

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Стахановский инженерно-педагогический институт менеджмента
Кафедра электромеханики и транспортных систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам
по дисциплине
«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА»
для студентов направления подготовки
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

Стаханов 2020

УДК 622.9.002.5(075)

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ГОУ ВПО ЛНР «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля»
(протокол № __ от __. __.20__ г.)*

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Основы электропривода» для студентов направления подготовки Профессиональное обучение (по отраслям). / Сост.: Петров А.Г., Авершин А.А.– Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2020– 69с.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки Профессиональное обучение (по отраслям) и содержат 8 лабораторных работ, описание которых сопровождается теоретическими сведениями. К каждой теме приведены вопросы и задачи для самопроверки.

Составитель:	доц. Петров А.Г. доц. Авершин А.А.
Ответственный за выпуск:	доц. Петров А.Г.
Рецензент:	доц. Черникова С.А.

© Петров А.Г.
© Авершин А.А.
© ГОУ ВПО ЛНР «ЛГУ им.
В. Даля», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. Исследование статических электромеханических и механических характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. Исследование статических электромеханических и механических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.....	20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. Исследование статических характеристик многоскоростного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. Исследование статических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором.....	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. Исследование статических характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в системе генератор-двигатель (Г-Д).....	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. Определение исследовательским путем момента инерции ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором методом свободного выбега.....	50
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. Исследование теплового режима электрической машины.....	56
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. Исследование механических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при питании от тиристорного преобразователя частоты.....	63
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Основными задачами выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы электропривода» являются: исследование на специальном оборудовании в лабораторных условиях электромеханических и механических характеристик электродвигателей постоянного и переменного токов, режимов их работы, тепловых процессов, определения механических параметров электроприводов, изучения средств и систем управления электродвигателями.

Электродвигатели при работе в составе рабочей машины нагружаются моментом сил сопротивления, которое изменяется на его валу соответственно с требованиями технологического процесса. При изменении момента на валу электродвигателя изменяется также ток, частота вращения вала, температура нагревания изоляции и другие параметры, которые характеризуют работу двигателя. Зависимость этих параметров для разных типов двигателей проявляется своеобразно, что определяется конструкцией, схемой включения двигателя, электромеханическими тепловыми процессами, которые происходят в электрических машинах.

Для того чтобы определить характеристики электродвигателей, при работе в разных режимах необходимо специальное лабораторное оборудование, которое позволяет создавать эти режимы, исследовать поведение электродвигателей и измерять величины, которые характеризуют режимы работы. При лабораторных исследованиях необходимо также устанавливать определенную нагрузку двигателя и измерять значение момента сил сопротивления, которое создается на его валу.

С этой целью для большинства исследуемых электродвигателей в лаборатории электропривода используются нагрузочные устройства, схема которых приведена на рис. 1.1.

Вал исследуемой машины (*ИМ*) *M3* механически связан с валом нагрузочной машины (*НМ*) *M2* постоянного тока с независимым возбуждением и питается от генератора постоянного тока (*ГПТ*) *G1* с приводным двигателем (*ПД ГПТ*) *M1*. Обмотка возбуждения этого генератора, *LG*, подключена к сети постоянного тока через регулировочный реостат *R1*. Такая система позволяет плавно изменять напряжение и направление тока в обмотке возбуждения генератора, следовательно, частоту и направление вращения *НМ* и *ИМ*.

Направление потока мощности в системе зависит от режима работы *ИМ*. Например, если *ИМ* работает в двигательном режиме, то электрическая мощность, которую потребляет *ИМ* от сети питания, превращается в механическую мощность вращения вала и передается

вращающего момента холостого хода HM для преодоления сил сопротивления движения в режиме идеального холостого хода $ИМ$.

При появлении тормозного электромагнитного момента со стороны $ИМ$ его значение будет отличаться от значения момента, который создает HM , на величину потерь момента ΔM , которая равняется вращающему моменту HM , когда электромагнитный момент $ИМ$ равняется нулю. Очевидно, что в рассматриваемом случае вращательный электромеханический момент HM будет больше тормозного электромагнитного момента $ИМ$ на величину потерь момента ΔM . Если $ИМ$ будет работать в двигательном режиме, а момент HM станет тормозным, то его величина станет менее вращающего электромагнитного момента $ИМ$ на величину потерь момента ΔM .

Соотношение между электромагнитными моментами, которые создают $ИМ$ и HM , можно записать как

$$M_{ИМ} = M_{HM} \pm |\Delta M|,$$

где знак «плюс» соответствует двигательному режиму работы $ИМ$, а знак «минус» - тормозному.

Таким образом, определив электромагнитный момент HM при известной скорости вращения, зная величину потерь момента ΔM , которая соответствует этой скорости вращения, а также режим работы $ИМ$, можно оценить электромагнитный момент, который создает $ИМ$.

Определение вращающего электромагнитного момента, который создает HM , сводится к расчету электромагнитного момента машины постоянного тока

$$M_{HM} = k_{HM} \cdot \Phi_{HM} \cdot I_{ЯHM},$$

где $k_{HM} = \frac{pN}{2 \cdot \pi \cdot a}$ - коэффициент HM , который зависит от ее конструктивных параметров - числа пар главных полюсов p , - числа проводников обмотки якоря N и - числа пар параллельных веток a обмотки якоря HM ;

Φ_{HM} - магнитный поток HM ;

$I_{ЯHM}$ - ток якоря HM .

Если ток возбуждения HM неизменен, тогда пренебрегая реакцией якоря можно считать, что магнитный поток также является неизменным, следовательно, произведение $k_{HM} \cdot \Phi_{HM} = \text{const}$.

Определив это произведение, зная ток якоря $I_{ЯHM}$, можно рассчитать момент M_{HM} .

Так как $E_{HM} = k \cdot \Phi_{HM} \cdot \omega$,

где ω - угловая скорость вращения якоря HM , можно определить, что:

$$k \Phi_{HM} = \frac{E_{HM}}{\omega}, \text{ В} \cdot \text{с} \quad (1)$$

Определения произведения $k \Phi_{HM}$ осуществляют следующим образом. При разомкнутом цепи якорей $ГПТ$ - HM включают $ПД$ $ГПТ$

и *НМ*. Вольтметром *PУ1*, который установлен в якорной цепи *ГПТ-НМ*, измеряют ЭДС *НМ*, подключают вольтметр *PУ1* к якорю *ГПТ* и, регулируя ток возбуждения *ГПТ* реостатом *RI*, контролируя ЭДС *ГПТ* вольтметром *PУ1*, устанавливают точно такое же значение ЭДС *ГПТ*. После этого выключателем *S4* запирают якорную цепь *ГПТ-НМ*. При этом ток в этой цепи должен равняться нулю, который контролируется амперметром *РА1*. Одновременно измеряют амперметром *РА2* значения тока возбуждения *НМ*, который должен при дальнейших исследованиях поддерживаться неизменным, что обеспечивает произведение $K \cdot \Phi_{НМ} = const$. С помощью тахогенератора (*ТГ*) измеряют соответствующую угловую скорость вращения якоря *НМ* ω и определяют по формуле (1) произведение $K \cdot \Phi_{НМ}$.

Для определения потерь момента *ИМ* исследуют зависимость тока холостого хода $I_{я0}$ *НМ* от угловой скорости вращения ω $I_{я0} = f(\omega)$; когда электромагнитный момент *ИМ* равняется нулю. С этой целью при разомкнутом переключателе *S4* включают ПД *ГПТ*, устанавливают ЭДС *ГПТ*, равную нулю, и выключателем *S4* подключают *НМ* к *ГПТ*. Плавно повышают ток возбуждения *ГПТ*, контролируя амперметром *РА1* ток якоря *НМ* и тахогенератором (*ТГ*) угловую скорость ω , определяют опорные точки зависимости $I_{я0} = f(\omega)$ *НМ* в исследуемом диапазоне изменения ω и заносят соответствующие значения в табл. 1, а зависимость $I_{я0} = f(\omega)$ представляют в виде графика, рис. 2.

Таблица 1

$I_{я0}, A$									
$U_{ТГ}, B$									
$n, об/мин$									
$\omega, с^{-1}$									

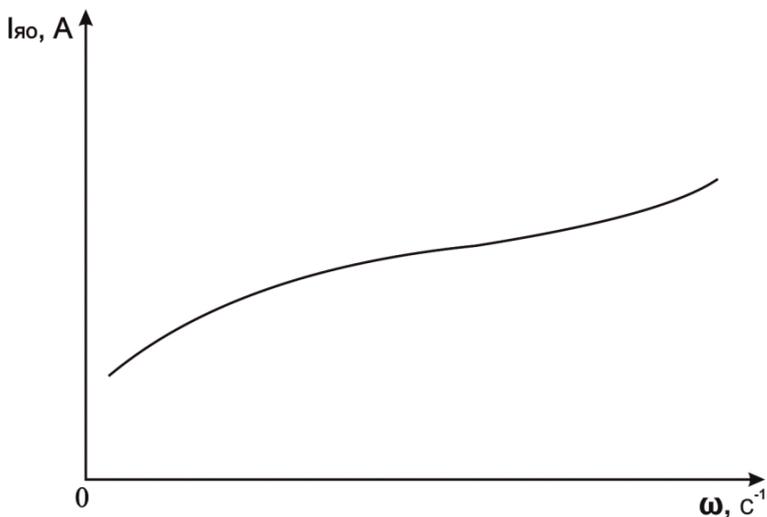


Рисунок 2 – График зависимости тока холостого хода нагрузочной машины от угловой скорости вращения вала

Для определения частоты вращения вала *ИМ* (*ИМ*) используют график зависимости напряжения тахогенератора $U_{ТГ}$ от частоты вращения n (об/мин), или устанавливают, при линейном графике зависимости коэффициент тахогенератора, который дает возможность по значению напряжения тахогенератора $U_{ТГ}$ установить соответствующее значение частоты вращения.

Электромагнитный вращающий момент *ИМ* (двигательный или тормозной) определяется по формуле

$$M_{ДМ} = k \cdot \Phi_{ИМ} (I_{я} \pm I_{я0}) ,$$

где знак «плюс» соответствует двигательному режиму, а «минус» - тормозному; ток $I_{я0}$ - составляющая тока холостого хода *ИМ*. Значения, составляющие $I_{я0}$ при расчетах момента *ИМ* находятся для соответствующей угловой скорости ω из графика зависимости $I_{я0}=f(\omega)$, рис. 2.

Необходимо отметить, что при механическом соединении *ИМ* и *ИМ* потери моментов обусловлены потерями в обеих машинах. Для выражения момента на валу *ИМ*, который отличается от электромагнитного момента на величину потерь момента в этой машине, при определении зависимости $I_{я0}=f(\omega)$ *ИМ* и *ИМ* разъединяют. При этом учитываются потери момента только в *ИМ*.

Правила безопасности и внутреннего распорядка при работе в лаборатории электропривода

Лабораторное электрооборудование относится к электроустановкам с напряжением до 1000 В.

Лабораторные установки имеют вращающиеся механические части.

К выполнению лабораторных работ допускаются только студенты, которые прошли инструктаж по технике безопасности и имеют соответствующую отметку в специальном журнале.

Студенты проводят лабораторные работы в присутствии преподавателя, который ведет лабораторные занятия, или заведующего лабораторией.

В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- прикасаться к неизолированным частям установки, которые находятся под напряжением;

- оставлять без присмотра установку, которая находится под напряжением;

- подключать провода к клеммам, которые находятся под напряжением;

- загромождать рабочие столы лишними предметами, проводниками, в том числе приборами, которые не применяют в работе;

- включать установку без соблюдения порядка, который изложен в инструкциях к лабораторным работам;

- создавать режимы работы оборудования, которые не предусмотрены инструкциями.

Перед выполнением лабораторных работ преподаватель составляет бригады студентов из учебной группы и назначает график проведения работ. Самостоятельный переход студентов из одной бригады в другую запрещается.

Проведение каждой лабораторной работы требует определенной подготовки. Перед ее выполнением студент должен подготовить формуляр - черновик с таблицами, схемами и расчетными формулами для занесения экспериментальных данных, которые получены в результате проведения работы, и необходимых расчетов.

Перед выполнением лабораторной работы студент должен ознакомиться со схемой лабораторной установки, знать назначение коммутационных аппаратов, приборов, органов управления и их расположения на установке. При возникновении трудностей необходимо обратиться к преподавателю за разъяснением.

При появлении неисправностей или аварийных режимов в работе лабораторной установки, необходимо срочно отключить ее от сети питания и донести к сведению преподавателя.

После выполнения лабораторной работы студенты обязаны отключить установку от сети питания и предоставить формуляры с полученными результатами преподавателю для проверки.

Время, которое остается после выполнения лабораторной работы до окончания учебного занятия, должно быть использовано студентами для оформления или защиты отчетов к лабораторным работам.

К началу очередного занятия студент должен представить преподавателю отчет и защитить ранее проведенную им работу.

Студенты, которые нарушают правила безопасности и внутреннего распорядка, к выполнению следующей лабораторной работы не допускаются.

Порядок оформления и защиты отчетов по лабораторным работам

Отчеты по лабораторным работам оформляются на отдельных листиках бумаги; студентам-заочникам допускается подавать несколько отчетов в отдельной тетради.

Каждый отчет должен иметь титульный лист (страницу) с указанием в верхней части отдельными строками названия министерства, высшего учебного заведения, кафедры и лаборатории. В средней части листа указывается название учебной дисциплины, номер лабораторной работы и ее название. Дальше строками записываются: название группы, ФИО студента, а также ФИО преподавателя.

В нижней части указывается город и год выполнения лабораторной работы.

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- схему лабораторной установки, выполненную карандашом соответственно с требованиями ГостСТУ и с применением чертежных инструментов;
- технические данные о *ИМ* и *НМ*;
- таблицы с экспериментальными и расчетными данными;
- графики зависимостей;
- необходимые расчеты;
- краткий анализ полученных результатов.

Все схемы, таблицы и графики должны иметь названия. В таблицах и на графике указываются физические величины, которые определяются, их обозначение и единицы измерения на отдельных масштабных осях.

График оформляется на миллиметровой или на другой бумаге с полями координат и сеткой. График должен иметь масштабные величины, которые определяются, их принятые обозначения и единицы измерений. На графике должны быть нанесены

экспериментальные и расчетные опорные точки с последующей интерполяцией кривых зависимостей плавными линиями, приблизительно равноотдаленными от опорных точек. Если на графике приводятся несколько зависимостей, то все они должны быть обозначены отдельно и иметь соответствующий масштаб.

Допускается компьютерное индивидуальное (личное) оформление отчетов.

Неряшливо или неправильно оформленные отчеты по лабораторным работам к защите не допускаются.

Для защиты лабораторных работ необходимо:

- лично провести лабораторную работу;
- правильно и опрятно оформить отчет;
- знать основные теоретические положения;
- владеть установленной терминологией, символикой;
- знать схемы лабораторного стенда и технические данные машины;
- знать методику проведения лабораторных работ;
- уметь объяснять экспериментальные зависимости;
- уметь анализировать физические явления, которые происходят в электроприводах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель работы: экспериментальное получение электромеханических и механических характеристик двигателя постоянного тока для различных режимов работы.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В соответствии со вторым законом Кирхгофа уравнение равновесия для якоря двигателя в установившемся режиме работы имеет вид

$$U = E_{\text{я}} + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} \quad (1.1)$$

где U - напряжение питания цепи якоря;

$I_{\text{я}}$ - ток цепи якоря;

$R_{\text{я}} = r_{\text{я}} + R_{\text{доп}}$ - полное сопротивление цепи якоря;

$r_{\text{я}}$ - сопротивление якоря;

$R_{\text{доп}}$ - дополнительное сопротивление цепи якоря;

$E_{я}$ – ЭДС, наводящаяся в обмотке якоря.

Из курса электрических машин известно, что

$$E_{я} = k \Phi \omega \quad (1.2)$$

где $k = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$ – коэффициент двигателя, который зависит от его

конструктивных параметров: числа главных полюсов p ; числа проводников N и числа пар параллельных ветвей обмотки якоря – a ;

Φ – магнитный поток двигателя;

ω – угловая скорость вращения якоря.

Подставив значение ЭДС (1.2) в уравнение (1.1) и решая его относительно угловой скорости ω , получаем уравнение электромеханической характеристики для постоянного режима работы

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - \frac{R_{я}}{k \cdot \Phi} I_{я} \quad (1.3)$$

Электромагнитный момент двигателя из курса электрических машин

$$M = k \cdot \Phi I_{я} \quad (1.4)$$

Определив ток якоря по формуле (1.4) и подставив значение в уравнение электромеханической характеристики (1.3), найдем уравнение механической характеристики для установившегося режима работы

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - \frac{R_{я}}{k^2 \cdot \Phi^2} M = \omega_0 - \Delta \omega \quad (1.5)$$

где $\omega_0 = \frac{U}{k \cdot \Phi}$ – угловая скорость идеального холостого хода;

$\Delta \omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - \frac{R_{я}}{k^2 \cdot \Phi^2} M = \frac{M}{\beta}$ – перепад (изменение) угловой скорости;

$\beta = \frac{k^2 \cdot \Phi^2}{R_{я}}$ – модуль жесткости механической характеристики,

который определяет наклон кривой зависимости $\omega = f(M)$ на графике.

