

Министерство путей сообщения РФ
Департамент кадров и учебных заведений



САМАРСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Кафедра теоретических основ электротехники,
автоматики и электроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине “Электрические машины”

Часть 1

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

для студентов электротехнических специальностей
железнодорожных вузов

Составитель: Л.И. Брятова

Самара 2000

УДК 621.313

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине “Электрические машины”. Часть 1. Машины постоянного тока. - Самара: СамИИТ, 2000. – 32 с.

Утверждено на заседании кафедры ТОЭАиЭ 2 июня 2000 г., протокол № 9.

Печатается по решению редакционно-издательского совета института.

Методические указания к выполнению лабораторных работ разработаны в соответствии с программой, утвержденной департаментом кадров и учебных заведений МПС России.

В методических указаниях рассматриваются электродвигатели и генераторы постоянного тока широкого применения в промышленности и на железнодорожном транспорте.

Общие положения о порядке выполнения лабораторных работ, техника безопасности, а также некоторые сведения из теории по машинам постоянного тока изложены в методических указаниях “Введение к лабораторным работам по электрическим машинам”, которые необходимо изучить студентам перед началом работы в лаборатории электрических машин.

Составитель: Лариса Игнатьевна Брятова

Рецензенты: заведующий кафедрой “Электромеханика и нетрадиционная энергетика” СамГТУ, д.т.н., профессор А.М. Абакумов

к.т.н., доцент кафедры “Электроснабжение железнодорожного транспорта” СамИИТа
Анатолий Григорьевич Пакулин

Редактор Шиминова И.А.

Подписано в печать _____. Формат 60x84 1/16

Бумага писчая. Усл. п.л. 2,0. Тираж 200 экз. Заказ № _____

© Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта

ВВЕДЕНИЕ

В данных методических указаниях к выполнению лабораторных работ рассматриваются генераторы и двигатели постоянного тока широкого применения в промышленности и на железнодорожном транспорте.

Перед началом выполнения работ студентам необходимо изучить методические указания “Введение к лабораторным работам по электрическим машинам. Общие положения и машины постоянного тока”. В них содержатся общие положения о порядке выполнения лабораторных работ, техника безопасности при работе в лаборатории электрических машин, порядок предоставления отчетов, некоторые сведения из теории по машинам постоянного тока.

На вступительном занятии преподавателем производится проверка усвоения каждым студентом необходимого минимума сведений, изложенных в указанном выше издании.

ВНИМАНИЕ! Категорически запрещается в настоящих методических указаниях делать какие-либо пометки в тексте, на рисунках и т.д., заполнять образцы таблиц (в том числе и карандашом).

Рекомендуемая литература

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник. 2-е изд., перераб. - М.: Высшая школа, 2000. - 337 с.
2. Винокуров В.А., Попов Д.А. Электрические машины железнодорожного транспорта. Учебник для вузов.- М.: Транспорт, 1986.- 511 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: изучение конструкции генератора постоянного тока независимого возбуждения и исследование его характеристик.

Программа и порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия генератора постоянного тока независимого возбуждения.

2. Ознакомиться со стендом, записать паспортные данные машин, регулировочных реостатов и измерительных приборов (приведены на лицевой панели стенда).

3. Измерить сопротивление цепи якоря генератора R_a .

Измерение сопротивления цепи якоря R_a электрических машин производится методом амперметра и вольтметра по схеме рис. 1.1.

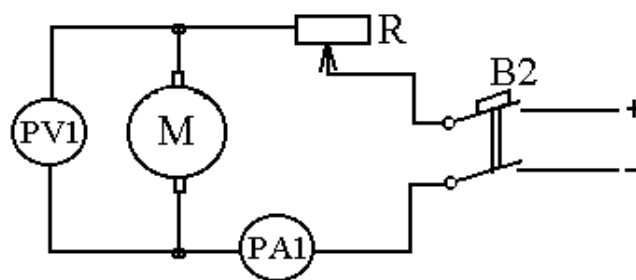


Рис. 1.1. Схема измерения сопротивления цепи якоря

Сопротивление обмоток якоря, дополнительных полюсов, последовательной или компенсационной обмоток составляет десятые или тысячные доли ома, поэтому при измерении сопротивления таких обмоток вольтметр следует включать непосредственно на зажимы с тем, чтобы исключить падение напряжения в амперметре, которое может быть соизмеримо с падением напряжения в указанных обмотках.

