{ об/мин}$.

2.5. Приводной преобразователь: MOVIDRIVE MDX61B 0040 – 5A3.

$U_C = 3 \times 380 \text{ В}$, $f_H = 50 \text{ Гц}$; $P_H = 6,6 \text{ кВт}$; $I_H = 9,5 \text{ А}$; $k_M = 2,27 \text{ Нм/А}$.

2.6. Механические потери $M_{ХХ} = f(\omega)$ агрегатов:

Таблица 2

Скорость, рад/с		20	40	60	80	100	120	140	150
Момент	ЛУ1	0,55	0,63	0,7	0,75	0,78	0,85	0,9	0,93
$M_{ХХ}$, Нм	ЛУ3	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64

3. Расчет характеристик.

В данной работе исследуется электропривод постоянного тока при регулировании скорости изменением напряжения якоря и магнитного потока.

Система электропривода, в которой для регулирования напряжения якоря двигателя используется генератор постоянного тока, ЭДС которого E_G регулируется в широких пределах, называется системой генератор – двигатель (Г – Д). Генератор предназначен для преобразования механической энергии в электрическую. Роль источника механической энергии выполняет асинхронный двигатель, ротор которого вращается с постоянной скоростью. Общим для всех машин постоянного тока является выражение: $E = \omega \Phi$. При постоянной скорости вращения якоря генератора ω_G регулирование его ЭДС производится изменением магнитного потока Φ_G , создаваемого током обмотки возбуждения генератора I_{BG} . Связь между ними определяется кривой намагничивания $\Phi_G = f(I_{BG})$. Зависимость ЭДС генератора E_G от тока возбуждения I_{BG} называется характеристикой холостого хода генератора $E_G = f(I_{BG})$. Алогичная по форме кривой намагничивания (рис.1), она не рассчитывается, а снимается экспериментально.

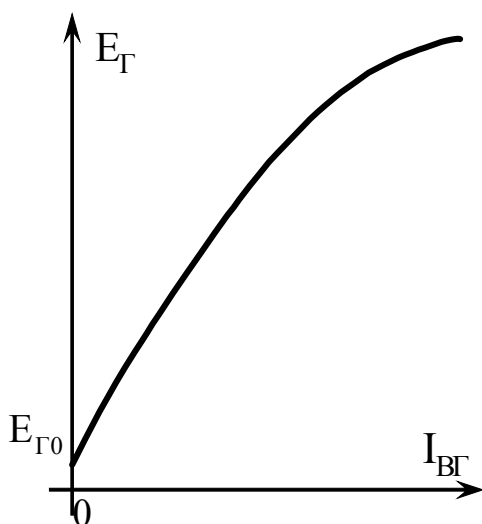


Рис.1. Характеристика холостого хода.

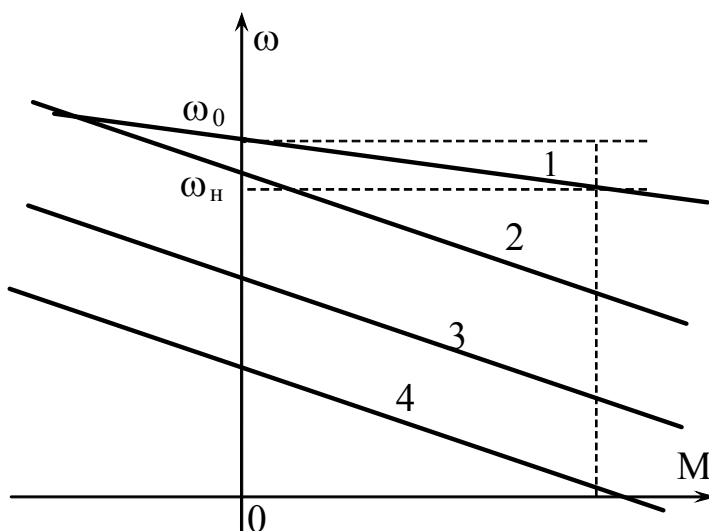


Рис.2. Механические характеристики двигателя в системе Г – Д.

3.1. Расчет естественной характеристики (линия 1 на рис.2) выполняется так же, как в п.3.1 работы №1. Если работа №1 уже была выполнена ранее, то можно воспользоваться ее результатами, т.к. двигатель используется тот же.

3.2. Расчёт искусственных механических характеристик двигателя для заданных значений ЭДС генератора E_G .

Уравнение механической характеристики применительно к системе Г–Д:

$$\omega = \frac{E_G}{c\Phi_d} - \frac{R_{гд}}{(c\Phi_d)^2} M = \omega_{огд} - \Delta\omega_{сгд}, \quad (1)$$

где $R_{ГД} = R_{Д} + R_{Г}$ – полное сопротивление цепи якорей генератора и двигателя.

Скорости идеального холостого хода для заданных значений ЭДС генератора $E_{Г}$ и номинальном потоке двигателя рассчитываются по формуле:

$$\omega_{0ГД} = \frac{E_{Г}}{c\Phi_{дн}}, \quad (2)$$

а статическое падение скорости $\Delta\omega_{сГдн}$ при $M_{Н} = c\Phi_{дн} I_{Н}$ по формуле:

$$\Delta\omega_{сГдн} = \frac{R_{ГД}}{(c\Phi_{дн})^2} M_{Н}. \quad (3)$$

Статическое падение скорости $\Delta\omega_{сГд}$ и наклон характеристик (линии 2,3,4 на рис.2) больше, чем на естественной (линия 1), так как $R_{ГД} > R_{Д}$.