При неизменных значениях U , Φ и $R_{я}$ характеристики имеют вид прямых линий, рис. 1.1, которые пересекают ось ординат ω в точке идеального холостого хода и отделяют для значения $U \neq 0$ ($\omega_0 \neq 0$) двигательный режим работы двигателя от генераторного. При $U = 0$ все характеристики проходят через начало координат ($\omega = 0$).

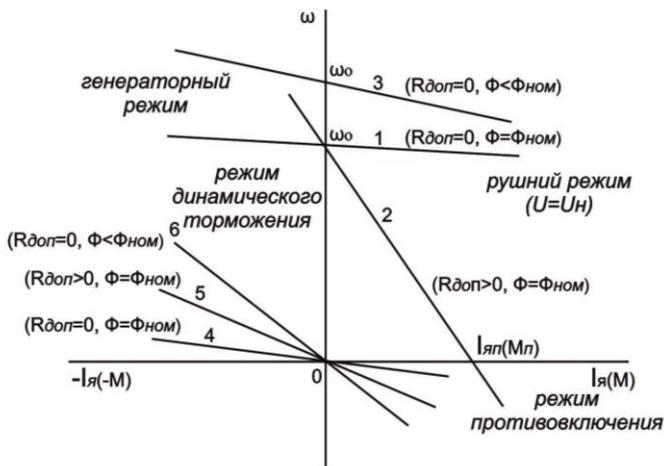


Рисунок 1.1 – Электромеханические (механические) характеристики двигателя с независимым возбуждением

Наибольшую жесткость (наименьший наклон) имеют характеристики при номинальном магнитном потоке $\Phi = \Phi_{ном}$ при отсутствии дополнительных сопротивлений в цепи якоря.

Различают естественные и искусственные характеристики. Естественные характеристики соответствуют условиям $U = U_n$; $\Phi = \Phi_n$; $R_{доп} = 0$ (прямая 1), а характеристики не отвечающие этим условиям, называют искусственными (прямые 2-6). Искусственные характеристики при $R_{доп} > 0$ называют реостатными.

Естественная характеристика двигателя является основной для анализа его электромеханических свойств.

Искусственные характеристики создают для регулирования скорости, а также для осуществления торможения и реверса двигателя. Как видно из анализа уравнения (1.5) регулирование угловой скорости можно осуществить такими способами: изменением напряжения источника питания, введением дополнительных сопротивлений в цепь якоря; изменением магнитного потока.

Различают четыре основных режима работы двигателя: двигательный, генераторный (режим рекуперативного торможения), противовключения и динамического торможения. В двигательном режиме работы электрическая мощность, потребляемая от источника питания цепи якоря, превращается в механическую и передается рабочему механизму.

В двигательном режиме работы ЭДС якоря меньше напряжения источника питания $E_{\text{я}} < U$, а произведение $P_{\text{мех}} = M\omega$, которое определяет механическую мощность, имеет положительное значение.

Для создания генераторного режима работы двигателя необходимо, чтобы ЭДС якоря была больше, чем напряжение питания: $E_{\text{я}} > U$.

Чтобы создать генераторный режим работы, перейти с двигательного режима к генераторному при неизменном магнитном потоке, необходимо повысить угловую скорость вращения якоря и при $\omega > \omega_0$ ЭДС якоря станет больше напряжения питания и изменится направление тока в цепи якоря.

При увеличении момента на валу двигателя в двигательном режиме соответственно уравнению (1.5) уменьшается угловая скорость вращения и когда скорость будет равняться нулю, возникает момент $M_{\text{Д}}$, который называется пусковым или начальным, или моментом короткого замыкания. Дальнейшее увеличение момента приводит к изменению направления вращения, а двигатель перейдет в режим работы, которая называется режимом противовключения.

Динамическим торможением двигателя называется генераторный режим его работы, при котором механическая энергия превращается в электрическую и тратится в замкнутой цепи прохождения тока якоря. Для введения двигателя в режим динамического торможения цепь якоря отключают от источника питания и закорачивают на дополнительный резистор или накоротко, а возбуждение остается независимым. В этом режиме $U=0$, ($\omega_0=0$) и все характеристики проходят через начало координат.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода нагрузочной машины (табл. 1.1).

2. Определить опорные точки электромеханических и механических характеристик (табл. 1.1):

- естественных в области генераторного и двигательного режимов;

- искусственных (при $R_{\text{дон}}=4 \text{ Ом}$ и $\Phi=\Phi_{\text{Н}}$) в области генераторного, двигательного и режима противовключения;

- искусственной (при $R_{\text{дон}}=0$ и $\Phi < \Phi_{\text{Н}}$);

- в режиме динамического торможения (при $R_{\text{дон}}=0$; 4 Ом и $\Phi=\Phi_{\text{Н}}$ и $R_{\text{дон}}=0$ и $\Phi < \Phi_{\text{Н}}$).

3. Из полученных результатов построить кривую зависимости тока холостого хода $I_{\text{я}} = f(\omega)$ (рис. 1.2); рассчитать опорные точки зависимостей $\omega = f(M)$ в исследуемых

режимах работы с использованием методики, которая изложена в предыдущем разделе.

4. Из полученных экспериментальных и расчетных точек (табл. 1.1) построить графики электромеханических и механических характеристик, отдельно в системах координат $\omega = f(I_{Я})$ и $\omega = f(M)$ (рис. 1.1).

5. Сделать выводы по работе.

Методические указания

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 1.2; с расположением соответствующего оборудования, приборов, коммутационных устройств; выяснить назначение каждого элемента схемы; записать по заводским табличкам технические данные *ИМ* и *НМ*; убедиться в том, что все автоматические выключатели выключены, а включение оборудования не приведет к травмам или аварийной ситуации.

Исходные положения остальных коммутационных устройств:

- переключатели *S1*, *S2* - в нейтральном положении «Выкл»;
- переключатель вольтметра *PUI S3* - в положении «ГПТ»;
- переключатель соединения цепей якоря *ГПТ-НМ S4* - в положении «Выкл»;
- переключатель амперметра *PA1 S5* - в положении «XX»;
- переключатель дополнительного сопротивления *S6* - в положение «4 Ом»;
- выключатель *ПД ГПТ S7* - в положении «Выкл»;
- реостат изменения магнитного потока (тока возбуждения) *ИМ R2* - в положение $\Phi_{ном}$.

Снятие характеристики холостого хода нагрузочной машины:

- включить автоматические выключатели *QF1*, *QF2*;
- включить выключатель *S7* для пуска *ПД ГПТ*;
- резистором *R3* установить ток возбуждения *НМ* 0,25 А, контролируя его амперметром *PA2*. Установленное значение поддерживать на протяжении дальнейших исследований неизменным, что обеспечивает постоянство магнитного потока *НМ*;

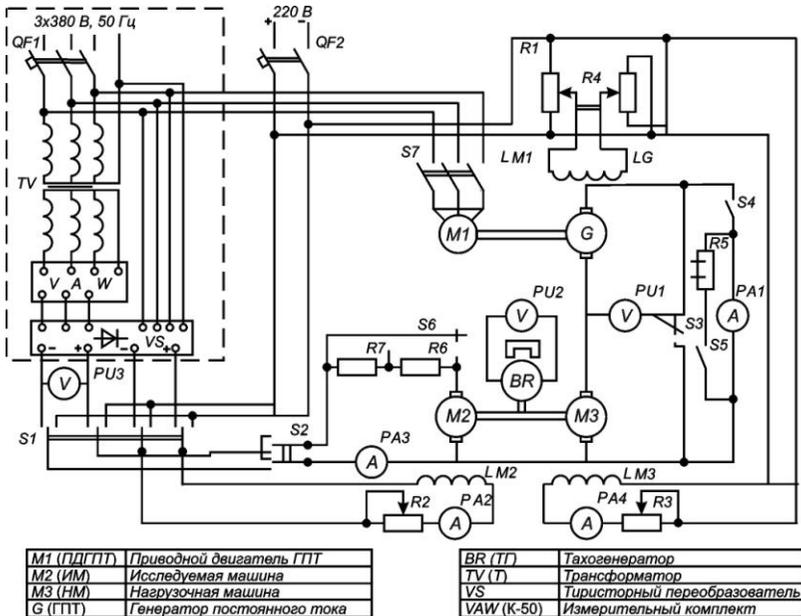


Рисунок 1.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

- резистором в цепи питания обмотки возбуждения ГПТ R4, установить ЭДС ГПТ равный нулю, контролируя ее вольтметром PU1;
 - выключателем S4 подключить якорь НМ к ГПТ;
 - плавно повышая напряжение ГПТ, контролируя значение тока якоря НМ амперметром PA1 и соответствующие значения напряжения тахогенератора BR вольтметром PU2, снять с момента начала движения НМ до момента достижения вольтметром PU2 значения напряжения 90 В, опорные точки зависимости $I_{я0} = f(U_{ГПТ})$ и занести их значение в таблицу 1.1. Количество точек – 8-10, рекомендованный интервал изменения напряжения тахогенератора - 10В, верхний предел изменения напряжения ГПТ - 240 В;
 - плавно снизить напряжение ГПТ и ток якоря НМ до нуля и разомкнуть выключатель S4, установив его в положение «Выкл»;
 - переключатель S5 - положение «Раб»;
 - переключатель S3 - в положение «НМ».
- Снятие опорных точек электромеханических и механических характеристик ИМ (табл. 1.1):
- установить переключатель S1 в положение «220 В»;

- переключателем $S2$ подать напряжение в цепь якоря $ИМ$, контролируя пуск $ИМ$ по току амперметра $РА2$ и вольтметра тахогенератора $ПУ2$;

- вывести дополнительный резистор из цепи якоря $ИМ$, установив переключатель $S6$ в положение «0 Ом»;

- вольтметром $ПУ1$ измерять ЭДС $НМ$ и перевести переключатель вольтметра $S3$ в положение «ГПТ» и реостатом $R4$ установить точно такое же значение ЭДС $ГПТ$ для того, чтобы результирующая ЭДС в контуре $ГПТ-НМ$ равнялась нулю;

- замкнуть цепи якорей $ГПТ-НМ$ выключателем $S4$, при этом ток через амперметр $РА1$ должен равняться нулю. Значение ЭДС якоря $НМ$ и соответствующее значение частоты вращения $n_{0НМ}$ записать в табл. 1.1;

- повышая реостатом $R4$ напряжение $ГПТ$, увеличить ток якоря $НМ$ (амперметр $РА1$) до 5 А. При этом $ИМ$ будет работать в генераторном режиме.

Записать значение тока якоря $НМ$, тока якоря $ИМ$ (амперметр $РА3$), напряжение $ГПТ$ (вольтметр $ПУ1$), показание вольтметра тахогенератора $ПУ2$ в табл.1.1, для построения естественных характеристик (при $R_{доп} = 0$; $\Phi = \Phi_{НОМ}$);

- плавно уменьшая ток якоря $НМ$, контролируя его значение амперметром $РА1$, а также ток якоря $ИМ$ амперметром $РА3$, показание вольтметра тахогенератора $ПУ2$ и напряжение $ГПТ$ вольтметром $ПУ1$ перевести $ИМ$ в режим идеального холостого хода, записывая данные в табл. 1.1. Число опорных точек измерений 3-4.

В режиме идеального хода работы $ИМ$ амперметр $РА3$ должен показывать нулевой ток якоря. Аналогично уменьшая напряжение $ГПТ$ при изменении направления тока в цепи $ГПТ-НМ$, увеличивая ток якоря $НМ$ до 5 А, снять опорные точки работы $ИМ$ в двигательном режиме работы для построения естественных характеристик. Число опорных точек 3-4.

После окончания измерений установить нулевой ток якоря $НМ$:

- установить переключателем $S6$ значение дополнительного резистора в цепи якоря $ИМ$ $R_{доп} = 4$ Ом и снять аналогично указанному выше опорные точки искусственных (реостатных) характеристик при $R_{доп} = 4$ Ом; $\Phi = \Phi_{НОМ}$; в генераторном режиме, двигательном и в режиме противовключения. При переходе в режим противовключения переключить переключатель полярности вольтметра тахогенератора и учесть напряжение тахогенератора с отметкой «минус». Ток якоря $НМ$ не должен превышать 5А, а показание вольтметра тахогенератора $ПУ2$ - 90 В;

- установить реостатом $R2$ минимальный ток возбуждения $ИМ$ ($\Phi = \Phi_{мин} < \Phi_{НОМ}$), переключателем $S6$ значения дополнительного

резистора $R_{oon} = 0$ и аналогично указанному выше снять опорные точки искусственных характеристик при $R_{oon} = 0$; $\Phi < \Phi_{НОМ}$ в генераторном и двигательном режимах работы. Показания вольтметра тахогенератора $PУ2$ не должны превышать значения 90 В;

- при нулевом токе якоря $НМ$ разомкнуть переключатель $S4$ и установить реостатом $R4$ нулевую ЭДС ГПТ, контролируя ее вольтметром $PУ1$;

- переключателем $S2$ ввести $ИМ$ в режим динамического торможения и плавно изменяя ЭДС ГПТ реостатом $R4$ снять опорные точки механических характеристик в режиме динамического торможения для $R_{oon} = 0$; $\Phi = \Phi_{МН}$, при изменении тока $НМ$ в пределах 5 – 0 – (- 5) А. При изменении напряжения вращения $НМ$ переключить переключатель полярности вольтметра тахогенератора с учетом напряжения с отметкой «минус». Данные измерений занести в табл. 1.1;

- установить реостатом $R2$ номинальный ток возбуждения $НМ$ ($\Phi = \Phi_{НОМ}$), и аналогично указанному выше снять опорные точки механических характеристик при $R_{oon} = 0$; $\Phi = \Phi_{НОМ}$ для режима динамического торможения;

- установить переключателем $S6$ значения дополнительного резистора в цепи якоря $ИМ$ $R_{oon} = 4$ Ом и аналогично указанному выше снять опорные точки механических характеристик при $R_{oon} = 0$; $\Phi = \Phi_{НОМ}$ для режима динамического торможения.

Выключение стенда:

- при нулевом токе якоря $НМ$ разомкнуть выключатель $S4$;
- отключить автоматические выключатели $QF1$, $QF2$;
- установить переключатели $S1$; $S2$ в нейтральное положение.

После окончания работы заполненные формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки полученных результатов.

Таблица 1.1 – Опорные точки электромеханических и механических характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Измерено						Рассчитано			
$E_{НМ} =$ В; $n_{0(НМ)} =$ об/мин.; $\omega_{0} =$ с ⁻¹						$k\Phi = \frac{E_{НМ}}{\omega_{0(НМ)}}, В \cdot с$			
Наименование характеристик	Режим работы ИМ	$I_{я(НМ)}$ А	$I_{я(ИМ)}$ А	$U_{ГПТ}$ В	$U_{ТГ}$ В	n , об/мин	ω , с ⁻¹	$I_{я0}$ А	M , Нм
Естественная	Генераторный								
	Идеальный ХХ								
Искусственная (реостатная)	Двигательный								
	Генераторный								
	Идеальный ХХ								

$R_{доп} = 0 \text{ Ом};$ $\Phi = \Phi_{НОМ}$	Двигательный КЗ Противовключение								
Искусственная $R_{доп} = 0 \text{ Ом};$ $\Phi < \Phi_{НОМ}$	Генераторный Идеальный ХХ Двигательный								
Искусственная $R_{доп} = 0 \text{ Ом};$ $\Phi < \Phi_{НОМ}$	Динамическое торможение	5...0...5	0	0	0	0	0	0	0
Искусственная $R_{доп} = 0 \text{ Ом};$ $\Phi = \Phi_{НОМ}$		5...0...5	0	0	0	0	0	0	0
Искусственная $R_{доп} = 0 \text{ Ом};$ $\Phi = \Phi_{НОМ}$		5...0...5	0	0	0	0	0	0	0

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Проанализируйте уравнение электромеханической и механической характеристик с целью определения способов регулирования угловой скорости вращения якоря и назовите эти способы.

2. Дайте краткую характеристику режимам работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

3. Сравните полученные естественную и реостатную характеристики и оцените по характеристикам численное значение сопротивления якоря $r_{я}$ *ИМ*.

4. Как изменится перепад угловой скорости при неизменном моменте двигателя если, 1 - в цепь якоря ввести дополнительный резистор с сопротивлением, которое равняется сопротивлению якоря; 2 - момент двигателя увеличить в 3 раза; 3 - магнитный поток уменьшить в 2 раза при неизменном моменте двигателя.

5. Для каких-нибудь опорных точек по данным таблицы найдите механическую мощность на валу *ИМ* и соответствующую электрическую мощность, которая потребляет (отдает) *ИМ* по цепи питания якоря при напряжении источника питания 220 В и работе в двигательном (генераторном) режиме работы.

6. Как осуществляется режим динамического торможения?