Приборы для измерения сопротивления обмоток должны иметь класс точности не ниже 0,5. Сопротивление обмотки следует измерять в “холодном” состоянии. Поэтому во время замеров максимальный ток в обмотке не должен превышать 10-25 % от номинального тока генератора. В схему следует включить нагрузочный реостат R , если питание подводится от сети постоянного тока напряжением 110 В.

Измерение сопротивлений следует произвести не менее трех раз при различных значениях тока. За действительное сопротивление следует принять среднее арифметическое из всех измеренных значений. Данные замеров и результаты расчетов свести в табл. 1.1.

Измерение сопротивления цепи якоря

№№ п/п	Измерено		Вычислено	
	U, В	I, А	R_a , Ом	$R_{a\text{ ср}}$, Ом
				$R_{a\text{ ср}} = \frac{R_{a1} + R_{a2} + R_{a3}}{3}$

4. Снять и построить пять характеристик генератора.

Для снятия характеристик собрать схему по рис. 1.2. Обмотку статора приводного (гонного) асинхронного двигателя М2 собрать по схеме “треугольник” и присоединить к клеммам 1,2,3 лицевой панели стенда. Якорную цепь генератора М1 присоединить к нагрузке (клеммы 4,5 лицевой панели стенда).

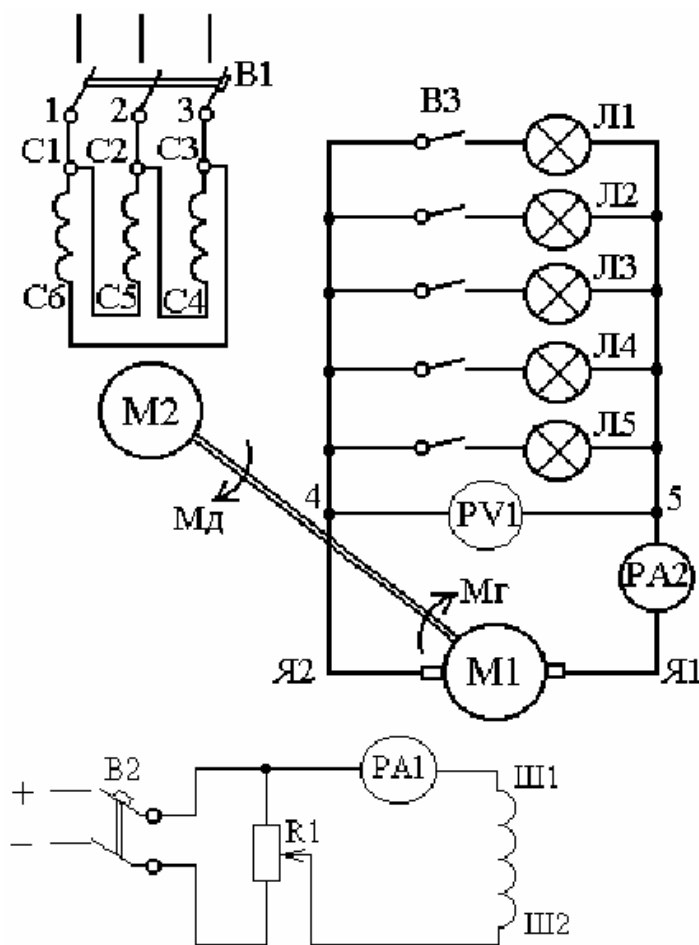


Рис. 1.2. Схема экспериментальной установки

4.1. Снять и построить характеристику холостого хода генератора (х.х.х.).

