

Федеральное агентство по образованию

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. В. Андрущук И. М. Семенов

ЭЛЕКТРОПРИВОД

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2011

УДК 62-83(076.5)

В. В. Андрущук, И. М. Семенов Электрический привод: Лабораторный практикум. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2011- с.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины «Электрический привод» по направлению 140400 « Электроэнергетика и электротехника»

Изложены методические указания к лабораторным работам по курсу «Электрический привод». В нем приводятся сведения об учебных установках, рекомендации по подготовке и выполнению лабораторных работ, пояснения к теоретическим и экспериментальным исследованиям, а также требования к содержанию и оформлению отчетов.

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

Табл. 26 Ил.19 Библиогр. Назв.

ISBN

© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие создано с учетом накопленного опыта проведения лабораторных работ по курсу «Электропривод» со студентами факультета технической кибернетики и аналогичных курсов других специальностей Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Основное внимание уделено методике выполнения экспериментальных исследований электроприводов постоянного и переменного тока при питании электродвигателей от сети с постоянным напряжением и автономных регулируемых источников. В нем подчеркивается необходимость выполнения сравнительного анализа и качественной оценки полученных результатов.

Учебно-исследовательские установки оборудованы необходимыми приборами и аппаратами, на них выполнен монтаж всех вспомогательных и основных электрических цепей. Сборка электрических схем при переходе к очередным опытам сведена к минимуму и производится с помощью переключателей. Это позволило увеличить время на выполнение студентами непосредственных исследований на учебных установках и проведение предварительного анализа полученных результатов исследований.

В пособии представлено описание шести лабораторных работ, посвященных исследованию электромеханических и регулировочных свойств электроприводов в установившихся режимах.

Пособие может быть рекомендовано студентам неэлектротехнических специальностей. В этом случае руководителем вносятся соответствующие изменения по объему и характеру выполняемых студентами работ.

Авторы заранее выражают благодарность за пожелания и критические замечания, связанные с использованием пособия.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ЛУ	- лабораторная установка;
ИМ, НМ	- испытываемая и нагрузочная машины;
ОВ	- обмотка возбуждения испытываемой машины;
МПТ	- машина постоянного тока;
ДНВ	- двигатель постоянного тока независимого возбуждения;
ДПВ	двигатель постоянного тока последовательного возбуждения;
АД	- асинхронный двигатель;
СД	- синхронный двигатель;
Г	- генератор
АВ	- автоматический выключатель;
S	- коммутационное устройство;
К	- обмотка и контакты реле и контактора;
$R_{д}$	- сопротивление двигателя, включающее сопротивление якоря и последовательной обмотки возбуждения;
$R_{Г}$	- сопротивление генератора, включающее сопротивление якоря и последовательной обмотки возбуждения;
$R_{В}$	- сопротивление обмотки возбуждения;
$I_{з}$	- заданное значение постоянного тока
$P_{ИМ}$	- электромагнитная мощность ИМ;
$P_{А}$	- механическая мощность на валу агрегата;
$P_{В}$	- мощность цепи возбуждения;
Δp_{v}	- переменные потери в МПТ;
$\Delta p_{А}$	- постоянные потери в агрегате;
$\Delta p_{В}$	- потери в цепи возбуждения МПТ;
$M_{ИМ}, M_{НМ}$	- электромагнитные моменты ИМ и НМ;
$M_{А}$	- момент на валу агрегата;
$T_{М}$	- электромеханическая постоянная времени;
$T_{Я}$	- электромагнитная постоянная времени цепи якоря;
$\omega_0, \omega_0', \omega_0^*$	- скорости идеального холостого хода механических характеристик
$\beta = \frac{dM}{d\omega}$	- жесткость механической характеристики – величина, определяющая наклон характеристики в координатах $M - \omega$

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \Big|_{\Delta\varpi_{\text{зад}}}$$

- диапазон регулирования скорости - отношение максимальной скорости к минимальной при номинальной нагрузке и заданной относительной ошибке регулирования. Относительная ошибка $\Delta\varpi_{\text{зад}} = \frac{\Delta\omega_i}{\omega_{0i}}$ определяется при изменении момента нагрузки от 0,2 до 1,0 номинального и задается либо в относительных единицах, либо в процентах. Если эта ошибка не задана, то по умолчанию она принимается равной 50%.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ

Первая встреча академической группы с преподавателями посвящается организационным вопросам. Студенты знакомятся с лабораторией и получают инструктаж по правилам эксплуатации учебных установок и технике безопасности с регистрацией в специальном журнале даты инструктажа, подтвержденной личной подписью студента. Группа делится на бригады по 2-3 человека в каждой. Бригады получают задание на первую работу.

Лабораторный практикум включает предварительную подготовку студентов к каждой работе вне лаборатории, экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов эксперимента, составление отчета.

2. УЧЕБНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Учебная лабораторная установка состоит из машинного агрегата, пульта управления, нагрузочного и регулировочного устройств. В машинный агрегат входят испытуемая машина (ИМ), нагрузочная машина (НМ). В качестве НМ во всех установках используется синхронный двигатель (СД), работающий в режиме регулирования момента или в режиме регулирования скорости.

При исследовании свойств электроприводов в установившихся режимах пользуются приборами, размещенными на панелях управления ЛУ.

Управление СД осуществляется от преобразователя частоты **MOVIDRIVE** с панели управления (ПУ). На ПУ размещены тумблер D100 , устанавливающий разрешение» или «запрет» на работу СД, и потенциометр «Setpoint», позволяющий изменять величину и направление момента на валу СД. Скорость и величина тока (момента) СД измеряются системой управления MOVIDRIVE и отображаются в окне клавишной панели (КП).

На лицевой стороне панели управления ЛУ размещены измерительные приборы (амперметры, вольтметры), переключатели, автоматические выключатели, реле и пускатели, а также регулирующие потенциометры.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Студенты готовятся к каждой лабораторной работе в соответствии с прилагаемыми программами. Общим при подготовке ко всем работам будет получение у преподавателя задания, изучение принципиальной электрической схемы, ознакомление с паспортными данными машин, нагрузочным устройством и измерительными приборами установки; расчет характеристик электропривода в соответствии с программой работы; заготовка бланков протоколов испытаний.

В работах по исследованию свойств электроприводов в установившихся режимах строятся расчетные характеристики в масштабе, удобном для нанесения на них опытных точек. Если ИМ - двигатель постоянного тока, строятся механические и электромеханические характеристики $\omega=f(Iя)$, если ИМ - асинхронный двигатель, строятся механические характеристики $\omega=f(M)$.

В протоколах испытаний предусматривается запись показаний приборов, которые нужны для расчета и анализа экспериментальных характеристик.

4. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

Работа в лаборатории начинается с собеседования со студентами и проверки преподавателем подготовленных к работе расчетных и графических материалов, уточнения задач, определения последовательности экспериментальных исследований. Преподавателем поясняется назначение коммутационных устройств, блоков, измерительных приборов, потенциометров на лицевых панелях ЛУ.

При работе в лаборатории необходимо ознакомиться со стендом и собрать схему путем установки переключателей в соответствующее положение, см. описание лабораторных работ.

Студент, составляющий отчет по данной лабораторной работе, ведет протокол испытаний и организует работу бригады. Результаты эксперимента сравниваются с данными расчета путем нанесения опытных точек на расчетный график.

5. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет представляется на листах формата А4. Он должен содержать принципиальную электрическую схему установки, паспортные данные машин и другие данные, необходимые для оформления отчета.

Каждое самостоятельное исследование представляется разделом отчета, в котором приводятся теоретические и экспериментальные данные. Например, в отчете по работе 1 первым подразделом отчета будет «1.1. Расчетная естественная механическая характеристика», вторым подразделом – «1.2. Экспериментальная естественная механическая характеристика».

В первом подразделе приводятся расчетные формулы с необходимой расшифровкой величин, Дается пример расчета, доведенный до числового результата одной точки характеристики, и таблицы, где представлены результаты полного характеристик.

Во втором подразделе дается схема главных цепей включения ИМ с изображением только необходимых

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Кафедра систем автоматического управления		
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ		
Дисциплина:		
Название работы		
.....		
Выполнили студенты группы	(подпись)	Фамилия И.О. Фамилия И.О. Фамилия И.О.
Преподаватель проф. (доц., асс.)	(подпись)	Фамилия И.О.
Работа выполнена (дата)		
Санкт-Петербург 2010		

Рис. 1. Титульный лист отчета по лабораторной работе

для данного опыта элементов схемы и приборов. Приводятся таблицы с экспериментальными и последующими расчетными данными, формулы для расчета мощности и момента и пояснения к ним, указывается номер рисунка и обозначение на нем опытной характеристики.

Отчет заканчивается анализом полученных результатов и выводами по всей работе. Дается оценка влияния внешних причин, таких, как отклонение от номинальных значений напряжения сети, тока возбуждения, погрешность показаний приборов и ряда других факторов, влияющих на расхождение расчетных и экспериментальных характеристик.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

6.1. ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Свойства электроприводов в установившихся режимах определяются статическими характеристиками. К ним относятся механические $\omega = f_1(M)$, электромеханические $\omega = f_2(I_{\text{я}})$ характеристики, регулировочные и эксплуатационные характеристики $M = f_3(\omega)$ и $P = f_4(\omega)$, которые определяются при полном использовании двигателей по нагреву, т. е. при работе машины с номинальным током I_H в силовой цепи (якорь, статор или ротор).

При исследовании регулировочных свойств двигателя, когда ток в силовой цепи необходимо поддерживать неизменным, преподаватель может задать значение постоянного тока I_3 отличное от номинального, удобное для ведения опыта.

Расчет характеристик ведут, используя формулы, представленные в конкретных работах. Практика проведения экспериментальных исследований одинакова для всех систем электропривода. При выполнении эксперимента электроприводу с помощью нагрузочной машины задают нагрузку и по показаниям приборов рассчитывают потоки мощности в электрических и кинематических цепях при установившейся скорости. В ряде экспериментов для расчета $M_{\text{ИМ}}$ необходимо определить $P_{\text{ИМ}}$ для чего необходимо знать режимы работы машин электропривода.

6.2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ МАШИН

Режимы работы испытуемой электрической машины определяют по характеру изменения скорости и тока при подключении нагрузочной машины.

Работа испытуемой машины при отключенной НМ определяет режим реального холостого хода, когда момент механических потерь машинного агрегата преодолеваются за счет момента ИМ.

Если при подключении НМ скорость агрегата уменьшается, а ток возрастает, это свидетельствует о том, что ИМ работает в двигательном режиме, а НМ в тормозном. Увеличение нагрузки приводит к дальнейшему снижению скорости вплоть до остановки агрегата. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к изменению направления вращения, в результате чего ИМ переходит в режим торможения противовключением, а нагрузочная машина - в двигательный режим.

Если при подключении НМ скорость агрегата возрастает, а ток ИМ сначала уменьшается, а затем меняет знак, это будет свидетельствовать о том, что НМ работает в двигательном режиме, а ИМ из режима реального холостого хода переходит в режим торможения с отдачей энергии в источник питания. При переходе из двигательного режима в режим торможения при токе нагрузки ИМ равном нулю, ИМ проходит точку идеального холостого хода. В этой точке момент холостого хода машинного агрегата преодолевается НМ.

Следует отметить, что все тормозные режимы электрической машины являются генераторными. В зависимости от характера использования генерируемой энергии тормозные режимы классифицируют как «рекуперативное торможение электропривода», «динамическое торможение электропривода» и «торможение противовключением».

Для изменения величины нагрузки ИМ с помощью потенциометра «Setpoint» на ПУ изменяют ток в обмотке статора СД. В режиме регулирования момента СД имеет абсолютно мягкие механические характеристики, при которых обеспечивается постоянство заданного момента СД в широком диапазоне изменения скорости. В режиме регулирования скорости СД имеет абсолютно жесткие механические характеристики, при которых обеспечивается постоянство заданной скорости в широком диапазоне изменения момента.

Для обеспечения устойчивой работы привода целесообразно при снятии жестких механических характеристик ИМ использовать СД в режиме регулирования момента, а при снятии мягких механических характеристик ИМ и характеристик с положительным коэффициентом жесткости $\beta = dM/d\omega > 0$ использовать СД в режиме регулирования скорости, так как при $\beta > 0$ система ИМ-НМ является статически неустойчивой при абсолютно мягких механических характеристиках НМ.

6.3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МОЩНОСТИ ИСПЫТУЕМЫХ МАШИН

Мощность испытуемых машин $P_{ИМ}$ представляет самостоятельный предмет исследований при оценке регулировочных свойств и энергетических показателей электроприводов. Она также используется при расчете электро-

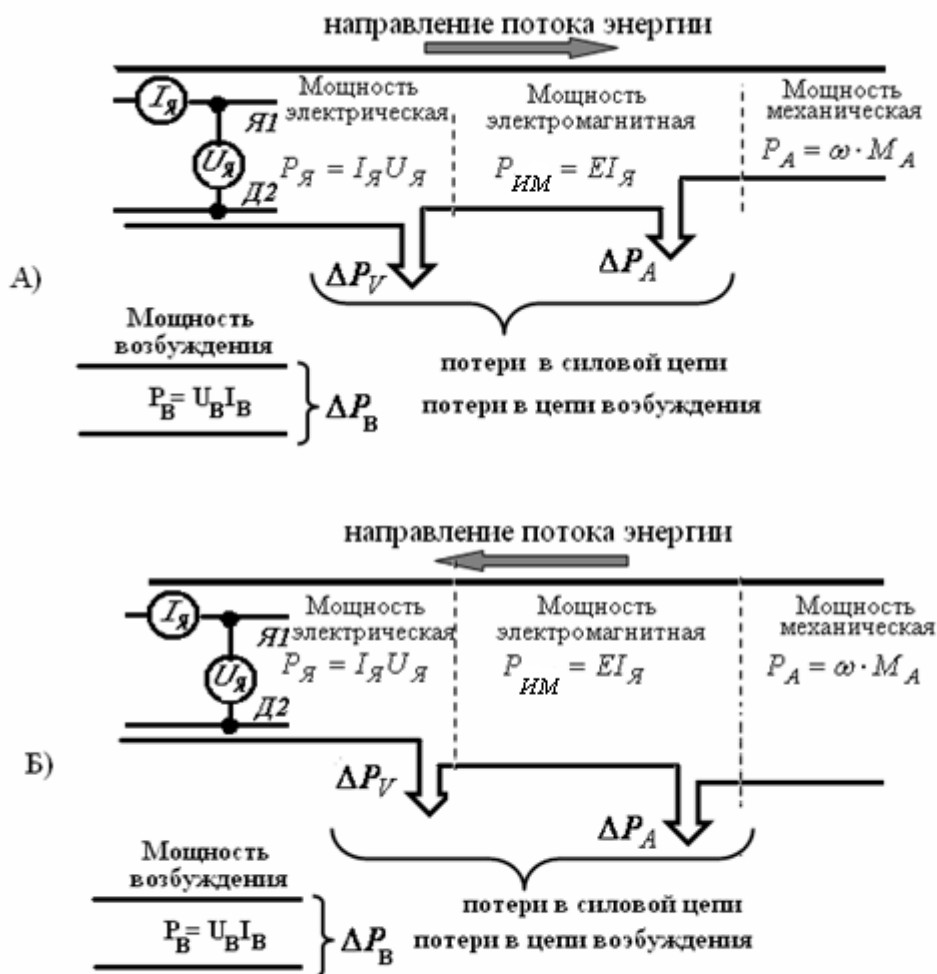


Рис. 2. Энергетические диаграммы электропривода при прямом потоке энергии «А» и обратном потоке энергии «Б»

магнитных моментов испытуемой машины по опытным данным.

Необходимую для расчётов электрическую мощность $P_{Я}$ машины постоянного тока определяют по показаниям приборов $I_{Я}$ и $U_{Я}$, которые подключены непосредственно к выводам обмотки якоря МПТ.

Энергетическая диаграмма распределения потоков мощностей в МПТ при прямом направлении потока энергии (преобразование электрической энергии в механическую, ИМ работает двигателем), включая мощность возбуждения $P_{В}$, показана на рис 2,А, а при обратном направлении потока энергии (ИМ работает в тормозном режиме) на рис.2,Б.

Потери мощности в машине по-разному зависят от нагрузки и скорости. Принято составляющие потери - Δp_{V} , зависящие от нагрузки, называть «переменными потерями», а составляющие потери Δp_{A} , не зависящие от нагрузки, но которые зависят от скорости и других факторов, называть «постоянными потерями». В лабораторных установках, как показано на рис.2, переменные потери относятся к якорной цепи МПТ. Постоянные потери, обусловленные в основном силами трения и потерями в стали, относятся ко всему машинному агрегату.

Для расчета КПД привода необходимо также знать мощность $P_{В}$, потребляемую цепью возбуждения, которая определяется по показаниям приборов $U_{В}$ и $I_{В}$.

Формулы для расчета $P_{ИМ}$ определяют на основе энергетических диаграмм (рис.2) в зависимости от режима работы МПТ. В итоге можно получить два варианта формул.

Первая формула. ИМ - машина постоянного тока с любым способом возбуждения работает в режиме двигателя (рис.2, А). Приборами $U_{Я}$ и $I_{Я}$, подключенными к зажимам обмотки якоря ИМ, измеряют мощность $P_{Я}$, потребляемую якорной цепью. Для определения электромагнитной мощности испытуемой машины $P_{ИМ}$ необходимо вычесть из $P_{Я}$ только переменные потери Δp_{V} , т.е. можно записать

$$P_{ИМ} = EI_{Я} = P_{Я} - \Delta p_{V}. \quad (2)$$

Вторая формула. ИМ - машина постоянного тока с любым способом возбуждения работает в тормозном режиме (см. диаграмму рис. 2,Б). Приборами $I_{Я}$ и $U_{Я}$ измеряют мощность $P_{Я}$ на якоре ИМ, передаваемую в сеть. Для определения электромагнитной мощности испытуемой машины $P_{ИМ}$, необхо-

димом прибавить к $P_{\text{Я}}$ переменные потери Δp_{ν} . Формула для расчета $P_{\text{ИМ}}$ принимает вид:

$$P_{\text{ИМ}} = EI_{\text{Я}} = P_{\text{Я}} + \Delta p_{\nu}. \quad (3)$$

Частные решения:

1. при работе ИМ в режиме идеального холостого хода

$$\omega_3 = \omega_0, \quad I_{\text{ИМ}} = 0, \quad M_{\text{ИМ}} = 0, \quad P_{\text{ИМ}} = 0,$$

электрическая энергия не потребляется из сети и не передается в сеть. В этом случае ИМ развивает мощность, необходимую для преодоления постоянных потерь Δp_A агрегата, т.е.

$$P_{\text{ИМ}} = \Delta p_A;$$

2. при остановке ИМ в режиме короткого замыкания, когда $\omega = 0$ ($E = 0$),

работа ИМ не совершается и $P_{\text{ИМ}} = 0$, а мощность, потребляемая из сети, рассеивается в виде тепла в якорной цепи машины, т.е. $P_{\text{Я}} = \Delta p_{\nu}$.

6.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ПОТЕРЬ

Переменные потери в обмотке якоря МПТ определяются током нагрузки и рассчитываются по формуле

$$\Delta p_{\text{Я}} = I_{\text{Я}}^2 R_{\text{Д}},$$

где $R_{\text{Д}} = R_{\text{Я}} + R_{\text{ПВ}}$ - сумма сопротивлений обмотки якоря и последовательной обмотки возбуждения, приведенные к допустимому для данного класса изоляции значению рабочей температуры двигателя.

Добавочные и регулировочные резисторы в электрических цепях выполняются из специальных сплавов и при увеличении температуры их сопротивление практически не изменяются.

Потери мощности в щеточном контакте определяются также током нагрузки и рассчитываются по формуле

$$\Delta p_{\text{Щ}} = 2\Delta U_{\text{Щ}} I_{\text{Я}}, \quad (4)$$

где $\Delta U_{\text{Щ}} = 1\text{В}$.

В итоге переменные потери в якорной цепи МПТ будут равны

$$\Delta p_{\nu} = \Delta p_{\text{Я}} + \Delta p_{\text{Щ}} = I_{\text{Я}}^2 R_{\text{Д}} + 2\Delta U_{\text{Щ}} I_{\text{Я}}. \quad (5)$$

6.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ ПОТЕРЬ В МАШИННОМ АГРЕГАТЕ

Основу постоянных потерь составляет мощность, затрачиваемая на преодоление трения в подшипниках, щёток о коллектор и контактные кольца,

вращающихся частей машин о воздух и на самовентиляцию, потери в стали. Полные постоянные потери в агрегате определяются экспериментально. Для этого вращают агрегат с помощью НМ на холостом ходу в пределах от возможного значения $\omega_{мин}$ до реализуемой на данной установке скорости $\omega_{макс}$ и измеряют момент на валу СД для ряда фиксированных скоростей, после чего определяют постоянные потери $\Delta p_A = M_{СД}\omega$.