7. Объясните, исходя из физических пониманий, как при переходе из двигательного в генераторный режим работы изменяется направление потока мощности?

Литература: [1, с.48- 65. 93-112]; [2. с.38- 43; 50-56; 25-227], [3, с.59- 77]; [4, с.22- 28, 78-82].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: экспериментальное получение электромеханических и механических характеристик двигателя для разных режимов работы в нормальной и специальной схемах включения.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обмотка возбуждения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения в нормальной схеме включается последовательно с обмоткой якоря и, в таком случае, ток возбуждения, следовательно магнитный поток двигателя, зависят от тока якоря. Если учитывать магнитную цепь двигателя ненасыщенным, магнитный поток будет пропорционален цепи якоря и для нормальной схемы включения электромеханическая и механическая характеристики будут описываться соответственно уравнениями, полученными из уравнения равновесия якорной цепи при предположении линейной зависимости между постоянным потоком и током якоря

$$\omega = \frac{U}{K \cdot K_{\phi} \cdot I_{я}} - \frac{R_{я}}{K \cdot K_{\phi}};$$

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{K \cdot K_{\phi} \cdot M}} - \frac{R_{я}}{K \cdot K_{\phi}};$$

где $R_{я}$ - суммарное (полное) сопротивление якорной цепи, которая состоит из сопротивления якоря, обмотки возбуждения и дополнительного сопротивления цепи $R_{доп}$;

K_{ϕ} - коэффициент пропорциональности, который определяет допускаемую линейную зависимость между магнитным потоком Φ и током якоря $I_{я}$:

$$\Phi = K_{\phi} I_{я}.$$

При принятом предположении линейной зависимости между током якоря и магнитным потоком выплывает квадратичная зависимость между электромагнитным моментом двигателя и током якоря: $M=K \cdot K_{\phi} \cdot I_{я}$, рис. 2.1.

Как можно видеть из анализа уравнений электромеханической и механической характеристик и рис. 2.2, электромеханическая и механическая характеристики нелинейные, а при снижении момента возникает резкое повышение скорости (кривые 1, 2 на рис. 2.2.). Кроме этого двигатель не переходит из двигательного режима работы в режим рекуперативного торможения при повышенной угловой скорости, поэтому ЭДС якоря двигателя остается меньше чем напряжение источника питания цепи якоря.

Если якорь зашунтировать сопротивлением $R_{ш}$, то образуется конечное значение скорости идеального холостого хода ω_0 и появление режима генераторного торможения, но энергия, которая выделяется в этом режиме в источник питания не отдается, а тратится на нагревание сопротивления $R_{ш}$ и самого двигателя (кривая 3 на рис. 2.2).

При выключении цепи якоря от источника питания и замыкании его накоротко или на резистор $R_{доп}$ двигатель может работать в режиме динамического торможения с самовозбуждением (кривые 4; 5) только в случае, когда перед замыканием цепи якоря изменить местами подключение зажимов обмотки возбуждения или якоря. Самовозбуждение происходит благодаря остаточному магнитному потоку, который остается в магнитных полюсах двигателя после его отключения, потому что они изготавливаются из ферромагнитного материала. При питании двигателя от источника постоянного тока и протекании тока возбуждения происходит намагничивание полюсов и для предотвращения их размагничивания от протекания тока в обмотке возбуждения в обратном направлении под действием ЭДС якоря, который приводится благодаря остаточному магнитному потоку, перед замыканием цепи якоря необходимо обеспечить неизменность направления прохождения тока через обмотку возбуждения.

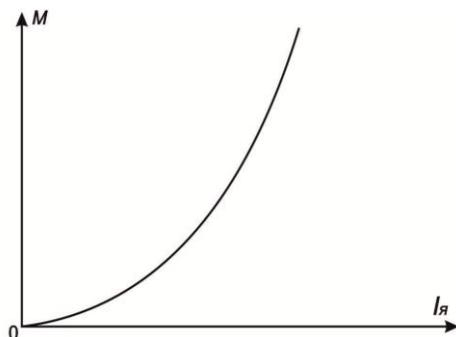


Рисунок 2.1 – Зависимость момента двигателя от напряжения якоря при нормальной схеме включения

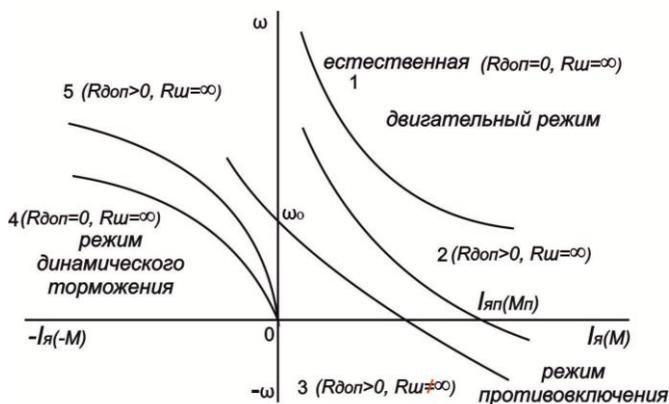


Рисунок 2.2 – Электромеханические и механические характеристики двигателя с последовательным возбуждением в нормальной схеме включения и в схеме шунтирования якоря

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода нагрузочной машины (табл. 1).
2. Определить опорные точки электромеханических и механических характеристик (табл. 2.1):
 - искусственных характеристик двигателя, якорь которого шунтируется сопротивлением $R_{ш}$;
 - искусственной характеристики (реостатной, $R_{доп} = 0$) двигателя с нормальной схемой включения;
 - естественной характеристики;

- в режиме динамического торможения с самовозбуждением (при $R_{доп} = 0$; $R_{доп} > 0$).

3. Из полученных результатов необходимо построить кривую зависимости тока холостого хода HM от угловой скорости $I_{я} = f(M)$ рис. 2; рассчитать опорные точки зависимости $\omega = f(M)$ двигателя в испытываемых режимах работы, с использованием методики, которая изложена ранее.

Таблица 2.1 - Опорные точки электромеханических и механических характеристик двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением

		Измерено						Рассчитано			
		$E_{HM} =$ В; $n_0 (HM) =$ об/мин.; $\omega_0 =$ с ⁻¹						$k\Phi = \frac{E_{HM}}{\omega_{0(HM)}}$, В·с			
Наименование характеристики	Режим работы <i>ИМ</i>	$I_{я (HM)}$ <i>A</i>	$I_{я (HM)}$ <i>A</i>	$U_{ГПТ}$ <i>B</i>	$U_{ЛТ}$ <i>B</i>	n , об/мин	ω с ⁻¹	$I_{я0}$ <i>A</i>	M , <i>Нм</i>		
Искусственная с шунтированием ($R_{ш} \neq \infty$)	Генераторный										
	Идеальный ХХ										
Искусственная (реостатная $R_{доп} > 0$)	Двигательный										
	Противоключени е										
Естественная	Двигательный										
Искусственная $R_{доп} = 0$	Динамическое торможение с самовозбуждением										
Искусственная $R_{доп} > 0$											

4. Из полученных экспериментальных и расчетных точек (табл. 2.1) построить график зависимости момента от тока якоря $M = f(I_{я})$ (рис. 2.1) для естественной характеристики; электромеханических и механических характеристик, отдельно в системах координат $\omega = f(I_{я})$ и $\omega = f(M)$ (рис. 2.2).

5. Сделать выводы о работе.

Методические указания

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 2.3; с расположением соответствующего электрооборудования, приборов, коммутационных устройств; выяснить назначение каждого элемента схемы; записать по заводским таблицам технические данные *ИМ* и *НМ*; убедиться в том, что все

автоматические выключатели выключены, а включение оборудования не приведет к травме или аварийной ситуации.

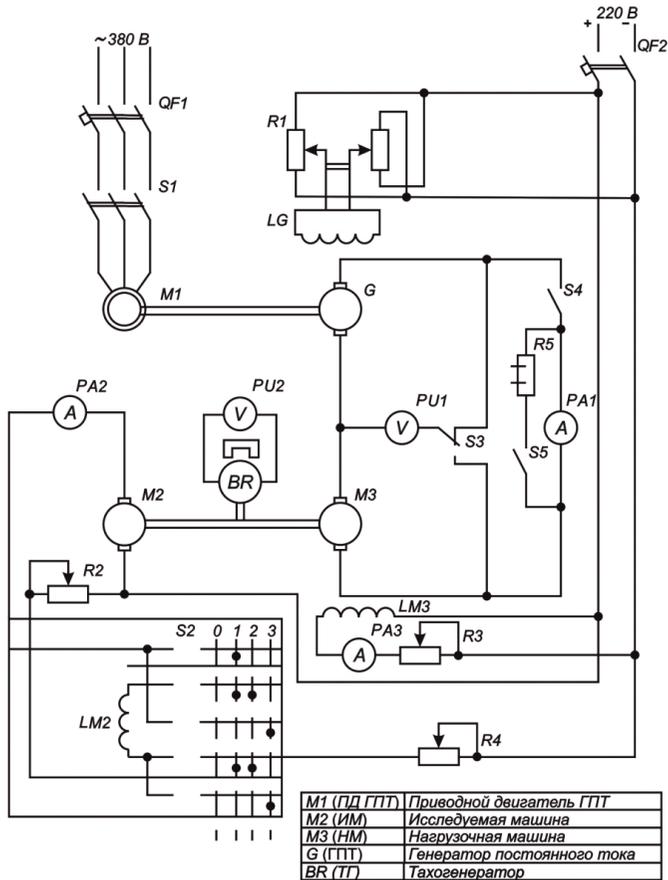


Рисунок.2.3 – Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

Исходные положения остальных коммутационных устройств:

- включение $S1, S4$ - положение «Выкл»;
- переключатель $S2$ - в положение «Выкл»;
- переключатель вольтметра $PU1$ $S3$ - положение «ГПТ»;
- переключатель амперметра $PA1$ $S5$ - в положение «XX».

Снятие характеристики холостого хода нагрузочной машины:

- включить автоматические выключатели $QF1, QF2$;

- включить выключатель $S1$ для запуска ПД ГПТ;
 - резистором $R3$ установить ток возбуждения HM 0,25-0,3 А, контролируя его амперметром $PA3$. Установленное значение поддерживать во время дальнейших исследований неизменным, что обеспечивает постоянство магнитного потока HM ;
 - резистором в цепи питания обмотки возбуждения ГПТ $R1$ установить ЭДС ГПТ равной нулю, контролируя его вольтметром $PU1$;
 - выключателем $S4$ подключить якорь HM к ГПТ;
 - плавно повышая реостатом $R4$ напряжение ГПТ, контролируя значение тока якоря HM , амперметром $PA1$ и соответствующие значения напряжения тахогенератором BR вольтметром $PU2$, снять с момента начала движения HM до момента достижения вольтметром $PU2$ значения напряжения 90 В, опорные точки зависимости $I_{я0} = f(U_{ГТ})$ и занести их в таблицу 2.1. Количество точек – 8-10, рекомендуемый интервал изменения напряжения тахогенератора – 10 В; верхний предел изменения напряжения ГПТ - 240 В;
 - плавно снизить напряжение ГПТ и ток якоря HM до нуля, разомкнуть выключатель $S4$, и установить его в положение «откл»;
 - переключатель $S5$ - в положение «раб»;
 - переключатель $S3$ - в положение « HM ».
- Снятие опорных точек электромеханических и механических характеристик $ИМ$ (табл. 2.1).
- ввести резисторы $R2$ и $R4$ в цепь $ИМ$;
 - установить переключатель $S2$ в положение «шунт», при этом может вращаться якорь $ИМ$;
 - контролируя частоту вращения $ИМ$ по вольтметру тахогенератора $PU2$ вывести резистор $R4$, а потом плавно регулируя резистор $R2$ так, чтобы частота вращения составляла 800-1000 об/мин;
 - измерить вольтметром $PU1$ ЭДС HM , поставить переключатель $S3$ в положение ГПТ и резистором $R1$ установить точно такое же значение ЭДС ГПТ;
 - выключателем $S4$ соединить цепь якорей ГПТ- HM , при этом ток через амперметр $PA1$ должен равняться нулю. Значение ЭДС якоря HM и соответствующие значения частоты вращения $n_{НОМ}$ занести в табл. 2.1;
 - повышая реостатом $R1$ ЭДС ГПТ, ввести $ИМ$ в генераторный режим работы, так, чтобы ток якоря HM не превышал 10 А, а частота вращения была не более 1500 об/мин;
 - изменяя реостатом $R1$ напряжение ГПТ, снять опорные точки электромеханической и механической искусственных характеристик $ИМ$ в схеме с шунтированием якоря в генераторном, идеального XX и двигательном режимах работы. При этом ток якоря HM не должен превышать 10 А. Число точек 6÷8. Показание тока якоря HM по

амперметру $PA1$, тока якоря $ИМ$ по амперметру $PA2$; напряжения $ГПТ$ по вольтметру PUI ; напряжения тахогенератора BR по вольтметру $PU2$ занести в табл. 2.1 для построения характеристик;

- изменяя ЭДС $ГПТ$ резистором $R1$, установить нулевой ток якоря $ИМ$ по амперметру $PA1$;

- ввести реостат $R4$ в цепь питания $ИМ$;

- переключатель $S2$ установить в положение «норм. схема».

- увеличивая реостатом $R1$ напряжение $ГПТ$ повысить частоту вращения $ИМ$ до 1500 об/мин;

- плавно уменьшая напряжение $ГПТ$ реостатом $R1$, снять опорные точки искусственной (реостатной) характеристики для двигательного режима работы и режима противовключения, для измерения переключить полярность вольтметра $PU2$ и учитывать его напряжение и напряжение тахогенератора с отметкой «минус». Ток якоря $ИМ$ - не больше 10 А, частота вращения в режиме противовключения не должна превышать 500 об/мин. Число опорных точек реостатной характеристики 6÷8. Данные занести в табл. 2.1.

- реостатом $R1$ изменить напряжение $ГПТ$ для перехода $ИМ$ снова в двигательный режим работы и достижения скорости 1500 об/мин;

- для снятия естественной характеристики $ИМ$ вывести реостат $R4$ из цепи ее питания;

- плавно уменьшая напряжение $ГПТ$ снять опорные точки естественной характеристики.

Ток якоря $ИМ$ - не больше 10 А. Число опорных точек 5-6. Данные записать в табл. 2.1;

- по окончании измерений ввести полностью в цепь питания реостат $R4$ и разомкнуть выключатель $S4$.

Для снятия характеристик режима динамического торможения с самовозбуждением:

- переключатель $S2$ установить в положение «дин. торм.»;

- реостатом $R1$ установить нулевое значение ЭДС $ГПТ$ по вольтметру PUI ;

- ввести резистор $R2$

- замкнуть выключатель $S4$;

- плавно повышая реостатом $R1$ ЭДС $ГПТ$ снять опорные точки характеристик в режиме динамического торможения для $R_{oon} > 0$. Максимальный ток $ИМ$ – 10 А, частота вращения не больше 1500 об/мин. Число точек 5-6. Данные занести в табл. 2.1;

- ввести резистор $R2$;

- плавно уменьшая реостатом $R1$ ЭДС $ГПТ$ до нуля, снять опорные точки характеристик в режиме динамического торможения для $R_{oon} > 0$. Число точек – 5-6. Данные занести в табл. 2.1.

Выключение стенда:

- выключить автоматические выключатели $QF1$, $QF2$;
- установить выключатель $S1$ - в положение «откл», переключатель $S2$ - в положение «откл», выключатель $S4$ - в положение «откл».

После окончания работы заполненные формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки полученных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Проанализируйте уравнение электромеханической и механической характеристик с целью определения способов регулирования угловой скорости вращения якоря и назовите эти способы.

2. Дайте краткую характеристику режимов работы двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

3. Как изменится ток якоря двигателя, если момент на его валу увеличится в два, три раза?

4. Как будет изменяться угловая скорость двигателя при нормальной схеме включения если момент его уменьшится до нуля?

5. Почему при нормальной схеме включения двигателя нельзя осуществить режим рекуперативного торможения?

6. Как влияет значение сопротивления шунтирующего якоря резистора на скорость идеального холостого хода?

7. Объясните условия для возникновения самовозбуждения двигателя в режиме динамического торможения с последовательным возбуждением.

Литература: [1, с.65- 73]; [2, с.43- 49]; [3, с. 175-182, 186-189].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСКОРОСТНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ.

Цель работы: экспериментальное получение механических характеристик двигателя для разных режимов работы, изучение его регулировочных свойств.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором нашли широкое применение благодаря их относительной простоте, надежности в эксплуатации и возможности подключения непосредственно к промышленным сетям переменного тока.

Из выражения для определения синхронной угловой скорости (скорости вращения магнитного поля), $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$ (f - частота

напряжения сети питания; p - количество пар полюсов) вытекает, что эту скорость можно изменять, за счет изменения количества пар полюсов. Такой способ регулирования реализуется в специальных многоскоростных двигателях с короткозамкнутым ротором, где изменение количества полюсов осуществляется переключением выводов обмотки статора, а обмотка ротора автоматически приспособляется к количеству полюсов обмотки статора. Существуют несколько схем обмоток статора, которые позволяют изменить количество пар полюсов (полюсопереключаемые). Некоторые многоскоростные двигатели имеют несколько статорных обмоток с разным количеством пар полюсов.

