

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова
(технический университет)

Кафедра электротехники и электромеханики

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА
И ТРАНСФОРМАТОРЫ

Лабораторные работы

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2004

УДК 621.313 (075.84)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ: Лабораторные работы /Санкт-Петербургский горный ин-т. Сост. *В.В. Алексеев*. СПб, 2004. 45 с.

Лабораторные работы предназначены для студентов специальности 180400, а также для студентов других специальностей, изучающих дисциплину "Электрические машины".

Изложены методика, необходимый теоретический материал, порядок выполнения и оформления лабораторных работ по курсу "Электрические машины". Приведены данные электрических машин и другие необходимые для работ сведения.

Табл. 22. Ил. 23. Библиогр.: 4 назв.

Научный редактор проф. *А.Е.Козярук*

©Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В.Плеханова, 2004 г.

ВВЕДЕНИЕ

1. Подготовка к работе

Подготовка к лабораторной работе начинается с изучения предмета исследования. Работы выполняются бригадами после изложения соответствующего вопроса на лекциях.

После изучения основных теоретических положений изучается рабочая схема исследуемой машины. Далее намечаются величины, подлежащие измерению, и составляются таблицы для записи измеряемых и расчетных величин. Таблица рассчитывается на 6-8 измерений каждой величины. Если по результатам измерений делаются расчеты, то приводятся расчетные формулы с краткими пояснениями.

Исходные данные для расчетов и другие необходимые для подготовки к работе сведения даны в каждой лабораторной работе. Литература к данной работе приведена после ее названия.

Подготовленность студентов к выполнению лабораторной работы проверяет преподаватель. Студент должен:

1. Знать устройство, принцип действия, назначение исследуемой машины или преобразователя энергии.
2. Усвоить характерные особенности основных режимов их работы.
3. Уметь правильно, в соответствии с номинальными данными, подключить электрическую машину или преобразователь с комплектом электроизмерительных приборов, уметь у электродвигателей изменять частоту и направление вращения, а у генераторов – ЭДС.
4. Уметь определять характеристики по опытным данным.

2. Составление отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: наименование лабораторной работы и ее номер; фамилию и инициалы студента, шифр группы (или личный шифр); расчетные схемы и расчетные формулы; схемы включения исследуемых электрических машин; таблицы измерений и графики, построенные по опытным данным;

выводы по результатам сравнения расчетных и опытных данных; технические характеристики использованного оборудования.

Графики строятся в удобных масштабах на миллиметровой бумаге. На координатных осях указываются величины и единицы их измерения; шкалы на осях должны иметь деления с одинаковыми интервалами и содержать числа, кратные $1 \cdot 10^m$, $2 \cdot 10^m$ и $5 \cdot 10^m$ где m – любое целое число. Графики следует строить так, чтобы ноль находился в начале координат. Кривая, построенная по опытным данным, должна проходить среди полученных с некоторым разбросом точек и быть плавной.

3. Краткая инструкция по технике безопасности

1. Перед началом лабораторных занятий все студенты должны ознакомиться с правилами техники безопасности при работе в электротехнических лабораториях. Инструктаж по технике безопасности проводит руководитель работ. К работам в лаборатории допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в специальном журнале.

2. Члены бригады на рабочем месте должны подробно ознакомиться со схемами соединений, оборудованием стендов и расположением выключателей источников питания.

3. Сборка схемы и различные переключения в схеме должны производиться при обязательном отключении источников питания.

4. Перед сборкой и включением схемы надо проверить, нет ли опасности прикосновения к незащищенным элементам цепи. Перед включением напряжения необходимо предупредить об этом всех членов бригады и получить разрешение руководителя.

Запрещается включать автоматы, нажимать кнопки и производить разного рода действия с аппаратами и приборами, не предназначенными для данной работы.

5. Для выполнения лабораторной работы по электрическим машинам должна быть собрана электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока, а гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, должны быть соединены с гнездом "PE" источника питания G1.

6. Следует соблюдать осторожность при работе с вращающимися агрегатами. Прикасаться к движущимся частям электрических

машин нельзя даже при выключенном источнике энергии.

7. Каждый студент обязан немедленно сообщить руководителю о замеченных неисправностях в работе оборудования и о нарушениях правил техники безопасности. При несчастном случае, электрическую установку немедленно отключают, а пострадавшему оказывают первую помощь.

4. Общие сведения об электрических машинах

Электрические машины, предназначенные для преобразования механической энергии в электрическую, называются генераторами, а превращающие электрическую энергию в механическую, – двигателями.

Все электрические машины энергетически обратимы, т.е. могут работать как в двигательном, так и в генераторном режиме, хотя обычно машины конструируются для одного энергетического режима, при котором обеспечиваются наилучшие технико-экономические показатели. КПД электрических машин не может быть равен 100%.

Каждая электрическая машина рассчитывается на определенный режим работы, называемый номинальным, исходя из допустимых электромагнитных, тепловых и механических нагрузок. Все величины, характеризующие номинальный режим, называются номинальными, и главнейшие из них (мощность, напряжение, ток, частота вращения и др.) указываются в паспорте машины.

Номинальная мощность двигателя – это мощность на валу машины в киловаттах (ваттах).

Номинальная мощность источников – генераторов, а также трансформаторов – мощность на выходе в киловаттах (ваттах) для источников постоянного тока и киловольт-амперах (вольт-амперах) для источников переменного тока.

Трансформаторами называются электромагнитные статические устройства, превращающие электрическую энергию переменного тока в электрическую же, но с изменением напряжения. Принцип работы трансформаторов, также как и электрических машин, основан на законе электромагнитной индукции.

Основными вопросами при изучении электрических машин являются: при исследовании двигателей – устройство и принцип действия, пуск в ход и реверсирование, основные режимы работы и

характеристики (механическая, электромеханическая, рабочие), способы регулирования частоты вращения при исследовании; генераторов – устройство и принцип действия, условия возбуждения ЭДС, основные режимы работы и важные характеристики (нагрузочная, внешняя, регулировочная), условия параллельной работы с другими генераторами или сетью. Исследование трансформаторов связано со снятием характеристик холостого хода, нагрузочной, внешней, короткого замыкания.

5. Оборудование лаборатории электрических машин

Источники питания

Для электропитания лаборатории электрических машин применяется переменный ток частотой 50 Гц, напряжением 380/220 В.

В лабораторном комплексе источником трехфазного переменного напряжения 400 В является функциональный блок 201 (см. таблицу 1).

Для преобразования трехфазного напряжения в трехфазное ступенчато регулируемое напряжение служит блок 325.1. Для регулирования однофазного напряжения используются автотрансформаторы (блок 318).

Постоянный ток обеспечивается функциональным блоком 209 (возбудитель машины переменного тока) и блоком 206 (источник питания машины постоянного тока).

Для контроля регулируемого напряжения и тока в блоке 206 и в блоке 209 установлены вольтметры и амперметры.

Электромашинные агрегаты

Электрические машины, применяемые в лаборатории, смонтированы в виде двухмашинных агрегатов на общей раме (машина постоянного тока и машина переменного тока).

Валы машин соединены механически жестко. Одна из машин (в зависимости от темы работы) является исследуемой; вторая – вспомогательной (первичным двигателем при исследовании генераторов или нагрузочным генератором при исследовании двигателей). Один из электромашинных агрегатов снабжен маховиком. Направление вращения электромашинного агрегата - любое.

Вал машины переменного тока жестко связан с валом преобразователя угловых перемещений (тип 104), используемого в качестве датчика для указателя частоты вращения n (блок 506) и для фазометра (блок 505), отображающего в аналоговой форме угол нагрузки θ .

Концы обмоток машин постоянного и переменного тока выведены через гнезда на терминальные панели, прикрепленные к их корпусам.

Машина переменного тока снабжена термоконтактом, который размыкается при нагреве машины выше 70°C . Концы термоконтакта через гнезда «ТК» выведены на терминальную панель машины переменного тока и используются при соединении этих гнезд с одноименными гнездами на блоке 201 в схеме тепловой защиты.

Технические характеристики электрических машин

Машина постоянного тока (тип 101.1). Номинальные данные. мощность 90 Вт, напряжение якоря 220 В, ток якоря 0,76 А, частота вращения 1500 мин^{-1} , возбуждение независимое, напряжение возбуждения 220 В, КПД 64%. Направление вращения любое, масса 3 кг.

Машина переменного тока трехфазная (тип 102.1).

Как синхронная машина. Номинальные данные. Активная мощность 50 Вт, напряжение 230 В, частота вращения 1500 мин^{-1} , $\cos \varphi=1$, ток статора 0,13 А, напряжение возбуждения 20 В, ток возбуждения 1,5 А. Схема соединения обмоток статора – Y. Ток возбуждения холостого хода 1,4 А. Направление вращения – любое.

Как асинхронная машина. Номинальные данные. Частота тока 50 Гц, полезная активная мощность 30 Вт, напряжение 127 В, ток статора 0,1А, КПД, 60 %, $\cos\varphi=0,73$, частота вращения 1200 мин^{-1} . Схема соединения обмотки статора - Y. Схема соединения обмотки ротора - Y. Число фаз на роторе и статоре $m=3$.

Все электрические машины расположены на лабораторных столах, а съемные функциональные блоки (с их электрическими схемами на лицевой панели), в том числе блок однофазных трансформаторов 325.1, – в вертикальных рамах для их установки (см.табл.1).

Для измерения трех базовых электрических величин (тока, напряжения и омического сопротивления) используется блок 501 мультиметров.