6.6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА ИСПЫТУЕМОЙ МАШИНЫ

Лабораторные установки не имеют технических средств для прямого измерения электромагнитного момента МПТ. Его рассчитывают для каждой опытной точки по формуле

$$M_{ИМ} = P_{ИМ} / \omega. \quad (6)$$

Формула $M = c\Phi I$ при обработке экспериментальных данных неприемлема, так как поток возбуждения в ходе опыта не измеряется и является суммой нескольких составляющих: потока реакции якоря, остаточного намагничивания и главных полюсов. Первые две составляющие нестабильны. Определение произведения $c\Phi$ по паспортным данным машины предполагает идеальную её наладку, что в учебных установках не выполняется.

Расчет электромагнитного момента машин переменного тока следует проводить с учетом режима работы двигателей.

Если АД работает в двигательном режиме, а НМ – синхронный двигатель, работает в тормозном режиме, то электромагнитный момент АД определяется по формулам

$$\begin{aligned} M &= M_{СД} + M_0, \\ M_{СД} &= K_M I_{СД}, \\ K_M &= M_{СДН} / I_{СДН}, \end{aligned} \quad (7)$$

где M_0 – момент потерь холостого хода машинного агрегата, $M_{СДН}$ и $I_{СДН}$ – номинальные момент и ток синхронного двигателя.

Если АД работает в тормозном режиме, а НМ – в двигательном, то в этом случае момент АД определяется из выражения

$$M = M_{СД} - M_0. \quad (8)$$

Рассмотренный метод определения электромагнитного момента АД является приближенным, так как не учитывает потери в стали и обмотке ротора машины.

В лаборатории механические характеристики АД снимаются при пониженном напряжении U^* на обмотках статора, поэтому рассчитанные по формулам (7) и (8) моменты АД следует привести к номинальному напряжению двигателя по формуле

$$M = M^* \left(\frac{U_H}{U^*} \right)^2. \quad (9)$$

РАБОТА №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ СЕТИ

Работа может выполняться на установках ЛУ1 и ЛУ3, которые идентичны. Ниже описывается методика проведения испытаний на установке ЛУ1. Выбор установки, на которой будет выполняться данная работа, делается переключателем S2 на ЛУ2.

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки показана на рис. 1.1.

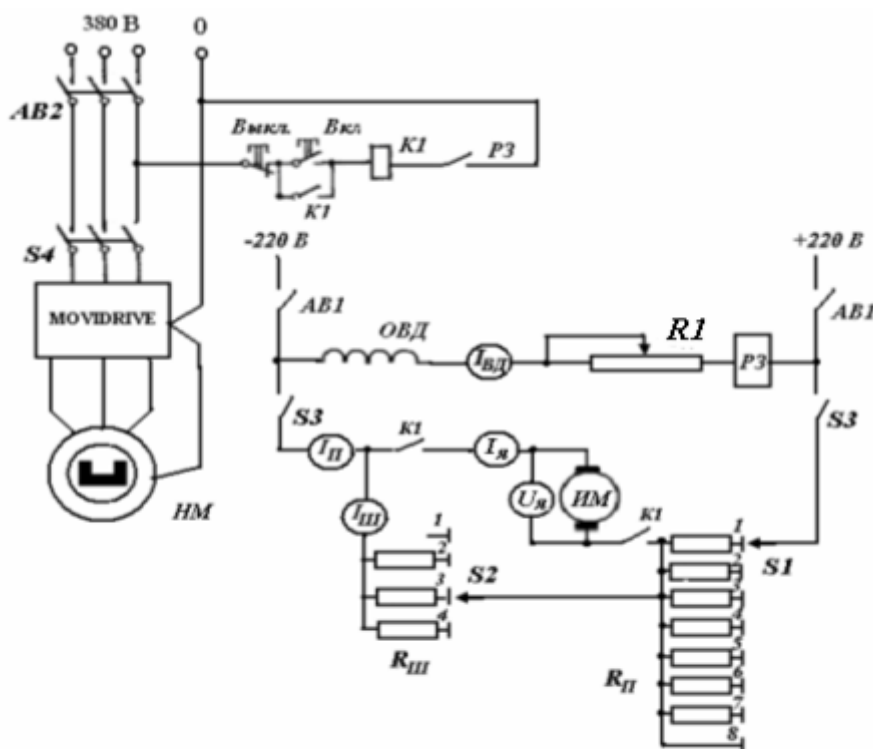


Рис.1.1. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки ЛУ1 (ЛУ3)

Паспортные данные электрических машин, неуправляемого выпрямителя и сопротивлений ЛУ1 (ЛУ3)

Испытуемый двигатель 4П0100S1

$P_{ном} = 0,55$ кВт; $n_{ном} = 1000$ об/мин; $U_{ном} = 220$ В; $I_{ном} = 3,5$ А;

$I_{возб} = 0,58$ А, $R_{я} = 4,84$ Ом; $R_{ПОВ} = 6,2$ Ом; $R_{возб} = 305,6$ Ом
(сопротивления испытуемой машины измерены при температуре 15°C)

Таблица 1.1

Зависимость коэффициента $c\Phi$ от тока возбуждения двигателя $I_{ВД}$										
$c\Phi$	Вс/рад	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

Нагрузочная машина CFM 71 S

$U_{НОМ} = 380 \text{ В}$, $M_{НОМ} = 5,0 \text{ Нм}$, $n_{НОМ} = 2000 \text{ об/мин}$,

$I_{НОМ} = 2,2 \text{ А}$, $I_{МАХ} = 8,8 \text{ А}$, $M_{МАХ} = 16,5 \text{ Нм}$.

Преобразователь частоты MOVIDRIVE MDX61B0022

$U_c = 3 \times 380 \text{ В}$, 50 Гц ,

$I_{НОМ} = 5,5 \text{ А}$, $I_{МАХ} = 8,25 \text{ А}$ ($150\% I_{НОМ}$), $P_{НОМ} 2,2 \text{ кВт}$

Неуправляемый выпрямитель MODEL: SE 1000-48

(4 блока включены последовательно)

INPUT AC 100-200 В, 17,5 А 200-240 В, 10,0 А

OUTPUT +48В, 20,0 А

Таблица 1.2

Спротивления схемы									
Положение переключателя S1		1	2	3	4	5	6	7	8
Величина сопротивления R_{II}	Ом	63	33.5	43.1	49.7	13.7	20.3	29.8	0
Положение переключателя S2		1	2	3	4				
Величина сопротивления R_{III}	Ом	∞	68.5	31	38.9				

Таблица 1.3

Зависимость момента потерь машинных агрегатов установок ЛУ1 и ЛУ3 от скорости													
ω	rad/c	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	140	
ЛУ1	M_0	Нм	0.5	0.55	0.58	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.8	0.87	0.9
ЛУ3	M_0	Нм	0.46	0.49	0.5	0.52	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58	0.6	0.63

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рассчитать и построить следующие механические и электромеханические характеристики:

- 1.1. Естественную.
- 1.2. Искусственные при ослабленном потоке возбуждения φ_1 и φ_2 .
- 1.3. Искусственные при заданных добавочных сопротивлениях в цепи якоря R_{II1} и R_{II2} .
- 1.4. Искусственные при шунтировании обмотки якоря сопротивлением R_{III} и включении последовательного сопротивления R_{II} для двух значений шунтирующих и двух значений последовательных сопротивлений.

На отдельном графике построить расчётные зависимости $\omega = f_1(I_A)$, $\omega = f_2(I_{III})$, $\omega = f_3(I_{II})$.

- 1.5. Динамического торможения для двух значений сопротивления в цепи якоря R_{III1} и R_{III2} .

При расчете характеристик момент испытуемой машины изменять в пределах $-1,5M_{ном} < M < 1,5M_{ном}$, а скорость в пределах $-\omega_0 < \omega < 1,3\omega_0$.

2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

Снять следующие механические характеристики;

- 2.1. Естественную.
- 2.2. Искусственные при токах возбуждения, соответствующих заданным потокам возбуждения φ_1 и φ_2 .
- 2.3. Искусственные при добавочных сопротивлениях цепи якоря R_{II1} и R_{II2} .
- 2.4. Искусственные при шунтировании якоря сопротивлением и последовательных сопротивлениях, принятых в п. 1.4.
- 2.5. Динамического торможения с добавочными сопротивлениями, использованными в п.1.5.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК

При анализе свойств ИМ используют уравнения механических характеристик для простых (1.1) и сложных (1.2) схем включения двигателя (рис.1.4):

$$\omega = \frac{U_H}{c \Phi} - \frac{R}{c \Phi^2} M, \quad (1.1)$$

где $R = R_D + R_{II}$,

$$\omega = \frac{U_H}{c \Phi} \cdot \frac{R_{III}}{R_{III} + R_{II}} + \left(R_D + \frac{R_{III} R_{II}}{R_{III} + R_{II}} \right) \frac{M}{(c \Phi)^2} \quad (1.2)$$

В каждом конкретном опыте все параметры принимаются постоянными. В результате исследуемые зависимости $\omega = f(M)$, где аргумент M изменяется по величине и знаку, можно представить формулой:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c,$$

которая в системе координат $\omega - M$ изображает прямую, отсекающую на оси ординат отрезок ω_0 , равный скорости идеального холостого хода машины. Второе слагаемое правой части равенства есть отклонение скорости, вызванное нагрузкой, оно определяет наклон прямой к оси абсцисс.

3.1. РАСЧЁТ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Расчет выполняют по паспортным данным машины. Свойства искусственных механических характеристик исследуют в сравнении с естественной. Основой для такого сравнения служат величины ω_0 , M_H и $\Delta\omega = \Delta\omega_{CH}$, которые вычисляют по формулам:

$$\omega_0 = \frac{U_H}{c \Phi_H} = \frac{U_H}{k_{MH}}, \quad (1.3)$$

$$\Delta\omega_{CH} = \frac{R_D}{k_{MH}^2} M_H = \frac{R_D}{k_{MH}} I_{ЯH}, \quad (1.4)$$

где $k_{MH} = \frac{U_H - I_{ЯH} R_D}{\omega_H}$; $M_H = k_{MH} I_{ЯH}$, U_H и I_H - паспортные данные машины.

Естественная механическая характеристика (характеристика 1 на рис.1.4) построена по двум точкам а и б. Координаты точки а: $M = 0$, $\omega = \omega_0$; координаты точки б: $M = M_H$, $\omega_H = \omega_0 - \Delta\omega_{CH}$.

3.2. РАСЧЁТ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Расчет искусственных механических характеристик при уменьшении потока возбуждения машины по отношению к номинальному Φ_H ведут по формулам:

$$\omega'_0 = \frac{\omega_0}{\varphi^2}, \quad \Delta\omega'_{CH} = \frac{\Delta\omega_{CH}}{\varphi^2}.$$

где $\varphi = \Phi/\Phi_H$ - относительное значение потока возбуждения, $0,5 \leq \varphi < 1$.

Построение искусственной механической характеристики ведут по двум точкам: ($M = 0$, $\omega = \omega'_0$) и ($M = M_H$, $\omega'_H = \omega'_0 - \Delta\omega'_{CH}$) (характеристика 3 на рис. 1.4).

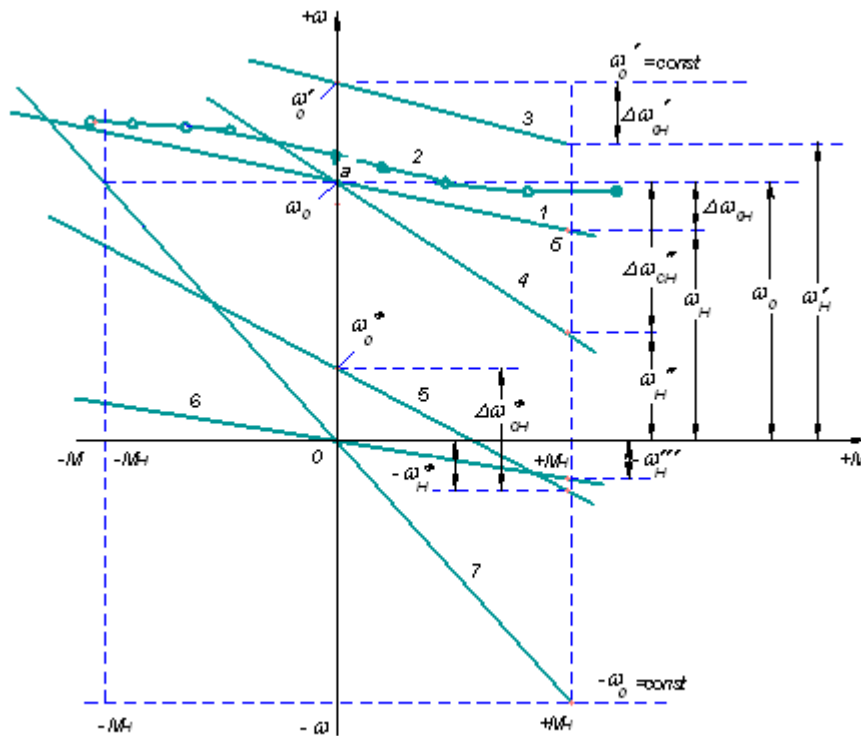


Рис.1.4. Механические характеристики двигателя постоянного тока

3.3. РАСЧЁТ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

При введении в цепь якоря добавочных сопротивлений R_n ограничиваются вычислением величины $\Delta\omega''_{CH}$, так как скорость идеального холостого хода ω_0 от сопротивления якорной цепи не зависит:

$$\Delta\omega''_{CH} = \frac{R}{k_{MH}^2} M_H$$

где $R=R_D+R_{II}$.

Построение искусственной механической характеристики 4 (рис.1.4) проводят по двум точкам ($M = 0, \omega = \omega_0$) и ($M = M_H, \omega''_H = \omega_0 - \Delta\omega''_{CH}$). При сопротивлении якорной цепи большем, чем номинальное сопротивление двигателя $R_n = U_n / I_n$, значение скорости ω''_H будет отрицательным, что свидетельствует о переходе двигателя при номинальном моменте в режим торможения противовключением.

3.4. РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Расчет ведут из условия прохождения указанных характеристик через начало координат, т.е. через точку $M = 0, \omega = 0$.

Вторая точка механической характеристики определяется при $M=M_H$ по формуле

$$\omega'''_H = -\frac{R}{K_{MH}^2} M_H,$$

где $R=R_D+R_{III}$.

Механические характеристики 6 и 7 для двух значений тормозных резисторов приведены на рис.1.4.

3.5. РАСЧЁТ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ В СЛОЖНЫХ СХЕМАХ ВКЛЮЧЕНИЯ

При включении последовательного сопротивления R_{II} и шунтировании якоря сопротивлением R_{III} расчет выполняют по формуле:

$$\omega = \omega_0^* - \Delta\omega_{CH}^*,$$

где $\omega_0^* = \omega_0 \frac{R_{III}}{R_{III} + R_{II}}$ - скорость идеального холостого хода,

$\Delta\omega_{CH}^* = (R_D + \frac{R_{II}R_{III}}{R_{II} + R_{III}}) \frac{M_H}{k_{MH}^2}$ - статическое падение скорости при номинальном моменте.

Искусственная механическая характеристика при шунтировании якоря

строится по двум точкам $M=0, \omega=\omega_0^*$ и $M=M_H, \omega_H^* = \omega_0^* - \Delta\omega_{CH}^*$.

На рис.1.4 она представлена линией 5.

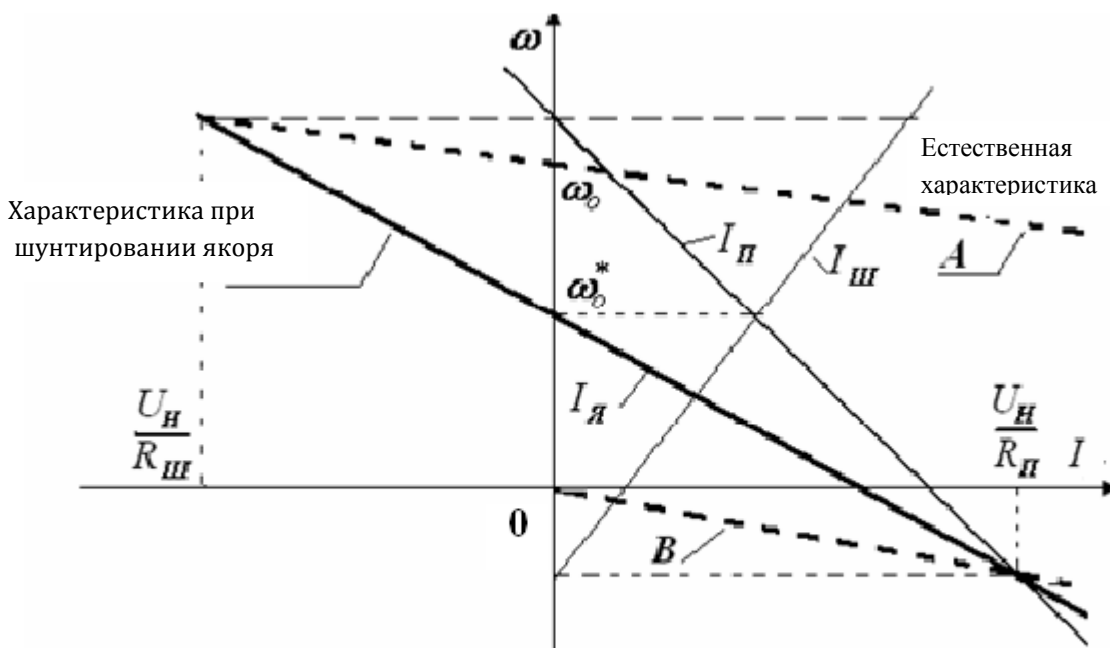


Рис. 1.5. Электромеханические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Для построения электромеханической характеристики привода $\omega = f(I_я)$ и зависимостей $\omega = f_1(I_ш), \omega = f_2(I_п)$ (рис.1.5) используют особые точки, расположенные в I и IV квадрантах. В первом квадранте скорость идеального холостого хода ω_0^* получают при $I_я = 0$. В этом случае токи в параллельном и последовательном сопротивлениях будут равны и вычисляются по формуле

$$I_{III} = I_{II} = \frac{U_H}{R_{III} + R_{II}}.$$

В IV квадранте при скорости $\omega = -\omega_0 \frac{R_D}{R_{II}}$ ток в шунтирующем якоре сопротивлению равен нулю ($I_{III} = 0$), а токи в обмотке якоря и последовательном сопротивлении будут равны и определяются выражением

$$I_{я} = I_{II} = \frac{U_{II}}{R_{II}}.$$

На рис.1.5 построены три рассматриваемые зависимости и для сравнения приведена естественная электромеханическая характеристика (линия А) и характеристика динамического торможения при $R_{III}=0$ (линия В).

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема лабораторной установки ЛУ1 (ЛУ3) представлена на рис. 1.1 и состоит из преобразователя частоты MOVIDRIVE, нагрузочной машины НМ (синхронный двигатель) и испытуемого двигателя постоянного тока ИМ. Преобразователь частоты построен по схеме автономного инвертора напряжения на транзисторах с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения. Преобразователь MOVIDRIVE позволяет регулировать частоту и величину выходного напряжения. Микропроцессорная система управления позволяет устанавливать различные режимы работы СД. На ЛУ1 СД работает в режиме регулирования момента, т.е. обеспечивается постоянство заданного момента на валу СД в широком диапазоне изменения скорости. Величина и направление момента на валу СД устанавливается потенциометром «Setpoint» на ПУ. В окне клавишной панели КП преобразователя MOVIDRIVE отображаются значения тока и скорости СД. Для обеспечения нормальной работы ЛУ1 необходимо строго соблюдать порядок включения установки и проведения испытаний.

4.1. ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ

1. Включить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.
2. Установить переключатель S2 на ЛУ2 в положение, соответствующее исследуемой схеме включения, см. табл. 1.4.

3. Убедиться, что переключатель S1 на ЛУ2 находится в положении «ВКЛЮЧЕНО».
4. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2.
5. АВ1 подает питание на неуправляемый выпрямитель В, который является источником напряжения 220 В постоянного тока. Одновременно будет подано питание в цепь возбуждения генератора. Приборы U_C и I_{BG} на лицевой панели ЛУ2 покажут напряжения сети и ток возбуждения генератора.
6. Вращая ручку потенциометра « I_{BG} » в цепи возбуждения генератора установить нулевое значение тока, $I_{BG} = 0$.

Таблица 1.4

положения переключателя S2 на ЛУ2	установка №1	установка №3
1	сеть	сеть
2	сеть	Г-Д
3	сеть	УВ-Д
4	Г-Д	УВ-Д
5	УВ-Д	Г-Д
6	УВ-Д	сеть
7	Г-Д	сеть
8	Питание отключено	

4.2. ВКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ

1. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение «ВЫКЛЮЧЕНО» (запрет работы контроллера).

2. Установить потенциометр задания момента СД «Setpoint 1» на ПУ в положение **5**. В этом положении значение момента на валу СД будет минимальным.

3. Убедиться, что пускатель S4 находится в положении «ВКЛЮЧЕНО».

4. Включить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ1.