Характеристика холостого хода определяет зависимость ЭДС обмотки якоря от тока возбуждения $E_0 = f(I_B)$ при холостом ходе $I = 0$ и номинальной частоте вращения $n = n_H = \text{const}$.

Для снятия характеристики холостого хода ротор генератора привести во вращение с номинальной частотой вращения $n = n_H$ (включить автомат В1). Возбудить генератор до $E_0 = 1,3 U_H$, включив автомат В2 и воздействуя на реостат R1. Это первая точка

характеристики. Снять показания приборов и сделать первую запись в табл. 1.2. Далее, постепенно уменьшая ток возбуждения до нуля, снять еще 4-5 точек характеристики. Последнюю точку характеристики снять при токе возбуждения, равном нулю, отключив автомат В2. Значение напряжения при $I_B = 0$ обусловлено остаточным магнитным потоком.

Таблица 1.2

Характеристика холостого хода

I_B	А								
E_0	В								

Ток возбуждения в опыте регулировать плавно и только в одном направлении. Приводной двигатель М2 в конце опыта не останавливать. По данным табл. 1.2 построить характеристику холостого хода (кривая 1, рис. 1.3). Для получения характеристики холостого хода, проходящей через начало координат (теоретической), снятую характеристику (практическую) необходимо сместить по оси абсцисс на величину ΔI_B , полученную путем графической экстраполяции этой характеристики до пересечения с осью абсцисс.

По характеристике холостого хода можно судить о степени насыщения магнитной системы испытуемой машины. Для этого необходимо провести касательную 0в к теоретической характеристике, проходящей через нуль (кривая 2, рис. 1.3). Для номинальной ЭДС $E_{0н}$ генератора провести прямую ас и определить коэффициент насыщения магнитной цепи $K_H = \overline{ас} / \overline{ав} = I_{в0} / I_{вб}$. Здесь $I_{в0}$ - ток возбуждения при холостом ходе, обеспечивающий номинальную ЭДС; $I_{вб}$ - ток возбуждения, необходимый для создания магнитного напряжения в воздушном зазоре. Если $K_H < 1,2$ - машина слабо насыщена; $K_H = 1,2 - 1,4$ - машина средне насыщена; $K_H > 1,4$ - сильно насыщена. Наиболее выгодную конструкцию по весовым показателям имеют машины со средненасыщенной магнитной системой.

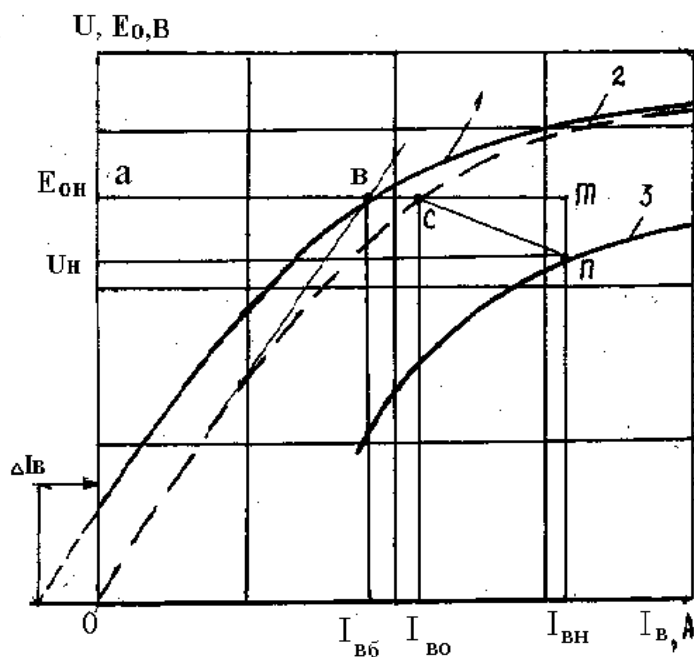


Рис. 1.3. Характеристики холостого хода и нагрузочная

4.2. Снять и построить нагрузочную характеристику генератора.