Исходя из выражения механической характеристики двигателя, его электромагнитный момент:

$$M = \frac{3U_{\phi}^2 R_2}{\omega_0 \left[(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + \alpha_1 + x_2'^2 \right] \cdot s},$$

где ω – угловая скорость вращения ротора;

U_{ϕ} - фазное напряжение;

R_1, x_1 - соответственно активное и индуктивное сопротивления обмотки статора;

R_2, x_2 - соответственно приведенные к обмотке статора активное и индуктивное сопротивления цепи ротора, откуда вытекает, что скольжение зависит от значения момента, или значение момента определяется значением скольжения. Когда скольжение стремится к нулю, момент также стремится к нулю, а когда скольжение стремится к бесконечности, момент снова стремится к нулю. Таким образом, существует максимальный (критический) момент

$$M_K = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 \left[(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2')^2})^2 \right]},$$

которому отвечает значение скольжения

$$s_K = \pm \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + \alpha_1 + x_2'^2}}$$

Знаки \pm в выражениях показывают, что критический момент оказывается при положительных и отрицательных значениях скольжения. Критический момент зависит от квадрата напряжения, а это негативно влияет на механические характеристики асинхронного

двигателя, и не зависит, как видно из анализа выражения, от значения активного сопротивления цепи ротора.

Асинхронный двигатель может работать в двигательном режиме работы, а также в тормозных режимах: генераторного (рекуперативного торможения), противовключение и режиме динамического торможения. Динамическое торможение асинхронного двигателя осуществляется обычно включением обмотки статора к источнику постоянного тока. Постоянный ток, который проходит по обмоткам статора, создает неподвижное магнитное поле, и при вращении ротора в нем, приводится переменная ЭДС, под действием которой в обмотке ротора течет переменный ток, который в свою очередь создает магнитное поле, которое вращается вокруг ротора, но оно неподвижно относительно статора. В результате взаимодействия суммарного магнитного потока с током ротора возникает тормозной момент

$$M_{\text{д.з.}} = \frac{3I_{\text{экв}}^2 \cdot X_{\mu} \cdot R_2'}{\omega_0 \left[(R_2'/s)^2 + (X_{\mu} + X_2')^2 \right]}$$

где $I_{\text{экв}}$ - эквивалентный ток статора, пропорциональный постоянному току;

X_{μ} - реактивное сопротивление тока намагничивания.

Общий вид механических характеристик $\omega = f(M)$ испытуемой машины показан на рис. 3.1.

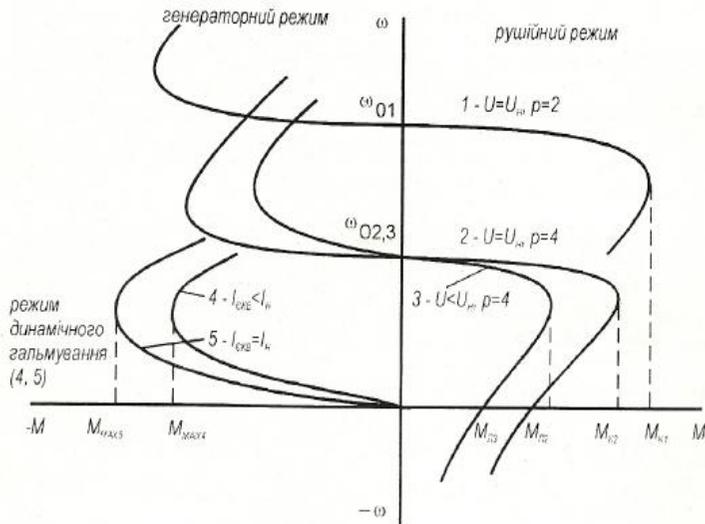


Рисунок 3.1 – Механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода погрузочной машины (табл. 1).

2. Определить опорные точки механических характеристик (табл. 1.3);

- естественной характеристики $U=U_H, p=2$;

- естественной характеристики $U=U_H, p=4$;

- искусственной характеристики $U < U_H, p=4$;

- в режиме динамического торможения при двух значениях тока статора.

3. Из полученных результатов построить кривую зависимости тока холостого хода $I_{\text{я0}}$ от угловой скорости $\omega = f(\omega)$, рис. 1.2; рассчитать опорные точки зависимостей $\omega = f(M)$ двигателя в испытываемых режимах с использованием методики, разд. 1.1.

4. Из полученных экспериментальных и расчетных точек (табл. 1.3.) построить механические характеристики исследуемого двигателя $\omega = f(M)$ (рис. 3.1).

5. Сделать выводы о работе.

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 3.2, с расположением соответствующего электрооборудования, приборов, коммутационных устройств; выяснить назначение каждого элемента схемы; записать по заводским табличками технические данные $ИМ$ и $НМ$; убедиться в том, что все автоматические выключатели отключены, а включение не приведет к травме, или аварийной ситуации.

Снятие характеристики холостого хода на грузочной машины:

- включить автоматические выключатели $QF1, QF2$;

- резистором в цепь обмотки возбуждения на грузочной машины $R3$ установить ток возбуждения равным 0,5-0,6 максимального значения, контролируя его амперметром $PA3$. Установленное значение поддерживать по пути дальнейших исследований неизменными;

- замкнуть выключатель включения $ПД ГПТ S1$;

- резистором регулирования тока возбуждения $ГПТ R1$ установить нулевое напряжение на выходе $ГПТ$, контролируя ее вольтметром $PU4$;

- выключателем $S4$ подключить $НМ$ к $ГПТ$;

- плавно повышая резистором $R1$ напряжение $ГПТ$ и ток якоря $НМ$, контролируя скорость вращения якоря $НМ$ вольтметром тахогенератора $PU5$, снять с момента сдвига опорные точки зависимости $I_{\text{я0}} = f(\omega)$ $НМ$.

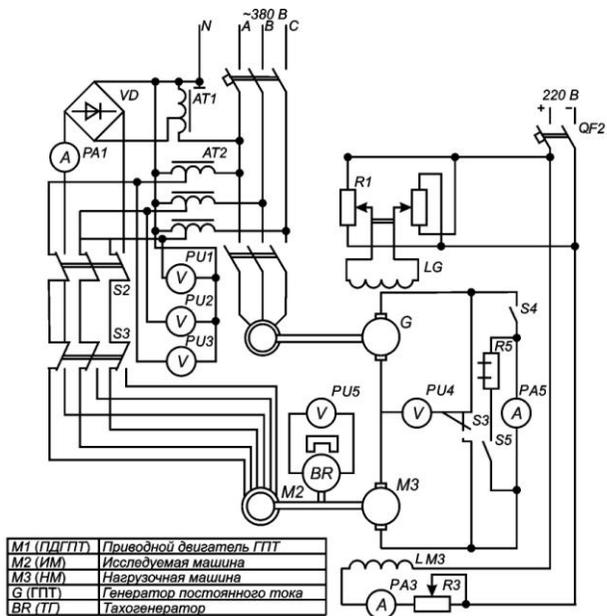


Рисунок 3.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

Исходные положения остальных коммутационных устройств:

- выключатели $S1$ и $S4$ - в положение «Выкл»;
- переключатель $S5$ - в положение «XX»;
- переключатель вольтметра $PU4$ $S6$ - в положение «ГПТ»;
- переключатель $S2$ - в положение «НМ».

Методические указания

Верхний предел изменения напряжения ГПТ – 240 В; частоты вращения НМ – 170 об/мин, количество опорных точек, начиная с момента сдвига 8-10, рекомендуемый интервал изменения напряжения тахогенератора – 10 В. Опорные точки зависимости $I_{\text{я0}} = f(U_{\text{ГТ}})$, записать в таблицу 1.1.

- после окончания снятия зависимости плавно снизить реостатом $R1$ напряжение ГПТ к нулю;

- переключатель $S4$ установить в положение «Выкл»;
- переключатель $S5$ - в положение «раб»;
- переключатель $S6$ - в положение «НМ».

Снятие опорных точек механических характеристик (табл. 3.1):

- установить переключатель $S3$ в положение « $p=2$ »;

- с помощью трехфазного регулятора напряжения $AT2$ установить фазное напряжение $U_0=U_H=220\text{ В}$ и в дальнейшем поддерживать его неизменным, контролируя вольтметрами $PU1 - PU3$;

- переключателем $S2$ подать трехфазное напряжение на $ИМ$;

- вольтметром $PU4$ измерить ЭДС $ИМ$;

- переключить переключатель $S6$ в положение «ГПТ», реостатом $R1$ установить такое же значение ЭДС ГПТ и замкнуть выключатель $S4$. При этом ток в цепи якорей ГПТ-ИМ, что показывает амперметр $PA5$, должен равняться нулю. Значение ЭДС якоря $ИМ$ и соответствующее значение частоты вращения $n_{0ИМ}$ занести в табл. 3.1.

- плавно повышая ЭДС ГПТ резистором $R1$ и соответственно ток якоря $ИМ$ до 15–20 А, контролируя его амперметром $PA2$, перевести $ИМ$ в генераторный режим;

- снижая ЭДС ГПТ снять опорные точки естественной механической характеристики $ИМ$ в генераторном и двигательном режимах для $p=2$ при токе якоря $ИМ$ не больше 15-20 А; количество опорных точек 8-10. Значение тока якоря $I_{ЯИМ}$ по амперметру $PA5$, напряжения ГПТ по вольтметру $PU4$, фазное напряжение по вольтметру $PU1 - PU3$, и напряжение тахогенератора по вольтметру $PU5$ занести в табл. 3.1;

- повысить плавно ЭДС ГПТ и при токе якоря $ИМ$, равном нулю, разомкнуть выключатель $S4$;

- переключатель $S3$ установить в положение « $p=4$ »;

- снова измерить вольтметром $PU4$ ЭДС $ИМ$, переключить переключатель вольтметра $S6$, установить такое же значение ЭДС ГПТ реостатом $R1$ и замкнуть выключатель $S4$;

- ввести $ИМ$ в генераторный режим и аналогично вышеприведенному снять опорные точки естественной механической характеристики при $U_\phi=U_H$, $p=4$. Данные занести в табл. 3.1;

- установить по амперметру $PA5$ ток якоря $ИМ$, равный нулю;

- с помощью трехфазного регулятора напряжения $AT2$ установить фазное напряжение $U_\phi=40\text{--}50\text{ В}$;

- плавно повышая реостатом $R1$ ЭДС ГПТ, установить частоту вращения $ИМ$ 1300–1400 об/мин;

- уменьшая ЭДС ГПТ, контролируя ток якоря $ИМ$ амперметром $PA2$, снять опорные точки искусственной механической характеристики в генераторном, двигательном режимах, и в режиме противовключения при $U_\phi < U_H$, $p=4$.

При переходе из двигательного режима в режим противовключения переключить переключатель полярности вольтметра тахогенератора $PU5$. Частота вращения $ИМ$ - не больше 1000 об/мин.

Количество опорных точек 8-10, обязательно снять точки при максимальных токах якоря и идеальном холостом ходе *НМ*;

- установить резистором *RI* ток *НМ*, равный нулю (при переходе *ИМ* в двигательный режим работы снова переключить полярность вольтметра *PU5*) и разомкнуть выключатель *S4*;

- переключатель *S2* установить в положение «Выкл», переключатель *S3* - в положение « $p=2$ »;

- установить резистором *RI* напряжение на выходе *ГПТ* равное нулю;

- переключатель *S2* - в положение «*ДТ*»;

- включить выпрямитель *V* и с помощью автотрансформатора выпрямителя *АТ1* установить ток в цепи статора *ИМ* 4А, контролируя его амперметром *РА1*;

- замкнуть выключатель *S4* и плавно повышая резистором *RI* ток якоря *НМ*, снять опорные точки механической характеристики *ИМ* в режиме динамического торможения при токе статора $I_1 = I_{1Н} = 4А$. При этом обязательно зафиксировать точку максимального тока якоря *НМ*. Максимальная частота вращения - 500 об/мин. Данные занести в табл. 3.1;

- резистором *RI* установить ток якоря *НМ*, равный нулю;

- установить автотрансформатором *АТ1* ток статора *ИМ* 3А и аналогично вышеприведенному снять опорные точки механической характеристики *ИМ* в режиме динамического торможения при токе статора *ИМ* $I_1 < I_{1Н}$.

Выключение стенда:

- установить резистором *RI* ток якоря *НМ* равный нулю и разомкнуть выключатель *S4*;

- выключить выпрямитель *V*;

- переключатель *S2* установить в положение «Выкл»;

- разомкнуть выключатель *S1*;

- отключить автоматические выключатели *QF1* и *QF2*.

После окончания работы заполненные формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки полученных результатов.

Таблица 3.1 – Опорные точки механических характеристик двухскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

№	Измерено						Расчитано				
	$E_{НМ} = В; n_{0(НМ)} = \text{об/мин.}; \omega_{0(НМ)} = \text{с}^{-1}$						$k\Phi = \frac{E_{НМ}}{\omega_{0(НМ)}}, В \cdot \text{с}$				
	Наименование характеристики	Режим работы	$I_{я(НМ)}$ А	$U_{ГПТ}$ В	$U_{Ф}$ В	$U_{ГТ}$ В	$I_1, А$ (реж. дин. тормож)	N об/ мин	ω с ⁻¹	$I_{я0}$ А	M НМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Цель работы: экспериментальное получение электромеханических и механических характеристик двигателя для разных режимов работы, изучения его электромеханических свойств.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Асинхронные двигатели с фазным ротором имеют фазные роторные обмотки, концы которых соединены звездой, а начала выведены на токосъемные кольца, что позволяет вводить в цепь ротора дополнительные элементы для изменения электромеханических и механических характеристик двигателя.

При введении в цепь ротора дополнительных сопротивлений или замыкании выводов роторной обмотки накоротко, электромеханическая характеристика асинхронного двигателя в постоянном режиме работы приблизительно описывается уравнением

$$I_2 = \frac{U_\Phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_2 + X_2')^2}},$$

где I_2' , R_2' , X_2' - соответственно приведенные к обмотке статора фазный ток ротора, активное и реактивное сопротивления роторной цепи;

R_1 , X_1 - соответственно активное и реактивное сопротивления фазы статора;

U_Φ - фазное напряжение источника питания.

Механическая характеристика при этом описывается тем же уравнением, что и для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (см. лабораторную работу 3).

В асинхронном двигателе с фазным ротором, по сравнению с короткозамкнутым, появляются дополнительные регулировочные свойства, которые позволяют изменять параметры роторной цепи.

Максимальный (критический) момент оказывается при критическом скольжении S_k (лабораторная работа 3), которое, как видно из анализа выражения, зависит от активного сопротивления цепи ротора, который определяет возможность изменения механических характеристик двигателя при введении в цепь ротора дополнительного активного сопротивления R_d . Общий вид электромеханических и механических характеристик исследуемого двигателя показан на рис. 4.1.

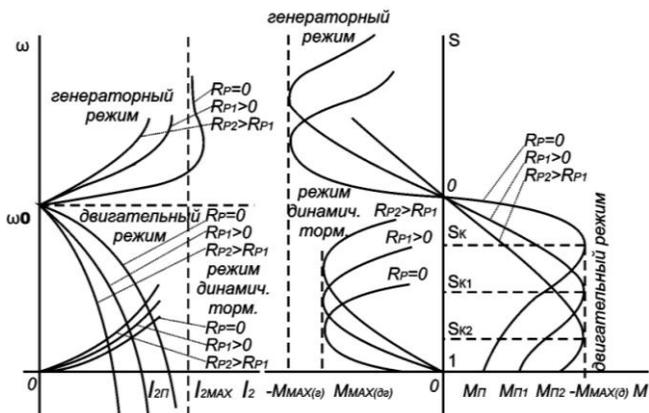


Рисунок 4.1. Электромеханические и механические характеристики асинхронного двигателя

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода нагрузочной машины.

2. Определить опорные точки электромеханических и механических характеристик (табл. 4.1):

- естественной в области генераторного и движущего режимов работы ($R_D = 0$);

- двух реостатных ($R_{D1} > 0$, $R_{D2} > R_{D1}$) в области генераторного и движущего режимов;

- трех искусственных в режиме динамического торможения ($R_D = 1$; $R_{D1} > 0$; $R_{D2} > R_{D1}$).

3. Из полученных результатов построить кривую зависимости тока холостого хода НМ от угловой скорости $I_{\text{я0}} = f(\omega)$, и рассчитать опорные точки зависимостей $\omega = f(I_2)$ и $\omega = f(M)$ двигателя в исследуемых режимах с использованием методики, изложенной ранее.

4. Из полученных экспериментальных и расчетных точек (табл. 4.1) построить график электромеханических и механических характеристик отдельно в системах координат $\omega = f(I_2)$ и $\omega = f(M)$, рис. 4.1.

5. Сделать выводы о работе.