Все механические характеристики стоятся в I и II квадрантах по двум точкам:

1) $\omega = \omega_{0ГД}$; $M = 0$; 2) $\omega_{сГдн} = \omega_{0ГД} - \Delta\omega_{сГдн}$; $M = M_{Н}$.

Механические характеристики системы Г-Д (2, 3, 4) располагаются на графике параллельно друг другу, так как $\Delta\omega_{сГд}$ для них одинаковы.

3.3. Расчёт регулировочных характеристик двигателя $P_{Д} = f(\omega)$ и $M_{Д} = f(\omega)$ выполняют для двух зон регулирования скорости (рис.3).

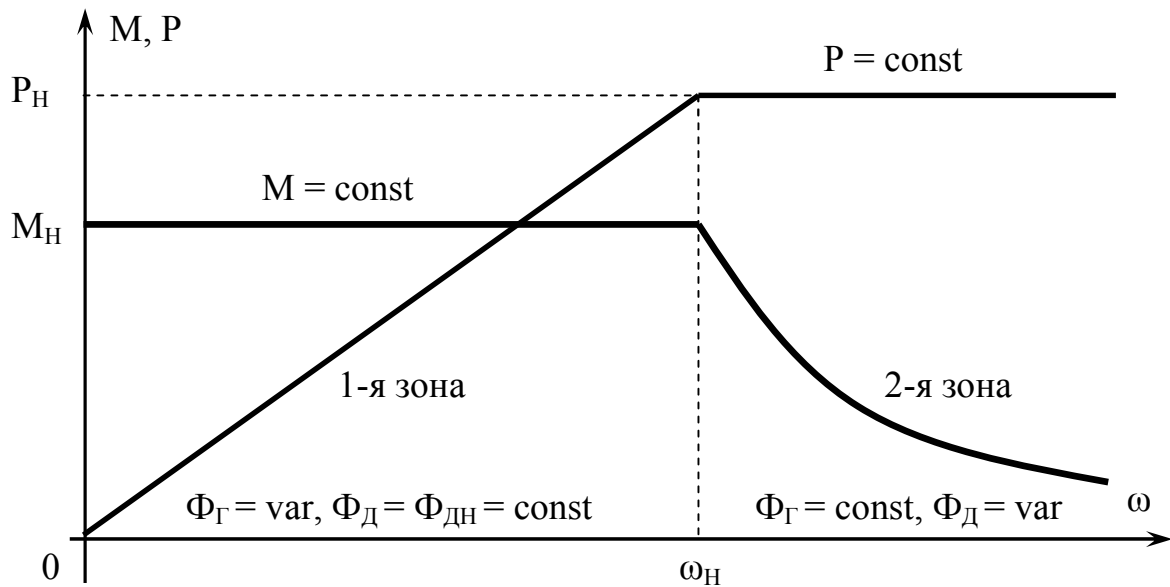


Рис.3. Регулировочные характеристики.

В первой зоне регулирование скорости двигателя осуществляют изменением ЭДС генератора ($\Phi_{Г} = var$) до номинального напряжения двигателя ($U_{дн} = 220В$) при номинальном потоке ($\Phi_{Д} = \Phi_{дн} = const$), а во второй зоне – изменением магнитного потока двигателя ($\Phi_{Д} = var$) при неизменном напряжении якоря, т.е. ЭДС генератора ($\Phi_{Г} = const$).

Так как полное использование двигателя по нагреву достигается при номинальном токе, то регулирование скорости двигателя следует проводить при неизменном токе якоря, равном номинальному: $I_{я} = I_{ян} = 3,5А$.

В первой зоне зависимость $P_d = f(\omega)$ строится по двум точкам. Одна из них – начало координат ($\omega = 0, P = 0$). Во второй точке – границе первой зоны – скорость равна номинальной ω_H , а мощность рассчитывается по формуле:

$$P_d = (U_{дн} - I_H R_d) \cdot I_H. \quad (4)$$

Так как в первой зоне токи якоря и возбуждения поддерживаются постоянными ($I_{я} = I_{ян}; I_{вд} = I_{вдн}$), то момент двигателя тоже постоянен и равен: $M_H = c\Phi_H I_{ян}$.

Во второй зоне $\Phi_r = \text{const}; \Phi_d = \text{var}$. Регулирование скорости двигателя осуществляют ослаблением магнитного потока двигателя, уменьшая ток возбуждения двигателя. Так как E_r и $I_{я}$ постоянны, то регулирование скорости при ослаблении магнитного потока двигателя происходит при постоянстве мощности, рассчитанной по (4).

Так как мощность в этой зоне постоянна ($P = M\omega = \text{const}$), то момент уменьшается пропорционально величине магнитного потока двигателя и обратно пропорционально скорости. Для расчёта зависимости $M = f(\omega)$ нужно задаваться значениями тока возбуждения двигателя: 0,55; 0,5; 0,45; 0,4; 0,35 А. Для них из таблицы 1 в п.2.2 определить значения $c\Phi'$ и рассчитать момент при $I_{я} = I_H$: $M' = c\Phi' I_{ян}$.

Скорость для полученных значений M' определять по формуле:

$$\omega' = \frac{U_{дн} - I_{ян} R_d}{c\Phi'_d}. \quad (5)$$

4. Работа в лаборатории.