На блоке MOVIDRIVE в информационном сегменте появятся сигналы в виде чередующихся цифр 8-0-1.

При установке тумблера D100 в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», в информационном сегменте останется цифра 1. Это означает, что тестирование преобразователя прошло успешно и привод готов к работе.

4.3. ВКЛЮЧЕНИЕ ИСПЫТУЕМОЙ МАШИНЫ

1. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ1.

Обмотка возбуждения двигателя будет подключена к источнику постоянного напряжения 220 В. Амперметр I_B на ЛУ1 покажет величину тока возбуждения. На корпусе реле защиты РЗ загорится зеленая лампочка.

2. Потенциометром $R_I(I_{ВД})$ на ЛУ1 установить номинальный ток возбуждения двигателя.

В процессе проведения эксперимента ток возбуждения может уменьшаться из-за нагрева обмотки двигателя, поэтому его величину необходимо контролировать и поддерживать на заданном уровне.

3. Установить переключатели S2, S3 в положение 1. В этом случае в якорную цепь двигателя будет включено последовательное сопротивление $R_{П}$ и выключено шунтирующее сопротивление $R_{Ш}$, см. табл. 1.2

Переключатель S1 может находиться в любом положении кроме 8, так как с целью защиты двигателя и всей установки от неправильных действий в схеме предусмотрена блокировка, запрещающая пуск двигателя при установке S1 в положение 8.

4. Включить пускатель К1 на ЛУ1, для этого следует нажать зеленую кнопку на его корпусе. Загорится красная лампочка на корпусе пускателя. Якорь двигателя будет подключен к сети 220 В.

Происходит пуск двигателя при введенном в якорную цепь последовательном сопротивлении. Двигатель разгоняется до скорости холостого хода, которая регистрируется в окне клавишной панели **MOVIDRIVE**.

Внимание! При обрыве цепи возбуждения или по любой другой причине, которая приведет к исчезновению тока возбуждения двигателя, реле защиты РЗ размыкает цепь питания пускателя К1 и происходит отключение якоря двигателя от сети. Повторный пуск двигателя будет возможен только после устранения неисправности.

5. Установить тумблер D100 в положение ВКЛЮЧЕНО. Снимается запрет работы контроллера и в информационном сегменте загорится цифра 6, указывающая на работу СД в режиме регулирования момента.

6. Изменяя положение ручки потенциометра «Setpoint 1» на ПУ можно изменять величину и направление момента СД.

Экспериментальную естественную характеристику 2 (рис.1.4) снимают в пределах $0 < I < 1,5I_{ЯН}$ (переключатель S1 установить в положение 8). Важно получить точку при $I_я = 0$, что соответствует опытному значению ω_0 . Для этого необходимо НМ перевести в двигательный режим и изменением положения сопротивления потенциометра Setpoint компенсировать потери холостого хода агрегата.

Опытная характеристика может не совпадать с расчётной, поэтому необходимо дать оценку влияющим факторам и согласовать их с преподавателем. Показания приборов и результаты расчётов сводятся в табл. 1.5

Искусственные механические характеристики при ослабленном потоке возбуждения получают путём уменьшения тока $I_{ВД}$ в обмотке возбуждения потенциометром R_I . Значения токов $I_{ВД}$ определяют по кривой намагничивания $\Phi = f(I_{ВД})$ в соответствии с заданным коэффициентом ϕ .

Для анализа влияния потока возбуждения снимают две механические характеристики при ϕ_1 и ϕ_2 . Результаты измерений и расчетов представляют в виде таблицы 1.5

Протокол испытаний ДНВ при снятии естественной
механической характеристики

Таблица 1.5

Данные опыта					Расчетные величины							
Режимы ИМ	Измеряемые величины и приборы					ω	$U_{я/я}$	$I_{я}^2 R_{Д}$	$\Delta U_{щ/я}$	ΔP_V	Р _{ИМ}	М _{ИМ}
	$I_я$	$U_я$	$I_{сд}$	n	М _{сд}							
	А	В	А	$\frac{об}{мин}$	Н м	$\frac{рад}{с}$	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Н м

Экспериментальные механические характеристики при добавочном сопротивлении в цепи якоря снимают при двух значениях $R_{П1}$ и $R_{П2}$. Важно при этом получить точку для режима идеального холостого хода на каждой искусственной характеристике, т.е. скорость ω_0 при $I_я=0$. Результаты эксперимента и расчётов также представляют в виде таблицы 1.5

Экспериментальные характеристики динамического торможения снимают при номинальном токе возбуждения $I_{ВДН}$. (Переключатель S3 устанавливается в положение 2). Пределы изменения тока нагрузки ИМ будут ограничены $\pm I_{ЯН}$. Величина шунтирующего сопротивления задается переключателем S2. Результаты эксперимента и расчётов также представляют в виде таблицы 1.5

При обработке опытных данных руководствоваться рекомендациями, изложенными в разделе 6.

Экспериментальные механические характеристики ИМ в сложной схеме включения (рис.1.1) снимают при установке переключателей S1 и S2 в требуемые положения, переключатель 3 остается в положении 1. При проведении опыта важно получить особые точки механической характеристики при $I_{Я}=0$, $\omega=0$, $I_{Ш}=0$, а также участки характеристик при изменении знака тока в якоре и в шунтирующем сопротивлении. Результаты измерений и расчёта представить в виде таблицы, аналогичной таблице 1.5

При обработке опытных данные руководствоваться положениями пункта 6 «Исследование характеристик электроприводов в установившихся режимах работы».

4.4. ОТКЛЮЧЕНИЕ УСТАНОВКИ

1. Установить ручку потенциометра регулировки момента СД «Setpoint 1» в среднее положение 5.
2. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение «ОТКЛЮЧЕНО». В информационном сегменте загорится цифра 1 (запрет работы контроллера).
3. Установить ручку потенциометра возбуждения генератора « $I_{ВГ}$ » в нулевое положение.
4. Установить переключатели S1, S2, S3 на ЛУ1 в положение 1.
5. Нажать кнопку «Откл» пускателя K1 (красная кнопка на корпусе пускателя). Якорь двигателя будет отключен от источника питания.
6. Выключить автоматический выключатель АВ1 (ЛУ1). Будет отключена обмотка возбуждения испытуемого двигателя, погаснет зеленая лампочка на реле защиты РЗ.
7. Выключить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ1. Отключается блок управления MOVIDRIVE.

При окончании работ на всех установках отключить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2 (будет выключен неуправляемый выпрямитель В) и выключить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отчет должен содержать:

1. принципиальную электрическую схему установки и схемы включения ИМ для отдельных опытов, паспортные данные машин и другого оборудования, использованного при проведении опытов;
2. расчёты по обработке результатов экспериментальных исследований;
3. графики по данным теоретических и экспериментальных исследований;
4. анализ полученных результатов.

Неуправляемый выпрямитель MODEL: SE 1000-48

(4 блока включены последовательно)

INPUT AC 100-200 В, 17,5 А 200-240 В, 10,0 А

OUTPUT +48В, 20,0 А

Преобразователь частоты MOVIDRIVE MDX61B0022

$U_c = 3 \times 380 \text{ В}, 50 \text{ Гц},$

$I_{НОМ} = 5,5 \text{ А}, I_{МАХ} = 8,25 \text{ А} (150\% I_{НОМ}), P_{НОМ} = 2,2 \text{ кВт}$

Таблица 2.1

Естественная механическая характеристика двигателя ДП100ЛУХЛ4												
n	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	2650	2100	1750	1470	1250	1100	980	890	800	760	710
I	А	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0

Таблица 2.2

положение переключателя S1	$R_{\text{Д}}, \text{ Ом}$
1	66
2	36
3	45
4	51
5	15
6	21
7	30
8	0

Таблица 2.3

положение переключателя S2	$R_{\text{Ш}}, \text{ Ом}$
1	∞
2	70
3	30
4	40

Таблица 2.4

положение переключателя S3	Выбор схемы
1	Шунтирование двигателя
2	Шунтирование якоря двигателя

N	Рад/с	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	115	130	150
M₀	Нм	0.25	0.365	0.4	0.43	0.45	0.47	0.48	0.5	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56

Таблица 2.5

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рассчитать и построить следующие механические характеристики:

- 1.1. Естественную.
- 1.2. Искусственные при заданных последовательных сопротивлениях R_{III} , R_{II2} в цепи якоря.
- 1.3. Динамического торможения с самовозбуждением при добавочных сопротивлениях в цепи якоря R_{III1} , R_{III2} .
- 1.4. Искусственные в сложных схемах включения:
 - а) при шунтировании ИМ сопротивлением R_{III} с включением общего последовательного сопротивления R_{II} , принятых соответственно в п.п.1.3 и 1.2,
 - б) при шунтировании якоря ИМ сопротивлением R_{III} с включением общего последовательного сопротивления R_{II} , принятых соответственно в п.п.1.3 и 1.2;

На отдельном графике построить зависимости $\omega=f_1(I_A)$, $\omega=f_2(I_{III})$, $\omega=f_3(I_{II})$.

При расчете и построении механических характеристик изменение скорости должно находиться в пределах $-\omega_{ном} < \omega < 1,5\omega_{ном}$, а момента двигателя в пределах $-1,5M_{ном} < M < 1,5M_{ном}$,

2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

Снять следующие механические характеристики.

- 2.1. Естественную.
- 2.2. Искусственные при заданных R_{III} , R_{II2} в цепи якоря.
- 2.3. Динамического торможения с самовозбуждением при добавочных сопротивлениях в цепи якоря R_{III1} и R_{III2} , принятых в п.1.3.
- 2.4. В сложных схемах включения:
 - а) при шунтировании ИМ сопротивлением R_{III} с включением общего последовательного сопротивления R_{II} , принятых в п.1.4, а;

б) при шунтировании якоря ИМ сопротивлением R_{III} с включением общего последовательного сопротивления R_{II} , принятых в п.1.4, б.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК

В электрических машинах с последовательным соединением обмоток якоря и возбуждения (рис. 2.1) ток якоря является одновременно и током возбуждения. Так как поток возбуждения Φ нелинейно зависит от тока возбуждения I_B , то уравнение механической характеристики (1.1) становится нелинейным

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

что приводит к сложной зависимости скорости от момента двигателя. Механические характеристики в этом случае рассчитывают с использованием переходной характеристики, определяемой выражением

$$c\Phi = E_E / \omega_E = f(I_B),$$

где E_E и ω_E - значения скорости и соответствующей ей ЭДС при определенном токе возбуждения на естественной характеристике.

Для двигателей последовательного возбуждения в каталогах обычно приводится опытная естественная электромеханическая характеристика $\omega_e = f(I_A)$, устанавливающая связь тока якоря и тока возбуждения со скоростью. В данном случае эти токи равны $I_A = I_B$.

Используя опытную естественную электромеханическую характеристику, можно рассчитать переходную характеристику машины по формуле:

$$c\Phi = \frac{U_n - I_A R_D}{\omega_e},$$

где $R_D = R_A + R_{ПОВ}$.

Расчёт следует вести, задаваясь рядом значений тока $I_A = I_B$ в пределах рабочего интервала нагрузок, результаты расчёта удобно представить в табличной форме (табл. 2.6).

Построив переходную характеристику $c\Phi = f(I_B)$, можно приступить к расчёту любых искусственных механических характеристик двигателя, применяя выражения:

$$\omega_{II} = \frac{E_{II}}{(E/\omega)_E}, \quad (2.1)$$

где $E_{II} = U_H - I_{Я}R$;

$$M_{ИМ} = (E/\omega)_E I_{Я}. \quad (2.2)$$

Учитывая, что для естественной механической характеристики

$$M_E = \left(\frac{E}{\omega} \right)_E I_B,$$

а для искусственной механической характеристики

$$M_{II} = \left(\frac{E}{\omega} \right)_E I_{Я},$$

то при одном и том же токе возбуждения на естественной и искусственной характеристиках будет справедлива следующая формула

$$M_{II} = M_E \frac{I_{Я}}{I_B}. \quad (2.3)$$

Из (2.3) видно, что при любых схемах включения ДПВ, где $I_{Я} = I_B$, выполняется равенство $M_{II} = M_E$. Скорость двигателя при этом токе на естественной и искусственной характеристиках будет разной из-за отличия параметров электрических цепей. Эта особенность метода переходной характеристики может быть использована для сокращения вычислительных операций, результаты которых удобно представить в таблицах (табл.2.6, 2.7).

3.1. РАСЧЁТ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Расчет (характеристика 1 на рис.2.3) сводится к определению момента по формуле (2.2) для ряда значений $I_{Я}$ и ω_e . Результаты вычислений сводят в табл. 2.6.

3.2. РАСЧЁТ ИСКУССТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Расчёт искусственной механической характеристики с последовательным сопротивлением в цепи якоря (характеристика 2 на рис. 2.3) связан с определением $E_{II} = U_H - I_{Я}R$, где $R = R_D + R_{II}$, для нескольких значений тока якоря $I_{Я}$ и нахождением скоростей двигателя по формуле (2.1) (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Расчет характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения										
Исходные данные		Переходная характеристика			Момент М Нм	Искусственная характеристика			Характеристика динамического торможения с самовозбуждением	
$I_B = I_{Я}$	ω_E	$I_{Я}R_D$	$E_E = U_H - I_{Я}R_D$	$(\omega/E)_E$	$M_E = I_{Я}(E/\omega)_E$	$I_{Я}R$	$E_H = U_H - I_{Я}R$	$\omega_H = E_H/(E/\omega)_E$	$E_T = -I_{Я}R$	$\omega_T = E_T/(E/\omega)_E$
А	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	В	В	В·с	Нм	В	В	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	В	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$

3.3. РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Расчет ведут по формуле $E_T = \pm I_{Я}R$, где $R = R_D + R_{III}$ - полное сопротивление якорной цепи двигателя. Токам задают те же значения, что и в предыдущих расчётах. Вычисления сводят в табл.2.6.

Исследуемая характеристика 6 на рис.2.3 располагается во II и IV квадрантах и проходит через начало координат.

3.4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СЛОЖНЫХ СХЕМАХ

связан прежде всего с вычислением E_{II} . Процедура расчета для всех схем одинакова. Задаются значением тока возбуждения I_B , затем определяют падение напряжения в последовательном и параллельном контурах, находят токи в указанных контурах и в якорной цепи и рассчитывают E_{II} . Далее по формулам (2.1) и (2.2) определяют соответственно ω_{II} и M_{II} .

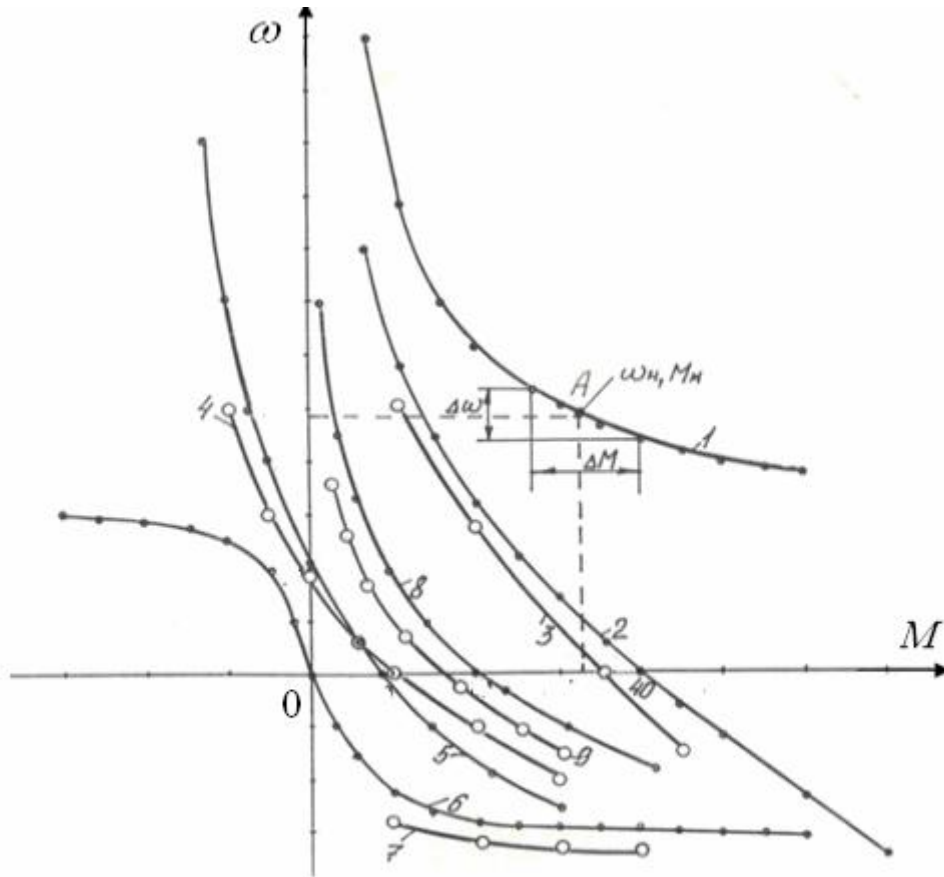


Рис.2.3. Механические характеристики двигателя последовательного возбуждения

В схеме с шунтированием якоря ИМ, когда $I_A \neq I_B$, порядок расчета механической характеристики представлен в табл. 2.6. Задаются током возбуждения I_B и определяют U_{II} и U_{III} по формулам:

$$U_{II} = I_B (R_{пов} + R_{II}), \quad U_{III} = U_H - U_{II}.$$

Затем рассчитывают I_A , ω_B , M_{II} по формулам (2.1), (2.2) и строят искусственную механическую характеристику 5 на рис. 2.3.

В схеме с шунтированием всей ИМ для определения тока в последовательной цепи при заданном $I_A = I_B$ следует воспользоваться выражением

$$I_{II} = \frac{U_H + I_B R_{III}}{R_{II} + R_{III}},$$

Далее рассчитывают падение напряжения на последовательном сопротивлении R_{II} по формуле

$$U_{II} = I_{II} R_{II}$$

и находят напряжение на двигателе

$$U = U_H - I_{II} R_{II}.$$

Затем рассчитывают E_H , ω_H , M_H по формулам (2.1), (2.3). Результаты расчёта следует представить в виде таблицы, аналогичной табл. 2.7, в которой должна быть отражена методика рассмотренного выше подхода. Исследуемая характеристика 8 показана на рис.2.3.

Расчет характеристик двигателя последовательного возбуждения в схеме с шунтированием якоря сопротивлением

Таблица 2.7

Исходные данные			Расчетные данные							
$I_{я} \neq I_B$	$(E/\omega)E$	M_E	U_{II}	U_{III}	$I_{III} = U_{III}/R_{III}$	$I_{я} = I_{II} - I_{III}$	$I_{я}R_{я}$	$E_H = U_{III} - I_{я}R_{я}$	$\omega_H = E_H/(E/\omega)E$	$M_H = M_E (I_{я}/I_B)$
A	Bc	Hm	B	B	A	A	A	B	B	Hm

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема лабораторной установки ЛУ4 представлена на рис. 2.1 и состоит из преобразователя частоты MOVIDRIVE, нагрузочной машины НМ (синхронный двигатель) и испытуемого двигателя постоянного тока последовательного возбуждения ИМ. Преобразователь частоты построен по схеме автономного инвертора напряжения на транзисторах с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения и обеспечивает регулирование частоты и величины выходного напряжения. Микропроцессорная система управления преобразователя позволяет устанавливать различные режимы работы СД. На ЛУ4 СД работает в режиме регулирования скорости, т.е. обеспечивает постоянную скорость в широком диапазоне изменения момента. Величина скорости и направление вращения СД устанавливается потенциометром «Setpoint 1» на ПУ. В окне клавишной панели КП преобразователя MOVIDRIVE отображаются значения тока и скорости СД. Для обеспечения нормальной работы ЛУ4 необходимо строго соблюдать порядок включения и проведения эксперимента.

4.1. ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ

1. Включить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 А1, А2 в распределительном щите лаборатории.

2. Убедиться в том, что переключатель S1 на ЛУ2 находится в положении ВКЛЮЧЕНО.
3. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2. АВ1 подает питание на неуправляемый стабилизированный выпрямитель В, который является источником напряжения 220 В постоянного тока. Одновременно будет подано напряжение в цепь возбуждения генератора. Приборы на лицевой панели ЛУ2 регистрируют значения напряжения U_C и тока возбуждения генератора I_{BG} .
4. С помощью потенциометра « I_{BG} » в цепи возбуждения генератора установить нулевое значение тока $I_{BG} = 0$.
5. Установить переключатели S1, S2 и S3 на ЛУ4 в положение 1, см. данные таблиц 2.2, 2.3, 2.4.