Описание и характеристики функциональных блоков

Таблица 1

Тип, наименование и описание	Параметры
1	2
<p>201. <u>Трехфазный источник питания</u> Предназначен для питания комплекса трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.</p>	400 В ~; 16 А Ток срабатывания УЗО - 30 mA
<p>206. <u>Источник питания машины постоянного тока</u> Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически от ПЭВМ. Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения нерегулируемое. Источник якорного напряжения может быть использован для питания обмотки возбуждения.</p>	Цепь якоря 0...250 В-; 5 А Цепь возбуждения 200 В -; 1 А
<p>209 <u>Возбудитель машины переменного тока</u> Предназначен для питания обмотки возбуждения. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения регулируется вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Выходные цепи изолированы от входных.</p>	0...40 В-; 8 А
<p>301. <u>Трехполюсный выключатель</u> Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического (от ПЭВМ) включения / отключения электрических цепей.</p>	400 В ~; 10 А
<p>306.1. <u>Активная нагрузка</u> Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной мощности. Регулируется вручную. Поглощаемая мощность увеличивается (сопротивление уменьшается) при повороте рукоятки переключателя по часовой стрелке.</p>	220/380; 50Гц; 3x0...,50Вт;
<p>307. <u>Реостат для цепи ротора машины переменного тока</u> Предназначен для регулирования токов. Сопротивление реостата дискретно увеличивается при повороте рукоятки по часовой стрелке.</p>	3x0...20 Ом; 2А
<p>308.1. <u>Реостат возбуждения машины постоянного тока</u> Предназначен для ручного регулирования тока возбуждения машины переменного тока. Сопротивление реостатов увеличивается при повороте рукоятки переключателя по часовой стрелке.</p>	0...2000 Ом; 0,1...0,5 А

1	2
<p>310. Персональный компьютер Предназначен для дистанционного/ автоматического управления лабораторным комплексом и отображения информации о нем с использованием блока 327 и блока 402.1.</p>	<p>IBM-совместимый Win*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6023(24)E</p>
<p>318. Регулируемый автотрансформатор Предназначен для преобразования однофазного нерегулируемого напряжения в однофазное регулируемое переменное напряжение.</p>	<p>220/0...250 В; 2А</p>
<p>319. Блок синхронизации Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического подключения (от ПЭВМ) синхронной машины к сети методами точной синхронизации или самосинхронизации.</p>	<p>400 В ~; 10 А 3 индикаторные лампы; синхрооскоп</p>
<p>323.1. Реостат пусковой Предназначен для ручного регулирования тока преимущественно в якорной цепи машины постоянного тока. Реостат имеет наибольшее сопротивление при повороте рукоятки управления до отказа против часовой стрелки (пусковое положение) и сопротивление равно нулю при повороте рукоятки до отказа по часовой стрелке (рабочее положение).</p>	<p>0...200 Ом, 0,8 А</p>
<p>325.1. Блок однофазных трансформаторов Предназначен для преобразования однофазного / трехфазного напряжений.</p>	<p>3x80 В А; 240, 230, 220, 133, 127, 115 /240, 230, 220, 133, 127, 115 В</p>
<p>327. Коннектор Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам/выходам платы сбора данных PC-516 персонального компьютера.</p>	<p>4 аналог, диф. входа; 8 цифр. входов/ выходов</p>
<p>402.1. Блок датчиков тока и напряжения Предназначен для получения нормированных сигналов, пропорциональных токам и напряжениям.</p>	<p>3 датчика напряжения 600/3 В; 3 датчика тока 1,5 А/3 В</p>
<p>501. Мультиметр** Предназначен для измерения токов, напряжений, активного сопротивления. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.</p>	<p>0...1000 В; 0...10 А; 0...20 Мом</p>

1	2
<p>504. Измеритель напряжений и частот Предназначен для измерения напряжений и частот переменных напряжений. Выполнен на основе цифро-аналоговых показывающих приборов.</p>	2 вольтметра 0...500В- 2 частотомера 45...55 Гц; 220 В ~
<p>505. Фазометр Предназначен для измерения и отображения в аналоговой форме угла сдвига фаз между ЭДС синхронной машины и напряжением электрической сети. Имеет выходные гнезда для подключения к ПЭВМ.</p>	-180°...0...180°
<p>506.1. Указатель частоты вращения Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате, в аналоговой форме.</p>	2000...0...2000 мин ⁻¹
<p>507.2. Измеритель мощностей* Предназначен для измерения активной и реактивной мощностей в однофазных и симметричных трехфазных цепях, и отображения их в аналоговой форме.</p> <p>* Через гнезда «0» и «I» последовательной катушки измерителя мощностей к одному из гнезд приемника подают ток фазы. С помощью гнезда «U» параллельная катушка включается к фазному напряжению.</p>	100...0...100 Вт; 200...0...200Вт; 400...0...400Вт; 100...0...100 В Ар; 200...0...200 В Ар; 400...0...400 В Ар; (220В)

****Внимание!** До подключения мультиметра (блок 501) к электрической цепи необходимо предварительно выполнить следующие операции: установить род тока (постоянный/переменный); выбрать диапазон измерений соответственно ожидаемому результату измерений; правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

В качестве вольтметра мультиметр подключают к гнездам нагрузки или источника напряжения, используя гнездо «V».

Как амперметр, мультиметр включают последовательно в измеряемую цепь, используя гнездо «I».

В качестве омметра мультиметр подключают к выводам измеряемого сопротивления, используя гнездо «Ω».

РАБОТА 1. ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

[1, с. 399...482; 2, с. 319...382; 3, с. 172...186]

Цель работы – экспериментальное исследование и получение основных характеристик генератора с независимым возбуждением.

I. Общие сведения и описание установки

Принцип действия генератора основан на законе электромагнитной индукции. В обмотке якоря индуцируется переменная ЭДС $E_o = -d\Phi/dt$, которая выпрямляется помощью коллекторно-щеточного аппарата

$$E_o = c_e n \Phi = c \omega \Phi, \quad (1.1)$$

где $c = pN/2\pi a = 9,55 c_e$ – конструктивный коэффициент; p , a – число пар полюсов и параллельных ветвей, N – количество проводников якорной обмотки; n , ω – частота вращения (мин^{-1}) и угловая скорость (рад/с) якоря, Φ – магнитный поток машины (МПТ).

У генератора с независимым возбуждением (ГПТНВ) обмотка возбуждения питается от отдельного источника и ток возбуждения I_f не зависит от напряжения якоря. Для возбуждения генератора с вращающимся якорем требуется лишь включить напряжение возбуждения, полярность и уровень которого определит полярность и уровень ЭДС. Начала и концы обмоток якоря и возбуждения МПТ типа 101.1 лабораторного комплекса обозначены в соответствии с рис.1.1.

Все характеристики генератора снимаются при постоянной частоте вращения, обеспечиваемой машиной переменного тока типа 102.1 в режиме синхронный двигателя, начала (U1, V1, W1), концы (U2, V2, W2), и нулевой вывод (N) обмотки статора, начала (F1, F2, F3) обмотки ротора выведены на панель машины так, как показано на рис.1.2.

Характеристика холостого хода генератора (рис. 1.3) представляет собой зависимость ЭДС E_o от тока возбуждения I_f при отключенной нагрузке. Она нелинейна из-за насыщения магнитной системы. Для генератора с независимым возбуждением характеристика может быть снята в двух квадрантах с получением петли гистерезиса.

При нагрузке в обмотке якоря протекает ток I_a . Для якорной цепи справедливо уравнение, составленное по II закону Кирхгофа

$$U = E_o - I_a R_a, \quad (1.2)$$

где $R_a = r_a + R_{\text{дн}}$ – сопротивление якорной цепи; $I_a = I$ – ток якоря.

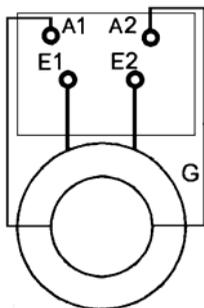


Рис.1.1

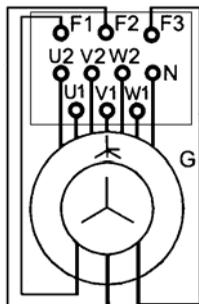


Рис.1.2

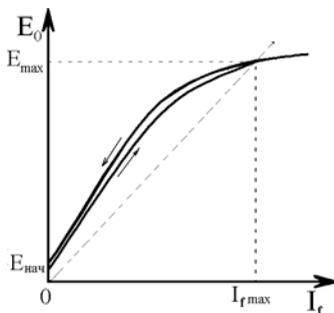


Рис. 1.3

Внешняя характеристика генератора (рис. 1.4) – это зависимость $U=f(I_a)$, показывающая как изменяется напряжение с ростом тока нагрузки генератора при $I_f = \text{const}$, $n = \text{const}$.

При увеличении тока нагрузки I (уменьшении сопротивления R_n) происходит изменение напряжения U вследствие увеличения падения напряжения в якорной цепи $I_a R_a$. Изменение напряжения оценивается относительным падением напряжения

$$\Delta U\% = \frac{E_0 - U}{E_0} 100 = \frac{U_0 - U}{U_0} 100, \quad (1.3)$$

где U – напряжение якоря при заданной нагрузке, например, при номинальной; $U_0 = E_0$ – напряжение при холостом ходе.

Для номинального режима в ГПТНВ ΔU составляет (5...10)%. Для микромашин (50-100 Вт) ΔU равно 30-40%.

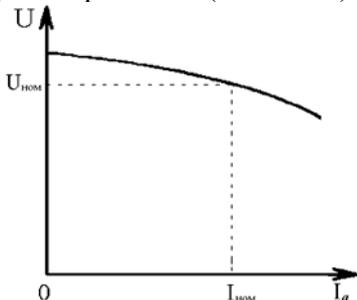


Рис. 1.4

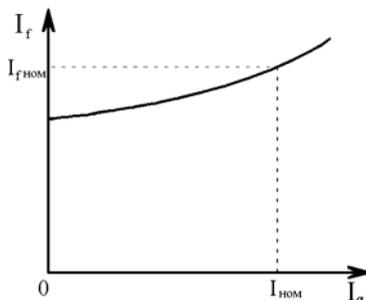


Рис. 1.5

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость $I_f=f(I_a)$ при $U=const, n=const$, показывающую, как надо изменять ток возбуждения при изменении тока нагрузки для получения постоянного напряжения (рис. 1.5).

Нагрузочная характеристика $U=f(I_f)$ снимается аналогично характеристике холостого хода, с тем только отличием, что поддерживается постоянный по величине ток нагрузки $I_a > 0$ ($I_a=const$).