4.1. Описание лабораторной установки, назначение оборудования.

В данной работе исследуются характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при регулировании его скорости изменением напряжения якоря и магнитного потока. Схема лабораторной установки приведена на рис.4. Оно расположено на двух стендах: ЛУ2 и ЛУ1(ЛУ3).

В качестве источника регулируемого напряжения используется генератор, ЭДС которого регулируется изменением его тока возбуждения $I_{вг}$. Для этого в цепь обмотки возбуждения включен регулируемый источник напряжения (РИН), управляемый потенциометром «задание тока возбуждения генератора». Все необходимое для этого оборудование смонтировано на лабораторной установке ЛУ2. В его состав входят: агрегат, состоящий из генератора (Г) и приводного асинхронного двигателя (АД), нерегулируемый источник постоянного тока (НВ) для питания напряжением постоянного тока 220В всех лабораторных установок, автоматический выключатель АВ1 для питания установки ЛУ2 переменным током 380В, магнитный пускатель К1 для пуска АД, регулятор возбуждения $I_{вг}$ и амперметр в цепи обмотки возбуждения с тем же обозначением $I_{вг}$. ЭДС генератора измеряется вольтметром U_r . Напряжение на двигатель подается через установленный на ЛУ2 переключатель S2, положение которого задается преподавателем.

Испытуемый двигатель тот же, что был использован в работе №1, где и приводится описание оборудования стенда (ЛУ1 или ЛУ3).

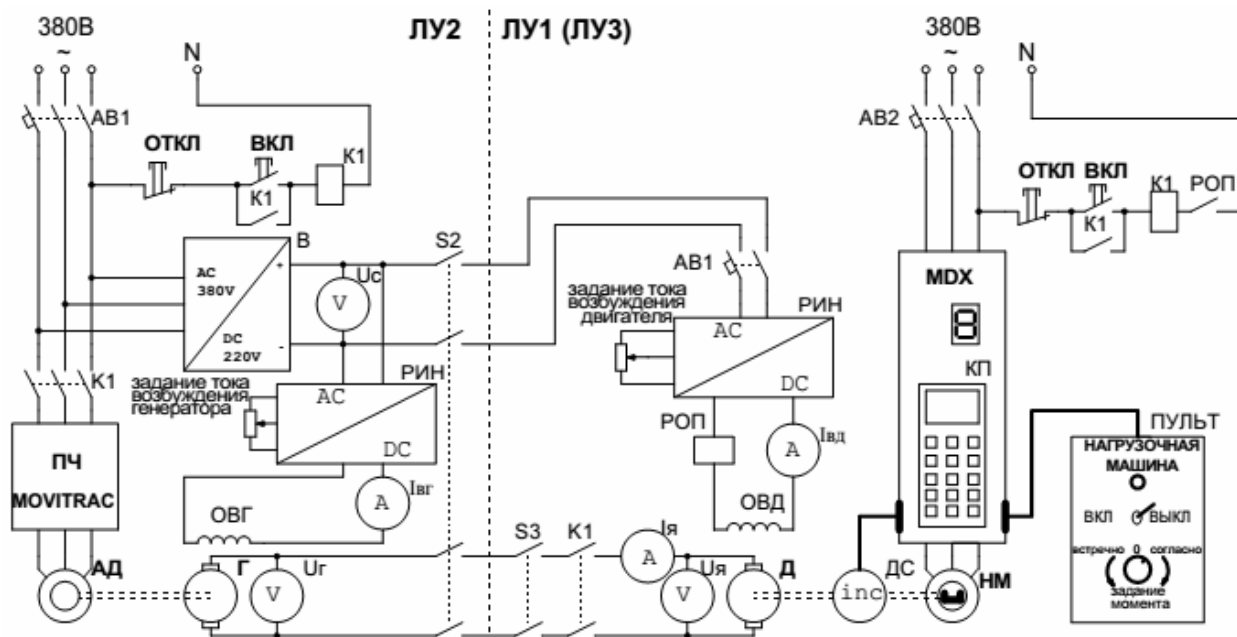


Рис.4. Схема лабораторной установки.

4.2. Подготовка к работе.

На ЛУ2: 1) включить АВ1 и с помощью потенциометра «задание тока возбуждения генератора» установить $I_{ВГ} = 0$; 2) кнопкой Вкл (зеленая) включить магнитный пускатель К1 и запустить АД.

На ЛУ1 (ЛУ3): 1) включить АВ1 и с помощью потенциометра «задание тока возбуждения двигателя» установить $I_{ВДН} = 0,58A$; 2) включить АВ2 – подается напряжение на MOVIDRIVE.

4.3. Снятие характеристик.

4.3.1. Характеристика холостого хода генератора $E_G = f(I_{ВГ})$.

Установить $I_{ВГ} = 0$, которому соответствует значение остаточной ЭДС $E_{Г0}$. Затем, увеличивая $I_{ВГ}$ и ЭДС генератора до максимального значения, записывать E_G и $I_{ВГ}$. Достаточно 5 ÷ 6 измерений: $E_{Г0}$; три заданных значения E_G ; номинальное и максимальное значения ЭДС.