4.2. ВКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ

1. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение ВЫКЛЮЧЕНО (запрет работы контроллера).
2. Установить потенциометр задания скорости СД «Setpoint 1» на ПУ в положение 5. В этом положении величина скорости СД будет минимальной.
3. Убедиться, что переключатель S4 на ЛУ4 находится в положении ВКЛЮЧЕНО.
4. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ4. На блоке управления ПЧ MOVIDRIVE в информационном сегменте появятся сигналы в виде чередующихся цифр 8-0-1. При установке тумблера DI00 в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», в информационном сегменте останется цифра 1. Это означает, что внутреннее тестирование преобразователя прошло успешно и привод готов к работе.
5. Установить тумблер DI00 в положение ВКЛЮЧЕНО. Снимается запрет работы контроллера и в информационном сегменте загорится цифра 5, указывающая на работу СД в режиме регулирования скорости.
6. Изменяя по часовой стрелке положение ручки потенциометра «Setpoint 1» на ПУ установить скорость вращения СД примерно равной 1000 об/мин.

4.3. ВКЛЮЧЕНИЕ ИСПЫТУЕМОЙ МАШИНЫ

1. Включить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ4.
2. Включить пускатель К1 на ЛУ4, для чего нажать зеленую кнопку на его корпусе. Загорится красная лампочка в корпусе пускателя, двигатель будет подключен к сети 220 В. Происходит пуск двигателя при введенном добавочном сопротивлении (величина которого определяется положением переключателя S1).

Для снятия естественной механической характеристики следует установить переключатель S1 в положение 8. Переключатели S2 и S3 остаются в положении 1, см. данные табл. 2.2, 2.3, 2.4.

Вращая ручку потенциометра «Setpoint 1» на ПУ, изменяют момент на валу ИМ и снимают естественную электромеханическую характеристику в пределах ограниченных допустимым значением скорости, $n_{\max}=2000$ об/мин, и тока $I_{\max}=5A$. Записываются показания: $U_{\text{я}}$, $I_{\text{я}}$, $I_{\text{сд}}$, n .

При снятии искусственной механической характеристики с добавочным сопротивлением в цепи якоря следуют установить переключатель S1 в положение, определяющее заданную величину последовательного сопротивления $R_{\text{п}}$. Переключатели S2, S3 находятся в положении 1.

Вращая ручку потенциометра «Setpoint 1» на ПУ, изменяют момент на валу ИМ и снимают искусственную электромеханическую характеристику в пределах ограниченных максимальным значением тока, $I_{\max}=5A$. Записываются показания: $U_{\text{я}}$, $I_{\text{я}}$, $I_{\text{сд}}$, n .

При снятии искусственной механической характеристики с шунтированием всей ИМ следует установить переключатели S1, S2 в положения, определяющие значения последовательного $R_{\text{п}}$ и шунтирующего $R_{\text{ш}}$ сопротивлений, см. табл. 2.2, 2.3. Переключатель S3 остается в положении 1.

Вращая ручку потенциометра «Setpoint 1» на ПУ, изменяют момент на валу ИМ и снимают искусственную электромеханическую характеристику в допустимых пределах изменения тока ИМ, $I_{\max}=5A$. Записываются показания: $U_{\text{я}}$, $I_{\text{я}}$, $I_{\text{сд}}$, n .

При снятии искусственной механической характеристики с шунтированием якоря ИМ следует установить переключатели S1, S2 в положение, определяющее величину последовательного и шунтирующего сопротивлений, см. табл. 2.2, 2.3. Переключатель S3 поставить в положение 2.

Вращая ручку потенциометра «Setpoint 1» на ПУ, изменяют момент на валу ИМ и снимают искусственную электромеханическую характеристику в допустимых пределах изменения тока ИМ, $I_{\max}=5\text{А}$. Записываются показания: $U_{\text{Я}}, I_{\text{Я}}, I_{\text{П}}, I_{\text{Ш}}, I_{\text{СД}}, n$.

При снятии характеристики динамического торможения с самовозбуждением необходимо отключить ДПВ от источника питания. Для этого следует нажать красную кнопку на корпусе пускателя К1. Переключателем S2 установить требуемую величину шунтирующего сопротивления $R_{\text{Ш}}$. Потенциометром «Setpoint 1» выбирают направление вращения двигателя, при котором происходит возбуждение машины и образование тормозного момента.

Характеристику динамического торможения снимают в диапазоне изменения тока якоря $0 \div 5\text{А}$ и записывают показания приборов $U_{\text{Я}}, I_{\text{Я}}, I_{\text{СД}}, n$.

Результаты экспериментов и расчетов представить в виде таблиц.

При обработке опытных данных руководствоваться рекомендациями, изложенными в разделе 6.

Примечание. Установку различных схем включения ИМ и выбор требуемых значений сопротивлений с помощью переключателей S1, S2, S3 на ЛУ4 можно производить при работающем ДПВ.

4.4. ОТКЛЮЧЕНИЕ УСТАНОВКИ

Установить переключатели S1, S2, S3 в положение 1.

Нажать кнопку «Откл» (красная кнопка на корпусе К1) пускателя К1. Двигатель будет отключен от источника питания.

Установить ручку потенциометра «Setpoint 1» регулирования момента СД на ПУ в положение 5.

Установить тумблер DI00 на ПУ в положение ОТКЛЮЧЕНО (зеленая лампочка на ПУ погаснет). В информационном сегменте загорится цифра 1 (запрет работы СД).

Выключить автоматические выключатели АВ1, АВ2 (ЛУ4).

По окончании работы на всех установках выключить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2 (будет обесточен неуправляемый выпрямитель В).

Выключить автоматические выключатели АВ1, АВ2 и АВ3 в распределительном щите лаборатории.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отчет должен содержать:

- Принципиальную электрическую схему установки и схемы включения ИМ для отдельных опытов;
- Паспортные данные машин
- Расчёты механических характеристик ИМ и данные обработки результатов экспериментальных исследований.
- Графики расчетных и экспериментальных механических и электромеханических характеристик (расчетные и экспериментальные искусственные механические характеристики показать на графиках в сравнении с расчетной естественной).
- Анализ полученных результатов и выводы, в которых следует пояснить режимы работы ИМ на различных участках всех характеристик в сложных схемах, эффективность тормозных режимов, причины изменения жёсткости различных механических характеристик и на отдельных участках этих характеристик, обосновать условия перехода характеристик из первого квадранта во второй, условия получения динамического торможения с самовозбуждением, причины несовпадения теоретических и экспериментальных характеристик.

РАБОТА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОР-ДВИГАТЕЛЬ

Работа может выполняться на установке ЛУ1 или ЛУ3. Ниже описывается методика проведения испытаний на установке ЛУ1. Изложенная методика испытаний может быть использована при работе на установке ЛУ3. Выбор установки делается переключателем S2 на ЛУ2. Принципиальная схема приведена на рис.3.1.

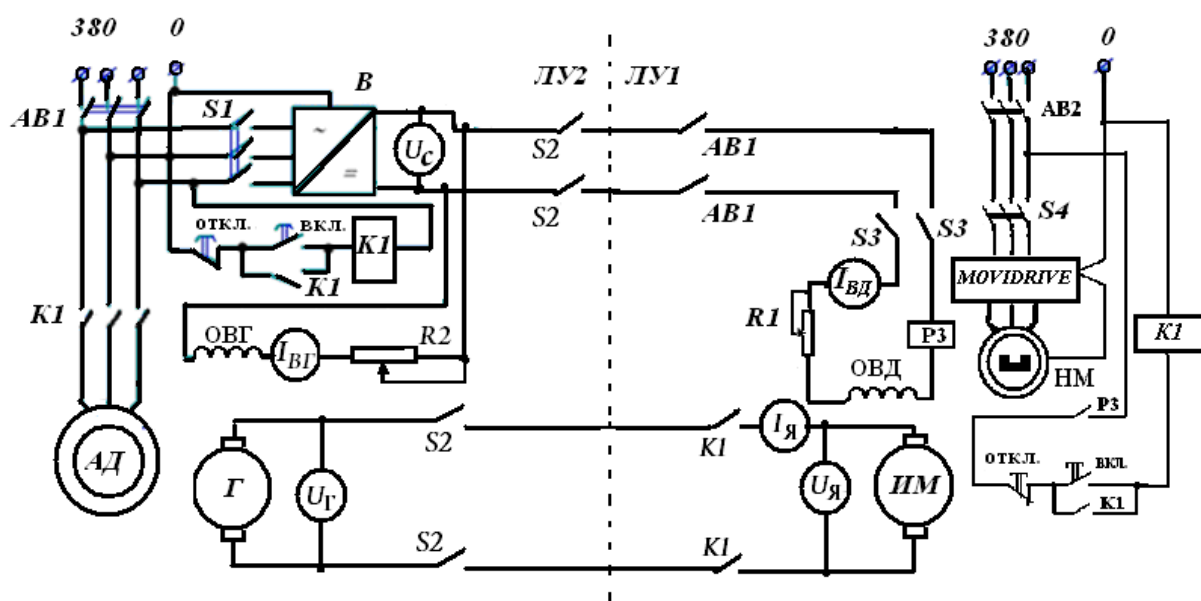


Рис.3.1. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования системы электропривода генератор-двигатель

Паспортные данные основного оборудования, используемого в ЛУ1- ЛУ3 и характеристики двигателей

Испытуемый двигатель 4П0100S1

$P_{НОМ} = 0,55$ кВт; $n_{НОМ} = 1000$ об/мин; $U_{НОМ} = 220$ В; $I_{НОМ} = 3,5$ А;

$I_{возб} = 0,58$ А, $R_{я} = 4,84$ Ом; $R_{ПОВ} = 6,2$ Ом ; $R_{возб} = 305,6$ Ом

(сопротивления испытуемой машины и генератора измерены при температуре 15⁰С)

Генератор постоянного тока 4П0100S УХЛ4

$P_{НОМ} = 1,1$ кВт; $n_{НОМ} = 1500$ об/мин; $I_{НОМ} = 6,5$ А; $U_{НОМ} = 220$ В;

$R_{я} = 2,4$ Ом; $R_{ПОВ} = 2,66$ Ом; $R_{ОВ} = 440$ Ом.

Нагрузочная машина CFM 71 S $U_{НОМ} = 380 \text{ В}, \quad M_{НОМ} = 5,0 \text{ Нм}, \quad n_{НОМ} = 2000 \text{ об/мин},$ $I_{НОМ} = 2,2 \text{ А}, \quad I_{max} = 8,8 \text{ А}, \quad M_{max} = 16,5 \text{ Нм}.$ **Преобразователь частоты MOVIDRIVE MDX61B0022** $U_c = 3 \times 380 \text{ В}, \quad 50 \text{ Гц},$ $I_{НОМ} = 5,5 \text{ А}, \quad I_{MAX} = 8,25 \text{ А} (150\% I_{НОМ}), \quad P_{НОМ} 2,2 \text{ кВт}$ **Приводной двигатель генератора АИР 80А4 В1УХЛ4** $P_{НОМ} = 1,1 \text{ кВт}; \quad n_{НОМ} = 1335 \text{ об/мин}; \quad U_{НОМ} = 380/220 \text{ В}.$ **Неуправляемый выпрямитель MODEL: SE 1000-48****(4 блока включены последовательно)**

INPUT AC 100-200 В, 17,5 А; 200-240 В, 10,0 А

OUTPUT +48В, 20,0 А

Таблица 3.1

Зависимость коэффициента $\cos\Phi$ от тока возбуждения двигателя $I_{вд}$										
$\cos\Phi$	Вс/рад	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

Таблица 3.2

Зависимость момента потерь машинных агрегатов установок ЛУ1 и ЛУ3 от скорости													
ω		рад/с	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	140
ЛУ1	M_o	Нм	0.5	0.55	0.58	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.8	0.87	0.9
ЛУ3	M_o	Нм	0.46	0.49	0.5	0.52	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58	0.6	0.63

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

При подготовке к работе следует подробно изучить электрическую схему лабораторной установки, варианты ее включения при выполнении всех

заданных опытов, а также рассчитать и построить указанные ниже характеристики:

1.1. Механические характеристики ИМ для заданных значений ЭДС генератора $E_{Г1} > E_{Г2} > E_{Г3}$. Расчёт характеристик вести в пределах изменения тока якорной цепи $\pm I_{Яном}$.

1.2. Механические характеристики при ослабленном потоке возбуждения ИМ $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$. Расчёт вести при заданной ЭДС генератора $E_{Г1} = \text{const}$ в пределах нагрузки, принятой в п.1.1.

1.3. Характеристики $P_{ИМ} = f(\omega)$ и $M_{ИМ} = f(\omega)$ рассчитываются при заданном токе якоря испытуемой машины $I_{ЯЗ} = \text{const}$ в пределах изменения ЭДС генератора $0 < E_{Г} < E_{Г1}$ и постоянном потоке возбуждения $\Phi_{ИМ} = \text{const}$. При достижении ЭДС генератора значения $E_{Г1}$ необходимо изменять поток ИМ в заданных пределах.

1.4. Характеристики $M_{ИМ} = f(I_{Я})$ при $\omega = \text{const}$ для заданных скоростей $\omega_1 = \omega_0$ и $\omega_2 = 0,5 \omega_0$ определять в пределах изменения тока якоря $0 < I_{Я} < 1,5 I_{Яном}$.

На отдельном рисунке в пределах, принятых для механических характеристик, построить расчётные зависимости $\omega = f(I_{Я})$ для заданных значений ЭДС генератора и заданных значений потока ИМ.

2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

Снять характеристику холостого хода генератора $E_{Г} = f(I_{ВГ})$, а также характеристики:

2.1. Механические характеристики при заданных в п. 1.1. значениях ЭДС генератора.

2.2. Механические характеристики при заданных в п. 1.2. потоках ИМ и неизменном значении $E_{Г1}$.

2.3. Характеристики $P_{ИМ} = f(\omega)$ и $M_{ИМ} = f(\omega)$ в соответствии с условиями п. 1.3.

2.4. Зависимости $M = f(I_{Я})$ для условий, указанных в п. 1.4.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК

Напряжение на выходе генератора в отличие от напряжения сети будет зависеть от нагрузки. Поэтому в расчётах используют не напряжение, а ЭДС генератора, которая от нагрузки не зависит, если считать механическую характеристику приводного двигателя генератора абсолютно жёсткой

$$E_G = c\Phi_G\omega_G = \text{const}.$$

Уравнение механической характеристики применительно к системе

Г-Д можно записать в виде:

$$\omega = \frac{E_G}{c\Phi} - \frac{R_{ГД}}{(C\Phi)^2} M = \omega_{0ГД} - \Delta\omega_{сГД} \quad (3.1)$$

где $R_{ГД} = R_{д} + R_{Г}$ – сопротивление якорной цепи системы генератор - двигатель.

Как следует из (3.1), регулирование скорости испытуемой машины в системе Г-Д возможно как за счет изменения тока возбуждения генератора, что приводит к изменению его ЭДС, так и за счет изменения потока испытуемой машины. Обычно изменение потока генератора производят таким образом, чтобы он изменялся от нуля до номинального значения, также будет изменяться и ЭДС генератора. При постоянстве потока ИМ, который поддерживается равным номинальному, изменение скорости ИМ за счет изменения потока (ЭДС) генератора до его номинального значения обеспечивает первую зону регулирования скорости ИМ. Вторая зона регулирования скорости создается за счет уменьшения потока ИМ при постоянстве ЭДС генератора, которая, как правило, поддерживается равной номинальному значению. Ослабление потока ИМ возможно в пределах, обеспечивающих устойчивую работу двигателя. Для большинства машин постоянного тока поток двигателя изменяют в пределах $(0,5 \div 1,0)\Phi_{н}$.

Анализ свойств привода ведут в сопоставлении с номинальным режимом работы ИМ. Так как естественной характеристики двигателя в системе Г-Д получить невозможно, то номинальному режиму ИМ соответствует характеристика системы Г-Д проходящая через точку номинального режима ($\omega_{н}$, $M_{н}$).

Скорость идеального холостого хода $\omega_{0ГД}$ и статическое падение скорости двигателя $\Delta\omega_{СГДН}$ (рис.3.2, характеристика 11) этой характеристики отличаются от аналогичных величин естественной характеристики, так как $R_{ГД} > R_{Д}$. Поэтому формулы для скорости холостого хода и статического падения скорости при номинальной нагрузке для системы генератор – двигатель приобретают вид

$$\omega_{0ГД} = \frac{E_{Г}}{C\Phi_{Н}}, \quad (3.2)$$

$$\Delta\omega_{СГДН} = \frac{R_{ГД}}{c\Phi_{Н}} \frac{M_{Н}}{2}. \quad (3.3)$$

На рис. 3.2 для сравнения построены естественная «1» характеристика ИМ и характеристика системы ГД, проходящая через общую точку идеального холостого хода ИМ. Там же приведены с соответствующим обозначением характерные точки указанных характеристик.

ЭДС генератора, обеспечивающую номинальный режим ИМ, определяют по формуле

$$E_{Г1} = U_{Н} + I_{ЯН} R_{Г},$$

где $U_{Н}$, $I_{ЯН}$ - номинальные значения напряжения и тока ИМ.

В дальнейших расчётах $E_{Г1}$ и соответствующие ей поток $\Phi_{ГН}$ и ток обмотки возбуждения $I_{ВГН}$ принимаются номинальными для данного привода, хотя в общем случае эти значения могут не совпадать с номинальными значениями, указанными в паспорте генератора.

Значения $\omega_{0ГД}$ и $\Delta\omega_{СГДН}$ вычисляют по формулам (3.2) и (3.3) при $M=M_{Н}$ и определяют координаты двух характерных точек: «2» ($\omega = \omega_{0ГД}$, $M=0$) и «б» ($\omega = \omega_{Н}$, $M=M_{Н}$), через которые проводят характеристику 11 (рис.3.2).

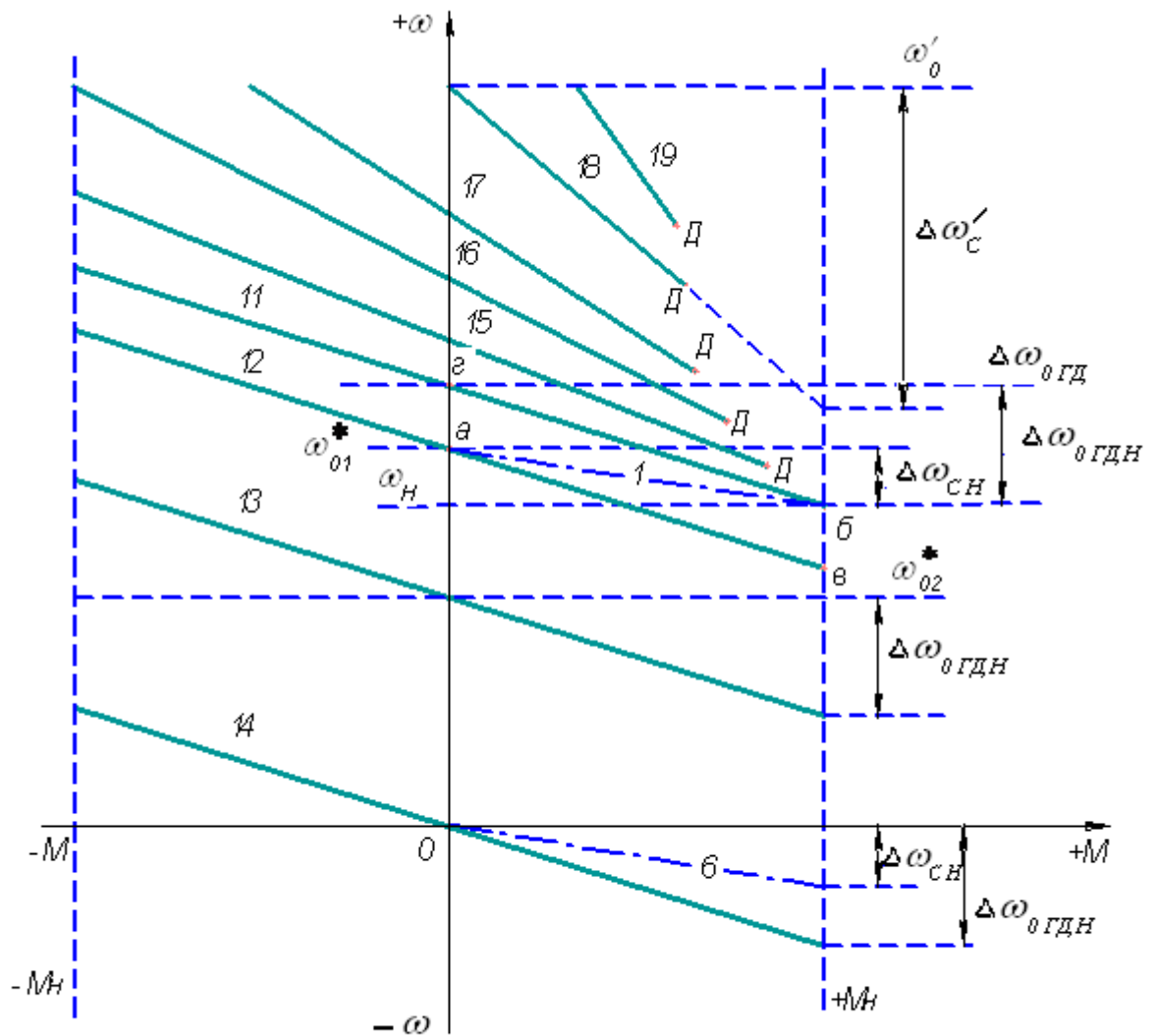


Рис.3.2. Механические характеристики системы Г-Д

3.1. РАСЧЁТ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

При изменении потока генератора, $\Phi_{Г} < \Phi_{ГН}$, и поддержании неизменным потока двигателя $\Phi_{ИМН} = const$ (I зона регулирования) расчет ведут из условия, что статическое падение скорости на всех искусственных характеристиках остаётся постоянным.