Нагрузочная характеристика определяет зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения $U = f(I_B)$ при $I = I_H = \text{const}$, $n = \text{const}$. Эта характеристика позволяет оценить, как изменяется напряжение генератора при данной нагрузке при изменении тока возбуждения, а также величину размагничивающего действия поперечной реакции якоря.

Нагрузочная характеристика снимается следующим образом.

Возбуждать генератор воздействием на реостат R1 и нагружать его включением ламп Л1-Л5 таким образом, чтобы при номинальном напряжении на генераторе $U = U_H$ в обмотке якоря установить номинальный ток. Сделать замеры и записать их в табл. 1.3. Затем уменьшать ток возбуждения с таким расчетом, чтобы при изменении напряжения в пределах от U_H до $0,4 U_H$ снять 4-5 точек характеристики (ток в якоре при уменьшении тока возбуждения поддерживать равным номинальному). При проведении опыта ток возбуждения изменять только в одном направлении.

Данные замеров свести в табл. 1.3 и построить нагрузочную характеристику (кривая 3 на рис. 1.3).

Таблица 1.3

Нагрузочная характеристика

$I = I_H = \text{const}$	A					
I_B	A					
U	B					

В конце опыта выключить лампы Л1-Л5, уменьшить ток возбуждения до нуля, приводной двигатель не останавливать.

Нагрузочная характеристика проходит ниже х.х.х. из-за размагничивающего действия поперечной реакции якоря и падения напряжения в обмотке якоря IR_a .

Чтобы определить степень размагничивающего действия реакции якоря на значение напряжения, строят характеристический треугольник cmn , у которого катет $mn = I_H R_a + 2\Delta U_{щ}$ (I_H - номинальный ток якоря; $\Delta U_{щ}$ - падение напряжения в щеточном контакте; $2\Delta U_{щ} = 2V$).

Характеристический треугольник строится следующим образом.

Из точки n ($U = U_H$) отложить отрезок nm и через точку m провести прямую, параллельную оси абсцисс - am . Катет cm в масштабе тока возбуждения учитывает размагничивающее действие магнитного потока якоря.

4.3. Снять и построить внешнюю характеристику генератора.

Внешняя характеристика определяет зависимость напряжения на выходных зажимах генератора от тока якоря $U = f(I)$ при $I_B = \text{const}$, $n = \text{const}$. Эта характеристика является основной с точки зрения изучения рабочих свойств генератора.

Внешняя характеристика снимается следующим образом. На холостом ходу возбудить генератор воздействием на реостат R1 до номинального напряжения U_H (по паспорту). Это первая точка характеристики. Включая лампы Л1-Л5, нагружать генератор до $1,5 I_H$. Снять 4-5 точек. Результаты замеров свести в табл. 1.4 и построить внешнюю характеристику (рис. 1.4). В конце опыта отключить нагрузку, приводной двигатель не останавливать.