Таблица 4.1 - Опорные точки электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором

	Измерено	Расчитано

		$E_{HM} = B; n_{0(HM)} = \text{об/мин.}; \omega_0 = \text{с}^{-1}$						$k\Phi = \frac{E_{HM}}{\omega_{o(HM)}}, B \cdot \text{с}$				
Наименование характеристики		Режим работы ИМ	I_{2HM}, B	U_{2HM}, B	$I_{яHM}, A$	$U_{ггг}, B$	$U_{гг}, B$	$I_{дHM}, A$ (режим дин. торможения)	п об/мин	$\omega \text{ с}^{-1}$	$I_{я0}, A$	М НМ
Естественная ($R_d=0$)			Генераторный									
Естественная ($R_d=0$)		Идеальный ХХ										
Естественная ($R_d=0$)		Двигательный										
Реостатная $R_{d1} > 0$		Генераторный										
Реостатная $R_{d1} > 0$		Идеальный ХХ										
Реостатная $R_{d1} > 0$		Двигательный										
Реостатная $R_{d2} > R_{d1}$		Генераторный										
Реостатная $R_{d2} > R_{d1}$		Идеальный ХХ										
Реостатная $R_{d2} > R_{d1}$		Двигательный										
Искусственная $R_{d2} > R_{d1}$		Динамическое торможение										
Искусственная $R_{d1} > 0$												

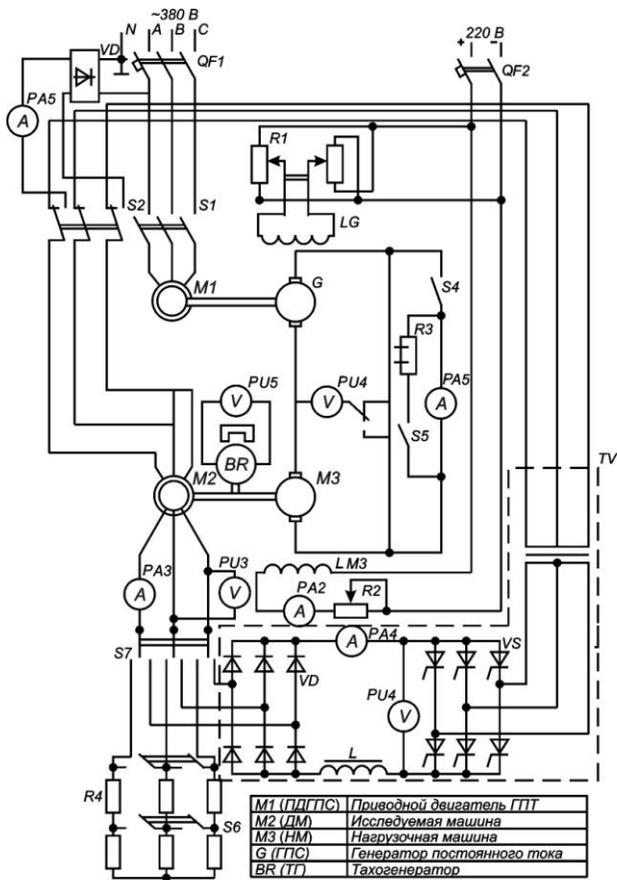


Рисунок.4.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

- плавно повышая резистором $R1$ напряжение $ГПТ$ и ток якоря $НМ$, контролируя скорость вращения якоря $НМ$ по вольтметру тахогенератора $PU2$, снять с момента сдвига опорные точки зависимости $I_{Я0} = f(\omega)$, $НМ$. Верхний предел изменения напряжения - 240 В; частота вращения $НМ$ - 1450 об/мин; число опорных точек 8-10, рекомендованный интервал изменения напряжения тахогенератора – 10 В. Опорные точки зависимости $I_{Я0} = f(U_{ГТ})$ занести в табл. 4.1;

- после окончания снятия зависимости плавно снизить резистором $R1$ напряжение $ГПТ$ к нулю;

- переключатель $S4$ установить в положение «Выкл»;

- переключатель $S5$ - в положение «раб»;

- переключатель $S3$ - в положение « HM ».

Снятие опорных точек электромеханических и механических характеристик (табл. 4.1):

- выключателем $S2$ подать напряжение на IM . При этом вольтметр $PУ3$ покажет значение линейной ЭДС заторможенного (неподвижного) ротора;

- переключатель $S7$ установить в положение «реост», после чего ротор IM должен вращаться;

- ввести реостаты в цепь ротора, установив переключатель $S6$ в положение «1»;

- вольтметром $PУ1$ измерить ЭДС HM , переключить переключатель $S3$ в положение « $ГПТ$ », установить реостатом $R1$ точно такое же значение ЭДС $ГПТ$ и замкнуть выключатель $S4$. При этом ток в цепи якоря HM должен равняться нулю. Значение ЭДС якоря HM и соответствующую частоту вращения HM записать в табл. 1.4:

- плавно повышая ЭДС $ГПТ$ и ток якоря HM до 15-20 А, контролируя его амперметром $РА1$, перевести IM в генераторный режим работы;

- уменьшая ЭДС $ГПТ$ снять опорные точки естественной электромеханической и механической характеристик IM в генераторном и двигательном режимах при токе якоря HM не больше 15-20 А; частота вращения ротора IM - не больше 1450 об/мин, контролируя ток ротора амперметром $РА3$, линейное напряжение на резисторах - вольтметром $PУ3$, ток якоря HM - амперметром $РА1$, напряжение $ГПТ$ - вольтметром $PУ1$, напряжение тахогенератора - вольтметром $PУ2$. Количество опорных точек – 5-8 с обязательным измерением при идеальном холостом ходе IM ($I_{2IM}=0$). Данные занести в табл. 4.1;

- реостатом $R1$ установить ток ротора IM , равный нулю и ввести переключатель $S6$ в положение «2» ($R_{д1}>0$);

- плавно повышая ЭДС $ГПТ$ опять перевести IM в генераторный режим работы с обязательным выполнением вышеуказанных ограничений и аналогично снять опорные точки реостатной характеристики при $R_{д1}>0$;

- реостатом $R1$ установить ток ротора IM , равный нулю и перевести переключатель $S6$ в положение «3» ($R_{д2}>R_{д1}$);

- плавно повышая ЭДС $ГПТ$ снова перевести IM в генераторный режим работы с обязательным выполнением вышеуказанных ограничений и аналогично снять опорные точки реостатной характеристики при $R_{д2}>R_{д1}$;

- установить реостатом $R1$ ток якоря IM , равный нулю и разомкнуть выключатель $S4$;

- переключатель $S2$ установить в положение «ДТ» (динамическое торможение);

- включить выпрямитель V и установить регулятором его напряжения ток статора 3-4 А, контролируя его амперметром, который установлен на выпрямителе;

- реостатом $R1$ установить напряжение ГПТ равное нулю, контролируя ее вольтметром PUI и замкнуть выключатель $S4$;

- плавно повышая реостатом $R1$ ЭДС ГПТ и ток ротора $ИМ$, контролируя его амперметром $PA3$, снять опорные точки электромеханической и механической характеристик при $R_{Д2} > R_{Д1}$. Максимальная частота вращения $ИМ$ - 1000 об/мин. Количество точек – 5-6. Данные занести в табл. 1.4;

- плавно реостатом $R1$ снизить напряжение ГПТ к нулю, переключатель $S6$ - в положение «2» ($R_{Д1} > 0$) и аналогично вышеуказанному, снять опорные точки электромеханической и механической характеристик при $R_{Д1} > 0$;

- плавно реостатом $R1$ снизить напряжение ГПТ до нуля, переключатель $S6$ установить в положение «1» ($R_{Д1} > 0$) и аналогично вышеуказанному снять опорные точки электромеханической и механической характеристик при $R_{Д1} > 0$.

Выключение стенда:

- установить реостатом $R1$ ток якоря $ИМ$, равный нулю и разомкнуть выключатель $S4$;

- выключить выпрямитель V ;

- разомкнуть переключатель $S1$;

- переключатели $S2$, $S7$ установить в нейтральное положение;

- отключить автоматические выключатели $QF1$ и $QF2$.

После окончания работы заполненные формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки полученных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменится критическое скольжение, если активное сопротивление цепи ротора увеличится в два раза?

2. Из полученных электромеханических характеристик определить количество пар полюсов $ИМ$.

3. Из полученных данных найдите сопротивление первой степени реостата, который вводился в цепь ротора, а по механическим характеристикам определите ориентировочно активное сопротивление обмотки ротора.

4. Посчитайте мощность на валу двигателя в двигательном режиме работы при моменте $M=7$ Нм и рассчитайте потери в роторных реостатах при дополнительном сопротивлении $R_{Д2}$.

5. Оцените эффективность и экономичность динамического торможения по сравнению с режимом противовключения.

6. Объясните по физическим соображениям наличие максимального (критического) момента в механических характеристиках.

Литература: [1, с.74- 89]; [2, с.58- 76];[3, с. 193-199, 201-207, 254-260].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ В СИСТЕМЕ ГЕНЕРАТОР–ДВИГАТЕЛЬ (Г-Д)

Цель работы: экспериментальное получение электромеханических и механических характеристик двигателя при питании его от автономного генератора, исследования режимов работы и регулировочных качеств привода системы Г-Д.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Система Г-Д состоит из приводного двигателя постоянного тока независимого возбуждения, который получает питание непосредственно от генератора постоянного тока, который имеет собственный приводной двигатель. В системе Г-Д уравнение равновесия цепи якоря для постоянного режима работы имеет вид

$$E_{\Gamma} = E_{\Delta} + (R_{\Gamma} + R_{\Delta}) \cdot I_{\text{я}} \quad (1.6)$$

где E_{Γ}, E_{Δ} - соответственно ЭДС якорей генератора и двигателя;

R_{Γ}, R_{Δ} - соответственно сопротивления цепи якорей генератора и двигателя;

$I_{\text{я}}$ - ток цепи якорей.

Из уравнения (1.6) с учетом (1.2) вытекает уравнение электромеханической характеристики для постоянного режима работы

$$\omega = \frac{E_{\Gamma}}{k\Phi_{\Delta}} - \frac{R_{\Gamma} + R_{\Delta}}{k\Phi_{\Delta}} I_{\text{я}} = \omega_0 - \Delta\omega,$$

где $\beta = \frac{\kappa^2 \cdot \Phi_{\omega}^2}{R_{\Gamma} + R_{\Delta}}$ - угловая скорость идеального холостого хода;

Φ_{Δ} - магнитный поток двигателя;

$\Delta\omega = \frac{R_{\Gamma} + R_{\Delta}}{k\Phi_{\Delta}} I_{\text{я}}$ - перепад угловой скорости.

Уравнение механической характеристики

$$\omega = \frac{E_{\Gamma}}{\kappa\Phi_{\partial}} - \frac{R_{\Gamma} + R_{\text{я}}}{\kappa^2\Phi_{\partial}^2} M = \omega_0 - \frac{1}{\beta} M,$$

где $\beta = \frac{\kappa^2 \cdot \Phi_{\partial}^2}{R_{\Gamma} + R_{\text{я}}}$ - модуль жесткости механической характеристики.

Механические характеристики обладают уменьшенной жесткостью, по сравнению с характеристиками при питании двигателя от источника с напряжением U , что объясняется наличием в цепи якоря генератора сопротивления R_{Γ} , эквивалентного некоторому добавочному сопротивлению при питании двигателя от источника с неизменным напряжением.

Возможность изменения ЭДС генератора E_{Γ} предоставляет системе хорошие регулировочные свойства, которые используют в электроприводах системы Г-Д. Изменение E_{Γ} осуществляется обычно изменением магнитного потока (тока возбуждения) генератора. Дополнительные возможности регулирования определяются изменением магнитного потока двигателя $\Phi_{\text{д}}$ за счет изменения тока возбуждения. Использование обоих способов зовется двухзонным регулированием.

Важным показателем регулировочных способностей системы является диапазон регулирования скорости. Диапазон регулирования скорости определяется как отношение максимальной скорости к минимальной при номинальном моменте двигателя. За максимальную угловую скорость ω_{max} для определения диапазона регулирования при однозонном регулировании, принимают скорость при номинальных значениях ЭДС генератора $E_{\Gamma} = E_{\text{ГН}}$, момента двигателя $M = M_{\text{Н}}$ и магнитном потоке $\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{ДН}}$. За минимальную скорость ω_{min} принимают ее значение при $M = M_{\text{Н}} (I_{\text{я}} = I_{\text{ян}})$ $\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{ДН}}$ на характеристике, которая имеет нулевую угловую скорость при двойном номинальном моменте, то есть пусковой момент на этой характеристике равняется двойному значению номинального момента: $\omega = 0$ при $M = 2M_{\text{Н}} (I_{\text{я}} = 2 I_{\text{ян}})$.

Тогда диапазон регулирования скорости можно определить

$$D = \frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_{\text{min}}} = \frac{E_{\text{ГН}}}{I_{\text{ян}}(R_{\Gamma} + R_{\partial})} - 1$$

При этом диапазон регулирования угловой скорости составляет $D=7-15$. Для повышения диапазона регулирования используют двухзонное регулирование, где благодаря уменьшению магнитного потока двигателя $\Phi_{\text{д}} < \Phi_{\text{ДН}}$ повышается значение ω_{max} , и при этом диапазон регулирования достигает $D=14-30$. Большее значение диапазона регулирования достигается применением замкнутых систем управления с обратными связями. При этом за счет повышения

жесткости механических характеристик снижается значение минимальной скорости ω_{min} , а диапазон регулирования достигает $D=100-150$.

Так как и при питании от источника с неизменным напряжением двигатель в системе Г-Д может работать в двигательном режиме, генераторном, противовключения и динамического торможения. В режиме динамического торможения ЭДС якоря генератора $E_g = 0$, характеристики проходят через начало координат ($\omega > 0$; $M = I_g = 0$).

Изменение направления вращения двигателя осуществляют изменением направления тока обмотки возбуждения генератора или двигателя.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода нагрузочной машины (табл. 5.1).
2. Определить опорные точки электромеханических и механических характеристик (табл. 5.1);
3. Из полученных результатов построить кривую зависимости тока холостого хода $I_{я0} = f(\omega)$ (рис. 1); рассчитать опорные точки зависимости $\omega = f(M)$ в испытываемых режимах с использованием методики изложенной ранее;

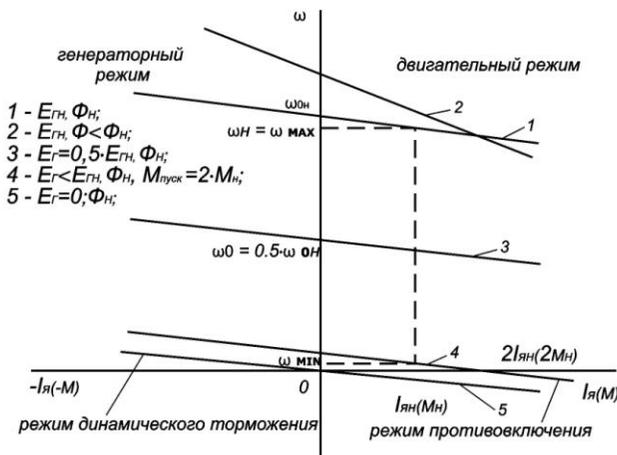


Рисунок 5.1. Электромеханические и механические характеристики двигателя в системе Г-Д

4. Из полученных экспериментальных и расчетных опорных точек (табл. 5.1) построить отдельно график зависимостей $\omega = f(I_{я})$,

$\omega = f(M)$ и определить диапазон регулирования D , учитывая, что номинальный ток якоря составляет $I_{ЯН} = 2,06$ А.

5. Сделать выводы о работе.

Методические указания

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 5.2, с расположением соответствующего электрооборудования, приборов, коммутационных устройств; выяснить назначение каждого элемента схемы, занести технические данные генератора $G1$, двигателя $M1$ и нагрузочной машины $M2$; убедиться в том, что все автоматические выключатели отключены, а включение оборудования не приведет к травме или аварийной ситуации.

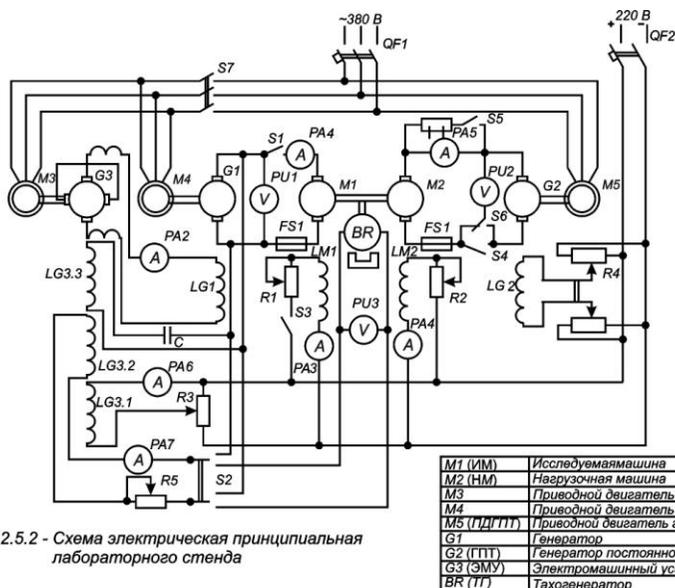


Рисунок 2.5.2 - Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

Рисунок 5.2. Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

Исходное положение остальных коммутационных устройств:

- выключатели $S1, S3, S4, S5, S7$ - разомкнуты;
- переключатель $S2$ - в нейтральном положении;
- переключатель вольтметра $PU2 S6$ - в положении «ПТТ».