В этом случае для построения искусственных характеристик достаточно найти только ω_0^*

$$\omega_0^* = \frac{E_{Гзад}}{c\Phi_{Н}}$$

и, используя ранее найденное значение $\Delta\omega_{сгдн}$, строят механическую характеристику (рис. 3.2, характеристика 13).

Участки механических характеристик 11,12,13, расположенные во II квадранте, соответствуют рекуперативному торможению ИМ, так как здесь выполняется условие $E_{ИМ} > E_{Г}$. При этом генератор работает в двигательном режиме и вращает приводной асинхронный двигатель со скоростью больше синхронной, обеспечивая передачу энергии в сеть переменного тока.

При уменьшении момента на валу генератора снижается скорость и величина передаваемой в сеть энергии, а когда скорость вращения генератора станет равной синхронной скорости асинхронного двигателя, передача энергии в сеть прекращается. Но для ИМ режим рекуперативного торможения сохраняется и вырабатываемая в этом случае энергия расходуется на покрытие потерь холостого хода агрегата АД – Г.

Характеристика 14 может быть получена при $E_{Г} = 0$ (генератор полностью размагничен).

3.2. Расчет характеристик $P_{ИМ} = f(\omega)$ и $M_{ИМ} = f(\omega)$ при условии полного использования испытываемой машины по нагреву ведут для двух зон регулирования скорости. Чтобы исключить перегрев двигателя на низких скоростях во время проведения эксперимента устанавливают ток в якорной цепи двигателя $I_{ЯЗ} < I_{ЯН}$.

В первой зоне регулирование скорости ведут изменением потока генератора ($\Phi_{Г} = \text{var}$) при неизменном потоке возбуждения ИМ $\Phi_{Н} = \text{const}$.

В этой зоне момент ИМ определяется формулой

$$M_{ИМ} = c\Phi_{Н}I_{ЯЗ} = M_3 = \text{const},$$

а мощность ИМ изменяется пропорционально скорости

$$P_{ИМ} = (E_{Г} - I_{ЯЗ}R_{ГД})I_{ЯЗ} = c\Phi_{Н}\omega I_{ЯЗ} = M_3\omega.$$

Для построения зависимости $P_{ИМ} = f(\omega)$, проходящей через начало координат, достаточно рассчитать мощность ИМ для скорости в конце первой зоны регулирования $\omega = \omega_{1МАХ} = \frac{E_{Г1} - I_{ЯЗ}R_{ГД}}{c\Phi_{Н}} = \frac{E_{Г1}}{c\Phi_{Н}} - \frac{R_{ГД}}{(c\Phi_{Н})^2}M_3$,

соответствующей ЭДС генератора $E_{Г1}$, полученной при номинальном потоке возбуждения генератора $\Phi_{Г} = \Phi_{ГН}$.

Регулирование скорости во второй зоне ведут изменением потока ИМ при постоянном потоке возбуждения генератора $\Phi_{ГН} = const$. Мощность ИМ в этом случае остается постоянной

$$P_{ИМ} = (E_{Г1} - R_{ГД}I_{ЯЗ})I_{ЯЗ} = const,$$

а момент изменяется обратно пропорционально скорости

$$M_{ИМ} = \frac{P_{ИМ}}{\omega}.$$

3.3. Расчёт зависимости $M=f(I_{Я})$ при поддержании заданной скорости ИМ изменением потока машины ведут по формуле

$$M_{ИМ} = \frac{E_{Г1}}{\omega_1} I_{Я} - \frac{R_{ГД}}{\omega_1} I_{Я}^2.$$

При выполнении расчёта току $I_{Я}$ задают не менее пяти значений с равными интервалами в диапазоне $0 \div 1,5I_{ЯН}$, а соответствующая заданной скорости ω_1 ЭДС генератора определяется выражением

$$E_{Г} = c\Phi_{Г}\omega_1.$$

Исследуемая зависимость имеет максимум при ток

$$I_{Я\text{ опт}} = \frac{E_{Г1}}{2R_{ГД}}.$$

В большинстве случаев при $\omega_1 = \omega_0$ максимум момента достигается при токах больших чем $1,5-2 I_{ЯНОМ}$. При уменьшении ЭДС генератора, что соответствует скорости $\omega_2 < 0,6\omega_0$, максимум исследуемой кривой может быть получен при $I_{Я} < 1,5I_{ЯНОМ}$.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принципиальная схема установки для выполнения лабораторной работы по исследованию характеристик системы Г-Д приведена на рис. 3.1. При проведении опыта используются два стенда ЛУ1 и ЛУ2. Нагрузочная машина (синхронный двигатель) питается от преобразователя частоты MOVIDRIVE и

работает в режиме регулирования момента. ИМ подключается к якорю генератора Г, который приводится в движение асинхронным двигателем АД. Обмотки возбуждения Г и ИМ получают питание от неуправляемого выпрямителя В. Величина и направление момента на валу СД устанавливается потенциометром «Setpoint» на ПУ. В окне клавишной панели КП преобразователя MOVIDRIVE отображаются значения тока и скорости СД. Для обеспечения нормальной работы ЛУ1 необходимо строго соблюдать порядок включения установки и проведения испытаний.

4.1. ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ

Включить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.

Установить переключатель S2 на ЛУ2 в положение, соответствующее исследуемой схеме включения, см. табл. 3.3.

Убедиться, что переключатель S1 на ЛУ2 находится в положении «ВКЛЮЧЕНО».

Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2.

АВ1 подает питание на неуправляемый выпрямитель В, который является источником напряжения 220 В постоянного тока. Одновременно будет подано питание в цепь возбуждения генератора. Приборы U_C и I_{BG} на лицевой панели ЛУ2 покажут напряжения сети и ток возбуждения генератора.

Таблица 3.3

положение переключателя S2 на ЛУ2	установка ЛУ1	установка ЛУ3
1	сеть	сеть
2	сеть	Г-Д
3	сеть	<u>УВ-Д</u>
4	Г-Д	<u>УВ-Д</u>
5	<u>УВ-Д</u>	Г-Д
6	<u>УВ-Д</u>	сеть
7	Г-Д	сеть
8	Питание отключено	

Вращая ручку потенциометра $R2(I_{BG})$ в цепи возбуждения генератора установить нулевое значение тока, $I_{BG} = 0$.

Включить пускатель К1 на ЛУ2, для чего нажать зеленую кнопку его на корпусе. Загорится красная лампочка на корпусе пускателя. Произойдет пуск асинхронного двигателя АД, вращающего генератор.

Изменяя ток возбуждения генератора потенциометром $R2$ (ЛУ2) снять характеристику холостого хода генератора $E_G = f(I_{BG})$.

В ходе выполнения эксперимента плавно увеличивать ток возбуждения I_{BG} и записывать показания приборов I_{BG} и U_G . При этом снимают не менее 10 точек, затем плавно уменьшают ток возбуждения генератора и вновь записывают I_{BG} и U_G .

По завершению опыта установить $I_{BG}=0$.

4.2. ВКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ

1. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение «ВЫКЛЮЧЕНО» (запрет работы контроллера).

2. Установить потенциометр задания момента СД «Setpoint 1» на ПУ в положение 5. В этом положении значение момента на валу СД будет минимальным.

3. Убедиться, что пускатель S4 на ЛУ1 находится в положении «ВКЛЮЧЕНО».

4. Включить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ1.

На блоке MOVIDRIVE в информационном сегменте появятся сигналы в виде чередующихся цифр 8-0-1.

При установке тумблера DI00 в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», в информационном сегменте останется цифра 1. Это означает, что тестирование преобразователя прошло успешно и привод готов к работе.

4.3. ВКЛЮЧЕНИЕ ИСПЫТУЕМОЙ МАШИНЫ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПРИМЕНТОВ

1. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ1.

Обмотка возбуждения двигателя будет подключена к источнику постоянного напряжения 220 В. Амперметр I_B на ЛУ1 покажет величину тока возбуждения. На корпусе реле защиты РЗ загорится зеленая лампочка.

2. Потенциометром $R1(I_{ВД})$ на ЛУ1 установить номинальный ток возбуждения двигателя.

В процессе проведения эксперимента ток возбуждения может уменьшаться из-за нагрева обмотки двигателя, поэтому его величину необходимо контролировать и поддерживать на заданном уровне.

3. Включить пускатель $K1$ на ЛУ1, для этого следует нажать зеленую кнопку на его корпусе. Загорится красная лампочка на корпусе пускателя. Якорь двигателя будет подключен к якорю генератора. Двигатель вращается на малой скорости.

Внимание. При обрыве цепи возбуждения или по любой другой причине, которая приведет к исчезновению тока возбуждения двигателя, реле защиты $PЗ$ размыкает цепь питания пускателя $K1$ и происходит отключение якоря двигателя от сети. Повторный пуск двигателя будет возможен только после устранения неисправности.

4. Установить тумблер D100 в положение ВКЛЮЧЕНО. Снимается запрет работы контроллера и в информационном сегменте загорится цифра 6, указывающая на работу СД в режиме регулирования момента.

5. Изменяя положение ручки потенциометра «Setpoint 1» на ПУ можно изменять величину и направление момента СД.

Экспериментальные механические характеристики снимают при номинальном токе возбуждения ИМ. Разгоняют ИМ вхолостую увеличением ЭДС генератора до заданного значения E_G . С помощью НМ переводят ИМ в режим идеального холостого хода, при $I_A = 0$ имеет место равенство $E_G = E_{ИМ} = U_A$.

В дальнейшем, поддерживая $I_{ВГ} = I_{ВГН} = const$, изменяет нагрузку в допустимых пределах и записывают показания приборов I_A , U_A и скорость ИМ.

Экспериментальные искусственные механические характеристики $\omega = f(M)$ при заданных значениях φ_i снимают при соответствующих токах возбуждения ИМ, которые определяются зависимостью $c\Phi = f(I_{ВД})$, табл. 3.1.. Нагрузку изменяют в допустимых пределах.

Регулировочные характеристики $P_{ИМ}=f(\omega)$ и $M_{ИМ}=f(\omega)$ снимают при заданном токе якоря $I_{ЯЗ}$, который устанавливается с помощью НМ. Поддержание номинального значения $I_{ЯН}$ в якорной цепи ИМ затрудняет выполнение эксперимента и в учебной работе не делается.

Этот опыт проводят в два этапа. На первом этапе регулирование скорости осуществляют изменением подводимого к якорю двигателя напряжения при постоянном значении тока возбуждения ИМ, равного номинальному. Опыт начинают с установки посредством потенциометра в цепи возбуждения генератора минимальной скорости двигателя $\omega_{МИН} \leq 0,1\omega_H$ и установки с помощью НМ заданного значения тока якоря $I_{ЯЗ}$. Записывают показания приборов $U_{Я}$, $I_{ВД}$, $I_{ВГ}$ и скорость испытуемой машины. Эксперимент продолжают в интервале скоростей, ограниченном заданным значением ЭДС генератора.

Дальнейшее увеличение скорости выполняют ослаблением потока возбуждения ИМ при сохранении неизменным достигнутого ранее значения $I_{ВГ}$. С помощью реостата $R(I_{ВД})$ устанавливают 3-4 значения тока возбуждения двигателя меньших номинального и посредством НМ поддерживают ток в цепи якоря равным $I_{ЯЗ}$.

Зависимость $M_{ИМ}=f(I_{Я})$ начинают снимать с режима идеального холостого хода, соответствующего заданным значениям скорости ω_1 или ω_2 . Для этого по прибору $U_{Г}$ устанавливают расчётное значение $E_{Г1} = C\Phi\omega_1$, которое в дальнейшем остаётся неизменным. Затем с помощью НМ задаётся некоторое значение тока в якоре ИМ, приводящее к уменьшению скорости и с помощью ослабления потока ИМ восстанавливают первоначальное значение скорости ω_1 . В дальнейшем, увеличивая ток нагрузки ИМ и сохраняя первоначальное значение скорости, записывают показания приборов $U_{Я}$, $I_{Я}$, $I_{ВД}$, $I_{ВГ}$ и скорость испытуемой машины.

Характеристику снимают в пределах изменения тока от 0 до $1,5 I_{ЯН}$, устанавливая не менее пяти значений.

Результаты экспериментальных исследований и обработки полученных данных представить в виде таблиц.

При обработке опытных данных руководствоваться рекомендациями раздела 6.

4.4. ОТКЛЮЧЕНИЕ УСТАНОВКИ

1. Установить ручку потенциометра регулировки момента СД «Setpoint 1» в среднее положение (цифра 5).
2. Нажать кнопку «Откл» пускателя К1 (ЛУ2) (красная кнопка на корпусе К1). Будет отключен асинхронный двигатель генератора.
3. Установить тумблер D100 на ПУ ПЧ в положение ОТКЛЮЧЕНО (зеленая лампочка на ПУ погаснет). В информационном сегменте загорится цифра 1 (запрет работы СД).
4. Установить ручку потенциометра возбуждения генератора $R1$ на ЛУ2 в нулевое положение.
5. Нажать кнопку «Откл» пускателя К1 (ЛУ1) (красная кнопка на корпусе К1). Якорь двигателя будет отключен от генератора.
6. Выключить автоматический выключатель АВ1 (ЛУ1). Будет отключена обмотка возбуждения испытуемого двигателя, погаснет зеленая лампочка на реле защиты РЗ.
7. Выключить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ1.
8. После завершения всех работ в лаборатории отключить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2 и автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отчет должен содержать:

- паспортные данные машин;
- расчеты характеристик системы ГД и расчёты по обработке результатов экспериментальных исследований;
- рисунки с расчетными и экспериментальными характеристиками исследуемой системы.

Все теоретические и экспериментальные характеристики представить на четырёх рисунках: $E_{Г} = f(I_{ВГ})$; $\omega = f(M)$; $P_{ИМ} = f(\omega)$ и $M_{ИМ} = f(\omega)$, $M_{ИМ} = f(I_{Я})$.

Пояснить характер изменения момента и скорости для двух способов регулирования скорости, а также вид характеристик $M=f(I_{я})$ при поддержании скорости ИМ ослаблением потока.

Дать оценку установленной мощности системы Г-Д и жёсткости механических характеристик, полученных изменением ЭДС генератора и ослаблением потока ИМ.

Пояснить техническую и экономическую целесообразность, использования двух способов регулирования скорости и возможных режимов работы ИМ.

РАБОТА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ-ДВИГАТЕЛЬ

Работа может выполняться на установке ЛУ1 или ЛУ3. Ниже описывается методика проведения испытаний на установке ЛУ1. Изложенная методика испытаний может быть использована при работе на установке ЛУ3. Выбор установки делается переключателем S2 на ЛУ2. Принципиальная схема приведена на рис. 4.1.

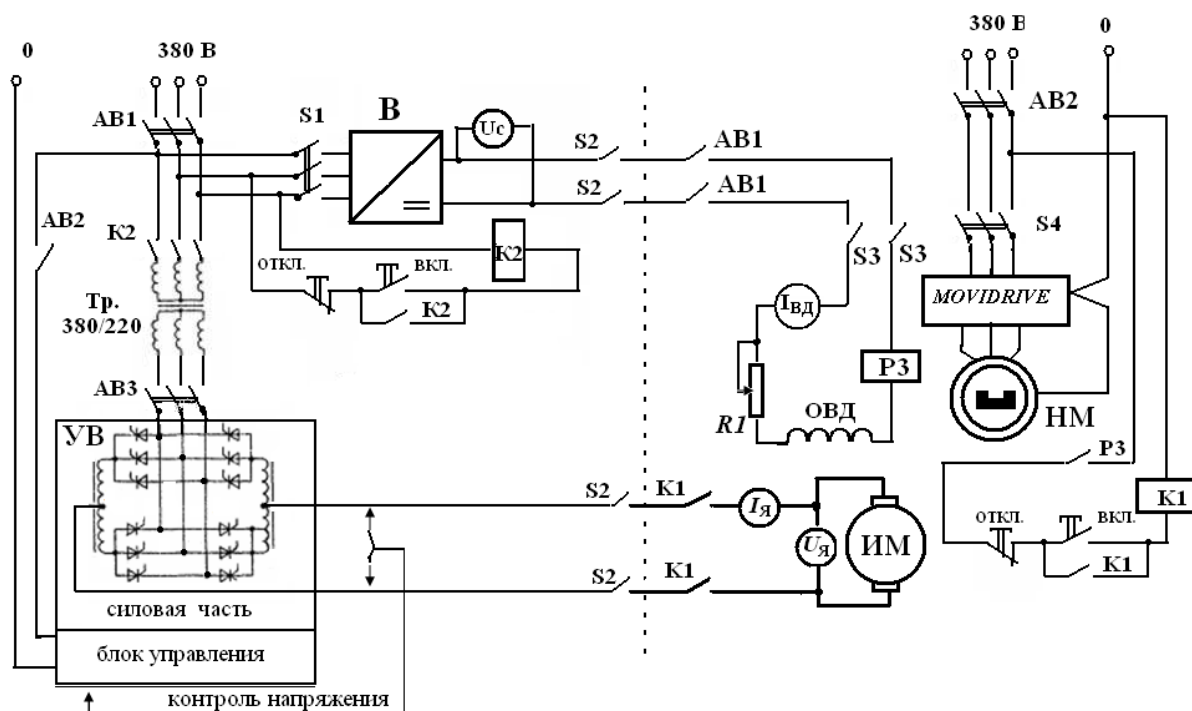


Рис.4.1. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования системы электропривода УВ-Д

Паспортные данные основного оборудования

Испытуемый двигатель 4П0100S1

$R_{ном} = 0,55 \text{ кВт}$; ; $n_{ном} = 1000 \text{ об/мин}$; $U_{ном} = 220 \text{ В}$; $I_{ном} = 3,5 \text{ А}$;

$I_{возб} = 0,58 \text{ А}$, $R_{я} = 4,84 \text{ Ом}$; $R_{пов} = 6,2 \text{ Ом}$; $R_{возб} = 305,6 \text{ Ом}$

(сопротивления испытуемой машины измерены при температуре 15°C)

Таблица 4.1

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

Нагрузочная машина CFM 71 S

$U_{НОМ} = 380 \text{ В},$ $M_{НОМ} = 5,0 \text{ Нм},$ $n_{НОМ} = 2000 \text{ об/мин},$
 $I_{НОМ} = 2,2 \text{ А},$ $I_{МАХ} = 8,8 \text{ А},$ $M_{МАХ} = 16,5 \text{ Нм}.$

Управляемый выпрямитель 6 RA7013-6DV62

$U_{НОМ.} = 3 \times 380 \text{ В},$ $50/60 \text{ Гц},$ $I_{НОМ} = 13 \text{ А}.$

Трансформатор силовой Тр 380/220 В, 1.5 кВт**Неуправляемый выпрямитель MODEL: SE 1000-48**

(4 блока включены последовательно)

INPUT AC 100-200 В, 17,5 А ; 200-240 В, 10,0 А

OUTPUT +48В, 20,0 А

Преобразователь частоты MOVIDRIVE MDX61B0022

$U_c = 3 \times 380 \text{ В}, 50 \text{ Гц},$

$I_{НОМ} = 5,5 \text{ А}, I_{МАХ} = 8,25 \text{ А} (150\% I_{НОМ}), P_{НОМ} 2,2 \text{ кВт}.$

Таблица 4.2

Зависимость момента потерь машинных агрегатов установок ЛУ1 и ЛУ3 от скорости													
ω		$рад/с$	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	140
ЛУ1	M_0	Нм	0.5	0.55	0.58	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.8	0.87	0.9
ЛУ3	M_0	Нм	0.46	0.49	0.5	0.52	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58	0.6	0.63

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рассчитать и построить:

1.1. Регулировочные характеристики УВ $E_d = f(\alpha)$.

1.2. Механические характеристики ИМ для заданных значений ЭДС управляемого выпрямителя $E_{d1} > E_{d2} > E_{d3}$. Расчёт характеристик выполнить в пределах рабочих токов испытываемой машины $\pm I_{ЯН}$.

1.3. Механические характеристики ИМ при ослабленном потоке возбуждения $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$. Расчёт провести при ЭДС управляемого выпрямителя E_{d1} в пределах рабочих токов $\pm I_{ЯН}$.

1.4. Характеристики $P_{ИМ} = f(\omega)$ и $M_{ИМ} = f(\omega)$ при $I_{ЯН} = const$ в пределах изменения ЭДС выпрямителя $0 < E_d < E_{d1}$ и номинальном потоке возбуждения ИМ $\Phi_{ИМ} = const$. Далее при достижении значения E_{d1} изменять поток ИМ в заданных пределах $(0,5 \div 1,0)\Phi_{ИМ}$.