Дальнейшая работа проводится, в основном, на стенде двигателя

4.3.2. Пуск двигателя. На ЛУ2 задать $I_{ВГ} = 0$. На ЛУ1 (ЛУ3) переключатель S3 установить в положение «1» и, включив магнитный пускатель К1, замкнуть цепь якорей. Ограничение тока якоря двигателя при пуске при питании его от источника с регулируемым напряжением осуществляется плавным увеличением напряжения от минимального ($I_{ВГ} = 0$) до требуемого значения. Затем, увеличивая $I_{ВГ}$, установить наименьшее из заданных значений E_G .

4.3.3. Искусственные механические характеристики двигателя для заданных значений ЭДС генератора E_G . Механические характеристики снимаются так

же, как в работе №1, изменяя нагрузку, создаваемую нагрузочной машиной, с той лишь разницей, что при питании от генератора ток якоря может протекать в обоих направлениях. Поэтому характеристики нужно снимать и в двигательном, и в тормозном режимах в пределах до $I_{\text{я}} = \pm I_{\text{ян}} = \pm 3,5\text{А}$.

Опыты повторить для всех заданных значений $E_{\text{Г}}$.

4.3.4. Характеристики $P_{\text{д}} = f(\omega)$ и $M_{\text{д}} = f(\omega)$.

Зависимости $P = f(\omega)$ и $M = f(\omega)$ снимают в двух зонах при номинальном значении тока якоря $I_{\text{ян}} = 3,5\text{А}$, который был принят при расчетах. Он устанавливается и поддерживается постоянным с помощью НМ.

а) Регулирование скорости изменением подводимого к якорю двигателя напряжения (зона 1) выполняют при $I_{\text{ВДН}} = 0,58\text{А} = \text{const}$. Опыт начинают с установки током возбуждения генератора небольшой скорости двигателя (при напряжении на якоре $50 \div 70\text{В}$) и задания с помощью НМ номинального значения тока $I_{\text{я}} = 3,5\text{А}$. Эксперимент выполнять, задавая $5 \div 6$ значений тока $I_{\text{ВГ}}$ до номинального напряжения двигателя (220В) и поддерживая постоянными $I_{\text{ВДН}}$ и $I_{\text{ян}}$. Записывать $U_{\text{я}}$, n и I_0 .

б) Регулирование скорости ослаблением тока возбуждения двигателя (зона 2) выполнять при напряжении двигателя $U_{\text{ян}} = 220\text{В}$. С помощью регулятора возбуждения двигателя $I_{\text{ВД}}$ последовательно уменьшать ток возбуждения $I_{\text{ВД}}$ ($0,55; 0,5; 0,45; 0,4; 0,35\text{А}$) и посредством НМ поддерживать ток якоря $I_{\text{я}} = 3,5\text{А}$. Записывать $I_{\text{ВД}}$, n и I_0 .

5. Оформление отчёта

5.1. Характеристика холостого хода генератора $E_{\text{Г}} = f(I_{\text{ВГ}})$ строится на отдельном графике.

5.2. Методика обработки экспериментальных механических характеристик изложена в разделе «Оформление отчета». Результаты сводятся в Таблицу 3, приводимую в отчете:

Таблица 3

Экспериментальные данные				Результаты обработки			
$U_{\text{я}}$	$I_{\text{я}}$	n	I_0	ω	$M_{\text{НМ}}$	$M_{\text{ХХ}}$	$M_{\text{д}}$
В	А	об/мин	А	рад/с	Нм	Нм	Нм

Все механические характеристики строятся на одном графике попарно – расчетные и опытные. Там же строится расчетная естественная характеристика. Все расчетные характеристики следует строить для положительных и отрицательных моментов.

5.3. Для характеристик $P_{\text{д}} = f(\omega)$ и $M_{\text{д}} = f(\omega)$ рассчитываются механический момент и мощность: момент $M_{\text{д}}$ по форме, представленной в таблице 3, а мощность: $P_{\text{д}} = M_{\text{д}} \cdot \omega$. Для этого в таблицу нужно добавить столбец $P_{\text{д}}$. Характеристики строятся на одном графике попарно – расчетные и опытные.

Пояснить характер изменения момента и скорости для двух способов регулирования скорости. Отметить, почему не следует включать в цепь якорей добавочные сопротивления для регулирования скорости двигателя.

5.4. Рекомендации по анализу результатов и выводам изложены в разделе «Оформление отчета».

РАБОТА № 4. Исследование механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором при питании от сети.

1. Программа работы.

1.1. Подготовка к работе. Рассчитать и построить механические характеристики:

1.1.1. Естественную.

1.1.2. Две искусственные с добавочными сопротивлениями $R_{П1}$ и $R_{П2}$ в цепи ротора.

1.1.3. Три характеристики динамического торможения: для двух добавочных сопротивлений в цепи ротора $R_{П1}$ и $R_{П2}$ и постоянном токе цепи статора $I_{ДТ1}$, а также характеристику при сопротивлении $R_{П2}$ и токе $I_{ДТ2}$.

1.2. Работа в лаборатории.

1.2.1. Ознакомление с устройством лабораторной установки, расположением и назначением оборудования.

1.2.2. Подготовка к работе.

1.2.3. Снятие механических характеристик, указанных в п.п. 1.1.1 ÷ 1.1.3.

1.3. Оформление отчета.

2. Данные машин и сопротивлений.

2.1. Испытуемая машина (ИМ): асинхронный двигатель с фазным ротором, тип: МТФ 011-6У1.