Внешняя характеристика

$I_B = \text{const}$	А					
I	В					
U	А					

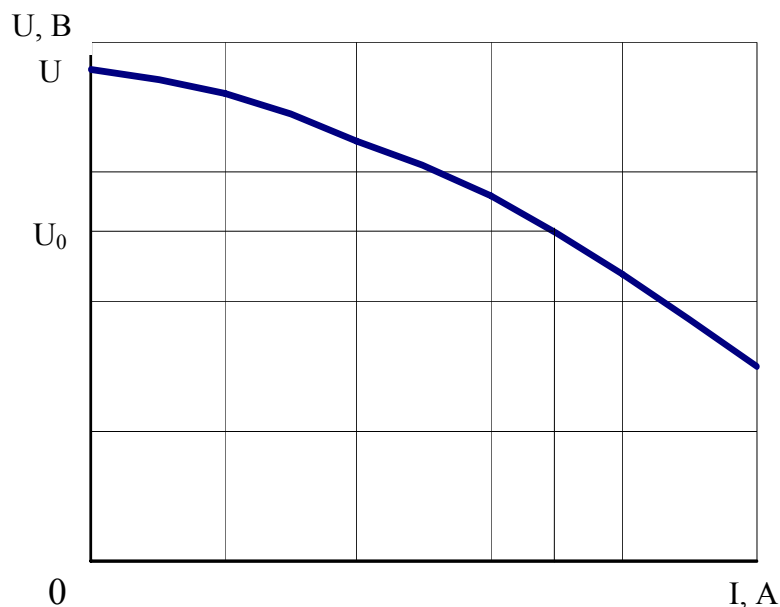


Рис. 1.4. Внешняя характеристика

Изменение напряжения для любой точки от номинальной вычисляется по формуле:
 $\Delta U = [(U_0 - U_H)/U_H] \cdot 100, \%$.

4.4. Снять и построить регулировочную характеристику генератора.

Регулировочная характеристика определяет зависимость тока возбуждения от тока якоря генератора $I_B = f(I)$ при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$. Эта характеристика показывает, как надо изменять ток возбуждения с изменением тока нагрузки, чтобы напряжение на выходе генератора оставалось неизменным.

Регулировочная характеристика снимается следующим образом. При холостом ходе установить на зажимах генератора номинальное напряжение или величину напряжения по заданию преподавателя (воздействием на реостат R1). Это первая точка характеристики. Затем нагружать генератор включением ламп Л1-Л5 так, чтобы напряжение на генераторе оставалось неизменным (увеличивать ток I_B в обмотке возбуждения). Ток нагрузки следует изменять до $1,5 I_H$. Снять 4-5 точек характеристики. Результаты замеров свести в табл. 1.5 и построить характеристику (рис. 1.5). Отключить автоматы В1 и В2.

Таблица 1.5

Регулировочная характеристика

$U = \text{const}$	В					
I	А					
I_B	А					

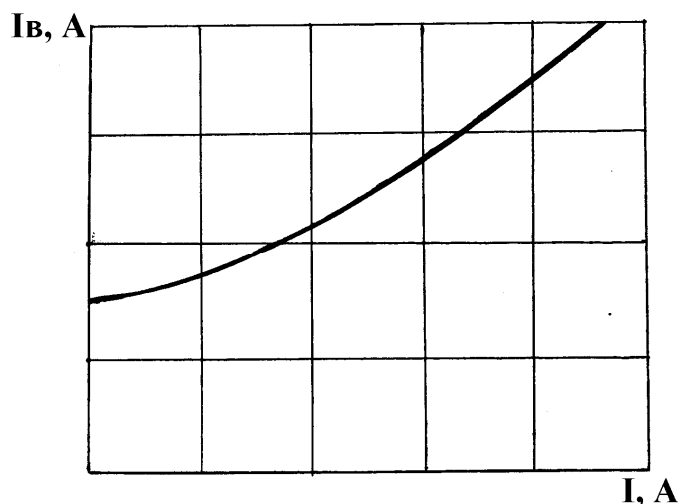


Рис. 1.5. Регулировочная характеристика

4.5. Снять и построить характеристику короткого замыкания (х.к.з.).

Характеристика короткого замыкания определяет зависимость тока в обмотке якоря от тока возбуждения $I = f(I_B)$ при коротком замыкании выходных зажимов генератора ($U = 0$) и $n = \text{const}$.

Характеристику короткого замыкания снять по схеме, приведенной на рис. 1.6.