1.5. Характеристики $M_{ИМ} = f(I_{Я})$ для заданных скоростей $\omega_1 = \omega_0$ и $\omega_2 = 0,5\omega_0$ при изменении тока якоря ИМ в пределах $0 < I_{Я} < 1,5I_{ЯНОМ}$.

На отдельном графике построить электромеханические характеристики ИМ $\omega = f(I_{Я})$ для заданных значений ЭДС выпрямителя и значений потока ИМ, указанных в п.1.2 и 1.3.

2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

Снять регулировочную характеристику УВ $E_d = f(\alpha)$ при работе на якорную цепь двигателя, а также:

2.1. Механические характеристики при заданных в п.1.2 значениях ЭДС управляемого выпрямителя.

2.2. Механические характеристики при заданных в п.1.3 потоках ИМ и неизменном значении E_{d1} .

2.3. Характеристики в соответствии с условиями п. 1.4.

2.4. Зависимости $M = f(I_{Я})$ для условий, указанных в п.1.5.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК

Электропривод постоянного тока системы УВ-Д обладает рядом преимуществ по сравнению с системой Г-Д; среди них в первую очередь следует указать на меньшую мощность установленного оборудования, высокий КПД, малую мощность управления, высокое быстродействие.

Одновременно обеспечиваются широкие возможности в организации управления и высокое быстродействие за счёт использования аналоговой и цифровой микроэлектроники в цепях, формирующих регулирующее воздействие.

В учебной лабораторной установке используется реверсивный управляемый выпрямитель 6RA7013-6DV62, имеющий две группы вентилей, соединённых по схеме трёхфазного мостового выпрямителя. Система импульсно-фазового управления обеспечивает совместное согласованное управление вентильных групп, при котором реализуется непрерывность тока в силовой цепи выпрямителя и плавность перехода ИМ из двигательного режима в тормозной.

Все расчётные соотношения, используемые в дальнейшем при изложении материала, относятся к режиму непрерывных токов.

Система управления *УВ* за счёт обратной связи по напряжению обеспечивает поддержание заданного значения напряжения выпрямителя. Это превращает данный *УВ* в источник регулируемого напряжения, значение выходного напряжения которого не зависит от нагрузки, т.е. источник напряжения бесконечной мощности с собственным внутренним сопротивлением равным нулю. Это необходимо учитывать при расчете характеристик системы *УВ-Д*.

При работе на активную нагрузку регулировочная характеристика *УВ* $E_d=f(\alpha)$ описывается двумя уравнениями:

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha, \quad \text{при } 0 < \alpha < \pi/3;$$
$$E_d = E_{d0} \left(+ \cos \left(\pi/3 + \alpha \right) \right), \quad \text{при } \pi/3 \leq \alpha \leq 2\pi/3. \quad (4.1)$$

Результаты расчёта представить в табличной форме, задавая не менее 7-9 расчетных точек.

Уравнение механической характеристики ИМ при питании от УВ можно записать в виде

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha}{c_M \Phi} - \frac{R_D M}{(c_M \Phi)^2}, \quad (4.2)$$

где $E_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{2\Phi} = 2,34 U_{2\Phi}$, $R_D = R_Y + R_{ПОВ}$. $U_{2\Phi} = 127$ В.

Из выражения (4.2) видно, что для регулирования скорости ИМ необходимо изменять ЭДС УВ путём изменения угла управления α . Это соответствует первой зоне регулирования скорости в системе УВ-Д.

Во второй зоне регулирования ЭДС выпрямителя оставляют постоянной и равной значению $E_{d1} = 220$ В и изменяют поток ИМ. При этом следует учитывать, что пределы изменения потока ИМ ограничены устойчивостью работы двигателя при ослабленном потоке и составляют $(0,7-1,0)\Phi_H$.

Расчет механических характеристик ведут с использованием рекомендаций, изложенных в работе 3. При этом в формулах, приведенных в работе 3, необходимо заменить E_{Γ} на E_d , а $R_{\Gamma d}$ на R_d .

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема проведения экспериментальных исследований системы УВ-Д представлена на рис.4.1. При проведении опыта используются два стенда ЛУ1 и ЛУ2. Нагрузочная машина (синхронный двигатель) питается от преобразователя частоты MOVDRIVE и работает в режиме регулирования момента. Якорь двигателя ИМ подключается к выходу УВ. Обмотка возбуждения ИМ получает питания от неуправляемого выпрямителя В.

Для обеспечения правильной работы установок необходимо строго соблюдать порядок включения агрегатов и проведение эксперимента.

Подготовка к работе

1. Включить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.

2. Установить переключатель S2 на ЛУ2 в положение, соответствующее схеме включения двигателя, т.е. в положение 3 или 4 если работает установка №3 или в положение 5 или 6, если работает установка №1, см. табл. 4.3.

3. Убедиться, что переключатель S1 на ЛУ2 находится в положении ВКЛЮЧЕНО.

4. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2. Подается питание на неуправляемый выпрямитель В, который является источником постоянного напряжения 220В. Приборы на лицевой панели ЛУ2 покажут величину постоянного напряжения $U_C=220В$ и тока возбуждения $I_{ВГ}$ генератора.

5. Поворачивая ручку потенциометра «R2 ($I_{ВГ}$)» в цепи возбуждения генератора на ЛУ2 установить $I_{ВГ}=0$.

Таблица 4.3

Положение переключателя S2 на ЛУ2	ЛУ1	ЛУ3
1	сеть	сеть
2	сеть	Г-Д
3	сеть	УВ-Д
4	Г-Д	УВ-Д
5	УВ-Д	Г-Д
6	УВ-Д	сеть
7	Г-Д	сеть
8	Питание отключено	

4.1. Включение испытуемой машины

1. Переключатели S1, S2, S3 на ЛУ1 поставить в положение 1 «РАБОТА ДВИГАТЕЛЯ ОТ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ».

2. Включить автоматический выключатель АВ1 на установке ЛУ1. Появится ток возбуждения ИМ $I_{ВД}$ и загорится зеленая лампочка на реле защиты РЗ.

3. Вращая ручку потенциометра $R_1 (I_{ВД})$ на ЛУ1 установить номинальный ток возбуждения ИМ.

(В процессе проведения эксперимента ток возбуждения может уменьшаться из-за нагрева обмоток двигателя, поэтому его величину следует контролировать и при необходимости поддерживать на заданном уровне).

4.2. Включение нагрузочной машины

1. Установить тумблер D100 на ПУ в положение ВЫКЛЮЧЕНО (запрет работы контроллера СД).

Внимание остальные тумблеры ПУ не функционируют.

2. Установить потенциометр задания момента СД «Setpoint 1» на ПУ в положение 5. В этом положении значение момента на валу двигателя приблизительно равно нулю, $M_{СД} \approx 0$

3. Убедиться, что переключатель S4 на ЛУ1 находится в положении «ВКЛЮЧЕНО».

4. Включить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ1.

На блоке управления ПЧ MOVIDRIVE в информационном сегменте появятся сигналы в виде чередующихся цифр 8-0-1.

Если ранее тумблер D100 был установлен в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», то в информационном сегменте останется цифра 1. Это означает, что внутреннее тестирование преобразователя прошло успешно и привод готов к работе.


5. Включить пускатель К1 на ЛУ1, для чего нажать зеленую кнопку на его корпусе. Загорится красная лампочка в корпусе пускателя. Якорь двигателя будет подключен к УВ.

При обрыве цепи возбуждения двигателя или по любой другой причине, которая приведет к исчезновению тока возбуждения двигателя, реле защиты РЗ обесточит пускатель К1 и якорь двигателя будет отключен от УВ.


4.3. Включение управляемого выпрямителя

1. Включить пускатель К2 на ЛУ2, для чего нажать зеленую кнопку на его корпусе. Загорится красная лампочка в корпусе пускателя. Силовой трансформатор Тр. 380/220 УВ будет подключен к питающей сети переменного тока.



2. Включить автоматические выключатели АВ2, АВ3. Управляемый выпрямитель УВ подключается к выходной обмотке силового трансформатора Тр. 380/220 В.


После завершения процесса тестирования в окне УВ появится изображение  указывающая на готовность УВ к работе.

3. Установить потенциометр задания напряжения $U_{УВ}$ в нулевое (крайнее левое) положение .


4. Включить тумблер Т («разрешение»/»запрет») в положение «разрешение». Загорится зеленый диод. В окне УВ будет изображение  .

5. Нажимая кнопку  на корпусе УВ, установить в окне  .

6. Нажимая кнопку  на корпусе УВ установить в окне номер параметра, определяющего угол регулирования α . В окне появится изображение  .

7. Нажать на кнопку  и в окне появится начальное значение угла регулирования $\alpha = 120^\circ$, соответствующее минимальному значению выходного напряжения УВ.

8. Вращая ручку потенциометра $U_{УВ}$ можно изменять угол регулирования α в диапазоне $\alpha = 120^\circ \div 30^\circ$ и регулировать выходное напряжение УВ в пределах $0 \div 250$ В. Можно снять регулировочную характеристику управляемого выпрямителя, т.е. зависимость $E_d = f(\alpha)$ при работе ДПТ в режиме холостого хода.

Внимание В случае возникновения ошибки в работе УВ, которая будет обозначена изображением в окне номера ошибки F... и выходом УВ из рабочего режима, следует нажать на кнопку  и произвести сброс ошибки и затем вернуть УВ к нормальной работе. Для этого нужно установить тумблер в положение «запрет». Потенциометр $U_{УВ}$ поставить в положение соответствующее $U_{УВ} = 0$ и повторно установить тумблер Т в положение «разрешения».

4.4. Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока при питании якоря двигателя от УВ

1. Вращая ручку потенциометра $U_{УВ}$ на ЛУ2 установить требуемое значение выходного напряжения УВ. ДПТ разгоняется до скорости холостого хода, соответствующей выходному напряжению УВ.

2. Установить тумблер D100 на ПУ MOVIDRIVE в положение «ВКЛЮЧЕНО». Снимается запрет в работе контроллера. В информационном сегменте появится цифра 6, указывающая на работу СД в режиме регулирования момента.

В окне клавишной панели появится значение скорости ИМ и тока СД.

3. Потенциометром задания момента СД на ПУ «Setpoint 1» можно устанавливать требуемые значения момента и снимать механическую характеристику ИМ, соответствующую заданному выходному напряжению УВ.

4. Изменяя потенциометром « $U_{УВ}$ » величину выходного напряжения УВ, можно снимать механические характеристики ИМ при различных значениях выходного напряжения УВ.

5. Устанавливая потенциометром $RI(I_{ВД})$ на ЛУ1 различные токи возбуждения ИМ ($I_{ВД1} < I_{ВД2} < I_{ВД3} < I_{ВДН} = 0,58 \text{ A}$), можно снять искусственные механические характеристики ДПТ при ослабленном потоке возбуждения, изменяя момент на валу СД.

6. При проведении экспериментов записывать показания приборов $U_{Я}$, $I_{Я}$, $I_{ВД}$ и скорость испытуемой машины n .

7. Обработку опытных данных проводить следуя указаниям раздела 6.

4.5. Экспериментальные исследования регулировочных свойств привода:

1. Зависимость $P_{ИМ}=f(\omega)$ и $M_{ИМ}=f(\omega)$ снимают при токе $I_{ЯН}$ (см.п.1.3 программы работы), который измеряется прибором $I_{Я}$ и устанавливается с помощью НМ.

а) Регулирование скорости ИМ изменением подводимого к якору двигателя напряжения (I зона регулирования) выполняют при $I_{ВДН}=const$. Опыт начинают с установки минимальной скорости ИМ $\omega_{ИМ} \leq 0,1 \omega_{Н}$ и задания с помощью НМ значения тока $I_{ЯН}$. Затем записывают показания приборов $U_{Я}$, $I_{ВД}$ и скорость ИМ. Эксперимент продолжают, устанавливая 5- 6 значений скорости в интервале скоростей, ограниченном естественной характеристикой ИМ.

б) Регулирование скорости ослаблением потока возбуждения ИМ выполняют при сохранении неизменным достигнутого ранее номинального значения напряжения на двигателе. С помощью реостата $RI(I_{ВД})$ устанавливают значение тока возбуждения $I_{ВД} < I_{ВДН}$ (3-4 значения) и посредством НМ поддерживают ток в цепи якоря ИМ равным $I_{ЯН}$. Для каждой заданной точки записывают показания приборов $U_{Я}$, $I_{ВД}$ и скорость ИМ.

2. Зависимости $M_{ИМ}=f(I_{Я})$ начинают снимать с режима идеального холостого хода, соответствующего заданным значениям скорости ω_1 и ω_2 при $I_{ВД}=I_{ВДН}$ (см.п.1.4 программы работы). Для этого по прибору $U_{Я}$ в режиме идеального холостого хода устанавливают с помощью потенциометра $U_{УВ}$ расчётное значение $E_{д1}=C\Phi_H\omega_1$, которое в дальнейшем остаётся неизменным. Затем с помощью НМ задаётся некоторое значение тока в якоре ИМ, вызывающее уменьшение установленной скорости, и ослаблением потока ИМ восстанавливают первоначальное значение скорости. В дальнейшем, увеличивая ток нагрузки ИМ и поддерживая на прежнем уровне значение скорости, записывают показания приборов $I_{Я}$, $U_{Я}$, $I_{ВД}$ и скорость ИМ.

Характеристику снимают в допустимых пределах изменения тока якоря испытуемой машины, устанавливая не менее пяти значений тока.

Результаты экспериментальных исследований и обработки полученных данных представляют в виде таблиц. При обработке опытных данных руководствоваться рекомендациями раздела 6.

4.6. Отключение установки

1. Установить ручку потенциометра регулирования момента СД «Setpoint 1» в среднее положение 5.

2. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение ОТКЛЮЧЕНО. В информационном сегменте БУ загорится цифра 1 (запрет работы СД).

3. Установить потенциометр задания напряжения УВ на ЛУ2 в нулевое положение, $U_{УВ}=0$.

4. Установить тумблер Т на ЛУ2 в положение «запрет». Загорится желтый диод и в окне УВ появится изображение $\alpha=120^{\circ}$.

5. Выключить автоматические выключатели АВ2 и АВ3 на ЛУ2. Управляемый выпрямитель будет отключен от сети.

6. Выключить пускатель К2 на ЛУ2. Для этого нажать на красную кнопку «ОТКЛ.» на его корпусе. Силовой трансформатор Тр 380/220V будет обесточен.

7. Нажать кнопку «ОТКЛ.» (красная кнопка на корпусе пускателя (К1) (ЛУ1). Якорь двигателя будет отключен от УВ.

8. Выключить автоматический выключатель АВ1 (ЛУ1). Будет отключена обмотка возбуждения испытуемого двигателя. Погаснет зеленая лампочка на реле защиты РЗ.

9. Выключить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ1. Отключается блок управления MOVIDRIVE.

10. Выключить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ2. Будет отключен неуправляемый выпрямитель В. Этот пункт и пункт 11 следует выполнить только после завершения работ на всех установках.

11. Выключить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отчет должен содержать:

- паспортные данные машин;
- расчеты характеристик системы УВ-Д и расчёты по обработке результатов экспериментальных исследований;
- рисунки с расчетными и экспериментальными характеристиками исследуемой системы.

Все теоретические и экспериментальные характеристики представляют на четырёх рисунках:

1. $E_d=f(\alpha)$ для активной нагрузки;
2. расчетные и экспериментальные механические характеристики $\omega(M)$;
3. $P_{ИМ}=f(\omega)$ и $M_{ИМ}=f(\omega)$;
4. $M_{ИМ}=f(I_{Я})$ для двух значений скорости ИМ ω_1 и ω_2 .

Пояснить характер изменения момента и мощности для двух способов регулирования скорости, а также вид характеристик $M=f(I_{Я})$ при регулировании скорости ИМ ослаблением потока.

Пояснить техническую и экономическую целесообразность использования двух способов регулирования скорости и возможных режимов работы.

Пояснить целесообразность регулирования ЭДС УВ при номинальном потоке двигателя и потока двигателя только при номинальной ЭДС УВ.

Нагрузочная машина_ DFY 90 MB/TH SM30

$U_H = 380 \text{ В}$, $n_H = 3000 \text{ об/мин}$, $M_H = 12 \text{ Нм}$,
 $I_{\text{ном}} = 7,9 \text{ А}$, $\lambda_1 = 3$, $f_{\text{ном}} = 150 \text{ Гц}$.

Преобразователь частоты MOVIDRIVE MDX61B0040 - 5A3.

$U_c = 3 \times 380 \text{ В}$, 50 Гц , $P_H = 6,6 \text{ кВт}$, $I_H = 9,5 \text{ А}$, $I_{\text{max}} = 14.25 \text{ А}$

Таблица 5.1

Состояние схемы в зависимости от положения переключателя S2

Положение переключателя S2	Состояние схемы
1	Установка обесточена
2	Исследование механических характеристик
3	Выключен пускатель К
4	Источник постоянного тока (ИПТ) включен в режиме холостого хода
5	Источник постоянного тока (ИПТ) подключен к статорной обмотке АД

Таблица 5.2

Положение переключателя S3	Величина добавочного сопротивления в цепи ротора
1	$R_{\text{доб1}} = R_1 + R_2 + R_3 = 10,5 \text{ Ом}$
2	$R_{\text{доб2}} = R_1 + R_2 = 6 \text{ Ом}$
3	$R_{\text{доб3}} = R_1 = 2,5 \text{ Ом}$
4	$R_{\text{доб4}} = 0$

Таблица 5.3

Механические потери агрегата ЛУ5									
ω	рад/с	10	20	40	60	80	100	120	140
M_0	Нм	1.0	1.0	1.0	1.0	1.05	1.15	1.3	1.65

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рассчитать и построить в интервале скоростей $-\omega_0 < \omega < 1,5\omega_0$ следующие механические характеристики:

1.1. Естественную.

1.2. Искусственные при двух добавочных сопротивлениях в цепи ротора.

1.3. Динамического торможения с независимым возбуждением и добавочными сопротивлениями, принятыми в п.1.2, при двух значениях постоянного тока в цепи статора. Характеристики рассчитываются в пределах изменения скорости $\pm \omega_0$.

2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

Снять следующие механические характеристики:

2.1. Естественную.

2.2. Искусственные при двух добавочных сопротивлениях в цепи ротора, принятых в п.1.2.

2.3. Динамического торможения для условий, принятых в п.1.3.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1. Расчёт естественной механической характеристики выполняются по формуле (5.1) с учётом влияния на электромагнитный момент сопротивления статора:

$$M = \frac{2M_K(1 + \varepsilon)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2\varepsilon}, \quad s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (5.1)$$

Максимальный момент, соответствующий критическому скольжению, (критический момент) определяется по формуле

$$M_K = \pm \frac{mU_1^2}{2\omega_0 \sqrt{R_1^2 + x_K^2 \pm R_1}}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi f}{p}, \quad (5.2)$$

где m - число фаз обмотки статора; U_1 - напряжение фазы статора; ω_0 - скорость идеального холостого хода; R_1 - активное сопротивление фазы статора.

В выражении (5.2) знак «+» относится к критическому моменту в двигательном режиме, а «-» в режиме рекуперативного торможения.

Реактивное сопротивление ИМ в режиме короткого замыкания

$$x_K = x_1 + x_2'$$

где x_1 - реактивное сопротивление фазы статора, $x_2' = \kappa_e^2 x_2$ - приведённое реактивное сопротивление фазы ротора, κ_e - коэффициент приведения сопротивлений, равный коэффициенту трансформации напряжения, приближённо определяется из выражения

$$\kappa_e \approx 0,95 \frac{U_H}{E_{PH}}$$

где E_{PH} - ЭДС, наводимая в заторможенном роторе при разомкнутой обмотке ротора и номинальном линейном напряжении статора U_H .

Критическое скольжение, соответствующие максимальному моменту, рассчитывается по формуле

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}} \quad (5.3)$$

где $R_2' = \kappa_e^2 R_2$ - приведённое активное сопротивление фазы ротора.

Коэффициент, учитывающий активное сопротивление обмотки статора, находят из выражения

$$\varepsilon = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}}. \quad (5.4)$$

Для построения естественной механической характеристики 1 (рис. 5.2) в указанных в п.1.1 скоростных пределах следует при расчёте момента по формуле (5.1) задавать не менее 15 значений скольжения S .

Наименьшая дискретность задания скольжения на уровне 0,1 должна выбираться в области критического скольжения ($S_K \approx 0,5$), где кривизна механической характеристики наибольшая.

В расчёте, который целесообразно представить в виде табл. 5.4, должны быть отражены наиболее характерные точки естественной механической характеристики, соответствующие скольжениям: $-0,5$, $-S_H$, $+S_H$, $-S_K$, $+S_K$, $+1$, $+2$.

Для перехода от скольжения S к угловой скорости ω , что необходимо при построении зависимости $\omega=f(M)$, следует пользоваться формулой $\omega=\omega_0(I-S)$.