Характеристика короткого замыкания $I_a = f(I_f)$ ($n=const$) снимается при замкнутых накоротко (на амперметр P4) выводах обмотки якоря путем постепенного от нуля повышения тока возбуждения ($I_a < 1,5I_{ном}$).

Замыкание выводов обмотки якоря и все переключения в обмотках при снятии характеристик мощных электрических машин проводится после остановки и обесточивания машины. В лабораторном комплексе микромашин обеспечены условия для переключений без остановки машины.

II. Порядок выполнения работы

Собрать электрическую схему, приведенную на рис. 1.6.

1. Асинхронный пуск синхронного двигателя.

Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3, выключателей A2 и A3 установите в положение "РУЧН."

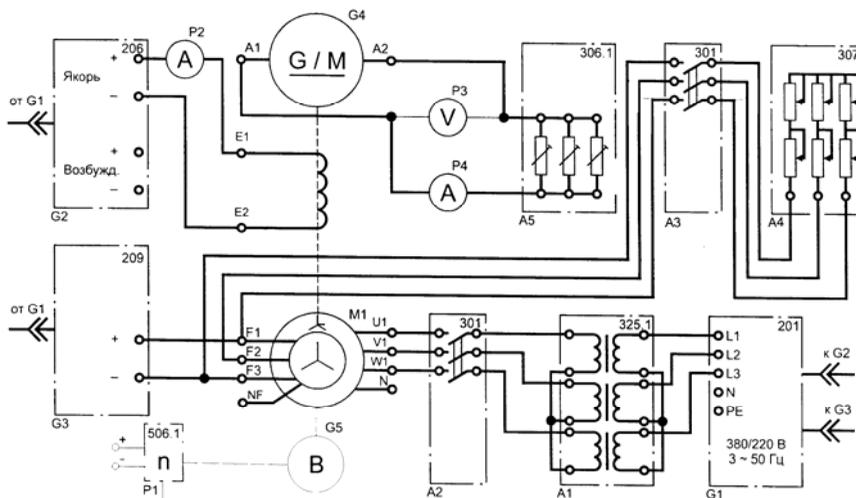


Рис.1.6. Электрическая схема включения генератора постоянного тока с независимым возбуждением

Регулировочную рукоятку источника G2 и возбuditеля G3 поверните против часовой стрелки до упора (напряжение возбуждения синхронного двигателя равно нулю).

Установите регулировочные рукоятки нагрузки A5 в положение "0".

Установите сопротивление фаз реостата A4 8...20 Ом.

Установите переключателями в блоке A1 номинальные напряжения трансформаторов: первичные - 127 В, вторичные - 230 В.

Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

Включите выключатели "СЕТЬ" возбuditеля G3, выключателей A2 и A3.

Включите выключатель A3 нажатием кнопки "ВКЛ.", введя в цепь ротора сопротивление A4.

Подключите двигатель M1 к сети для асинхронного пуска нажатием кнопки "ВКЛ." выключателя A2.

Нажмите кнопку "ВКЛ." возбuditеля G3 и вращая регулировочную рукоятку возбuditеля G3, установите по амперметру блока G3 номинальный ток возбуждения I_{fM1} (1,5 А) двигателя M1, достаточный для втягивания его в синхронизм при $n=1500$ мин⁻¹ (указатель P1).

Отключите выключатель A3 нажатием на кнопку «ОТКЛ».

После этого можно приступить к снятию характеристик.

2. Характеристика холостого хода.

Измерьте с помощью вольтметра P3 величину ЭДС $E_{нач}$ обмотки якоря при остаточном магнитном потоке ($I_f=0$) и занесите в первый столбец таблицы 1.1. Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2 увеличивайте ток возбуждения генератора G4 и заносите показания (6–10 измерений) амперметра P2 и вольтметра P3 в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

I_f , А										
E_o , В										

Выключите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВЫКЛ." источника G2.

Измените полярность на обмотке возбуждения E1-E2, поменяв присоединение выводов обмотки возбуждения. Убедитесь, что полярность ЭДС якоря генератора меняется. Предварительно снизив ток возбуждения G2 до нуля, верните полярность ОВ в исходное состояние.

3. Внешняя характеристика генератора.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите, и не меняйте в ходе эксперимента ток возбуждения I_f генератора G4, при котором напряжение U на его якоре составит, например, 160 В.

Перемещая регулировочные рукоятки нагрузки A5 от «0» до положения «50 Вт», увеличивайте ток якоря I_a генератора G4 и заносите показания вольтметра P3 и амперметра P4 в таблицу 1.2.

Оставьте рукоятки нагрузки A5 в положении «50 Вт» для опыта 4.

Таблица 1.2

I_a , А									
U , В									

4. Регулировочная характеристика генератора

Установите регулировочной рукояткой источника G2 ток возбуждения, обеспечивающий напряжение якоря U равное, например, 140 В.

Перемещая регулировочные рукоятки нагрузки A5 против часовой стрелки и поддерживая напряжение U якоря равным 140 В, путем регулирования тока возбуждения I_f , уменьшайте ток I_a якоря генератора и заносите показания амперметров P2 и P4 в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

U=									
I_a , А									
I_f , А									

5. Нагрузочная характеристика генератора

Установите рукоятки нагрузки A5 в положение «50 Вт» и, определив напряжение, при котором ток обмотки якоря I_a равен, например, 0,1 А, заполните первый столбец и верхнюю строку таблицы 1.4. Увеличивайте ток возбуждения I_f рукояткой источника G2, поддерживая ток I_a на заданном уровне, например, 0,1 А, используя регулировочные рукоятки нагрузки A5 и заносите полученные показания вольтметра P3 и амперметра P2 в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

$I_a =$									
I_f, A									
U, B									

У источника G2 поверните регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Дождитесь, когда напряжение станет равно нулю.

6. Характеристика короткого замыкания.

После отключения питания обмотки возбуждения замкните якорную обмотку генератора накоротко (на амперметр P4). Для этого вставьте гибкий проводник в гнезда блока активной нагрузки A2, замыкая ее сопротивление накоротко ($R_n=0$).

Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2. Медленно вращая регулировочную рукоятку источника G2 изменяйте ток возбуждения генератора G4, чтобы ток якоря составил максимальную величину $I_a < 1,2I_{ном}$, и занесите показания (6–10 измерений) амперметров P2 и P4 в таблицу 1.5.

Таблица 1.5

I_f, A									
I_a, B									

По завершении эксперимента сначала у источника G2, а затем у возбудителя G3 поверните регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите выключатель A2 нажатием кнопки "ОТКЛ.". Отключите источник G1 нажатием на кнопку – гриб. Разомкните якорь.

III. Содержание отчета

1. Схема проведения опытов. Паспортные данные машин.
2. Таблицы опытных данных. Результаты определения $\Delta U_{ном}$.
3. Графики характеристик:
 - холостого хода $E_o = f(I_f)$, с отмеченной точкой $E=U_{ном}$ и соответствующим $U_{ном}$ током возбуждения I_f (табл. 1.1);
 - внешней $U = f(I_a)$ при $n = const$, $I_f = const$ (табл. 1.2) с указанным относительным изменением напряжения $\Delta U_{ном}$;
 - регулировочной $I_f = f(I_a)$ при $n = const$, $U = const$ (табл. 1.3);
 - нагрузочной $U = f(I_f)$ при $n, I_a = const$ (табл. 1.4);
 - короткого замыкания $I_a = f(I_f)$ (табл. 1.5).

РАБОТА 2. ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

[1, с. 399...449; 2, с. 383...385; 3, с. 186...192]

Цель работы – экспериментальное исследование процесса самовозбуждения и получение основных характеристик генератора.

I. Общие сведения и описание установки

Принцип действия машины постоянного тока параллельного возбуждения тот же, что и машины с независимым возбуждением, исследуемой в лабораторной работе 1 (рис. 1.1–1.6).

У генератора с параллельным возбуждением обмотка возбуждения питается от собственного якоря. Поэтому для самовозбуждения необходимо выполнение ряда условий – полюса или станина машины должны иметь остаточную намагниченность ($\Phi_{ост} \neq 0$); направление возбуждаемого током магнитного потока Φ должно совпадать с направлением потока остаточного намагничивания; сопротивление цепи возбуждения R_f , состоящей из обмотки (r_f) и реостата (R_α) должно быть меньше критического $R_{кр}$ ($\alpha < \alpha_{кр}$ на рис.2.1), а частота вращения должна быть больше критической $n_{кр}$ (рис.2.2).

При наличии остаточной намагниченности согласно (1.1) потоком $\Phi_{ост}$ в якоре возбуждается начальная ЭДС

$$E_{нач} = c \omega \Phi_{ост} \approx (2...5)\% U_n. \quad (2.1)$$

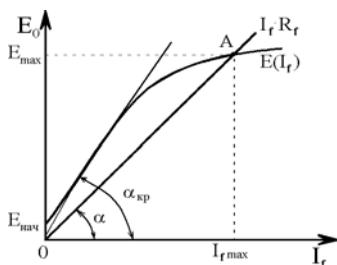


Рис. 2.1

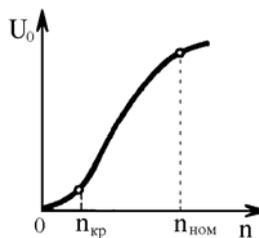


Рис. 2.2

Правильность включения обмотки возбуждения проверяется в момент подключения ее к якору. Возрастание ЭДС говорит о правильности включения обмотки. Если ЭДС не возрастает, необходимо пересоединить обмотку возбуждения.

Характеристика холостого хода генератора $E_o = f(I_f)$, при $n = const, I = 0$ (рис. 2.1) повторяет характеристику намагничивания ма-

шины $\Phi = f(F_f)$. Так как обычно током обмотки возбуждения генератора $I_f \approx (1 \dots 5)\% I_{a.ном}$, нагружающим якорь, ввиду его малости можно пренебречь, то характеристика холостого хода имеет такой же вид как при независимом возбуждении, но по условиям самовозбуждения может сниматься в одном квадранте.