Снятие характеристики холостого хода нагрузочной машины:

- включить автоматические выключатели $QF1$ и $QF2$;

- реостатом $R4$ установить напряжение на выходе генератора $G2$, равное нулю, контролируя ее вольтметром $PU2$;

- реостатом $R2$ установить ток возбуждения нагрузочной машины 0,4-0,5 от максимального значения, контролируя его амперметром $PA4$. Установленное значение поддерживать неизменным на протяжении дальнейших исследований;

- замкнуть выключатель $S4$ в цепи якоря HM ;

- плавно повышая реостатом напряжение $ГПТ$ и ток якоря HM , контролируя скорость вращения якоря $ИМ$ по вольтметру тахогенератора $PU3$, снять опорные точки зависимости $I_{я0} = f(\omega)$ HM . Опорные точки зависимости $I_{я0} = f(U_{ГТТ})$ занести в табл. 5.1. Верхний предел изменения напряжения $ГПТ$ - 240 В; частоты вращения HM - 1560 об/мин; число опорных точек, начиная с момента сдвига $ИМ$ 7–8;

- после окончания измерений плавно снизить резистором $R4$ напряжение $ГПТ$ к нулю;

- переключатель $S4$ установится в положение «Выкл.»;

- переключатели $S5, S7$ замкнуть;

- переключатель $S6$ - в положение « HM ».

Снятие опорных точек электромеханических и механических характеристик (табл. 5.1):

- замкнуть выключатель $S3$ в цепи возбуждения $ИМ$ ($M1$) и вывести резистор $R1$, контролируя ток возбуждения амперметром $PA3$;

- потенциометром $R3$ установить ток управления в обмотке электромашинного усилителя ($ЭМУ$) $LG1$, равный нулю, контролируя его амперметром $PA6$;

- плавно повышая потенциометром $R3$ ток управления $ЭМУ$ установить ЭДС генератора $G1$, равную номинальной $E_{ГН} = 230$ В, контролируя ее вольтметром $PU1$. Записать по амперметру $PA2$ соответствующий ток возбуждения генератора $I_{ОГН}$ и плавно потенциометром $R3$ снизить ЭДС $G1$ до минимума;

- замкнуть выключатель $S1$ для присоединения двигателя $M1$ к генератору $G1$;

- плавно повышая потенциометром $R3$ ток управления $ЭМУ$, установить по амперметру $PA2$ фиксированный ток возбуждения генератора $I_{ОГН}$.

- измерить ЭДС HM вольтметром $PU2$, напряжение тахогенератора $УТГ$ $PU3$, соответствующую частоту вращения HM n_{0HM} , записать в табл. 5.1;

- установить переключатель вольтметра $S6$ в положение « $ГПТ$ » и, повышая ЭДС $ГПТ$, установить ее значение, равным ЭДС HM . Замкнуть выключатель $S4$. При этом ток якоря HM должен равняться нулю;

- плавно повышая реостатом $R4$ ЭДС ГПТ, установить ток в цепи якоря $ИМ$, равный 3А, контролируя его амперметром $РА1$. При этом $ИМ$ будет работать в генераторном режиме;

- плавно уменьшая резистором $R4$ ЭДС ГПТ, переходя из генераторного режима к двигательному, снять опорные точки естественной характеристики при $E_G = E_{ГН}$; $\Phi_D < \Phi_{ДН}$. Ток якоря $ИМ$ - не больше 3,9 А; количество точек 6–8, с обязательной фиксацией точек идеального холостого хода $I_{Я0} = 0$ и точки в двигательном режиме работы при токе якоря $ИМ$ $I_{Я} = I_{ГН} = 2,06$ А по амперметру $РА1$ для определения ω_{max} . Данные занести в табл. 5.1: ток якоря исследуемой машины $I_{Я}$ $ИМ$ - по амперметру $РА1$, ток якоря погрузочной машины - по амперметру $РА5$, напряжение тахогенератора U_G - по вольтметру $PУ1$, напряжение тахогенератора - по вольтметру $PУ3$;

- установить ток якоря $ИМ$ равный нулю, и разомкнуть выключатель $S4$;

- ввести резистор $R1$ в цепь обмотки возбуждения $ИМ$ для получения значения магнитного потока $\Phi_D < \Phi_{ДН}$;

- снова установить переключатель вольтметра $S6$ в положение « $ИМ$ », измерить ЭДС $ИМ$ и, переключив $S6$ в положение « $ГПТ$ », установить реостатом $R4$ точно такое значение напряжения на выходе $ГПТ$ и замкнуть выключатель $S4$;

- аналогично вышеуказанному ввести $ИМ$ в генераторный режим работы и снять опорные точки искусственной характеристики при $E_G = E_{ГН}$; $\Phi_D < \Phi_{ДН}$.

- установить ток якоря $ИМ$ равным нулю, разомкнуть выключатель $S4$ и вывести снова резистор $R1$ для создания номинального магнитного потока $\Phi_D = \Phi_{ДН}$;

- снизить потенциометром $R3$ ток управления $ЭМУ$ по амперметру $РА6$ до нуля и разомкнуть выключатель $S1$;

- установить потенциометром $R3$ ЭДС генератора $G1$ $E_G = 110В$, контролируя ее вольтметром $PУ1$ и записать соответствующий ток возбуждения генератора $G1$ по амперметру $РА2$; затем плавно потенциометром $R3$ снизить ЭДС $G1$ до минимума;

- замкнуть выключатель $S1$ для присоединения двигателя $М1$ к генератору $G1$;

- плавно повышая потенциометром $R3$ ток нагрузки $ЭМУ$ установить по амперметру $РА2$ зафиксированный ток возбуждения, который соответствует ЭДС генератора $G1$, $E_G = 110 В$;

- снова установить переключатель вольтметра $S6$ в положение « $ИМ$ », измерить ЭДС $ИМ$ и переключив $S6$ в положение « $ГПТ$ », установить резистором $R4$ точно такое же значение напряжения на выходе $ГПТ$ и замкнуть выключатель $S4$;

- аналогично вышеуказанному, ввести $ИМ$ в генераторный режим работы и снять опорные точки искусственной характеристики при $E_{Г} < E_{Гн}$; $\Phi_{д} = \Phi_{дн}$;

Таблица 5.1 – Опорные точки электромеханических и механических характеристик двигателя в системе Г-Д.

	Измерено						Рассчитано			
	$E_{НМ} =$ В; $n_0 (НМ) =$ об/мин.; $\omega_0 =$ с ⁻¹						$k\Phi = \frac{E_{НМ}}{\omega_{(НМ)}} \cdot Bc$			
Наименование характеристики	Режим работы ИМ	$I_{я (НМ)}$ А	$I_{я (НМ)}$ А	$U_{Г}$ В	$U_{ГГ}$ В	n об/мин	ω с ⁻¹	$I_{я0}$ А	M Нм	
$E_{Гн}; \Phi_{дн}$	Генераторный									
	Идеальный ХХ	0								
$E_{Гн}; \Phi_{д} < \Phi_{дн}$	Генераторный									
	Идеальный ХХ	0								
$E_{Г} < E_{Гн}; \Phi_{дн}$	Генераторный									
	Идеальный ХХ	0								
$E_{Г} = 0; \Phi_{дн}$	Генераторный									
	Динамическое торможение	-2 -1 0 1 2								
$E_{Г} < 0; \Phi_{дн}$	Определение ω_{min}	4,12								

- установить реостатом $R4$ ток якоря $НМ$, равный нулю, разомкнуть выключатель $S4$ и снизить реостатом $R4$ напряжение $ГПТ$ к нулю, контролируя ее вольтметром $PU2$;

- плавно снизить потенциометром $R3$ напряжение генератора $G1$ до минимума;

- плавно реостатом $R4$ снизить напряжение $ГПТ$ до нуля, контролируя его вольтметром $PU2$;

- выключить выключателем $S7$ приводные двигатели генератора и ЭМУ $M4, M3$;

- включить выключатель $S4$;

- плавно повышая напряжение $ГПТ$ резистором $R4$ снять опорные точки характеристик динамического торможения в пределах изменения тока якоря $ИМ$: +3 -0 +3 А при $E_{Г} = 0$ и $\Phi_{д} = \Phi_{дн}$. Количество опорных точек 5–6. Данные занести в табл. 1.5;

- по окончанию измерений установить резистором $R4$ напряжение $ГПТ$, равное нулю и разомкнуть выключатель $S4$.

Для определения диапазона регулирования скорости в системе и измерения ω_{min} :

- выключателем $S3$ разомкнуть цепь питания обмотки возбуждения двигателя $LM1$. При этом приводной двигатель должен быть неподвижный;

- плавно повышая реостатом $R3$ ток обмотки управления и соответственно ЭДС генератора и ток якоря в цепи Г-Д довести его по амперметру $PA1$ до значения $I_{я} = 2 I_{яН} = 2 \times 2,06 = 4,12$ А;

- включить выключатель $S3$ для питания обмотки возбуждения двигателя $LM1$;

- перевести переключатель вольтметра $PU2$ $S6$ в положение «НМ», измерить значение ЭДС НМ и переключив переключатель вольтметра $S6$ в положение «ГПТ», установить точно такое же значение ЭДС $ГПТ$;

- замкнуть выключатель $S4$;

- плавно уменьшая реостатом $R4$ напряжение $ГПТ$ установить по амперметру $PA1$ ток якоря ИМ $I_{я} = I_{яН} = 2,06$ А, измерить при этом ток напряжение тахогенератора, соответствующую частоту вращения n_{min} и угловую скорость ω_{min} .

Выключение стенда:

- установить реостатом $R4$ ток якоря НМ по амперметру $PA5$, равный нулю;

- разомкнуть выключатели $S1$ и $S4$;

- отключить автоматические выключатели $QF1$, $QF2$.

После окончания работы заполненные формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки полученных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Проанализируйте уравнение электромеханической и механической характеристик и укажите способы регулирования угловой скорости вращения двигателя в системе Г-Д.

2. Как определяется диапазон регулирования скорости. Чему он равен и как его можно увеличить?

3. Как осуществляется режим динамического торможения и регулирования угловой скорости в этом режиме?

4. Из полученных электромеханических характеристик оцените значение сопротивлений цепи якорей $R_{Г} + R_{Д}$.

5. Как осуществить реверс двигателя в системе?

Литература: [1, с.112- 116]; [2, с.255- 263]; [3, с.77- 79]; [4. с.83- 87].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПЫТНЫМ ПУТЕМ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО ВЫБЕГА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При анализе механических переходных процессов в электроприводах необходимо знать моменты инерции вращающихся механических частей. Значения моментов инерции многих рабочих машин и механизмов приведены в литературе справочника, а некоторые тела вращения, которые имеют несложную форму, можно рассчитать по известным формулам. Например, момент инерции сплошного цилиндра относительно продольной оси вращения находится по формуле

$$J = \frac{mR^2}{2}, \quad (1.7)$$

где m - масса цилиндра, кг;

R - радиус цилиндра, г.

Иногда в литературе справочника указывается значение махового момента GD^2 [кг м²]. В этом случае момент инерции вычисляется $J=GD^2/4$.

Для неоднородного тела, которым, например, есть вращающаяся часть электрической машины - ротор, который имеет сложную геометрическую форму, определение момента инерции расчетным путем имеет сложности.

Существует несколько методов исследовательского определения момента инерции, но не все они удобны или не дают точные результаты. В основном используют три метода экспериментального определения момента инерции: метод крутильных колебаний; метод вспомогательного маятника и метод свободного выбега (самоторможение). Последний метод используют для определения моментов инерции роторов электродвигателей. Сущность метода заключается в следующем. При работе двигателя соответственно уравнению движения электропривода оборотный момент двигателя

$$M = M_C + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1.8)$$

где M_C - момент сил сопротивления движения;

J - момент инерции;

$\frac{d\omega}{dt}$ - угловое ускорение.

В установившемся режиме работы динамическая составляющая момента $M_D = J \frac{d\omega}{dt} = 0$, потому что $\omega = const$ и угловое ускорение равняется нулю, следовательно, момент двигателя равняется моменту сил сопротивления движения. Мощность, которая потребляется двигателем от источника питания, имеет несколько составляющих

$$P_{cm} = \Delta P_M + \Delta P_{CT} + P_C, \quad (1.9)$$

где ΔP_M - мощность потерь в обмотках при прохождении тока (потери в меди);

ΔP_{CT} - мощность потерь в стали двигателя;

P_C - мощность, которая идет на преодоление момента сил сопротивления движения M_C .

Очевидно, что после отключения двигателя от источника питания вращающий момент $M=0$ и под действием сил сопротивления движения M_C угловая скорость вращения двигателя начнет снижаться. При этом движение описывается уравнением

$$M_C + J \frac{d\omega}{dt} = 0. \quad (1.10)$$

Можно допустить, что при отключении электродвигателя момент сил сопротивления движения остается неизменным и равняется моменту до отключения. Тогда из (1.10) момент инерции

$$J = - \frac{M_C}{\frac{d\omega}{dt}_{t=0}}. \quad (1.11)$$

Если после отключения снять зависимость изменения угловой скорости во времени (кривую свободного выбега), то значение

углового ускорения $\frac{d\omega}{dt}(t=0)$ можно определить, как тангенс угла наклона касательной к кривой выбега в момент времени после отключения ($t=0$), рис. 6.1

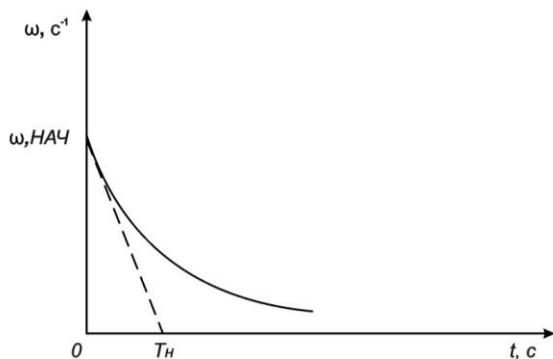


Рисунок. 6.1 – Кривая свободного выбега

где $\omega_{нач}$ – начальное значение угловой скорости при $t=0$;

T_H – значение времени, которое отсекает касательная на оси времени

Для определения момента сил сопротивления движения M_C необходимо знать мощность, которая идет на преодоление сил сопротивления движения P_C . Тогда

$$M_C = \frac{P_C}{\omega_{нач}}. \quad (1.13)$$

Мощность P_C находят следующим образом. Определяют активное сопротивление фазной обмотки статора двигателя R_ϕ и находят потери в меди

$$\Delta P_M = R_\phi(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2), \quad (1.14)$$

где I_A, I_B, I_C – соответствующие токи в фазных обмотках.

Измерив вольтметром мощность потребляемую двигателем от источника питания P , можно определить сумму остальных потерь:

$$\Delta P_{cm} + P_c = P - \Delta P_M \quad (1.15)$$

Для разделения составляющих $\Delta P_{cm} + P_c$ используют зависимость суммы этих составляющих от напряжения питания. Для этого проводят еще один эксперимент. Определяют зависимость суммы этих составляющих от напряжения источника питания. Приблизительно квадратичный характер зависимости потерь в стали от напряжения U позволяет найти величину P_C после экспериментального нахождения зависимости $\Delta P_{cm} + P_c = f(U)$, рис. 6.2.

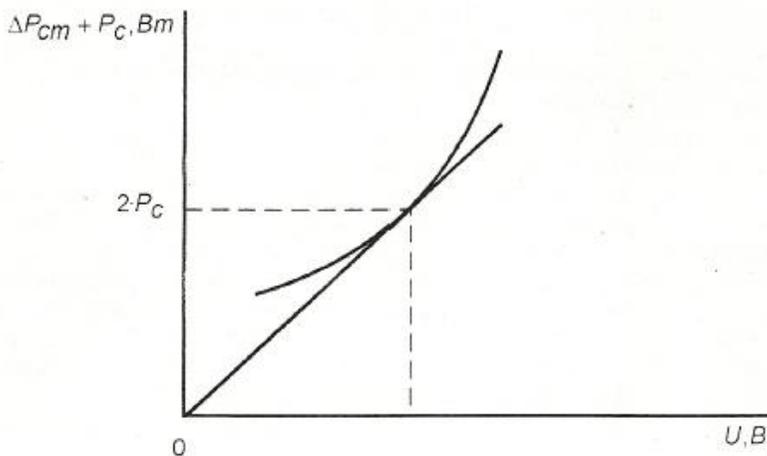


Рисунок.6.2 – Зависимость $\Delta P_{cm} + P_c = f(U)$

Для разделения потерь можно использовать метод Л.М. Пиотровского, основанный на свойствах параболы, соответственно которому потери P_c отвечают половине ординаты точки касания прямой, которая проведена с начала координат к кривой зависимости. Разделение потерь можно выполнить также другим способом. Для этого строится зависимость $\Delta P_{cm} + P_c = f(U^2)$, которая представляет собой прямую линию. Отрезок, который отсекает эта прямая на оси ординат, соответствует значению P_c .