$P_H = 1,4 \text{ кВт}$; $U_H = 380/220 \text{ В}$; $I_H = 5,3/9,2 \text{ А}$; $n_H = 880 \text{ об/мин}$;
 $R_1 = 6,0 \text{ Ом}$; $R_2 = 0,7 \text{ Ом}$; $X_1 = 4,0 \text{ Ом}$; $X_2 = 0,57 \text{ Ом}$; $X_m = 62,5 \text{ Ом}$; $k_e = 3,05$.

2.2. Нагрузочная машина (НМ): Тип: DFY 90 MB/TH SM30

$U_H = 380 \text{ В}$; $f_H = 150 \text{ Гц}$; $n_H = 3000 \text{ об/мин}$; $M_H = 12 \text{ Нм}$; $I_H = 7,9 \text{ А}$.

2.3. Приводной преобразователь (MDX): MOVIDRIVE MDX61B0040 - 5A3.

$U_c = 3 \times 380 \text{ В}$, $f_H = 50 \text{ Гц}$; $P_H = 6,6 \text{ кВт}$; $I_H = 9,5 \text{ А}$; $k_M = 1,52 \text{ Нм/А}$.

2.4. Механические потери (момент холостого хода $M_{ХХ}$): Таблица 1

ω	рад/с	10	20	40	60	80	100	120	140
$M_{ХХ}$	Нм	1,0	1,0	1,0	1,0	1,05	1,15	1,3	1,65

2.5. Добавочное сопротивление в цепи ротора $R_{П}$: Таблица 2

Положение переключателя S3	3	2	1	0
Величина $R_{П}$, Ом	0	2,5	6,0	10,5
Обозначение сопротивлений	–	R_1	$R_1 + R_2$	$R_1 + R_1 + R_3$

3. Расчет характеристик.

3.1. Расчёт механических характеристик асинхронного двигателя – естественной и искусственных с добавочными сопротивлениями R_{Π} в цепи ротора выполняется по формуле:

$$M = \frac{2M_K(1+\varepsilon)}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S} + 2\varepsilon}, \quad (1)$$

где M_K, S_K – критические момент и скольжение, которые являются координатами критической точки – граничной между рабочим и пусковым участками механической характеристики двигателя. Их значения в двигательном (Д) и генераторном (Г) режимах определяются выражениями:

$$M_{\text{кд}} = \frac{mU_{\Phi}^2}{2\omega_0(\sqrt{R_1^2 + X_K^2} + R_1)}; \quad M_{\text{кг}} = -\frac{mU_{\Phi}^2}{2\omega_0(\sqrt{R_1^2 + X_K^2} - R_1)}; \quad (2)$$

$$S_{\text{кд}} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}; \quad S_{\text{кг}} = -\frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}; \quad (3)$$

ε – коэффициент, учитывающий активное сопротивление обмотки статора:

$$\varepsilon = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}. \quad (4)$$

R_1, x_1 и R_2, x_2 – активные и реактивные сопротивления обмоток статора (1) и ротора (2). Их значения приведены в п.2.1. Обмотки статора и ротора электрически между собой не связаны, а формула (1) получена для так называемой схемы замещения, в которой эти сопротивления включены последовательно. Поэтому сопротивления обмотки ротора необходимо привести к цепи статора: $R'_2 = R_2 \cdot \kappa_e^2$, $x'_2 = x_2 \cdot \kappa_e^2$, где κ_e – коэффициент трансформации, указанный, как и величины всех сопротивлений, в п.2.1. Для сокращения записи обозначено: $x_K = x_1 + x'_2$ – полное реактивное сопротивление схемы замещения.

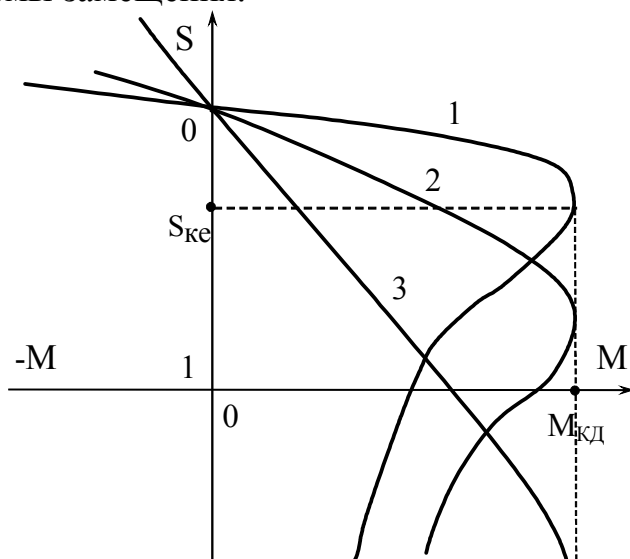


Рис.1. Механические характеристики

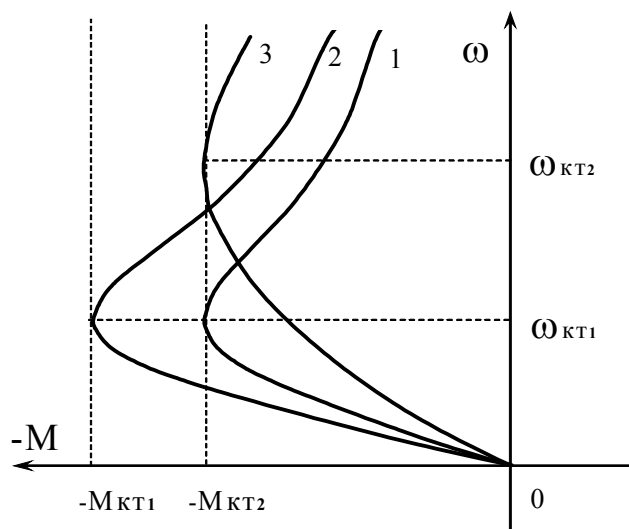


Рис.2. Механические характеристики в режиме динамического торможения.