При самовозбуждении генератора ЭДС нарастает до тех пор, пока $E > I_f R_f$, следовательно, наибольшее значение ЭДС $E_{max} = I_f R_f$ (рис.2.1).

Присоединение к якору сопротивления нагрузки вызывает ток нагрузки I и увеличение тока в якоре. Для якорной цепи справедливо уравнение, составленное по II закону Кирхгофа, которое имеет вид

$$U = E_0 - I_a R_a, \quad (2.2)$$

где R_a – сопротивление якорной цепи; $I_a = I + I_f$ – ток якоря.

При увеличении тока нагрузки I (уменьшении сопротивления R_n) происходит уменьшение напряжения U вследствие увеличения падения напряжения в якорной цепи $I_a R_a$, а также уменьшения ЭДС $E_o = f(I_f)$ из-за снижения тока возбуждения $I_f = U / (r_f + R_a)$. Это снижение можно приблизительно учесть (без точного учета нелинейности характеристики холостого хода), введя дополнительное вычитаемое в формулу (2.2)

$$U = E_0 - I_a R_a - 0,5 I_a R_a, \quad (2.3)$$

Внешняя характеристика генератора (рис.2.3) – это зависимость $U = f(I)$, показывающая как изменяется напряжение с ростом тока нагрузки генератора при $R_f = const, n = const$.

При постепенном значительном снижении напряжения (при $I = I_{кр}$) дальнейшее уменьшение сопротивления нагрузки приводит к быстрому уменьшению тока возбуждения, уменьшению напряжения до нуля и уменьшению тока генератора до тока короткого замыкания I_k . Ток короткого замыкания

$$I_k = E_{нач} / R_a \quad (2.4)$$

обычно незначительно отличается от номинального тока.

Изменение напряжения генератора оценивается относительным падением напряжения

$$\Delta U \% = \frac{E_0 - U}{E_0} 100 = \frac{U_0 - U}{U_0} 100, \quad (2.5)$$

где U – напряжение на якоре при заданной нагрузке, например, номинальной; $U_0 = E_0$ – напряжение при холостом ходе.

Для номинального режима в шунтовых генераторах большой и средней мощности ΔU составляет (10...20)%. В микромашинах достигает 50%. Стабилизация напряжения шунтовых генераторов обеспечивается регулировкой тока возбуждения.

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость $I_f = f(I)$ при $U = const$, $n = const$, которая показывает, как надо изменять ток возбуждения при изменении тока нагрузки для получения постоянного напряжения (рис. 2.4).

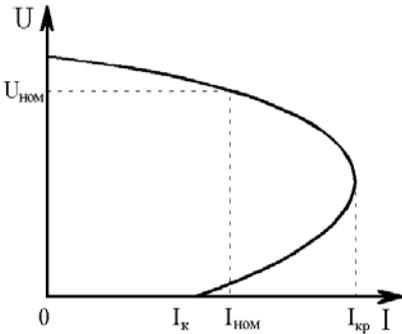


Рис.2.3

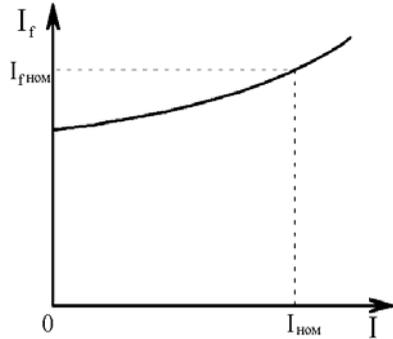


Рис. 2.4

Нагрузочная характеристика $U = f(I_f)$ при $I = const$ определяется свойствами магнитной системы машины, а также степенью влияния реакции якоря.

Характеристика короткого замыкания $I_a = f(I_f)$ при $n = const$ и замкнутых накоротко выводах обмотки якоря ($U = 0$) может быть снята только при независимом возбуждении, так как при самовозбуждении в случае $U = 0$ также $I_f = 0$.

II. Порядок выполнения работы

Собрать электрическую схему, приведенную на рис.2.5.

1. Асинхронный пуск синхронного двигателя.

Разомкните цепь возбуждения E1–E2, вынув гибкий проводник от реостата A6 из гнезда E1 панели генератора G2.

Переключатели режима работы возбудителя G3, выключателей A2 и A3 установите в положение "РУЧН."

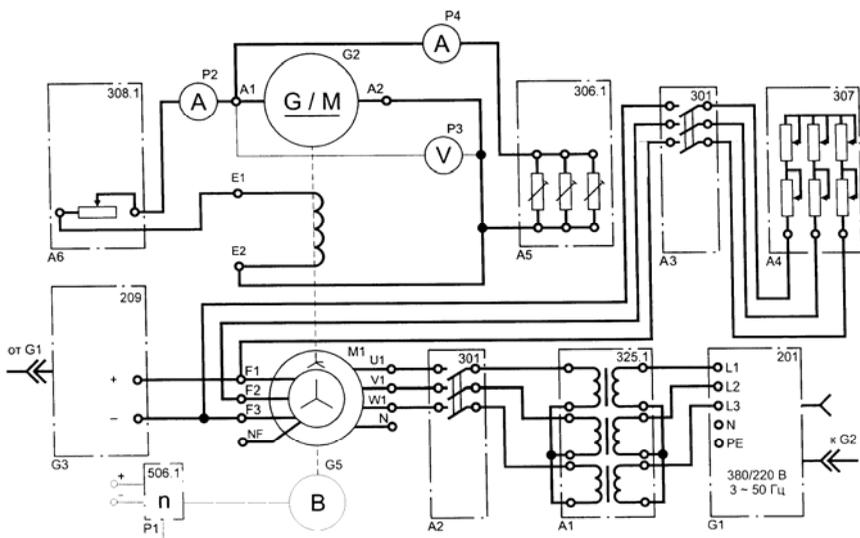


Рис. 2.5. Электрическая схема включения генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

Регулировочную рукоятку возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора (синхронный двигатель не возбужден).

Установите сопротивление фаз реостата A4 8...20 Ом.

Регулировочную рукоятку реостата A6 поверните по часовой стрелке до упора (2000 Ом).

Регулировочные рукоятки нагрузки A5 поверните против часовой стрелки до упора (в положение "0").

Установите переключателями в блоке A1 номинальные напряжения трансформаторов: первичные - 127 В, вторичные - 230 В.

Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

Включите выключатель "СЕТЬ" возбудителя G3, выключателя A2.

Внимание! Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." выключателя A3, введя в цепь ротора сопротивление A4.

Подключите двигатель M1 к сети для асинхронного пуска нажатием кнопки "ВКЛ." выключателя A2.

Нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3 и вращая регулировоч-

ную рукоятку возбуждителя G3, установите по амперметру блока G3 номинальный ток возбуждения I_{fc} (1,5 А) двигателя M1, достаточный для втягивания его в синхронизм при $n=1500$ мин⁻¹ (указатель P1).

Отключите выключатель A3 нажатием на кнопку «ОТКЛ».

2. Изучение процесса самовозбуждения.

Измерьте с помощью вольтметра P3 величину ЭДС $E_{нач}$ обмотки якоря при остаточном магнитном потоке ($I_f=0$) и занесите показание в первый столбец таблицы 2.1.

Замкните цепь обмотки возбуждения генератора, вставив гибкий проводник от реостата A6 в гнездо E1 панели генератора G2.

Медленно вращая регулировочную рукоятку реостата A6, установите ее в положение «0» ($R_g=0$) для получения максимального тока возбуждения I_f генератора G2 и наблюдайте процесс самовозбуждения. По положению рукоятки, в момент резкого изменения напряжения определите величину критического сопротивления $R_{кр}$. (Если генератор не возбуждается, повторите опыт, поменяв местами гибкие проводники в зажимах E1 и E2 панели генератора G2).

3. Характеристика холостого хода.

Убедитесь, что регулировочная рукоятка реостата A6 и регулировочные рукоятки нагрузки A5 установлены в положении «0».

Вращая регулировочную рукоятку реостата A6 по часовой стрелке уменьшайте ток возбуждения генератора G4 и заносите показания амперметра P2 и вольтметра P3 в таблицу 2.1.

Таблица 2.1.

I_f , А										
E, В										

4. Внешняя характеристика.

Вращая регулировочную рукоятку реостата A6, установите ее в положение «0», и в течение всего опыта не меняйте положение рукоятки реостата A6 ($R_f=const$).

Перемещая регулировочные рукоятки нагрузки A5 от «0» до положения «50 Вт», увеличивайте ток I генератора G2 и заносите показания вольтметра P3 и амперметра P4 в табл. 2.2. Оставьте рукоятки нагрузки A5 в положении «50 Вт» для опыта 5.

Таблица 2.2.

I, A									
U, В									

5. Регулировочная характеристика генератора

Запишите токи I_f , I , полученные при положении рукояток нагрузки А5 «50 Вт» и рукоятки реостата А6 «0 Ом» в первый столбец, а напряжение U_n якоря, которое надо поддерживать при снятии характеристики – в верхнюю строку таблицы 2.3.

Перемещая против часовой стрелки регулировочные рукоятки активной нагрузки А5 и поддерживая заданное напряжение якоря $U_n = const$ путем регулирования тока возбуждения I_f рукояткой реостата А6, изменяйте ток I якоря генератора и заносите показания амперметров Р2 и Р4 в таблицу 2.3.

Таблица 2.3.

U=						
I, A						
I_f , A						

По завершении эксперимента у возбудителя G3 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите выключатель А2 нажатием кнопки "ОТКЛ.". Отключите источник G1 нажатием на кнопку – гриб.

III. Содержание отчета

1. Схема проведения опытов и краткое описание порядка испытаний.
2. Таблицы опытных данных. Результаты определения относительного падения напряжения ΔU .
3. Графики характеристик:
 - холостого хода $E_0 = f(I_f)$ при $n = const$, $I = 0$ (табл. 2.1);
 - внешней $U = f(I)$ при $n = const$, $R_f = const$ (табл. 2.2);
 - регулировочной $I_f = f(I)$ при $n = const$, $U = const$ (табл. 2.3).
4. Паспортные данные машин.