С целью повышения продолжительности выбега, следовательно облегчения снятия зависимости $\omega = f(t)$ при выбеге, на валу двигателя установлен маховик G , диаметром $D = 280$ мм и шириной $B = 50$ мм. Маховик выполнен из стали, удельная плотность которой $\rho = 7860$ кг/м³ и представляет собой сплошной цилиндр, момент инерции которого определяется по формуле (1.7). Пренебрегая массой тахогенератора, момент инерции оборотных масс $J = J_{об} + J_{мах}$. Следовательно, момент инерции ротора двигателя

$$J_{об} = J - J_{мах} \quad (1.16)$$

где $J_{об}$ - момент инерции ротора двигателя или суммарный момент инерции двух двигателей при двухдвигательном электроприводе;

$$J'_{ред} = \frac{GD_{ред}^2}{4gi_p^2} - \text{приведенный момент инерции редуктора}$$

$$GD_{ред}^2 - \text{маховой момент, кНм}^2.$$

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Измерить среднее значение активного сопротивления обмотки статора R_ϕ .
2. Определить опорные точки зависимости $\Delta P_{cm} + P_c = f(U)$.
3. Снять опорные точки кривой свободного выбега.
4. Из полученных экспериментальных и рассчитанных данных построить кривые (рис. 6.1, 6.2) и рассчитать момент инерции ротора электродвигателя.
5. Сделать выводы о работе.

Методические указания

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 6.3, с расположением соответствующего электрооборудования, приборов, коммутационных устройств; выяснить назначение каждого элемента схемы, записать технические данные ИМ, убедиться в том, что автоматический выключатель $QF1$

разомкнут, а включение оборудования не приведет к травме или аварийной ситуации.

Исходное положение переключателя фаз измерительного комплекта К- 50 - «0».

Измерения активного сопротивления обмоток статора R_{ϕ} :

- отсоединить провода питания ИМ от измерительного комплекта К- 50;

- с помощью омметра (моста, тестера) измерить суммарные сопротивления фаз обмоток статора, учитывая то, что они соединены в звезду. Данные измерений записать в табл. 6.1;

- подсоединить провода питания ИМ к измерительному комплекту К- 50.

Таблица 6.1 – Определение активного сопротивления обмоток фаз статора.

R_{AB}, OM	R_{BC}, OM	R_{CA}, OM	$R_{cp} = \frac{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}{3}, \text{OM}$	$R_{\phi} = \frac{R_{cp}}{2}, \text{OM}$

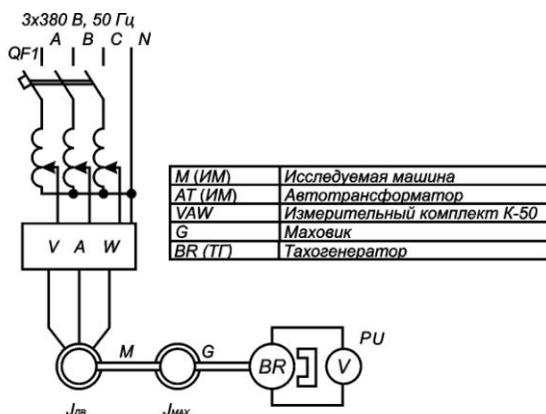


Рисунок 6.3 – Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

Снятие опорных точек зависимости $\Delta P_{cm} + P_c = f(U^2)$:

- установить трехфазный регулятор в крайнее положение, которое отвечает минимальному значению напряжения на его выходе;

- включить автоматический выключатель QF;

- плавно повышая по фазам напряжение на двигателе, измерить фазные напряжения, токи и мощности в диапазоне изменения

напряжения $U=30-240$ В. Число точек измерений – 8–10. Данные занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

№ п/п	Измерено							Рассчитано			
	$U_B,$ В	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$P_A,$ Вт	$P_B,$ Вт	$P_C,$ Вт	$P = P_A + P_B + P_C,$ Вт	$\Delta P_M,$ Вт	$\Delta P_{CT} + P_C,$ Вт	$U^2,$ Вт

Снятие опорных точек кривой свободного выбега:

- установить фазное напряжение на двигателе $U=220$ В;
- записать начальное значение частоты вращения при $t=0$ в табл.

6.2;

- подготовить секундомер к измерениям времени и одновременно выключив автомат и включив секундомер, снять опорные точки зависимости $n=f(t)$, измеряя частоту вращения каждые 5с по течение 60 с. Данные занести в табл. 6.3. Для повышения точности измерений снятия опорных точек выполнить 3 раза, усреднив полученные значения частоты вращения.

По окончанию работы заполненные формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки полученных результатов.

Таблица 6.3

t, с	0	60
$U_{TG},$ В		
n, об/мин.		
ω, c^{-1}		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Напишите уравнение движения электропривода и проанализируйте его для постоянного режима работы электродвигателя и при свободном выбеге.

2. Как определяется момент инерции сплошного цилиндра относительно продольной оси вращения? Как будут отличаться моменты инерции маховиков, выполненных из одинакового материала, если их ширина одинаковая, а радиусы отличаются в 2 раза?

3. Оцените, как изменится приблизительно величина T_H , если ширину маховика увеличить в два раза?

4. Анализируя уравнение движения при выбеге и кривую свободного выбега, определить, изменяется ли момент сил сопротивления движения T_C при снижении скорости вращения?

5. Объясните методику разделения суммы потерь $\Delta P_{CT} + P_C$.

6. Приведите соотношение между моментом инерции и маховым моментом.

Литература: [1, с, 31; 38-49]; [2, с, 89, 90-95]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ.

Цель работы: экспериментальное определение тепловых характеристик электродвигателя.

При работе электрической машины, энергия, которая выделяется у нее, приводит к повышению температуры ее элементов. Наиболее уязвимой к повышению температуры является изоляция обмоток. Термостойкость изоляции определяется классом изоляции. Классы устанавливают по допустимой температуре нагрева изоляции, превышение которой приводит к необратимым изменениям ее физико-химических и электрических свойств. Знание тепловых характеристик позволяет рассчитать температурный режим электромашин, определить ее соответствие заданному режиму нагрузки, то есть регламентировать правильную эксплуатацию электромашин при условиях нагревания.

Для аналитического описания процесса изменения температуры двигателя благодаря потерям мощности, которая выделяется в нем, рассматривается баланс энергии для элементарного промежутка времени

$$\Delta P dt = C dt + A \tau dt \quad (1.17)$$

где ΔP - мощность потерь в двигателе, означаемая разницу между употребляемой мощностью P , но и мощностью на валу двигателя P_2 , которая зависит от КПД двигателя η :

$$\Delta P = P_2 \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right);$$

где C - теплоемкость двигателя, то есть количество тепла, которое необходимо для нагрева двигателя на 1°C (Дж/ $^\circ\text{C}$);

A - теплоотдача двигателя, то есть количество тепла, что отдается в охлаждающую среду за 1 сек при разнице температур двигателя и среды 1°C (Дж/ $^\circ\text{C}$);

$\tau = \theta_{ДВ} - \theta_{ОС}$ - температура перегрева, $\theta_{ДВ}$ - превышение температуры двигателя над температурой охлаждающей среды $\theta_{ОС}$.

Таким образом, первое дополнение $dQ_2 = C \cdot dt$ в уравнении теплового баланса (1.17) характеризует составляющую тепла, которое

идет на повышение (изменение температуры перегрева) двигателя, а второе дополнение $dQ_2 = A\tau dt$ - тепло, что отдается в охлаждающую среду.

Решением уравнения теплового баланса является зависимость температуры перегрева от времени

$$\tau = \tau_y + (\tau_0 - \tau_y)e^{-\frac{t}{T_H}} \quad (1.18)$$

где $\tau_y = \frac{\Delta P}{A}$ - постоянное значение температуры перегрева двигателя;

τ_0 - начальное значение температуры перегрева (при $t=0$);

$T_H = \frac{C}{A}$ - тепловая постоянная времени, с.

Значение постоянной времени при нагревании и при охлаждении могут быть разными, в зависимости от способа и условий охлаждения двигателя. Для двигателей с самовентиляцией теплоотдача зависит от скорости вращения ротора. Например, процесс охлаждения после остановки двигателя является больше длительным, чем нагревание, потому что тепловая постоянная времени при охлаждении $T_0 > T_H$.

Существует несколько экспериментальных методов определения T_H при неизменном режиме нагрузки или охлаждения электрической машины.

1. Если известно значение m_y и полностью снята кривая изменения температуры перегрева во времени, то выходя из свойств экспоненты (рис 7.1), откладывая на оси ординаты значения, которые отвечают значениям, кратным постоянной времени ($T_H, 2T_H, 3T_H$), и, найдя эти значения по кривым изменения на оси времени можно найти среднюю величину постоянной времени

$$T_H = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{6}$$

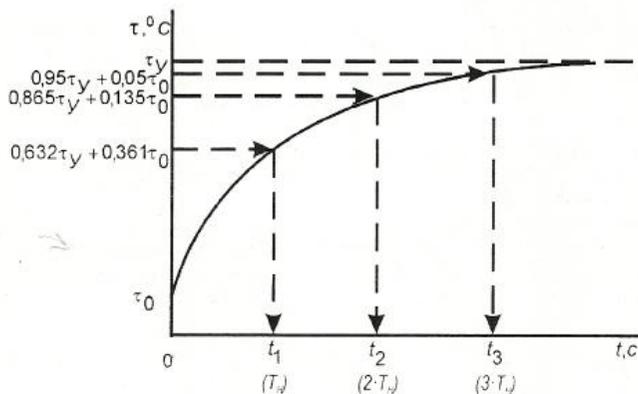


Рисунок 7.1. До определения постоянной времени по свойству экспоненты

2. Метод касательной (графический метод). Также нужно знание кривой перегрева и значения τ_y , рис. 7.2. При этом методе величину T_H определяют чисто графическим методом. Величина отрезка, который отсекает касательную на горизонтали, дает искомую величину в масштабе времени. Выполнив несколько построений для разных точек кривой перегрева, находят среднее значение T_H .

Определение постоянного времени температуры перегрева τ_y может быть выполнено графическим методом, если не определено ее значение экспериментально. Для этого на снятой части кривой перегрева берут несколько точек, отстающих один от одной на равный промежуток времени Δt , и находят соответствующие увеличения температур $\Delta\tau_1 = \tau_2 - \tau_1$; $\Delta\tau_2 = \tau_3 - \tau_2$ и так далее.

Отложив на горизонталях, проходящих через τ_1 и τ_2 влево от оси ординат приращения $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$ (или с масштабным коэффициентом k : $k\Delta\tau_1$, $k\Delta\tau_2$, ...), соединяют полученные точки прямой линией, которая должна пересекать ось ординат. Искомое постоянное значение температуры перегрева $\Delta\tau_y$ будет определяться на пересечении этой прямой с осью ординат, рис. 7.2.

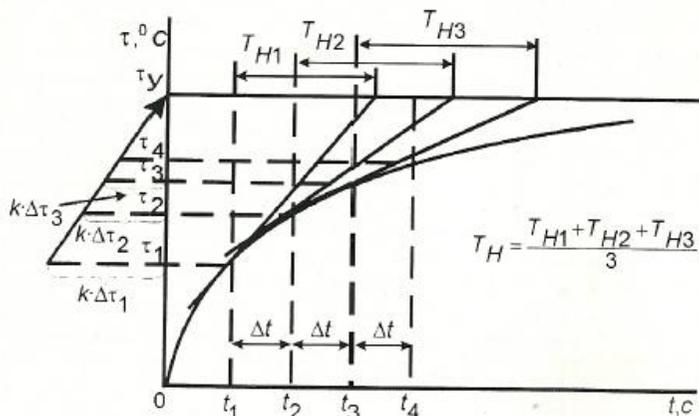


Рисунок 7.2. Графическое построение для определения постоянного значения температуры перегрева и постоянного времени нагрева

Метод температур. При применении этого метода достаточно иметь три значения температуры перегрева τ_1, τ_2 и τ_3 , которые сняты последовательно через равные промежутки времени Δt . В этом случае величина T_H будет определяться выражением:

$$T_{\text{н}} = \frac{\Delta t}{\frac{\ln(\tau_2 - \tau_1)^2}{\tau_1\tau_2 + \tau_2\tau_3 - \tau_1\tau_3 - \tau_2^2}}, \quad (1.19)$$

а постоянное значение температуры перегрева

$$\tau_{\text{у}} = \frac{\tau_2^2 - \tau_1\tau_3}{2\tau_2 - \tau_1 - \tau_3}$$

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода нагруженной машины (табл. 1).
2. Определить опорные точки кривой нагрева и значение мощности потерь.
3. Построить кривую зависимости тока холостого хода $HM I_{\text{я0}} = f(\omega)$.
4. Рассчитать данные указанные в табл. 1.9;
5. Построить кривую перегрева в измеряемом интервале времени, рис. 2.7; определить графическим методом и по методу температур постоянное значение температуры перегрева и постоянную времени нагрева $T_{\text{н}}$. Определить значение теплоотдачи A и температуры $^{\circ}\text{C}$.
6. Сделать выводы о работе.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 7.3, расположением соответствующего оборудования, приборов, коммутационных устройств; выяснить назначение каждого элемента схемы и записать по заводским табличками технические данные $ИМ$ и $НМ$; убедиться в том, что все автоматические выключатели выключены, а включение оборудования не приведет к травме или аварийной ситуации.

Исходное положение остальных коммутационных устройств:

- переключатель фаз измерительного комплекта $K50$ - в положение «0»;
- выключатели $S1, S2, S3, S4$ - в положения «Выкл»;
- переключатель амперметра $S2$ в положение «XX»;
- переключатель вольтметра $S1$ - в положение «ГПТ».

Снятие опорных точек характеристики холостого хода нагруженной машины:

- включить автоматические выключатели $QF1$ и $QF2$;
- резистором $R2$ установить ток возбуждения погрузочной машины 0,5-0,6 от максимального значения, контролируя его

амперметром $PA2$. Установленное значение поддерживать на протяжении дальнейших исследований неизменными;

- включить выключатель приводного двигателя $ПД$ $ГПТ$ выключателем $S3$;

- резистором $R1$ установить напряжение на выходе $ГПТ$, равное нулю, контролируя P вольтметром $PU1$;

- выключателем $S4$ подключить $НМ$ к $ГПТ$;

- плавно повышая резистором $R1$ напряжение $ГПТ$ и ток якоря $НМ$, по показаниям вольтметра тахогенератора $PU2$ снять опорные точки зависимости $I_{яО} = f(\omega)$ $НМ$. Зафиксировать показания приборов $PA1$ и $PU2$ в табл. 1.1. Верхний предел изменения напряжения $ГПТ$ - 230 В, частоты вращения $НМ$ - 1500 об/мин, число опорных точек 5-7;

- по окончании измерений плавно снизить резистором $R1$ напряжение $ГПТ$ к нулю;

- переключатель $S4$ установить в положение «Выкл»;

- переключатель $S2$ установить в положение «раб»;

- переключатель $S1$ – в положение « $НМ$ ».