На естественной характеристике $R'_2 = R_2 \cdot k_e^2$, на искусственной – при введении в цепь ротора добавочного сопротивления R_{Π} – приведенное сопротивление ротора равно: $R'_2 = (R_2 + R_{\Pi}) \cdot k_e^2$.

Скольжение S характеризует отставание ротора от вращающегося со скоростью ω_0 магнитного поля, создаваемого обмоткой статора:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}; \quad \omega_0 = \frac{2\pi f}{p}. \quad (5)$$

ω_0 называется скоростью идеального холостого хода или синхронной, при которой $\omega = \omega_0$ и $M = 0$, т.е. ротор вращается синхронно с полем статора и $S = 0$. В формуле (2): $m = 3$ – число фаз двигателя; $U_{\phi} = 220\text{В}$ – напряжение фазы обмотки статора; $f = 50\text{Гц}$ – частота напряжения сети; $p = 3$ – число пар полюсов двигателя.

Для расчета механических характеристик по (1) нужно рассчитать: $M_{кД}$, $M_{кГ}$, $S_{кД}$, $S_{кГ}$. При расчете характеристик для режимов двигательного ($S > 0$) и противовключения ($S > 1$) используются значения $M_{кД}$ и $S_{кД}$, а для генераторного ($S < 0$): $M_{кГ}$ и $S_{кГ}$. Для естественной и искусственной характеристик M_k и ϵ , а, следовательно, и числитель выражения (1), одинаковы, отличие только в величине S_k .

При расчетах необходимо задавать значения S в пределах от $S = -0,2$ до $S = +1,5$ (с интервалами 0,1), что соответствует реальному диапазону работы на лабораторной установке. Расчеты сводятся в таблицу 3, в которой обозначено: $ЗН$ – знаменатель выражения (1). Для построения на одном графике и сравнения расчетных и экспериментальных характеристик необходимо пересчитать задаваемые значения скольжений s на угловую скорость ω по формуле: $\omega = \omega_0 (1 - S)$ и строить их в осях ω и M .

Таблица 3. Расчет механических характеристик асинхронного двигателя

		Естественная характеристика			Искусственная характеристика				
S	$S_{Ке}/S$	$S/S_{Ке}$	ЗН	M_e	$S_{Ки}/S$	$S/S_{Ки}$	ЗН	$M_{И}$	ω
				Нм				Нм	рад/с

3.2. Расчет характеристик для режима динамического торможения выполняется по упрощенной формуле:

$$M = \frac{2M_{КТ}}{\frac{\omega}{\omega_{КТ}} + \frac{\omega_{КТ}}{\omega}} \quad (7)$$

Координаты критической точки:

$$M_{КТ} = \frac{mI_C^2 x_{\mu}^2}{2\omega_0 (x_{\mu} + x_2')} ; \quad \omega_{КТ} = \omega_0 \frac{R_2'}{x_{\mu} + x_2'} \quad (8)$$

Реактивное сопротивление контура намагничивания x_{μ} , определяемое по начальной части характеристики холостого хода, указано в паспортных данных (п.2.1). Расчетное значение переменного тока I_C , эквивалентное по создаваемой им МДС статора заданному значению постоянного тока $I_{ДТ}$, зависит от схемы включения обмоток статора. Для схемы соединения обмоток статора звездой данного двигателя: $I_C = 0,816 I_{ДТ}$.

Из (8) следует, что величина $R_{П}$ влияет только на $\omega_{КТ}$, а $M_{КТ}$ от него не зависит. От величины тока $I_{ДТ}$ зависит только $M_{КТ}$.

Для каждой из трех характеристик рассчитываются значения $\omega_{КТ}$ и $M_{КТ}$ и сводятся в таблицу 4:

Таблица 4

		1	2	3
$I_{П}$	А			
$R_{П}$	Ом			
$M_{КТ}$	Нм			
$\omega_{КТ}$	Рад/с			

Расчет характеристик сводится в таблицу 5:

Таблица 5

		I			II				III
ω	$\frac{\omega}{\omega_{КТ}}$	$\frac{\omega_{КТ}}{\omega}$	ЗН	M	$\frac{\omega}{\omega_{КТ}}$	$\frac{\omega_{КТ}}{\omega}$	ЗН	M	M
рад/с				Нм				Нм	Нм

4. Работа в лаборатории.

4.1. Описание лабораторной установки, назначение оборудования.

Схема лабораторной установки приведена на рис.3. Электромашинный агрегат состоит из испытуемой машины ИМ (асинхронный двигатель с фазным ротором) и нагрузочной машины НМ (вентильный двигатель). Для измерения скорости на валу НМ имеется инкрементный датчик скорости (ДС). Питание обеих машин осуществляется от сети переменного тока 380В через автоматический выключатель АВ1: ИМ – через понижающий трансформатор Т1, а НМ – через приводной преобразователь MOVIDRIVE (MDX).