РАБОТА 3. ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

[1, с. 399...483, 487...499; 2, с. 387...400; 3, с. 200...217]

Цель работы – экспериментальное исследование электромеханических и регулировочных характеристик двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

I. Общие сведения

Все электрические машины обратимы, поэтому генератор (см. работы 1 и 2) может работать как двигатель постоянного тока (ДПТ) при подключении к обмоткам якоря и возбуждения напряжения U .

Работа двигателя постоянного тока основана на возникновении вращающего момента в результате взаимодействия магнитного потока Φ с током якоря I_a

$$M = c_M I_a \Phi, \quad (3.1)$$

где $c_M = c = pN/2\pi a$ – конструктивный коэффициент, в котором p – число пар полюсов, N – количество проводников якоря, a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

При вращении якоря в магнитном поле полюсов с частотой n в его обмотке индуцируется ЭДС

$$E_0 = c_e n \Phi = c \omega \Phi, \quad (3.2)$$

где $c_e = pN/60a = 9,55 c_M$ – конструктивный коэффициент, ω – угловая скорость якоря.

Для якорной цепи справедливо уравнение, записанное по второму закону Кирхгофа

$$U = E_0 + I_a R_a, \quad (3.3)$$

где R_a – сопротивление всей якорной цепи, состоящей из обмоток якоря r_a и добавочных полюсов R_{dp} , E_0 – ЭДС обмотки якоря.

Основные свойства двигателя постоянного тока оцениваются по его скоростной, механической, регулировочной и рабочим характеристикам.

Скоростная (электромеханическая) характеристика – это зависимость частоты вращения якоря от тока якоря $n = f(I_a)$ при $U =$

$const, I_f = const.$

Решение уравнения (3.3) относительно частоты вращения n (входящей в формулу для ЭДС) приводит к выражению для электромеханической характеристики:

$$n = \frac{U - I_a R_a}{c_e \Phi} = \frac{U}{c_e \Phi} - I_a \frac{R_a}{c_e \Phi}, \quad (3.4)$$

Механическая характеристика представляет собой зависимость частоты вращения якоря от вращающего момента двигателя $n = f(M)$ при $U = const, I_f = const.$ Уравнение механической характеристики получаем подстановкой тока, выраженного через момент из формулы (3.1) $I_a = M / c_M \Phi$

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - M \frac{R_a}{c_e^2 \Phi^2} \quad (3.5)$$

Решение уравнения (3.3) относительно тока приводит к выражениям для тока якоря

$$I_a = \frac{U - E_0}{R_a} - \frac{U - c_e n \Phi}{R_a}; \quad (3.6)$$

Из выражения (3.6) видно, что ток якоря двигателя зависит от его частоты вращения, определяемой нагрузкой на валу. При пуске двигателя ($n=0$), ток якорной цепи определяется только напряжением U и сопротивлением якорной цепи R_a . Следовательно, для ограничения тока по условиям коммутации при пуске до величины $I_n \leq (2 \dots 3) I_{аном}$ можно снизить напряжение или включить последовательно в якорную цепь пусковой реостат сопротивлением R_n , тогда

$$I_n = U / (R_a + R_n). \quad (3.7)$$

Обычно мощные пусковые реостаты допускают кратковременное включение (10...20 с).

Уравнения скоростной и механической характеристики представляют собой уравнения прямой линии (рис. 3.2) с начальной ординатой

$$n_0 = U / (c_e \Phi). \quad (3.8)$$

Изменение частоты вращения в двигателях, работающих на

естественной характеристике (при $R_n=0$), при изменении нагрузки незначительно

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} 100 \quad (3.9)$$

и составляет 2...10 %. У микромашин (мощность менее 600 Вт) Δn достигает 50%.

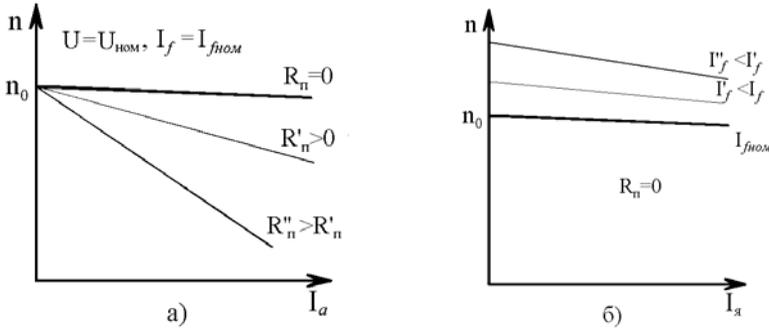


Рис. 3.2

Из выражения (3.4) и (3.8) видно, что регулировать частоту вращения, т.е. изменять ее при заданной нагрузке, можно, изменяя напряжение U , сопротивление якорной цепи R_a или магнитный поток Φ (ток обмотки возбуждения).

Для изменения направления вращения якоря (реверсирования двигателя) необходимо изменить направление тока в обмотке возбуждения (или якоря).

В работе проводится исследование способов регулирования частоты вращения. На рис.3.2,а показаны характеристики $n=f(I_a)$ при введении в цепь якоря регулировочного реостата R_n . На рис. 3.2,б - характеристики $n=f(I_a)$ при изменении тока возбуждения I_f (при ослаблении потока). Жирной линией на рис.3.2, а, б показана естественная характеристика.

При оценке способов регулирования рассматриваются диапазон регулирования, плавность и точность его, а также экономичность.

Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока – это зависимость частоты вращения от тока возбуждения $n=f(I_f)$ при $I_a=const, U=const$. Для микромашин и исполнительных двигателей по-

стоянного тока с якорным управлением снимают зависимость $n=f(U)$.

Рабочие характеристики представляют собой зависимости параметров I, P_1, M, n, η от полезной мощности на валу P_2 при $U=U_{ном}$ и $R_6=0$.

Исследование рабочих свойств электродвигателя осуществляется изменением нагрузки на его валу. Нагрузочной машиной является синхронный генератор, нагружаемый на активное нагрузочное сопротивление R_n .

II. Порядок выполнения работы

Собрать электрическую схему (рис. 3.3) с учетом П.1-5 краткой инструкции по технике безопасности.

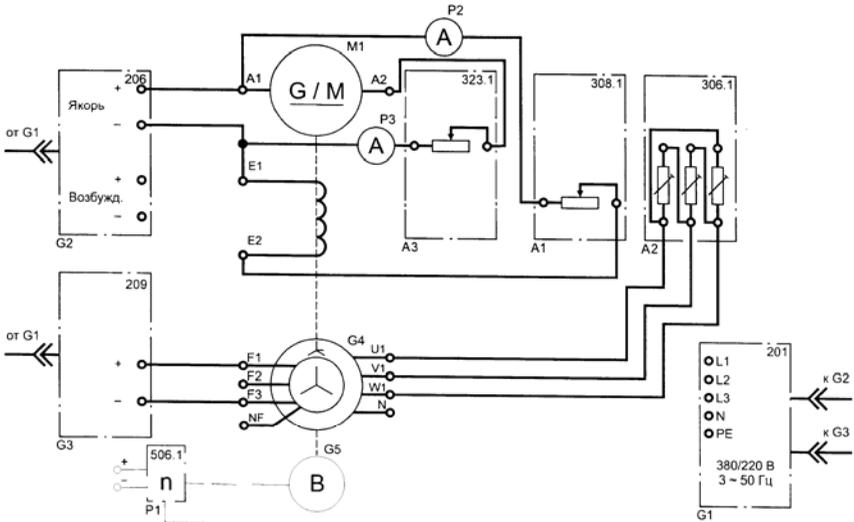


Рис.3.3. Электрическая схема соединений двигателя с параллельным возбуждением

Пуск в ход и регулирование скорости двигателя.

Переключатели режима работы источника G2 и возбудителя G3 переведите в положение "РУЧН."

Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

Поверните регулировочные рукоятки реостатов A1, A3 против часовой стрелки до упора.

Установите регулировочные рукоятки активной нагрузки A2 в

положение "50 Вт".

Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

Включите выключатель "СЕТЬ" указателя P1 и источника G2, нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, разгоните двигатель M1, установите и поддерживайте в опыте напряжение на нем неизменным, например, равным 200 В.

Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3.

Естественная электромеханическая характеристика.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток якоря I_a двигателя M1 и заносите показания амперметра P3 и указателя P1 в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

I_a, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Искусственная реостатная характеристика двигателя.

Введите сопротивление в цепь якоря двигателя M1, установив регулировочную рукоятку реостата A3, например, в положение 200 Ом.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток якоря I_a двигателя M1 и заносите показания амперметра P3 и указателя P1 в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

I_a, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Искусственная характеристика при ослаблении магнитного потока.

Введите сопротивление в цепь обмотки возбуждения двигателя M1, установив регулировочную рукоятку реостата A1, например, в положение 400 Ом*.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте

ток якоря I_a двигателя М1 и заносите показания амперметра Р3 и указателя Р1 в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

I_a, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Регулировочная характеристика двигателя.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите напряжение якоря U , например, равным 120 В*.

Вращая регулировочную рукоятку реостата A1 уменьшайте ток возбуждения I_f двигателя М1, поддерживая неизменным и равным, например 0,25...0,3 А, ток якоря I_a путем вращения регулировочной рукоятки возбудителя G3, и заносите показания амперметра Р2 и указателя Р1 в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

I_f, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

По завершении эксперимента сначала у возбудителя G3, а затем у источника G2 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб.

III. Содержание отчета

1. Схема проведения опытов.
2. Таблицы опытных данных и результаты расчетов Δn , $c_e \Phi$ и M с расчетными формулами.
3. Графики (с краткими выводами)
 - $n=f(I_a)$ при $U = const$, $I_f = const$ (табл. 3.1 – 3.3);
 - $n=f(I_f)$ при $U = const$, $I_a = const$ (табл. 3.4).
4. Паспортные данные электрических машин.

* Допускается для снижения максимальной частоты вращения двигателя до уровня 2000 мин^{-1} при минимальном токе возбуждения установить напряжение двигателя ниже 120 В рукояткой источника G2.