Для снятия х.к.з. ротор генератора привести во вращение (включить В1). Реостат R1 в цепи возбуждения привести в такое положение, при котором ток в обмотке возбуждения будет равен нулю ($I_B = 0$). Включить выключатель В3, замыкающий обмотку якоря накоротко. Это первая точка характеристики. Затем увеличивать ток в обмотке возбуждения генератора до значения, при котором ток в обмотке якоря станет равным $1,2 I_N$. Снять 3-4 точки характеристики. Результаты замеров свести в табл. 1.6 и построить характеристику (прямая 2, рис. 1.7). Для построения характеристического треугольника ABC (рис. 1.7) начальный участок х.х.х. (1) и х.к.з. (2) построить в одних осях координат и в одинаковом масштабе тока возбуждения.

Таблица 1.6

Характеристика короткого замыкания

I_B	A					
I	A					

Из точки N на оси ординат, соответствующей $I = I_N$, провести прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с характеристикой короткого замыкания. Из точки пересечения E провести прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с осью абсцисс в точке C. Из точки C на прямой CE отложить отрезок \overline{BC} , равный падению напряжения в обмотке якоря при номинальном токе $\Delta U_a = I_N R_a$.

Из точки B провести прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с характеристикой холостого хода (точка A). Точку A соединить с точкой C. Получившийся треугольник является характеристическим. Отрезок $\overline{O'C}$, равный I_{BK} , представляет собой полную намагничивающую силу (н.с.) короткого замыкания при $I = I_N$, выраженную в масштабе тока возбуждения I_B . Отрезок $\overline{O'D}$ - ток возбуждения I_{BO} ,

необходимый для создания ЭДС, компенсирующей падение напряжения в обмотке якоря ΔU_a . Отрезок \overline{DC} представляет собой ток возбуждения I_{BO} , компенсирующий реакцию якоря при токе $I = I_H$.