Таблица 5.4

Расчет механических характеристик асинхронного двигателя

Естественная характеристика			Искусственная характеристика			
S	M	ω	S_E	$M_E = M_H$	$S = S_E \frac{R_2 + R_{доб}}{R_2}$	ω_{II}
	Нм	рад/с		Нм		рад/с

3.2. Расчёт искусственной механической характеристики при добавочном активном сопротивлении в цепи ротора выполняют по формуле

$$S_{II} = S_E \frac{R_2 + R_{доб}}{R_2}, \quad (5.5)$$

вытекающей из пропорциональной зависимости критического скольжения от активного сопротивления вторичной цепи (5.3) при неизменном моменте двигателя. Вычисления S_{II} ведут в пределах от $-0,5$ до $+2$, задаваясь последовательно рядом значений момента M на линейном участке естественной механической характеристики и подставляя в (5.5) соответствующие им скольжения S_e . Для удобства расчётов используют табл. 5.4.

3.3. Расчёт характеристик динамического торможения выполняют по формуле

$$M = \frac{3M_{кГ}}{\frac{\nu}{\nu_k} + \frac{\nu_k}{\nu}},$$

где $\nu = \omega/\omega_0$.

Максимальный момент при торможении определяется выражением

$$M_{KT} = \frac{mI_c^2 x_\mu^2}{2\omega_0 (\mu + x'_2)}$$

Здесь расчётное значение переменного тока I_C , эквивалентное по создаваемой им МДС статора заданному постоянному току $I_{ДТ}$, составит $I_C = 0,816 I_{ДТ}$.

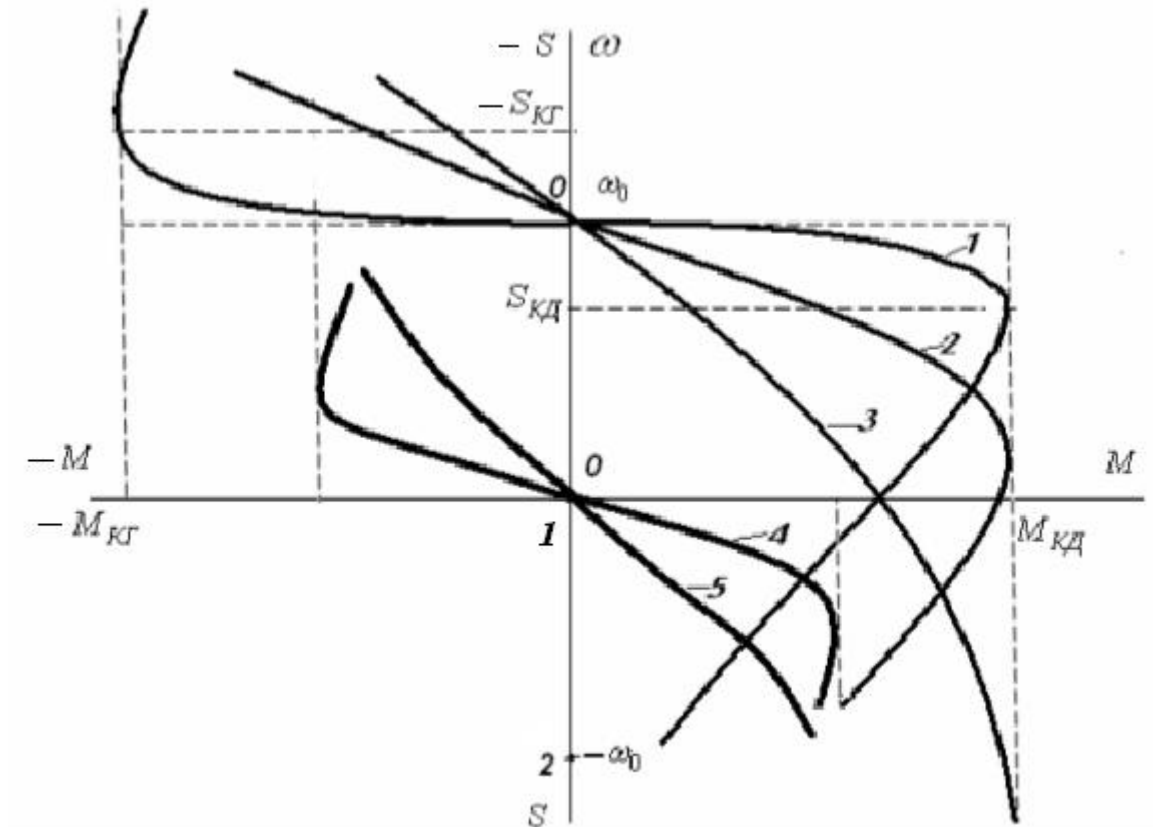


Рис. 5.2. Механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором

Коэффициент 0,816 определён применительно к схеме соединения обмоток статора в звезду и подключении источника постоянного тока к двум фазам.

Индуктивное сопротивление контура намагничивания находится по начальной части характеристики холостого хода с использованием соотношения

$$x_{\mu} = \frac{U_1}{I_0 \sin \varphi_0},$$

где I_0 - ток холостого хода обмотки статора ИМ, $\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0}$.

Относительную скорость, соответствующую максимальному тормозному моменту машины находят из выражения

$$v_k = \frac{(R_2 + R_{\text{доб}})K_e^2}{x_{\mu} + x_2'}$$

Задаваясь рядом значений v с интервалом 0,1, рассчитывают момент M и строят зависимости 4, 5 (см. рис.5.2), соответствующие разным значениям добавочного сопротивления или тока возбуждения ИМ.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема лабораторной установки ЛУ5 представлена на рис. 5.1 и состоит из преобразователя частоты MOVIDRIVE, нагрузочной машины СД и испытуемого двигателя АД.

Для уменьшения тока в статорной обмотке питание двигателя АД осуществляется от понижающего трехфазного трансформатора ТР1 380/170В.

Преобразователь частоты построен по схеме автономного инвертора напряжения на транзисторах с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения и обеспечивает регулирование частоты и величины выходного напряжения. Микропроцессорная система управления преобразователя позволяет устанавливать различные режимы работы СД. На ЛУ5 СД работает в режиме регулирования скорости, т.е. обеспечивает постоянную скорость в широком диапазоне изменения момента. Величина и направление скорости вращения СД устанавливается потенциометром «Setpoint 1» на ПУ. В окне клавишной панели КП преобразователя MOVIDRIVE отображаются ток и скорость СД. Для обеспечения нормальной работы ЛУ5 необходимо строго соблюдать порядок включения и проведения эксперимента.

4.1. Подготовка к работе

1. Включить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.
2. Установить переключатель S2 в положение 2 (исследование механических характеристик), см. данные табл. 5.1.
3. Установить переключатель S3 в положение 1, см. данные табл. 5.2.

4.2. Включение нагрузочной машины

1. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение ВЫКЛЮЧЕНО (запрет работы СД).

ВНИМАНИЕ! Остальные тумблеры ПУ не функционируют!

2. Установить потенциометр задания момента СД «Setpoint 1» на ПУ в положение 5.

3. Убедиться, что переключатель S1 на ЛУ5 находится в положении ВКЛЮЧЕНО.

4. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ5.

На блоке управления ПЧ MOVIDRIVE в информационном сегменте появятся сигналы в виде чередующихся цифр 8-0-1.

Если ранее тумблер DI00 был установлен в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», то в информационном сегменте останется цифра 1. Это означает, что внутреннее тестирование преобразователя прошло успешно и привод готов к работе.

5. Установить тумблер DI00 в положение «Включено». Снимается запрет работы СД и в информационном сегменте загорается цифра 5, указывающая на работу СД в режиме регулирования скорости. В окне клавишной панели появляются начальные значения скорости и тока СД.

4.3. Включение испытуемой машины и проведение опытов

1. Включить пускатель *K* на ЛУ5, для чего нажать зеленую кнопку на его корпусе. Загорится красная лампочка в корпусе пускателя. Происходит пуск двигателя при введенном добавочном сопротивлении в цепи ротора, вольтметр V_C и амперметр I_C покажут линейное напряжение и линейный ток статора АД.

2. Переключателем S3 (см. табл. 5.2) установить требуемое значение добавочного сопротивления в цепи ротора.

3. Потенциометром задания момента СД «Setpoint 1» на ПУ можно изменять величину момента на валу испытуемой машины и снимать механические характеристики АД с фазным ротором.

При снятии естественной механической характеристики АД необходимо потенциометром задания момента СД «Setpoint 1» на ПУ установить режим холостого хода АД. Установить переключатель S3 в положение 4 при работающем АД. Затем, изменяя положение ручки потенциометра «Setpoint 1» на ПУ по часовой или против часовой стрелки от первоначального положения снять естественную механическую характеристику в диапазоне скоростей $-\omega_0 \div 1,5\omega_0$, записывая показания приборов U_C , I_C , I_{CD} и значение скорости СД. По завершении эксперимента АД следует оставить в режиме холостого хода.

Для снятия искусственных механических характеристик АД переключателем S3 следует установить требуемые значения сопротивления цепи ротора (см. табл. 5.2). Затем, изменяя положение ручки потенциометра «Setpoint 1» на ПУ, снять искусственные механические характеристики двигателя в диапазоне скоростей $-\omega_0 \div 1,5\omega_0$, записывая показания приборов U_C , I_C , $I_{сд}$ и значение скорости СД. По завершении эксперимента АД следует оставить в режиме холостого хода и повторить эксперимент при других значениях добавочных сопротивлений в цепи ротора.

Для снятия механической характеристики АД в режиме динамического торможения необходимо отключить испытуемую машину от сети. Для этого следует нажать красную кнопку на корпусе пускателя К. Погаснет красная лампочка в корпусе пускателя. Установить потенциометр задания момента СД «Setpoint 1» в положение 5. АД будет работать на минимальной скорости.

Установить переключатель S2 в положение 5 (таблица 5.1). Обмотка статора машины будет подключена к источнику постоянного тока ИПТ.

Установить потенциометром $R_{дт}(I_{дт})$ на ЛУ5 величину тока динамического торможения и переключателем S3 требуемое значение сопротивлений в цепи ротора (таблица 5.2). Поворачивая ручку потенциометра «Setpoint 1» на ПУ относительно среднего положения 5 вправо или влево можно изменять момент на валу АД и снимать механические характеристики.

Таблица 5.5

Режимы	U_C	I_C	$I_{дт}$	$I_{сд}$	n	$M_{сд}$	M_0	M	ω
работы	\bar{B}	A	A	A	$\frac{OБ}{МИН}$	Нм	Нм	Нм	$\frac{рад}{с}$

Примечание: в процессе выполнения эксперимента установку различных значений добавочных сопротивлений в цепи ротора АД переключателем S3 можно делать при работающем двигателе.

Показания приборов и результаты обработки опытных данных в каждом эксперименте следует представить в виде табл. 5.5.

При обработке опытных данных руководствоваться рекомендациями, изложенными в разделе 6.6.

4.4. Отключение установки

1. Установить ручку потенциометра регулировки момента СД «Setpoint 1» в среднее положение (цифра 5).
2. Нажать кнопку «Откл» (красная кнопка) на корпусе пускателя К (ЛУ5). Асинхронный двигатель будет отключен от сети.
3. Установить тумблер DI00 на ПУ в положение ОТКЛЮЧЕНО (зеленая лампочка на ПУ погаснет). В информационном сегменте загорится цифра 1 (запрет работы СД).
4. Выключить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ5.
5. Выключить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории после завершения работ на всех установках.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отчет должен содержать:

- принципиальную электрическую схему установки;
- паспортные данные электрических машин и другого оборудования используемого в данной работе;
- расчёты механических характеристик ИМ и данные обработки результатов экспериментальных исследований.

Все теоретические и экспериментальные характеристики размещают на двух рисунках: на первом в координатах ω - M , на втором в координатах S - M .

На основе полученных данных пояснить техническую и экономическую целесообразность использования разных механических характеристик и режимов работы электропривода.

Обосновать причины несовпадения расчетных и экспериментальных характеристик с учётом реальных условий работы.

Пояснить взаимодействие машин ИМ - НМ, работающих на один вал, при различных режимах работы.

В отчёте дать пояснения относительно различия критических моментов в двигательном и генераторном режимах ($M_{KT} \neq M_{KD}$), а также ответить на вопрос, почему ток в цепи статора при $\omega = \omega_0$ не равен нулю и не зависит от добавочного сопротивления в цепи ротора.

Пояснить, почему механические характеристики снимаются при пониженном напряжении и почему при определении электромагнитного момента ИМ необходимо учитывать постоянные потери в агрегате.

РАБОТА 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Работа выполняется на лабораторной установке ЛУ6, принципиальная схема приведена на рис. 6.1

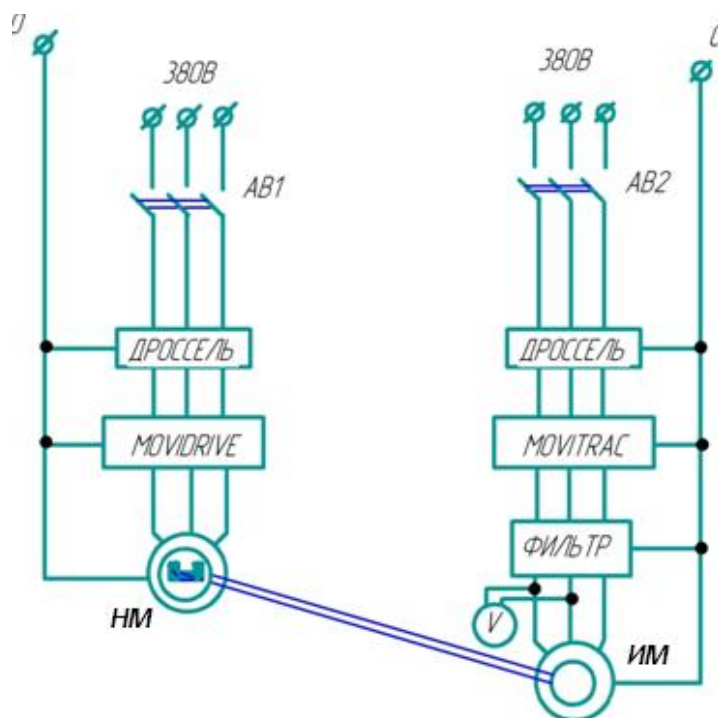


Рис. 6.1. Схема установки для исследования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Паспортные данные оборудования и двигателей, исследуемых в работе

Испытуемый двигатель DT80K4

$P_{\text{ном}} = 0,55 \text{ кВт,}$	380/220В,	50Гц,	1,75/3,05А
$n_{\text{ном}} = 1360 \text{ об/мин,}$	$\cos\varphi = 0,72,$	$\eta_{\text{м}}=70,7\%$	$P=2,$
$M_{\text{ном}}=3,86\text{Нм,}$	$\lambda_{\text{м}} = 2, 2$	$\lambda_{\text{п}} = 2,1,$	$\lambda_{\text{л}} = 3,4,$
Параметры	$R_1 = 19,2 \text{ Ом,}$	$X_1 = 20,3 \text{ Ом}$	$X_{\mu}=198 \text{ Ом}$
схемы замещения	$R_2' = 12.24 \text{ Ом,}$	$x_2' = 12.4 \text{ Ом,}$	$R_{\mu}= 3,1 \text{ Ом}$

(Параметры схемы замещения приведены к первичной цепи и даны для рабочей температуры машины)

Нагрузочная машина CFM 71 S

$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В,}$	$M_{\text{ном}} = 5,0 \text{ Нм,}$	$n_{\text{ном}} = 2000 \text{ об/мин,}$
$I_{\text{ном}} = 2,2\text{А,}$	$I_{\text{max}} = 8,8\text{А,}$	$M_{\text{max}} = 16,5 \text{ Нм.}$

Преобразователь частоты Movitrac MCO7B0015-5A3

$P_{НОМ}=1,5\text{кВт}$, $U_{НОМ}=3\times 380\text{ В}$, 50 Гц , $I_{НОМ}=4,0\text{ А}$, $I_{\text{max}}=6,0\text{А}$.

Преобразователь частоты MOVIDRIVE MDX61B0022 - 5A3.

$P_{НОМ} = 2,2\text{ кВт}$, $U_{НОМ} = 3\times 380\text{ В}$, 50 Гц , $I_{НОМ} = 5,5\text{А}$, $I_{\text{max}} = 8,25\text{А}$

Таблица 6.1

Механические потери агрегата ЛУ6														
ω	Рад/с	10	20	40	60	80	100	120	150	180	200	220	240	290
M_0	Нм	0,3	0,35	0,4	0,42	0,43	0,44	0,46	0,5	0,6	0,73	0,85	1,0	1,4

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1.1. Ознакомиться с паспортными данными двигателя, нагрузочной машины, преобразователей частоты и схемой установки.

1.2. Рассчитать и построить механические характеристики $\omega = \varphi(M)$ асинхронного двигателя в двух зонах регулирования скорости. В первой зоне при $f_1 < f_H$ реализуется закон частотного управления $U_1/f_1 = \text{const}$ с вольтодобавкой. Во второй зоне регулирования при $f_1 > f_H$ условием работы электропривода является $U_1 = U_{1H}$.

Характеристики рассчитываются для двух-трех значений частот в каждой зоне регулирования.

1.3. Рассчитать и построить характеристики $M_{KP} = \varphi(f_1)$, $M_{\text{дл.дон}} = \varphi(f_1)$, $P_{\text{дл.дон}} = \varphi(f_1)$ для двух зон регулирования скорости.

2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ

2.1. Снять зависимости $U_1 = \varphi(f_1)$ для двух зон регулирования скорости.

2.2. Определить опытным путем характеристики для условий п.1.2 и 1.3

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК

Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением частоты питающего напряжения относится к категории наиболее экономичных способов управления. При этом имеется возможность изменять частоту, как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения по отношению к номинальному значению $f_H = 50 \text{ Гц}$. Тем самым обеспечивается двухзонное регулирование скорости. В первой зоне от f_{MIN} до f_H обычно применяется пропорциональный закон регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$. Закон частотного регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ получен при допущении $R_1 \ll X_k$ и теоретически обеспечивает постоянство критического момента (рис.6.3, сплошные линии). Однако это условие справедливо лишь для двигателей средней и большой мощности.

В двигателях малой мощности имеет место значительное влияние R_1 на вид механических характеристик по причине соизмеримости значений R_1 и X_k (рис 6.2, штриховые линии). По мере снижения частоты и напряжения возрастает падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора, уменьшается магнитный поток, критический момент двигателя $M_{\text{кр}}$ и жесткость механических характеристик. Для поддержания в первой зоне постоянной перегрузочной способности λ_{MI} при $M_C = M_H$ вводится корректировка закона регулирования в сторону увеличения напряжения питания на низких частотах. Наличие корректировки сопровождается возрастанием тока намагничивания, значение которого может приближаться к номинальному. Последнее обстоятельство не позволяет использовать двигатель при номинальной нагрузке на пониженных частотах в продолжительном режиме работы из-за повышенного нагрева машины. На практике корректировка закона регулирования проводится с учетом допустимого увеличения тока намагничивания до значения не превышающего $0,5I_H$.

Во второй зоне регулирования значение максимальной частоты определяется механической прочностью асинхронного двигателя и допустимым

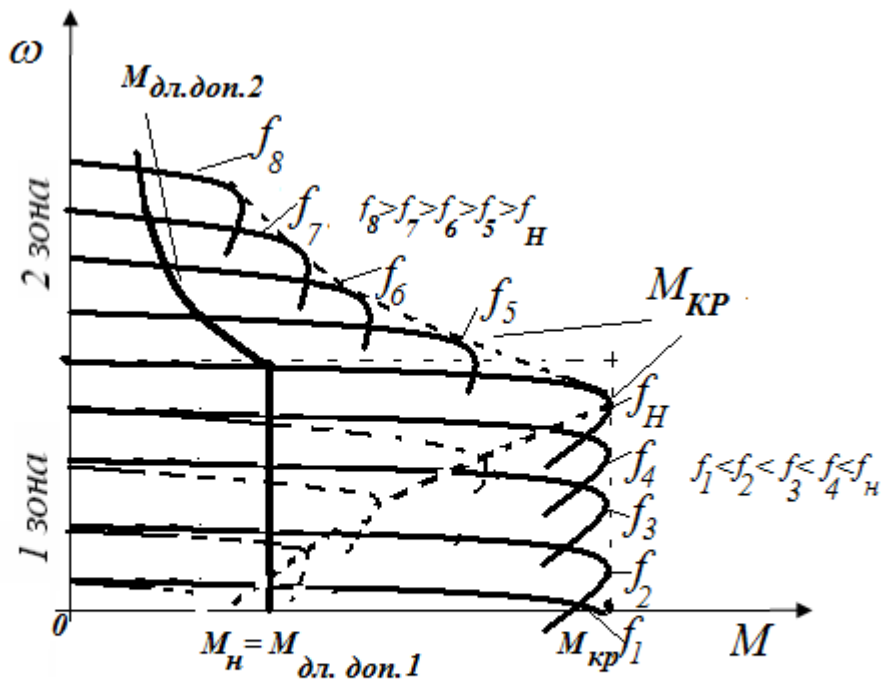


Рис.6.2. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании

уровнем потерь. Изменение частоты во второй зоне осуществляется при постоянстве напряжения на статоре, равного номинальному значению. В этом случае с увеличением частоты происходит уменьшение критического момента, так как критический момент обратно пропорционален квадрату частоты питающего напряжения.