РАБОТА 4. ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

[1, с. 399...483, 487...499; 2, с. 396...399; 3, с. 215...217]

Цель работы – экспериментальное исследование электромеханических и регулировочных характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

I. Общие сведения

Обмотка возбуждения может включаться к независимому от якоря источнику питания, и электрическая машина будет работать как двигатель с независимым возбуждением.

Работа двигателя постоянного тока с независимым возбуждением описывается формулами (3.1-3.2).

Основные свойства двигателя постоянного тока оцениваются по его скоростной, механической, регулировочной и рабочим характеристикам.

Скоростная (электромеханическая) характеристика – это зависимость частоты вращения якоря от тока якоря $n = f(I_a)$ при $U = const, I_f = const$, которая определяется выражением (3.4).

Механическая характеристика представляет собой зависимость частоты вращения якоря от вращающего момента двигателя $n = f(M)$ при $U = const, I_f = const$, определяемую уравнением (3.5).

Выражение для тока при постоянной скорости и при пуске могут быть вычислены по формулам (3.6) и (3.7)

Изменение частоты вращения в двигателях, работающих на естественной характеристике (при $R_n=0$), при изменении нагрузки до номинального значения

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} 100 \quad (4.1)$$

где $n_0 = U / (c_e \Phi)$ - пороговая частота вращения.

Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока – это зависимость частоты вращения от тока возбуждения $n = f(I_f)$ при $I_a = const, U = const$. Магнитный поток входит в знаменатель выражения (4.4), поэтому зависимость $n = f(I_f)$ при $U = const, I_a = const$ является нелинейной, как это видно на рис.4.1. При отсутствии нагрузки ($M_2=0$) и

снижении тока возбуждения частота вращения может превысить допустимое значение, а при $M'_2 > 0$ уменьшение потока компенсируется ростом тока I_a и, следовательно, второго слагаемого в (4.4).

Регулировочная характеристика $n=f(U)$ при $I_a = const$, $I_f = const$ определяется для микромашин и исполнительных двигателей постоянного тока с якорным управлением.

Рабочие характеристики представляют собой зависимости параметров I, P_1, M, n, η от полезной мощности на валу P_2 при $U=U_{ном}$ и $R_б=0$.

Обычно напряжение якоря U машины с независимым возбуждением равно напряжению обмотки возбуждения $U_{об}$, поэтому при неизменном напряжении вид скоростной, механической, регулировочной и рабочих характеристик такой же, как у двигателя с параллельным возбуждением, исследуемого в лабораторной работе 3.

Регулировать частоту вращения, т.е. изменять ее при заданной нагрузке, можно, как это видно из выражения (4.4) и (4.8), изменяя напряжение U , сопротивление якорной цепи R_a или магнитный поток Φ (напряжение $U_{об}$). Для изменения направления вращения якоря (реверсирования) необходимо изменить направление тока в обмотке возбуждения (или якоря).

В двигателе с независимым возбуждением цепи обмотки якоря и обмотки возбуждения получают питание отдельно поэтому возможно регулирование частоты вращения изменением напряжения возбуждения (полюсное управление) при $U=const$ и регулирование изменением напряжения якоря двигателя U (якорное управление) при $I_f=const$ (рис.4.2).

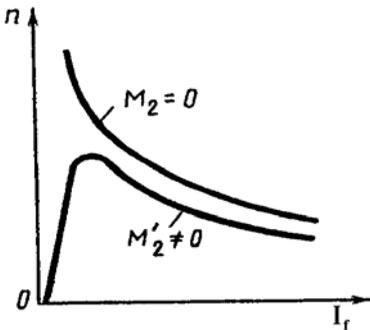


Рис.4.1

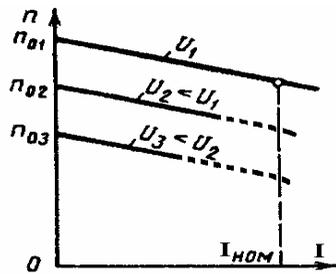


Рис.4.2

Электромеханические характеристики при изменении напряжения U не меняют угла наклона к оси абсцисс, а смещаются по высоте, оставаясь практически параллельными друг другу, так как по-роговая частота вращения n_o согласно (4.8) пропорциональна напряжению, а Δn не зависит от напряжения [см. (4.4)]. При больших нагрузках эта пропорциональность нарушается, так как Δn не зависит от напряжения.

В двигателях постоянного тока с самовентиляцией при снижении скорости ухудшаются условия охлаждения, поэтому ток нагрузки снижают.

Способ якорного регулирования реализуется при питании якорной цепи от управляемого выпрямителя.

Для мощных двигателей находит применение система Г-Д, в которой якорь двигателя питается от якоря генератора постоянного тока с независимым возбуждением (регулируемым).

Характеристики $n = f(U)$ при $I_a = const$, $I_f = const$ двигателя с независимым возбуждением близки к линейным.

Исследование рабочих свойств двигателя с независимым возбуждением осуществляется изменением нагрузки на его валу с помощью синхронного генератора, нагружаемого на активное нагрузочное сопротивление R_n .

II. Порядок выполнения работы

Собрать электрическую схему (рис. 4.3) с учетом П.1-5 краткой инструкции по технике безопасности.

Пуск в ход двигателя.

Переключатели режима работы источника G2 и возбудителя G3 переведите в положение "РУЧН".

Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

Поверните регулировочные рукоятки реостатов A1, A3 против часовой стрелки до упора.

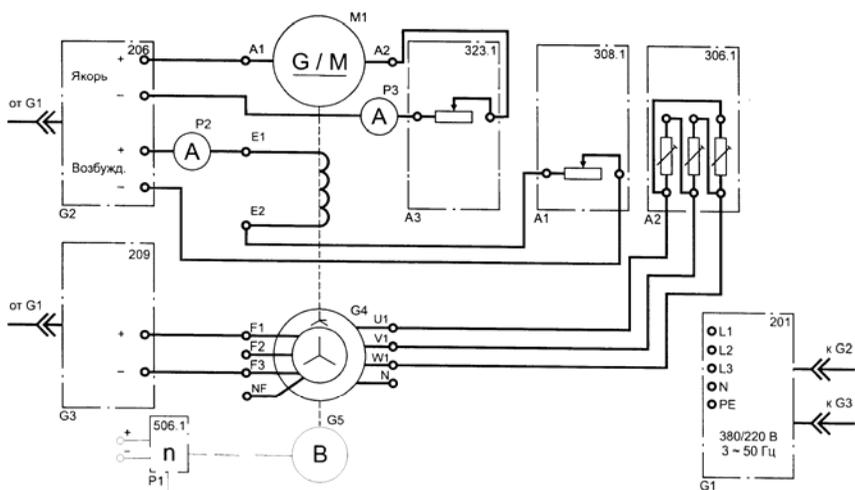


Рис.4.3. Электрическая схема соединений двигателя с независимым возбуждением

Установите регулировочные рукоятки активной нагрузки $A2$ в положение "50 Вт".

Включите источник $G1$. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

Включите выключатель "СЕТЬ" указателя $P1$ и источника $G2$, нажмите кнопку "ВКЛ." источника $G2$.

Вращая регулировочную рукоятку источника $G2$, разгоните двигатель $M1$, установите напряжение якоря U , например, равным 200 В.

Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя $G3$.

Естественная электромеханическая характеристика.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя $G3$, изменяйте ток якоря I_a двигателя $M1$ и заносите показания амперметра $P3$ и указателя $P1$ в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

I_a, A									
$n, \text{мин}^{-1}$									

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Искусственная электромеханическая характеристика двигателя при напряжении $U < U_{ном}$.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите напряжение якоря U , например, равным 170 В.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, увеличьте ток якоря I_a двигателя M1 до 0,4 А и занесите показания амперметра P3 и указателя P1 в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

I_a, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите напряжение якоря U , например, равным 150 В.

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, увеличьте ток якоря I_a двигателя M1 до 0,4 А и занесите показания амперметра P3 и указателя P1 в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

I_a, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Регулировочная характеристика $n=f(U)$.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2 изменяйте напряжение U двигателя M1, поддерживая неизменным и равным, например 0,2...0,25 А, ток якоря I_a путем вращения регулировочной рукоятки возбудителя G3, и занесите показания вольтметра источника G2 и указателя P1 в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

U, A										
$n, \text{мин}^{-1}$										

Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.

Регулировочная характеристика двигателя $n=f(I_f)$.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите напряжение якоря U , например, равным 150 В*.

Вращая регулировочную рукоятку реостата A1 от 0 до 2000 Ом уменьшайте ток возбуждения I_f двигателя M1, поддерживая неизменным и равным, например 0,2...0,25 А, ток якоря I_a путем вращения регулировочной рукоятки возбудителя G3, и заносите показания амперметра P2 и указателя P1 в таблицу 4.5.

Таблица 4.5

I_f , А										
n , мин ⁻¹										

По завершении эксперимента сначала у возбудителя G3, а затем у источника G2 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб.

III. Содержание отчета

1. Схема проведения опытов и краткое описание порядка испытаний.

2. Таблицы опытных данных и результаты расчетов Δn , $c_e\Phi$ и M с расчетными формулами.

3. Графики (с краткими выводами)

- $n=f(I_a)$ при $U = const$, $I_f = const$ (табл. 4.1 – 4.3);

- $n=f(U)$ при $I_a = const$, $I_f = const$ (табл. 4.4)

- $n=f(I_f)$ при $U = const$, $I_a = const$ (табл. 4.5).

4. Паспортные данные электрических машин.

* Допускается для снижения до уровня 2000 мин⁻¹ максимальной частоты вращения двигателя при минимальном токе возбуждения установить напряжение двигателя ниже 150 В рукояткой источника G2.

РАБОТА 5. ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

[1, с. 15...117; 2, с.13...94; 3, с.241...356]

Цель работы – исследование трансформатора в режимах холостого хода, опытного короткого замыкания и при работе на нагрузку.

I. Общие сведения и описание установки

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения в обмотках при неизменной частоте.

Принцип действия трансформатора основан на законе электромагнитной индукции, но в отличие от электрической машины изменение магнитного потока $d\Phi/dt$ в нем не связано с движением проводников.