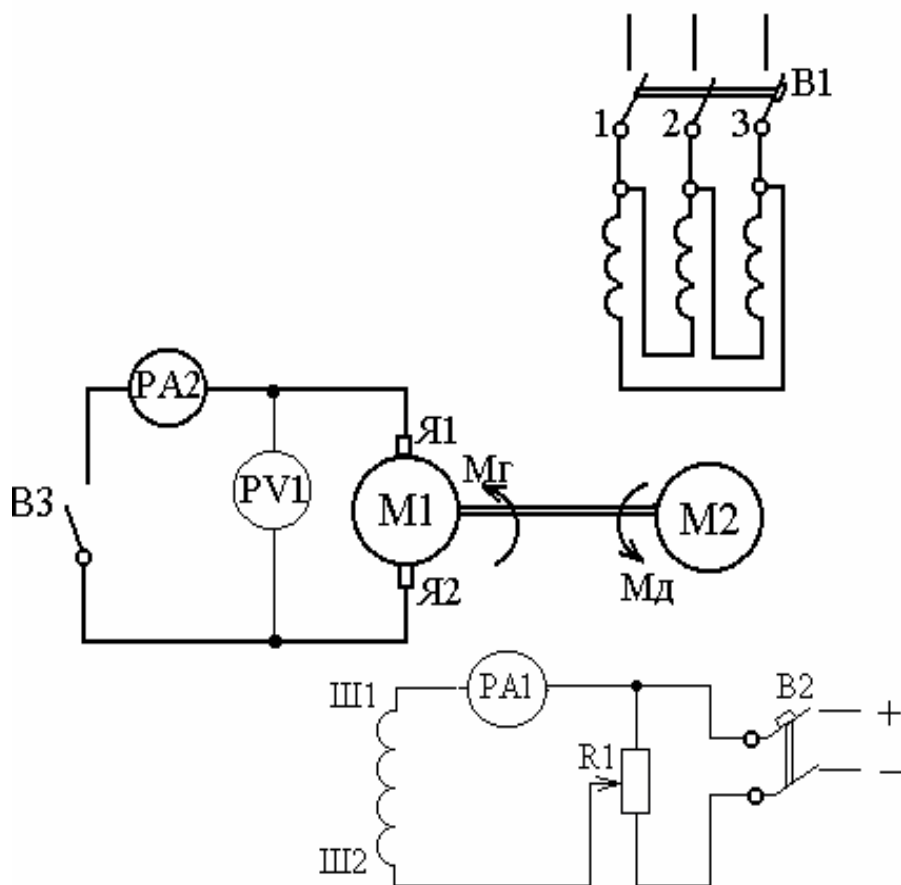


Рис. 1.6. Схема для снятия характеристики короткого замыкания

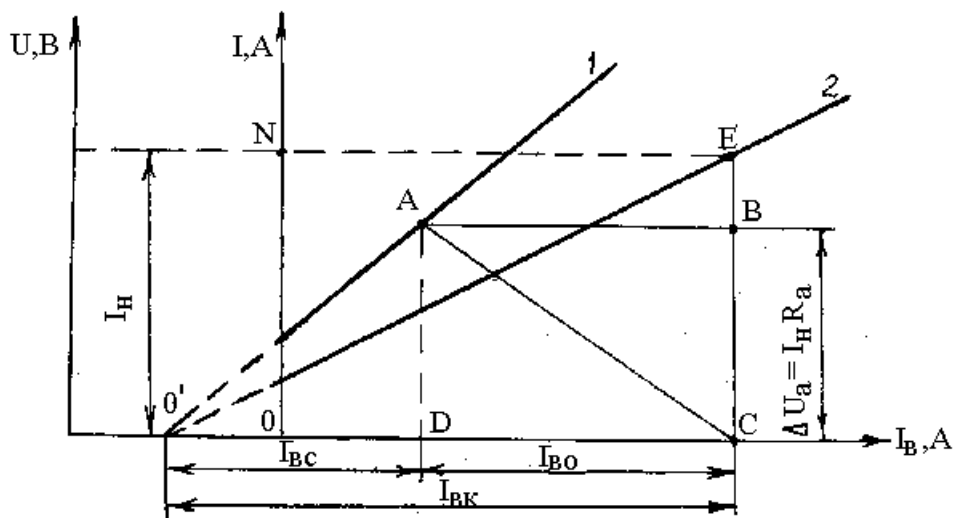


Рис. 1.7. Построение характеристического треугольника

Контрольные вопросы

1. Начертить схему генератора постоянного тока, объяснить назначение элементов схемы.
2. Что такое характеристика холостого хода? Как получить ее опытным путем?
3. Как определить коэффициент насыщения магнитной цепи машины?
4. Какая характеристика называется нагрузочной?
5. Какая характеристика называется внешней? Поясните ее ход.
6. Какая характеристика называется регулировочной? Поясните ее ход.
7. Каково практическое значение внешней и регулировочной характеристик?
8. Как регулируется напряжение на выходе генератора?
9. Как построить характеристический треугольник?
10. Какой вид имела бы характеристика холостого хода генератора при отсутствии насыщения стали магнитопровода?
11. Что произойдет с генератором, если при номинальной нагрузке случится обрыв в обмотке якоря?
12. Какой вид имеет уравнение равновесия напряжения и ЭДС якорной цепи генератора?
13. При каких условиях снимаются характеристики холостого хода, короткого замыкания и нагрузочная?
14. Что такое "процентное изменение напряжения" генератора? Как оно определяется?
15. Каким требованиям должен отвечать приводной двигатель при исследовании генератора постоянного тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: изучение конструкции генератора постоянного тока параллельного возбуждения и исследование его характеристик.

Программа и порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

2. Ознакомиться со стендом и записать паспортные данные машин, регулировочных реостатов, измерительных приборов (приведены на лицевой панели стенда).

Собрать схему по рис. 2.1. Обмотку статора гонного асинхронного двигателя М2 собрать по схеме "треугольник" и присоединить к клеммам 1, 2, 3 лицевой панели стенда. Якорную цепь генератора М1 присоединить к нагрузке (клеммы 4, 5 лицевой панели стенда).