Съем опорных точек кривой нагрева и значения мощности:

- включить прибор для измерения температуры нагрева двигателя;

- измерить температуру окружающей среды и записать ее значение в табл. 1.9;

- приняв удобное начало счета времени ($t=0$) замкнуть выключатель $S4$ и $S2$, подключив $ИМ$ к сети. С этого момента включения начинается счет времени;

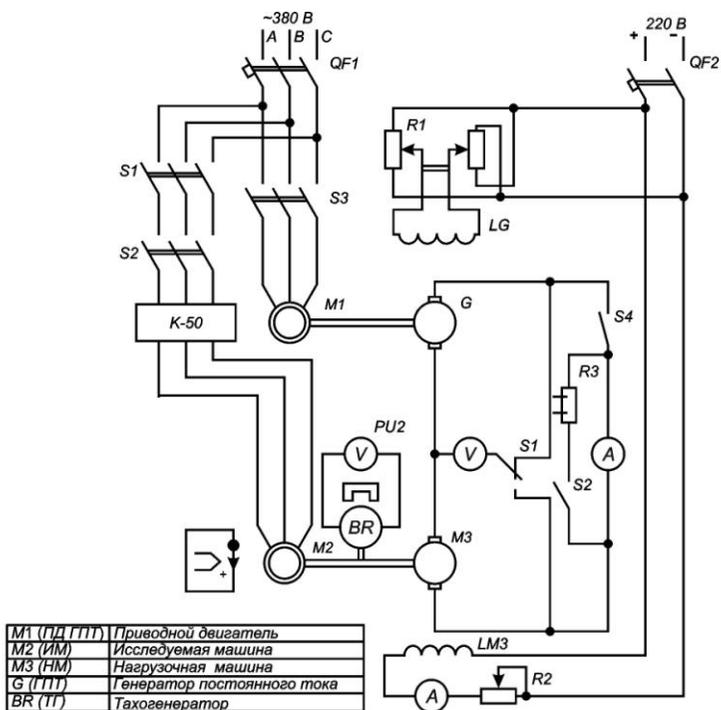


Рисунок 7.3. Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

- вольтметром $PU1$ измерить ЭДС HM и переключив переключатель $S1$ в положение «ГПТ», установить точно такое же значение ЭДС ГПТ. Значение ЭДС HM , и соответствующую частоту вращения записать в табл. 7.1;

- замкнуть якорную цепь HM – ГПТ выключателем $S4$, при этом ток в цепи якоря по показаниям амперметра PA должен равняться нулю;

- установить переключатель фаз вольтметра измерительного комплекта $K 50$ на измерение тока фазы «А»;

- плавно снижая напряжение ГПТ реостатом $R1$, контролируя фазный ток $ИМ$ по амперметру измерительного комплекта $K-50$, установить этот ток равным $5,2 A$ (номинальный ток $ИМ$). В дальнейшем этот ток поддерживать неизменным. Провести измерение фазного тока I_{ϕ} по амперметру комплекта $K-50$ и суммарной мощности, которая потребляет $ИМ$ по всем фазам тока якоря HM по показаниям ваттметра P_W

Таблица 7.1 Опорные точки кривой нагрева и значения мощности

		Измерено				Рассчитано							
		В; $n_{0\text{ИМ}} =$				$\dot{\omega}_0 =$ c^{-1} ; $k\Phi = E_{\text{ИМ}}/\dot{\omega}_{0\text{ИМ}} =$ Bc							
		об/мин											
Время t , мин.	Фазный ток ИМ I_{Φ} , А	Мощность, потребляемая ИМ $P_1 = P_A + P_B + P_C$, Вт	Ток $I_{\text{ИМ}}$, А	Температура окружающей среды $\theta_{\text{окс}}$, °С	Температура нагревания двигателя $\theta_{\text{дв}}$, °С	Напряжение тахогенератора УТГ, В	Частота вращения ИМ n , об/мин	Угловая скорость вращения ИМ $\dot{\omega} = \pi n/30$, c^{-1}	Температура перегрева ИМ $\tau = \theta_{\text{дв}} - \theta_{0C}$	Момент на валу ИМ $M = k\Phi \left(I_{\Phi} + \frac{I_B}{2} \right)$, Н·м	Мощность на валу ИМ $P_2 = M\dot{\omega}$, Вт	Потери мощности в ИМ $\Delta P = P_1 - P_2$, Вт	КПД ИМ $\eta = P_2/P_1$
0	5,2												
2	5,2												
4	5,2												
*													
*													
55	5,2												
60	5,2												

- измерять температуру окружающей (охлаждающей) среды по показаниям термометра, установленного на стенде, температуру нагрева двигателя по показаниям прибора измерения температуры нагрева двигателя; напряжения на выходе тахогенератора B_R - по вольтметру $PU2$. Измерение рекомендуется проводить непрерывно в течение 2 академических часов, причем в первые 20 минут через каждые 2 мин, а затем через каждые 5 мин, записывая в табл. 7.1 значения величин. Общая длительность измерений – 50-60 мин. При проведении измерений одновременно на черновиках строить кривую нагрева $\tau=f(t)$.

Выключение стенда:

- установить резистором $R1$ по амперметру ток HM , равный нулю;
- разомкнуть выключатель $S4$;
- разомкнуть выключатели $S1$, $S2$, $S3$ и автоматические выключатели $QF1$, $QF2$;
- выключить прибор для измерения температуры нагревания двигателя.

После окончания работы, заполненные формуляры (черновики) предоставляйте преподавателю для проверки полученных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Напишите уравнение теплового баланса и его решение. Сделайте анализ его величин, которые входят в формулы, и проанализируйте их влияние на форму кривой нагрева.

2. Как изменяется постоянное значение температуры нагрева, если потери в двигателе увеличиваются в два раза при неизменных условиях охлаждения? Изменится при этом постоянная нагрева?

3. Чем отличаются постоянные времени нагрева T_n и охлаждения T_o для двигателей с самовентиляцией?

4. Приведите классы изоляции электрических машин и соответствующие допустимые температуры.

5. Приведите кривые изменения температуры двигателя при работе его в длительном, кратковременном и повторно-кратковременном режимах.

6. Объясните методику измерения постоянного значения температуры перегрева и постоянной времени нагрева.

Литература: [1, с.348- 359]; [2, с. 101-106; 132-140]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Возможность регулирования угловой скорости ω асинхронного двигателя с кз ротором за счет изменения частоты напряжения питания f_1 следует из выражения

$$\omega = \omega_0(1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p(1 - s)},$$

где ω_0 , p , s - соответственно, угловая скорость вращения магнитного поля (синхронная угловая скорость), число пар полюсов обмотки статора, скольжение.

При регулировании частоты напряжения питания для сохранения неизменным значения магнитного потока Φ_M , необходимо также

изменять значения напряжения питания U_1 , потому что, если пренебречь падением напряжения в обмотке статора:

$$U \approx E_1 = k \cdot \Phi_M \cdot f_1$$

Неизменность магнитного потока достигается, когда отношение $E_1/f_1 = U_1/f_1 = const$. Повышение магнитного потока приводило бы к насыщению стали машины, повышению составляющей тока намагничивания, следовательно, тока статора и перегреву двигателя, а снижение – к уменьшению критического момента, потому что критический момент

$$M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_s \cdot x_k} = A \cdot \left(\frac{U_1}{f_1} \right)^2,$$

где x_k - индуктивное сопротивление обмоток;

A - коэффициент пропорциональности.

Таким образом, при регулировании угловой скорости асинхронного двигателя за счет изменения частоты напряжения питания источник питания должен обеспечивать соответствующее изменение напряжения. Тогда как частота промышленной сети неизменна, для частотного регулирования необходим преобразователь частоты. Современными преобразователями частоты являются полупроводниковые преобразователи частоты. Тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) являются конкурентоспособными по сравнению с машинными преобразователями, благодаря большему значению КПД, отсутствию вращающихся частей, ремонтпригодности, быстродействию, возможности автоматизации электропривода, стоимости оборудования.

Для реализации ТПЧ в основном нашли применение схемы преобразователей со звеном постоянного тока и непосредственные преобразователи частоты. В ТПЧ со звеном постоянного тока осуществляется двойное преобразование напряжения промышленной частоты. Напряжение промышленной частоты преобразуется с помощью управляемого выпрямителя в постоянное, а затем с помощью автономного инвертора в переменное требуемой частоты. Регулировка переменного напряжения для сохранения отношения $\frac{U_1}{f_1} = const$, изменяется за счет регулирования прямого напряжения соответственно к изменению частоты.

При применении систем ТПЧ-АД в электроприводах, где осуществляется режим рекуперативного торможения, используется выпрямитель, который может работать в режиме инвертора.

ТПЧ позволяет регулировать угловую скорость двигателя в широком диапазоне: выше и ниже синхронной угловой скорости. Диапазон регулирования составляет 10; 15. В качестве регулируемых

приводных двигателей используют часто асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Примерные механические характеристики двигателя при питании его от ТПЧ показаны на рис. 8.1.

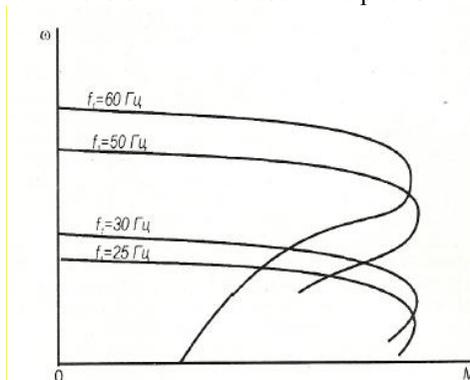


Рисунок 8.1 – Механические характеристики асинхронного двигателя при его питании от ТПЧ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

1. Снять опорные точки характеристики холостого хода нагрузочной машины (табл. 1).
2. Определить опорные точки механических характеристик $\omega = f(M)$ (табл. 8.1) в области двигательного режима:
 - естественной ($f_i = f_{IH} = 50$ Гц);
 - искусственных при $f_i = 55$ Гц, 30, 25 Гц.
3. Из полученных характеристик построить кривую зависимости тока холостого хода $I_{я0} = f(\omega)$, рис. 1, рассчитать опорные точки зависимостей $\omega = f(M)$ двигателя с использованием методики, изложенной в предыдущем разделе.
4. Из полученных результатов (табл. 8.1) построить графики механических характеристик в системе координат $\omega = f(M)$, рис. 8.1.
5. Сделать выводы о работе.

Методические указания

В начале работы студентам необходимо ознакомиться со схемой лабораторного стенда, рис. 8.2 и расположением соответствующего оборудования, выяснить назначение каждого элемента схемы, записать технические данные *ИМ* и *НМ*; убедиться в том, что все автоматические выключатели отключены, а включение оборудования не приведет к травме или аварийной ситуации.

Исходное положение остальных коммутационных устройств:

- переключатели $S1$ и $S2$ - в нейтральном положении;
- выключатели $S3$ и $S4$ - в положении «Выкл»;
- переключатель $S5$ - в положении «ГПТ»;
- переключатель $S6$ - в положении «XX».

Снятие характеристики холостого хода HM :

- включить автоматические выключатели $QF1$ и $QF2$;
- резистором $R2$ установить ток возбуждения HM , равный 0,5-0,6 от максимального значения тока при полностью выведенном реостате) и в дальнейшем ток возбуждения HM поддерживать неизменным, контролируя его амперметром $PA2$;

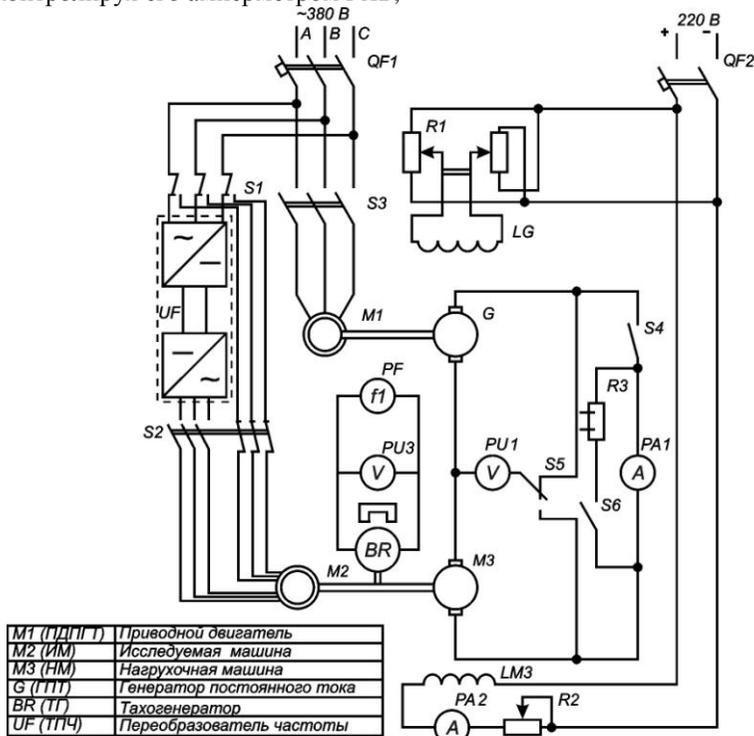


Рисунок 8.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторного стенда

- замкнуть выключатель $S3$, подключив ПД ГПТ к сети;
- резистором $R1$ установит ЭДС ГПТ, равную нулю, контролируя его вольтметром $PU1$;
- замкнуть выключатель $S4$, подключив HM к ГПТ;
- плавно повышая с помощью резистора $R1$ напряжение генератора и ток якоря HM , контролируя скорость вращения якоря ω

по показаниям вольтметра $PU2$, снять опорные точки характеристики холостого хода HM . Зафиксировать показания амперметра $PA1$ и вольтметра тахогенератора $PU2$ в табл. 8.1. Верхняя граница изменения напряжения $ГПТ$ - 240 В; частоты вращения HM 1600 об/мин; число опорных точек измерений, начиная с момента сдвига HM принять 7-8;

- по окончанию измерений плавно снизить реостатом $R1$ напряжение $ГПТ$ к нулю;

- переключатель $S4$ установит в положение «Выкл»;

- переключатель $S5$ - в положение « HM »;

- переключатель $S6$ - в положение «раб».

Определение опорных точек механических характеристик:

- включает тумблер «сеть» электронного частотомера PF ;

- переключателем $S1$ подать напряжение на $ТПЧ$, а переключателем $S2$ подключить $ИМ$ к $ТПЧ$;

- для запуска $ИМ$ установить регулятор скорости «скорость» на двери $ТПЧ$ в крайнее положение (против часовой стрелки);

- нажать на кнопку «включение»;

- тумблер «Разрешение включения преобразователя» переключить вправо;

- плавно вращая по часовой стрелке ручку «Скорость», контролируя частоту выходного напряжения $ТПЧ$ с частотомером PF , установить частоту $f_j=55$ Гц;

- вольтметром $PU1$ измерить ЭДС HM , переключить переключатель $S5$ в положение « $ГПТ$ » и установить реостатом $R1$ точно такое же значение ЭДС $ГПТ$;

- при равных ЭДС HM и $ГПТ$ замкнуть выключатель $S4$; при этом ток в цепи якоря HM должен равняться нулю. Значения ЭДС и соответствующей частоты вращения HM записать в табл. 1.10;

- плавно уменьшая реостатом $R1$ напряжение $ГПТ$, контролируя ток якоря HM , ввести $ИМ$ в двигательный режим и снять опорные точки: ток якоря HM $I_{яHM}$ - по показаниям амперметра $PA1$; напряжение $ГПТ$ $U_{ГПТ}$ - по вольтметру $PU1$, показания напряжения на двигателе - по вольтметру $PU3$; показания напряжения тахогенератора - по вольтметру $PU2$.

Ток якоря HM не должен превышать 15 А. Количество опорных точек 5-6, показания приборов занести в табл. 1.10;

- плавно изменяя реостатом $R1$ напряжение $ГПТ$, установить по амперметру $PA1$ ток якоря HM , равный нулю и разомкнуть выключатель $S4$;

- аналогично вышеуказанному, снять опорные точки механических характеристик при $f1=50$; 35 и 25 Гц. Данные занести в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Опорные точки механических характеристик асинхронного двигателя при питании от тиристорного преобразователя частоты

Измерено							Рассчитано				
ЭНМ= В; по _{ЭНМ} = об/мин							$\omega_0= \text{с}^{-1}; k\Phi=E_{\text{ЭНМ}}/\omega_{0\text{ЭНМ}} \text{ В с}$				
№ п/п	f, Гц	Режим работы ИМ	I _{я.м.} А	U _{гпт.} В	U _{1В}	U _{гг.} В	n, об/мин	$\omega, \text{с}^{-1}$	I _{я.} А	U ₁ /f ₁ , В/Гц	M, Н м
1	55	двигательный									
2	50	двигательный									
3	35	двигательный									
4	25	двигательный									

Выключение стенда:

- установить резистором *R1* ток якоря *HM*, равной нулю, и разомкнуть выключатель *S4*;
- установить регулятор скорости «скорость» на двери *ТПЧ* в крайнее левое положение (против часовой стрелки)
- нажать на кнопку «отключение»;
- тумблер «Разрешение включения преобразователя» переключить влево;
- переключатели *S1, S2* установить в крайнее положение;
- выключить частотомер тумблером «сеть»;
- разомкнуть выключатель *S3* и автоматы *QF1, QF2*.

После окончания работы для контроля заполнить формуляры (черновики) предоставить преподавателю для проверки результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, что происходит со скоростью вращения магнитной цепи при изменении частоты напряжения питания асинхронного двигателя.
2. Объясните необходимость выполнения условия при регулировании.
3. Назовите основные преимущества *ТПЧ* перед машинным преобразователем частоты.
4. Назовите основные узлы *ТПЧ* со звеном постоянного тока и их назначения.
5. Объясните работу схемы *ТПЧ* со звеном постоянного тока.
6. Сравните технико-экономические показатели частотного регулирования скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, по сравнению с реостатным регулированием *АД* с фазным ротором.

Литература: [1, с.74- 89, 169-185]; [2, с.77- 79, 321-328]; [3, с. 225-241]; [4, с.32- 38].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чиликин М. Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. - М.: Энергия, 1981.-576 с.
2. Маргынов М. В., Переслегин Н. Г. Автоматизированный электропривод в горной промышленности. - М.: Недра, 1977. - 375 с.
3. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 416 с.
4. Полтава Л. И. Основы электропривода. - М.: Недра, 1970. - 224 с.
5. Сабинин Ю.А. Электромашинные устройства автоматики. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 408 с.
6. Руденко В.О, Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. -Киев: Высшая школа, 1983. - 431 с.