Уравнения электромагнитного равновесия трансформатора записываются на основе закона Кирхгофа

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1; \quad \dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2; \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + (-\dot{I}'_2), \quad (5.1)$$

где $k=w_1/w_2$ – коэффициент трансформации; \dot{I}_1 и \dot{I}_2 , \dot{U}_1 и $\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_n$, – токи и напряжения первичной и вторичной обмоток; $\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 w_2/w_1 = \dot{I}_2/k$ – ток вторичной обмотки, приведенной к числу витков первичной обмотки; w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток; $E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_{0m}$, $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_{0m}$ – действующие значения ЭДС; Z_n , $Z_1 = R_1 + jx_1$, $Z_2 = R_2 + jx_2$ – комплексы полных сопротивлений нагрузки и обмоток трансформатора.

Основные параметры, в том числе потери и КПД трансформатора, определяются в опытах холостого хода и короткого замыкания.

В режиме холостого хода ($I_2=0$) величина тока холостого хода трансформатора составляет $I_{10}=(5...10)\% I_n$, а мощность P_0 , практически равна магнитным потерям p_{cm} сердечника на перемагничивание (гистерезис) p_σ , и вихревые токи p_e ($p_{cm}=p_\sigma+p_e = P_0$)

Магнитные потери p_{cm} не зависят от нагрузки, поэтому называются постоянными и составляют $(1,5...0,25)\%$ полной мощности ($S_n=U_{1n} I_{1n}$).

При холостом ходе трансформатора $U_1 \approx E_1$ и $U_{20}=E_2$, поэтому коэффициент трансформации $k = E_1/E_2 = w_1/w_2 \approx U_1/U_{20}$.

Опытное короткое замыкание проводят при пониженном напряжении $U_1=U_{\kappa}$, при котором токи в обмотках равны номинальным. Относительное значение напряжения короткого замыкания $u_{\kappa}=U_{\kappa}/U_{\kappa}=(5...10)\%$.

Мощность короткого замыкания P_{κ} (до $3,5\%S_n$) представляет собой электрические (переменные) потери

$$P_{\kappa} = p_{\Sigma 1} + p_{\Sigma 2} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 R_{\kappa} = \beta^2 P_{\kappa}, \quad (5.2)$$

где R_{κ} – активное сопротивление короткого замыкания; $\beta=I_2/I_{2n}$ – коэффициент загрузки трансформатора.

Суммарные потери мощности в нагрузочном режиме

$$\Delta p = p_{cm} + p_{\Sigma} = P_0 + \beta^2 P_{\kappa},$$

КПД трансформатора может быть вычислен по формулам

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta p}, \quad \eta = \frac{P_1 - \Delta p}{P_1}. \quad (5.3)$$

где P_1 и P_2 – потребляемая и полезная активные мощности.

Характеристики холостого хода, – зависимость величин I_{10} , P_0 , $\cos \varphi_{10}$ от напряжения U_1 при $z_n=\infty$.

Характеристика короткого замыкания – это зависимость $I_{1\kappa}=(U_{\kappa})$ при $R_n=0$

Внешняя характеристика – зависимость $U_2=f(I_2)$ при $U_1=U_{1n}=const$ и $\cos \varphi_2=const$ (рис. 5.1) является важнейшей характеристикой трансформатора, как и зависимости КПД η и $\cos \varphi_2$ от нагрузки (рис. 5.2). Относительное изменение вторичного напряжения при изменении тока I_2 называют потерей напряжения в трансформаторе

$$\Delta U = [(U_{20} - U_2) / U_{20}] 100\% \quad (5.4)$$

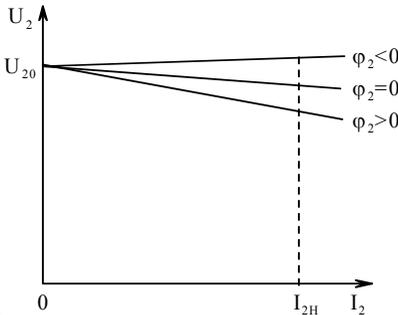


Рис.5.1

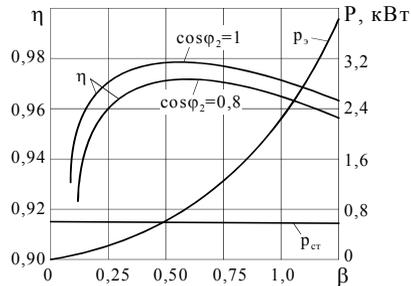


Рис. 5.2

По результатам опытов холостого хода при $U_I=U_{Iн}$ и короткого замыкания при $I_I=I_{Iн}$ определяются параметры схемы замещения:

$$z_0 = \frac{U_{I0\Phi}}{I_{I0\Phi}}; \quad R_0 = \frac{P_0}{I_{I0\Phi}^2}; \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - R_0^2};$$

$$z_k = \frac{U_{Ik\Phi}}{I_{Ik\Phi}}; \quad R_k = \frac{P_k}{I_{Ik\Phi}^2}; \quad x_k = \sqrt{z_k^2 - R_k^2}.$$

II. Порядок выполнения работы

Собрать электрическую схему рис. 5.3 с учетом П.1-5 краткой инструкции по технике безопасности.

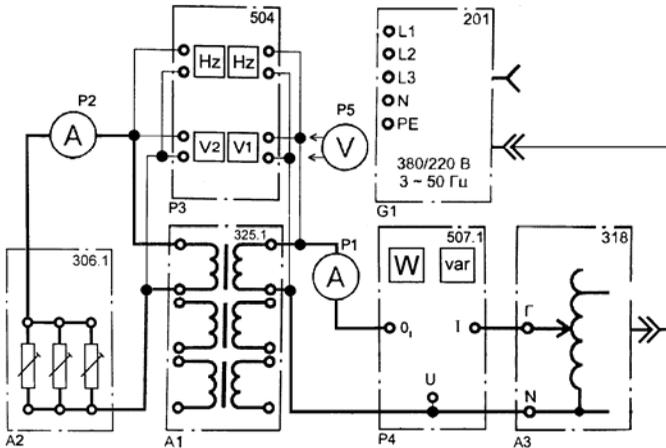


Рис. 5.6. Электрическая схема соединений для исследования трансформатора

Регулировочную рукоятку автотрансформатора А3 поверните против часовой стрелки до упора.

Установите регулировочные рукоятки переключателей активной нагрузки А2 в положение "0".

Переключателем в блоке А1 установите номинальное первичное напряжение трансформатора 230 В ($U_I=U_{Iн}=const$).

Включите питание автотрансформатора А3.

Характеристика холостого хода.

Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А3, увеличивайте напряжение, прикладываемое к первичной обмотке

испытуемого трансформатора, от 0 до $1,15U_n$. Измеряйте и заносите показания вольтметров блока измерителей Р3, амперметра Р1, ваттметра и варметра измерителя Р4 мощностей в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

$U_1, В$									
$U_{20}, В$									
I_{10}									
$P_o, Вт$									
$Q, ВАр$									

Обязательно измерьте ток и мощность холостого хода I_{10}, P_o при номинальном напряжении первичной обмотки испытуемого трансформатора $U_1 = 230 В$ и определите коэффициент трансформации $k = U_1/U_{20}$.

Внешняя характеристика трансформатора.

Перемещая регулировочные рукоятки активной нагрузки А2 по часовой стрелке, заносите показания вольтметров V1, V2 блока измерителей Р3, амперметров Р1, Р2 и ваттметра измерителя мощностей Р4 в таблицу 5.2. Ток I_1 не должен быть больше 0,5 А.

Таблица 5.2

$U_1, В$									
$U_2, В$									
$I_1, А$									
$I_2, А$									
$P_1, Вт$									

Характеристика короткого замыкания.

Регулировочную рукоятку автотрансформатора А3 поверните против часовой стрелки до упора ($U_1=0$).

Выключите питание автотрансформатора А3.

Замкните вторичную обмотку трансформатора накоротко (на амперметр Р3), вставив замыкающий гибкий проводник в гнезда блока активной нагрузки А2 ($R_n=0$).

Подключите для увеличения точности измерения напряжения короткого замыкания U_k мультиметр в режиме вольтметра Р5 параллельно вольтметру V1 измерителя Р3.

Включите питание автотрансформатора А3.

Вращая осторожно регулировочную рукоятку автотрансформатора А2 и увеличивайте напряжение U_1 , так чтобы ток в первичной обмотке испытуемого трансформатора, достиг значения $I_1=0,4$ А. Занесите показания (6-7 значений) вольтметра V1 блока измерителей P3, амперметра P1 и ваттметра измерителя мощностей P4 в таблицу 5.3.

Обязательно измерьте напряжение и мощность короткого замыкания U_K и P_K испытуемого трансформатора при номинальном токе в первичной обмотке испытуемого трансформатора ($I_{1к} = I_{1ном} = 0,35$ А).

Таблица 5.3

U_K , В										
$I_{1к}$, А										
P_1 , Вт										

По завершении эксперимента отключите источник G1 и разомкните вторичную обмотку.

III. Содержание отчета

1. Электрическая схема соединений трансформатора.
2. Таблицы опытных данных и результаты расчетов коэффициента трансформации k ; параметров упрощенной Г-образной схемы замещения $z_0, R_0, x_0, z_k, R_k, x_k$; энергетических показателей трансформатора $P_1, \cos \varphi_1, \eta$ (при номинальной нагрузке $\beta = 1, U_1 = U_{1н}$) с расчетными формулами и краткими пояснениями.
3. Графики характеристик:
 - холостого хода $I_{10} = f(U_1), P_0 = f(U_1), \cos \varphi_{10} = f(U_1)$ при $R_n = \infty$ (табл.5.1);
 - внешней $U_2 = f(I_2)$ при $U_1 = U_{1н} = \text{const}; \cos \varphi_2 = \text{const}$ (табл.5.2);
 - короткого замыкания $I_{1к} = (U_K)$ при $R_n = 0$ (табл.5.3).
4. Относительные величины тока холостого хода $i_{10} = I_{10} / I_{1н}$, мощности $p_{10} = P_0 / (U_{1н} I_{1н})$ холостого хода, напряжения короткого замыкания $u_k = 100(U_K / 230)$ и мощности короткого замыкания $p_k = 100P_K / (U_{1н} I_{1н})$ трансформатора.