Влияние сопротивления R_l на механические характеристики двигателя во второй зоне менее выражено. Механические характеристики ИМ без учета R_l (сплошные линии) и с учетом R_l (пунктирные линии) показаны на рис.6.2.

На рис.6.3 показаны зависимости $U_1 = \varphi(f_1)$ для двух зон регулирования скорости. Линия 1 соответствует пропорциональному закону регулирования, линия 2 - закону регулирования напряжения с коррекцией.

Расчет механических характеристик для первой зоны ($f_1 < f_H$) и второй зоны ($f_1 > f_H$) ведется в соответствии с п.1.2 программы работы с использованием известных выражений

$$M = \frac{2M_{KP}(1 + \varepsilon)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2\varepsilon}, \quad (6.1)$$

где $M_{KP} = \pm \frac{mU_1^2}{2\alpha\omega_{OH}(\sqrt{R_1^2 + (\alpha \cdot x_K)^2} \pm R_1)}$ - критический момент асинхронного двигателя при частотном управлении, $a = f_1/f_{1H}$ - относительная частота напряжения статора, $\varepsilon = R_1/\sqrt{R_1^2 + (ax_K)^2}$, $x_K = x_1 + x_2'$, $s_K = R_2'/\sqrt{R_1^2 + (ax_K)^2}$, $\omega_{OH} = 2\pi f_H/p$, $\omega_0 = 2\pi f_1/p$.

Фазное напряжение U_1 должно соответствовать характеристике 2 (рис. 6.3) и определяться по формуле:

$$U_1 = (U_{1H} - U_{II})a + U_{II}, \quad (6.2)$$

где U_{II} выбирается в пределах $(0, 1-0,2)U_{1H}$.

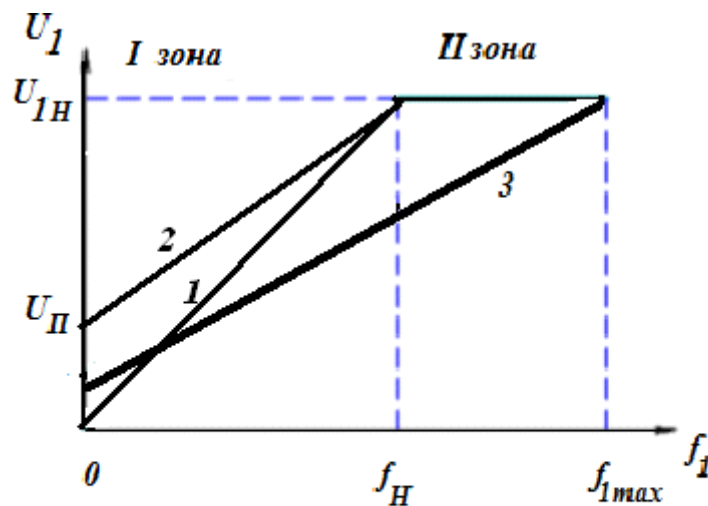


Рис. 6.3. Характеристики $U_1 = \varphi(f_1)$ для двух законов частотного управления

Результаты расчетов значений ω_0 , x_K , s_K , ε , M_{KP} для заданных частот f_1 сводятся в табл. 6.2.

Таблица 6.2

f_1	U_1	ω_0	x_K	s_K	M_{KP}
Гц	В	рад/с	Ом		Н·м

При построении механических характеристик $\omega = f(M)$ следует воспользоваться формулой $\omega = \omega_0(1 - s)$.

Результаты расчета механических характеристик для двух зон регулирования представить в виде таблиц и графиков.

Расчет характеристик $M_{кр} = \varphi(f_1)$, $M_{\text{дл.доп}} = \varphi(f_1)$, $P_{\text{дл.доп}} = \varphi(f_1)$.

В процессе регулирования скорости асинхронного двигателя возникает вопрос о характере изменения критического момента $M_{кр}$ и длительно допустимых значениях момента $M_{\text{дл.доп}}$ и мощности $P_{\text{дл.доп}}$. При рассмотрении этих вопросов будем придерживаться следующих понятий:

- длительно-допустимый момент $M_{\text{дл.доп}}$, это такой момент, работая с которым продолжительное время асинхронный двигатель не перегревается. При этом греющие потери в двигателе не превосходят потерь номинальных ;

- перегрузочная способность двигателя $\lambda_M = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{дл.доп}}}$.

В первой зоне расчет характеристик $M_{кр1} = \varphi(f_1)$, $M_{\text{дл.доп.1}} = \varphi(f_1)$, $P_{\text{дл.доп.1}} = \varphi(f_1)$ при допущении $R_l \ll x_K$ проводится с учетом условия:

$$M_{\text{max}} = M_{кр1} = \text{const}, \quad M_{\text{дл.доп.1}} = M_H = \frac{M_{кр1}}{\lambda_{M1}} = \text{const}, \quad (6.3)$$

где - λ_{M1} - коэффициент перегрузки ИМ по моменту в первой зоне; $M_{кр1}$, M_H - значения моментов на номинальной частоте $f_1 = 50 \text{Гц}$.

Электромагнитная мощность ИМ может быть рассчитана из выражения

$$P_{\text{дл.доп.1}} = M_H \omega_0 = \frac{2\pi}{p} M_H f_1. \quad (6.4)$$

Работа во второй зоне регулирования скорости при $U_1 = \text{const}$ связана с уменьшением потока намагничивания Φ_μ обратно пропорционально частоте и, соответственно, скорости

$$\Phi_\mu^* = \frac{\Phi_{\mu \text{ ном}}}{\alpha}, \quad \alpha = f_1 / f_{1 \text{ ном}}.$$

Для полного использования двигателя по нагреву во второй зоне регулирования скорости необходимо, чтобы потери мощности (в первом приближении) оставались постоянными и равными номинальным потерям, т.е.

$$3(I_2' / \alpha)^2 R_2' = \Delta P_{\text{ном}}.$$

Отсюда следует, что $M_{дл.доп.2}$ уменьшается обратно пропорционально скорости $M_{дл.доп.2} = M_H / \alpha$.

При $R_1 \ll X'_k$ критический момент асинхронного двигателя во второй зоне регулирования скорости при $U_1 = const$ будет уменьшаться обратно пропорционально квадрату частоты (скорости вращения)

$$M_{KP2} \cong \pm \frac{mU_1^2 p}{(x_1 + x_2')^2 \alpha^2} \approx \frac{M_{KP1}}{\alpha^2}. \quad (6.5)$$

Перегрузочная способность двигателя по моменту

$$\lambda_{M2} = \frac{M_{кр.2}}{M_{дл.доп.2}} = \frac{M_{кр.1} / \alpha^2}{M_H / \alpha} = \frac{\lambda_{M1}}{\alpha}. \quad (6.6)$$

Как следует из (6.6), λ_{M2} уменьшается с ростом частоты (а значит и заданной скорости) и при достижении значения $f_1 = f_{1H} \lambda_{M1}$ асинхронный двигатель перестает обладать перегрузочной способностью.

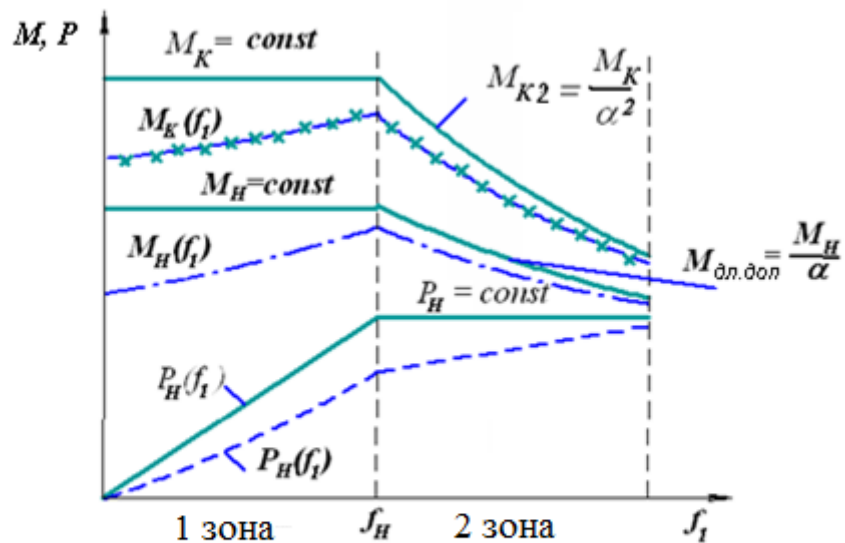


Рис. 6.4. Зависимости моментов асинхронного двигателя от частоты питающих напряжений

Длительно допустимая мощность во второй зоне регулирования остается постоянной, т.к.

$$P_{дл.доп.2} = M_{дл.доп.2} \times \omega_{0H} \alpha = \frac{M_H}{\alpha} \omega_{0H} \alpha = M_H \omega_{0H} = P_H \quad (6.7)$$

Длительно допустимый момент может быть вычислен с помощью коэффициента перегрузки λ_{M2} (6.6)

$$M_{\text{дл.доп.2}} = \frac{M_{\text{КР.2}}}{\lambda_{\text{М2}}} = \frac{M_{\text{КР.2}\alpha}}{\lambda_{\text{М1}}}. \quad (6.8)$$

Результаты расчета характеристик помещаются в табл. 6.3.

Таблица 6.3

f_1	$M_{\text{КР}}$	$M_{\text{дл.доп.}}$	$P_{\text{дл.доп.}}$
Гц	Н·м	Н·м	Вт

Рассмотренные выше зависимости для двух зон регулирования приведены на рис.6.4, сплошные линии. Условие соизмеримости R_l и x_k , характерное для двигателей малой мощности, приводит к изменению положения указанных выше зависимостей, рис.6.4, пунктирные линии.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема лабораторной установки ЛУ6 представлена на рис. 6.1 и состоит из преобразователя частоты MOVIDRIVE, питающего статор нагрузочной машины СД и преобразователя частоты MOVITRAC осуществляющего питание статорной обмотки испытуемого асинхронного двигателя АД с короткозамкнутым ротором. Преобразователь частоты построен по схеме автономного инвертора напряжения на транзисторах с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения и обеспечивает регулирование частоты и величины выходного напряжения. Микропроцессорная система управления преобразователей позволяет устанавливать различные законы регулирования частоты и выходного напряжения и проводить исследования механических характеристик АД в разных зонах регулирования. СД при питании от MOVIDRIVE работает в режиме регулирования скорости, т.е. обеспечивает постоянную скорость в широком диапазоне изменения момента. Величина и направление скорости вращения СД устанавливает потенциометр А11 на ПУ МС07. В окне клавишной панели КП преобразователя MOVIDRIVE отображаются ток и скорость СД. Для обеспечения нормальной работы ЛУ6 необходимо строго соблюдать порядок включения и проведения эксперимента изложенный ниже.

Перед началом работы включить автоматические выключатели АВ1, АВ2, АВ3 в распределительном щите лаборатории.

4.1. Включение нагрузочной машины

1. Установить тумблер DI01 на ПУ МС07 в положение ВЫКЛЮЧЕНО-OFF (запрет работы СД).

ВНИМАНИЕ! Остальные тумблеры ПУ не функционируют!


2. Установить потенциометр А11 задания момента СД на ПУ СМ07 в среднее положение.

3. Включить автоматический выключатель АВ1 на ЛУ6. Подается питание преобразователю частоты MOVIDRIVE. На блоке управления MOVIDRIVE в информационном сегменте появятся сигналы в виде чередующихся цифр 8-0-1.

Если ранее тумблер DI01 был установлен в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», то в информационном сегменте останется цифра 1.

Это означает, что внутреннее тестирование преобразователя прошло успешно и привод готов к работе.

4.2. Включение испытуемой машины

1. Включить автоматический выключатель АВ2 на ЛУ6. Подается питание преобразователю частоты MOVITRAC. После тестирования в окне клавишной панели КП мигает «STOP» и мигает сектор 

Привод подготовлен к работе.

2. Установить на КП MOVITRAC потенциометр регулирования скорости АД в крайнее левое положение ($n=0$).

3. Нажать на зеленую кнопку «RUN» на КП. АД подключается к преобразователю частоты MOVITRAC. В окне КП MOVITRAC горит зеленая лампочка.

4. Нажимая на кнопку , установить в окне КП параметр F0,0.

5. Поворачивая ручку потенциометра на КП по часовой стрелке установить требуемое значение частоты выходного напряжения ПЧ, например 50Гц. В окне КП появляется значение установленной частоты F50,0. Вольтметр покажет линейное напряжение на статоре АД.

Асинхронный двигатель разгоняется до скорости, соответствующей установленной частоте выходного напряжения, которая определяется выражением

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} = 30f_1 \text{ об/мин,}$$

например, при $f=50\text{Гц}$, $n_0 = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ об/мин}$.

Указанное значение скорости будет отражено в окне КП преобразователя MOVIDRIVE.

6. Нажать красную кнопку «STOP» на КП преобразователя MOVITRAC. Асинхронный двигатель останавливается. В окне КП мигает «STOP».

7. Включить тумблер DI01 на ПУ MC07 преобразователя MOVIDRIVE (положение ON). На ПУ загорится красная лампочка. В информационном сегменте MOVIDRIVE появится цифра 5 (режим регулирования скорости).

8. Вращая потенциометр A11 на ПУ преобразователя MOVIDRIVE устанавливают значение синхронной скорости АД, определяемой ранее, см. п.5. В окне КП преобразователя MOVIDRIVE появятся значения синхронной скорости, например $\approx 1500 \text{ об./мин}$.

9. Поставить тумблер DI01 на ПУ преобразователя MOVIDRIVE в положение ВЫКЛЮЧЕНО (положение OFF). Лампочка на ПУ погаснет (установлен запрет контроллера), АД остановится.

10. Нажать на зеленую кнопку «RUN» на КП преобразователя MOVITRAC. АД разгоняется до установленной ранее синхронной скорости, например $\sim 1500 \text{ об./мин}$.

11. Включить тумблер DI01 на ПУ преобразователя MOVIDRIVE (положение ON). Снимается запрет контроллера MOVIDRIVE, АД готов к работе. Работа АД на синхронной скорости сохраняется.

12. Вращая потенциометр A11 на ПУ преобразователя MOVIDRIVE против часовой стрелки, увеличиваем момент на валу АД и записываем значения напряжения (U), скорости АД (n) и значение тока АД. Необходимо сделать не менее десяти измерений скорости, напряжения и тока до остановки АД. После завершения измерений необходимо незамедлительно установить тумблер DI01 на ПУ MOVIDRIVE в положение ВЫКЛЮЧЕНО (положение OFF). Будет установлен запрет работы контроллера и АД разгонится до синхронной скорости.

Следует отметить, что система управления АД позволяет установить выходное напряжение равное номинальному на частоте 100 Гц. Это позволит получить на частотах менее 100 Гц пониженное напряжение (рис. 6.4, зависимость 3) и снять опытные механические характеристики не допуская перегрузки машины.

Однако в этом случае в процессе обработки опытных данных (см. раздел 6.6) необходимо пересчитать момент $M_{им1}$, соответствующий пониженному напряжению U_1^* на статоре на то напряжение, которое определяется характеристикой 2 на рис. 6.4.

Величина момента на валу СД определяется из выражения:

$$M_{CD} = K_M I_{CD}, \quad \text{где} \quad K_M = \frac{M_{НСД}}{I_{НСД}} = \frac{5,0}{2,2} = 2,27 \frac{\text{Нм}}{\text{А}}.$$

Опыты повторить при разных частотах выходного напряжения преобразователя в первой и во второй зонах регулирования.

При обработке опытных данных руководствоваться рекомендациями раздела 6.6.

Результаты опыта и расчета сводятся в табл. 6.4, по данным которой строятся опытные характеристики и сопоставляются с рассчитанными ранее теоретическими характеристиками.

Таблица 6.4

Данные опыта				Расчетные величины			
U	I_{CD}	n	f	M_O	M_{CD}	ω	M
В	А	об/мин	Гц	Н·м	Н·м	рад/с	Н·м

4.3. Отключение установки

1. Установить тумблер D101 на ПУ MC07 в положение «ОТКЛЮЧЕНО» (красная лампочка на ПУ погаснет). В информационном сегменте на MOVIDRIVE загорится цифра 1. (Запрет работы контролера СД).

2. Установить потенциометр A11 на ПУ MC07 в среднее положение.

3. Нажать красную кнопку «STOP» на клавишной панели MOVITRAC. Асинхронный двигатель остановится. В окне КП мигает «STOP».

4. Выключить автоматический выключатель АВ1. MOVIDRIVE будет отключен от сети.

5. Выключить автоматический выключатель АВ2. MOVITRAC будет отключен от сети.

6. Выключить автоматические выключатели АВ1, АВ2 и АВ3 в распределительном щите после завершения всех работ в лаборатории.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отчет должен содержать:

- принципиальную электрическую схему установки;
- паспортные данные электрических машин и другого оборудования используемого в данной работе;
- расчёты по обработке результатов экспериментальных исследований;
- рисунки с расчетными и экспериментальными характеристиками исследуемой системы.

Теоретические и опытные характеристики строятся на одном графике для двух зон регулирования. Проводится анализ построенных зависимостей. По результатам сравнения необходимо дать заключение о причинах несоответствия характеристик. Пояснить целесообразность регулирования скорости по определенным законам и дать оценку регулировочным свойствам электропривода.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
Принятые обозначения, термины, определения	4
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ.....	5
1. Организация занятий.....	5
2. Учебная лабораторная установка.....	5
3. Подготовка к работе	6
4. Работа в лаборатории	6
5. Отчет по работе	7
6. Исследование характеристик электроприводов в установившихся режимах работы.....	8
6.1. Предмет и методы исследований	8
6.2. Режимы работы машин	9
6.3. Расчет электромагнитной мощности испытуемых машин	10
6.4. Определение переменных потерь	12
6.5. Определение постоянных потерь в машинном агрегате.....	12
6.6. Расчет электромагнитного момента испытуемой машины.....	13
РАБОТА №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ СЕТИ	15
1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ	17
2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ.....	17
3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК.....	18
3.1. Расчёт естественной механической характеристики.....	18
3.2. Расчёт искусственных механических характеристик.....	19
3.3. Расчёт искусственных механических характеристик.....	20
3.4. Расчёт механических характеристик двигателя в режиме динамического торможения	20
3.5. Расчёт искусственных механических характеристик двигателей в сложных схемах включения.....	20
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	22
4.1. Подготовка установки к работе.....	22
4.2. Включение нагрузочной машины	23
4.3. Включение испытуемой машины.....	24

4.4. Отключение установки	26
5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	27

РАБОТА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ СЕТИ..... 28

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.....	30
2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ	30
3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК	31
3.1. Расчёт естественной механической характеристики	32
3.2. Расчёт искусственной механической характеристики.....	33
3.3. Расчёт механической характеристики динамического торможения с самовозбуждением	33
3.4. Расчет механических характеристик в сложных схемах	33
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	35
4.1. Подготовка установки к работе	35
4.2. Включение нагрузочной машины.....	36
4.3. Включение испытуемой машины	37
4.4. Отключение установки.....	38
5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	39

РАБОТА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОР-ДВИГАТЕЛЬ40

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.....	41
2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ	42
3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК	43
3.1. Расчёт искусственных механических характеристик.....	45
3.3. Расчёт зависимости $M=f(I_A)$ при поддержании заданной скорости ИМ изменением потока машины ведут по формуле	47
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	47
4.1. Подготовка установки к работе	48
4.2. Включение нагрузочной машины.....	49
4.3. Включение испытуемой машины и проведение экспериментов	49
4.4. Отключение установки.....	52
5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	52

РАБОТА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ-ДВИГАТЕЛЬ..... 54

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.....	56
2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ	56
3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК	57
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	58
4.1. Включение испытуемой машины	59
4.2. Включение нагрузочной машины.....	60
4.3. Включение управляемого выпрямителя	60
4.5. Экспериментальные исследования регулировочных свойств привода:.....	62

4.6. Отключение установки	63
5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	64

РАБОТА №5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ СЕТИ	65
1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ	67
2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ.....	67
3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК.....	67
3.1. Расчёт естественной механической характеристики.....	67
3.2. Расчёт искусственной механической характеристики при добавочном активном сопротивлении в цепи ротора выполняются по формуле	69
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	71
4.1. Подготовка к работе	71
4.2. Включение нагрузочной машины	72
4.3. Включение испытуемой машины и проведение опытов.....	72
4.4. Отключение установки	74
5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	74

РАБОТА 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.....	75
1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ	76
2. РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ.....	76
3. ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК.....	77
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	82
4.1. Включение нагрузочной машины	83
4.2. Включение испытуемой машины.....	83
4.3. Отключение установки	85
5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	86