Отличительной особенностью механических характеристик асинхронного двигателя является то, что они имеют участок не только с отрицательным наклоном, как у двигателей постоянного тока, но и в отличие от них – участок с положительным наклоном. Снимать механические характеристики на этом участке можно только при выполнении определенных условий. По этой причине управление НМ осуществляется от преобразователя MOVIDRIVE, работающего в режиме регулирования скорости. При этом момент, развиваемый нагрузочной машиной, пропорционален измеряемому току статора I_0 : $M = k_M \cdot I_0$, где: $k_M = 1,52 \text{ Нм/А}$.

Напряжение на трансформатор Т1 подается через магнитный пускатель К. Подаваемое напряжение меньше номинального, что позволяет уменьшить мощность нагрузочной машины, необходимую для снятия механических характеристик двигателя вплоть до критического момента. Катушка контактора К подключается к сети 220В через кнопки «Выкл» (красная), «Вкл» (зеленая) и контакт переключателя S2. Переключателем S2 задается схема подключения обмотки статора в зависимости от вида проводимых работ согласно таблице 6:

Таблица 6.

Номер положения переключателя S2	Состояние схемы
1	питание статора переменным током
2	питание статора постоянным током

В цепи обмоток статора включены амперметр I_C и вольтметр U_C , по которым производится контроль напряжения и тока статора ИМ.

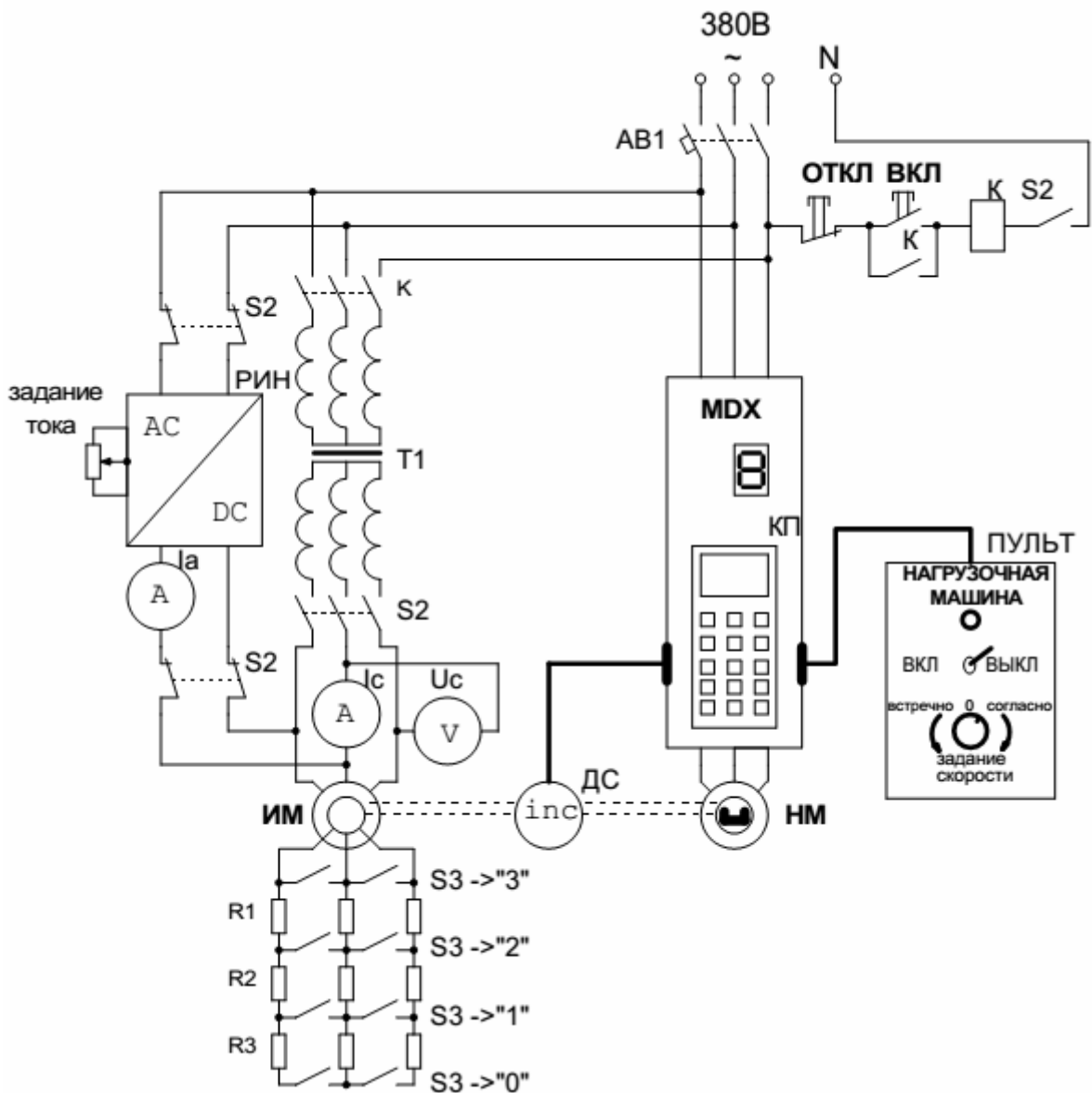


Рис.3. Схема лабораторной установки.