РАБОТА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

[1, с. 456...459; 2, с.405...409; 3, с.143...151, 217]

Цель работы – изучение метода отделения механических потерь от потерь в стали и определение потерь машин постоянного тока.

I. Общие сведения

Под механическими потерями понимаются потери в подшипниках, потери на трение щеток о коллектор и, условно, вентиляционные потери. Опыты по отделению механических потерь от потерь в стали при $n = 1,2n_n$, $n = n_n$, $n = 0,75n_n$ и $n = 0,5n_n$ и при наличии одиночной машины с параллельным возбуждением проводят по схеме (рис. 6.1).

При использовании двигателя с независимым возбуждением можно включить в цепь якоря источник регулируемого напряжения якоря $U = (0,5 \dots 1,2) U_{ном}$. Машину запускают вхолостую, а затем устанавливают максимально возможное значение тока возбуждения i_{fmax} ($R_e = 0$), при этом напряжение регулируют так, чтобы частота вращения имела заданное значение. Затем постепенно уменьшают ток возбуждения, причем при каждом токе возбуждения регулированием, подводимого напряжения поддерживают неизменную частоту вращения. Так как при уменьшении тока возбуждения частота вращения двигателя стремится увеличиться, то для поддержания ее постоянной необходимо постепенно снижать подводимое напряжение. Испытания проводят до минимально возможного значения тока возбуждения. Для каждой частоты вращения должно быть снято не менее пяти-шести точек.

На рис. 6.2 приведены кривые $P = f(U^2)$ для четырех значений скорости; при этом кривые, по виду близкие к прямым линиям, экстраполируются до точки $U = 0$. При $U = 0$ потери в стали отсутствуют, а так как в каждом опыте частота вращения постоянна, то ординаты $0a$, $0b$, $0c$ и $0d$ дают значения механических потерь $P_{мех}$ для каждой частоты вращения.

В электромашинном агрегате, состоящем из двух машин примерно одинаковой мощности (см. рис.4.3), механические потери машины постоянного тока принимают равными половине потерь,

полученных в эксперименте $P_{мех.д.} = 0,5 P_{мех.}$

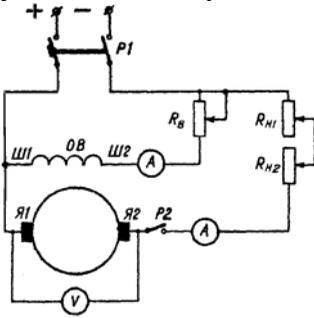


Рис. 6.1

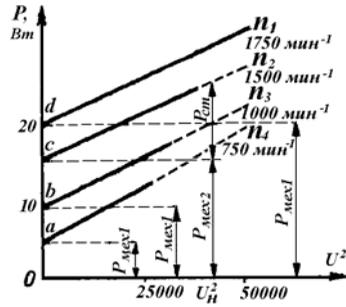


Рис. 6.2

На рис.6.3 построена кривая механических потерь $P_{мех}$ в функции от частоты вращения двигателя n .

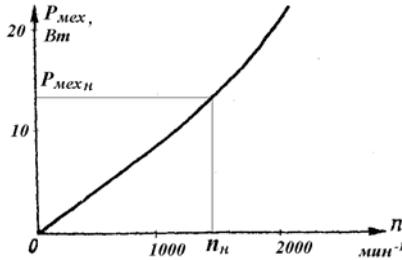


Рис. 6.3

Зависимость $P_{мех}=f(n)$ нелинейна при больших частотах вращения, из-за вентиляционных потерь, меняющиеся пропорционально кубу скорости. Построив кривую механических потерь, можно определить величину $P_{мех.н}$ для любой частоты вращения, в том числе для номинальной.

Полезная мощность двигателя при номинальном напряжении $U=U_{ов}=U_{ном}$ определяется вычитанием всех потерь из потребляемой мощности

$$P_1 = U_n (I_{ан} + I_{fn}) = U_n I, \quad (6.1)$$

$$P_{2н} = P_1 - \sum p = U_n I - (p_{мех.д} + p_{ст} + p_{я} + p_{щ} + p_{в}),$$

где $p_{мех.д} + p_{ст} = p_{ном} = (p_{мех.}/2) + p_{ст}$ – механические потери и потери в стали якоря; $p_{я} = R_a I_a^2 = 65 I_a^2$ – потери в цепи якоря;

$p_{щ} = \Delta U_{щ} I_a$ – потери в щеточном контакте (падение напряжения на щетках $\Delta U_{щ} = 0,5$ В); $p_{\text{в}} = U_{\text{ов}} I_f$ – потери в цепи возбуждения.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = P_2 / P_1 . \quad (6.2)$$

II. Порядок выполнения работы

Собрать электрическую схему (рис. 6.4) с учетом П.1-5 краткой инструкции по технике безопасности.

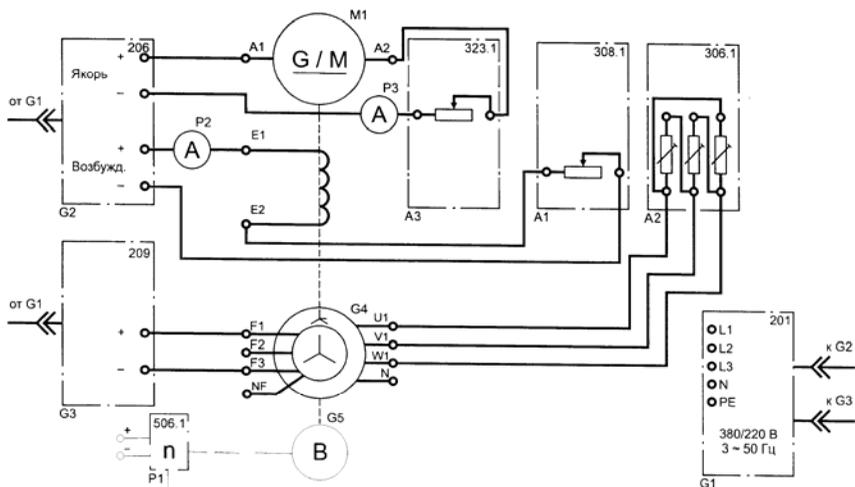


Рис.6.4. Электрическая схема для определения потерь двигателя

Пуск в ход двигателя.

Переключатели режима работы источника G2 и возбуждателя G3 переведите в положение "РУЧН."

Регулировочные рукоятки источника G2 и возбуждателя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

Поверните регулировочные рукоятки реостатов A1, A3 против часовой стрелки до упора.

Установите регулировочные рукоятки активной нагрузки A2 в положение "0".

Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

Включите выключатель "СЕТЬ" указателя P1 и источника G2, нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, разгоните двигатель M1 на холостом ходу до максимальной частоты вращения n_l (1800 мин⁻¹), установив напряжение якоря U равным 220 В при нулевом сопротивлении реостата A1 ($R_e=0$, $I_f=I_{fн}$) и занесите показания указателя P1, вольтметра источника G2, амперметров P2, P3 в первый столбец таблицы 6.1.1.

Вращая регулировочную рукоятку реостата A1, устанавливайте ее в новое положение для уменьшения тока возбуждения I_f двигателя M1, а регулировочной ручкой источника G2 восстанавливайте каждый раз заданное значение частоты вращения n_l . Заносите показания для каждого положения рукоятки реостата A2 в таблицу 6.1.1.

Таблица 6.1.1

R _в , Ом	0	200	400	600	800	1000	1200	1600	1800	2000
n, мин ⁻¹	n _l =1800									
U, В										
I _f , А										
I _а , А										
Расчетные данные										
P ₁₀ =U·I _а , Вт										
p _я =I _а ² ·R _а , Вт										
P _{мех} =P ₁₀ -p _я , Вт										
U ² , В ²										

Повторите действия для четырех значений заданной частоты вращения, например, 1800, 1500, 1000, 750 мин⁻¹ и заполните таблицы аналогичные табл.6.1.1 (6.1.2,...6.1.4).

Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите напряжение якоря U равным 220 В при нулевом сопротивлении реостата A1 ($R_e=0$, $I_f=I_{fн}$).

Установите регулировочные рукоятки активной нагрузки A2 в положение "50 Вт".

Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3,

установите номинальный ток якоря $I_a=0,76$ А двигателя М1 и определите по указателю Р1 номинальную частоту вращения двигателя.

По завершении эксперимента сначала у возбуждателя G3, а затем у источника G2 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб.

III. Содержание отчета

1. Схема опыта.
2. Таблица опытных и расчетных данных, расчетные формулы.
3. График $P=f(U^2)$ для четырех значений частоты вращения (табл. 6.1.1 ...6.1.4). Механические потери агрегата $p_{мех}$, потери в стали $p_{ст}$ при номинальном напряжении 220 В.
4. График $p_{мех}=f(n)$. Механические потери двигателя $p_{мех.д}$ при номинальной частоте вращения.
5. Значение номинального КПД по (6.1), (6.2).
6. Данные электрических машин.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. М.: Высш. шк., 1990.
2. Кацман М.М. Электрические машины. М.: Высш. шк., 2000.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. М.: Энергия, 1966.
4. Сенигов П.Н., Галишиников Ю.П. Руководство по выполнению базовых экспериментов «Электрические машины». Челябинск, изд. ЮГУрГУ, 2001.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1. Подготовка к работе	3
2. Составление отчета	3
3. Краткая инструкция по технике безопасности	4
4. Общие сведения об электрических машинах	5
5. Оборудование лаборатории электрических машин	6
Работа 1. Генератор постоянного тока с независимым возбуждением	11
Работа 2. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением	17
Работа 3. Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением	23
Работа 4. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением	29
Работа 5. Однофазный трансформатор	35
Работа 6. Определение потерь машин постоянного тока	40
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	44
ОГЛАВЛЕНИЕ	45