Для снятия искусственных механических характеристик с добавочным сопротивлением R_{Π} в цепи ротора используются сопротивления R_1, R_2, R_3 , включенные в цепи его обмотки. Заданная величина R_{Π} устанавливается переключателем S3, согласно Таблице 2.

Напряжение постоянного тока, которое необходимо подавать в цепь статора при работе ИМ в режиме динамического торможения, поступает от регулируемого источника напряжения (РИН) через контакты S2, если он находится в положении «2». При этом обмотка статора другими контактами S2 одновременно отключается от сети переменного тока. Требуемое значение величины постоянного тока устанавливается потенциометром «задание тока» по амперметру I_a .

Управление приводным преобразователем осуществляется от ПУЛЬТа управления нагрузочной машиной. Для включения преобразователя его

нужно разблокировать тумблером на этом пульте – на семисегментном индикаторе преобразователя появится цифра «5», что соответствует режиму работы «регулирование скорости». Величина скорости задается потенциометром «задание скорости». При работе НМ на экране дисплея клавишной панели отображается информация: текущие значения частоты вращения в об/мин (rpm) и тока в А (Amp), а также режим работы – регулирование скорости (SPEED CONTROL).

750 rpm 1,25 Amp SPEED CONTROL

Рис.4. Индикация на экране дисплея клавишной панели.

4.2. Подготовка к работе. Включением АВ1 подать напряжение 380 В. Установить переключатель S2 в положение «1», а переключатель S3 в положение «2». Пуск машин выполняется в следующей последовательности. Первой запускается нагрузочная машина. Для этого преобразователь разблокируется включением тумблера на ПУЛЬТе и вращением в направлении «согласно» ручки потенциометра «задание скорости» устанавливается скорость 900 ÷ 1000 об/мин. Затем нажатием зеленой кнопки на корпусе пускателя К запускается асинхронный двигатель с добавочным сопротивлением R_{Π} в цепи ротора.

4.3. Снятие механических характеристик.

Характеристики снимаются при пониженном напряжении статора (160-170)В. Фактическое значение U_C фиксируется, т.к. оно потребуется при обработке экспериментальных данных. Ток статора I_C измеряется только для контроля.

Первой всегда снимают точку холостого хода, когда ИМ преодолевает механические потери агрегата ($M_{HM} = 0$). Для снятия этой точки необходимо установить тумблер включения нагрузочной машины в положение «ВЫКЛ» и провести измерения. Затем необходимо тумблер перевести в положение «ВКЛ» и снять характеристику в двигательном и тормозных режимах, изменяя скорость НМ в диапазоне от +1200 до – 500 об/мин. При выборе интервалов скорости для проведения измерений следует учитывать форму характеристики. В районе критической точки интервалы должны быть меньше. Обязательно нужно снять точку, где ИМ работает на синхронной скорости $n = n_0$ ($M_{HM} = M_{XX}$).

4.3.1. Для снятия естественной характеристики переключатель S3 нужно установить в положение «3» ($R_{\Pi} = 0$). Измеряются и записываются частота вращения n и ток I_0 нагрузочной машины.

4.3.2. Для снятия искусственных характеристик переключатель S3 нужно

устанавливать в положения, соответствующие заданным значениям $R_{П1}$ и $R_{П2}$ (см. таблицу 2).

4.3.3. Для перевода двигателя в режим динамического торможения необходимо переключатель S2 установить в положение «2». При этом обмотки статора отключаются от сети переменного тока и подключаются к регулируемому источнику постоянного напряжения РИН. Потенциометром «задание скорости» установить заданное значение постоянного тока $I_{ДТ1}$ по амперметру I_a . Переключатель S3 установить в положение, соответствующее заданному значению $R_{П1}$.

Для каждой характеристики необходимо сначала определить скорость в критической точке. Увеличивая скорость нагрузочной машины, следить за изменением тока нагрузочной машины – он постепенно нарастает соответственно росту момента до критического значения, после чего начинает уменьшаться. Зафиксировать значение скорости в критической точке, чтобы затем снять механические характеристики более точно.

При токе $I_{ДТ1}$ снять механические характеристики с сопротивлениями $R_{П1}$ и $R_{П2}$, после чего установить ток $I_{ДТ2}$ и снять характеристику с $R_{П2}$.

В этом режиме характеристики симметричны относительно начала координат, поэтому скорость следует изменять только в одном направлении, как показано на рис.2.

5. Обработка экспериментальных данных.

При обработке результатов экспериментов для расчета момента M_d необходимо учитывать, какая из машин преодолевает механические потери. Методика вычисления моментов и порядок оформления отчета изложены в разделе пособия «Оформление отчета».

В данной работе экспериментальные характеристики снимаются при пониженном напряжении статора U_c . Поэтому, чтобы сравнить расчетные и экспериментальные характеристики момент двигателя M_d необходимо пересчитать на номинальное напряжение, которое использовалось в теоретических расчетах механических характеристик, по формуле:

$$M_{им} = M_d (380/U_c)^2, \quad (9)$$

где: $M_{им}$ – момент двигателя пересчитанный на номинальное напряжение; 380В и U_c – номинальное и измеренное линейные напряжения двигателя. Результаты сводятся в Таблицу 7, которая дополнена одним столбцом $M_{им}$:

Таблица 7

Экспериментальные данные			Результаты обработки				
n	I_0	U_c	ω	$M_{нм}$	$M_{хх}$	M_d	$M_{им}$
об/мин	A	B	рад/с	Нм	Нм	Нм	Нм