- если обмотка возбуждения подключена неверно и создаваемый ею магнитный поток действует встречно потоку остаточного намагничивания, то машина размагничивается и показание вольтметра будет уменьшаться; в этом случае необходимо изменить направление тока в обмотке возбуждения, т.е. поменять местами ее выводы;

- если машина возбуждается, то вольтметр покажет увеличивающееся напряжение.

При отсутствии $\Phi_{ост}$ ее легко подмагнитить, подключив кратковременно обмотку возбуждения к источнику постоянного тока.

4. Снять и построить характеристику холостого хода генератора.

Снятие характеристики холостого хода $E_0 = f(I_B)$ произвести в соответствии с п. 4.1 лабораторной работы № 1. Данные опыта свести в табл. 2.1 и построить практическую 1 и теоретическую 2 характеристики (рис. 2.2).

Таблица 2.1

Характеристика холостого хода

I_B	А								
E_0	В								

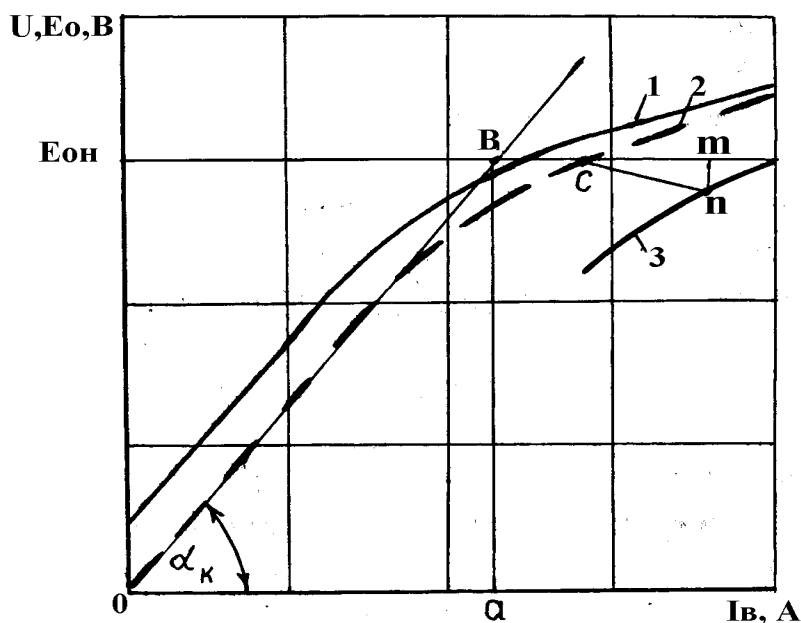


Рис. 2.2. Характеристика холостого хода

Для определения критического сопротивления цепи возбуждения $R_{вк}$ необходимо провести касательную Oa к начальному участку теоретической характеристики холостого хода 2, проходящей через нуль (рис. 2.2). Сопротивление $R_{вк}$ пропорционально тангенсу угла наклона этой касательной к оси абсцисс и может быть определено как

$$R_{вк} = m \frac{ab}{Oa} = m \operatorname{tg} \alpha_k,$$

где m - масштабный коэффициент.

Если отрезки ab и Oa измерять в вольтах и амперах соответственно, то $m = 1 \text{ Ом}$.

5. Снять и построить внешнюю характеристику генератора.

Снятие внешней характеристики генератора $U = f(I)$ производится при $R_l = \text{const}$, $n = \text{const}$. Она снимается следующим образом.

На холостом ходу возбудить генератор воздействием на реостат R_1 до U_H . Это первая точка характеристики. Затем включением ламп Л1-Л5 плавно нагружать генератор до $1,5 I_H$ и записывать показания измерительных приборов.

Увеличить нагрузку до получения явления опрокидывания и короткого замыкания. Данные опыта свести в табл. 2.2 и построить внешнюю характеристику генератора (кривая 1, рис. 2.3).

Таблица 2.2

Внешняя характеристика

I	A					
U	B					
I_B	A					

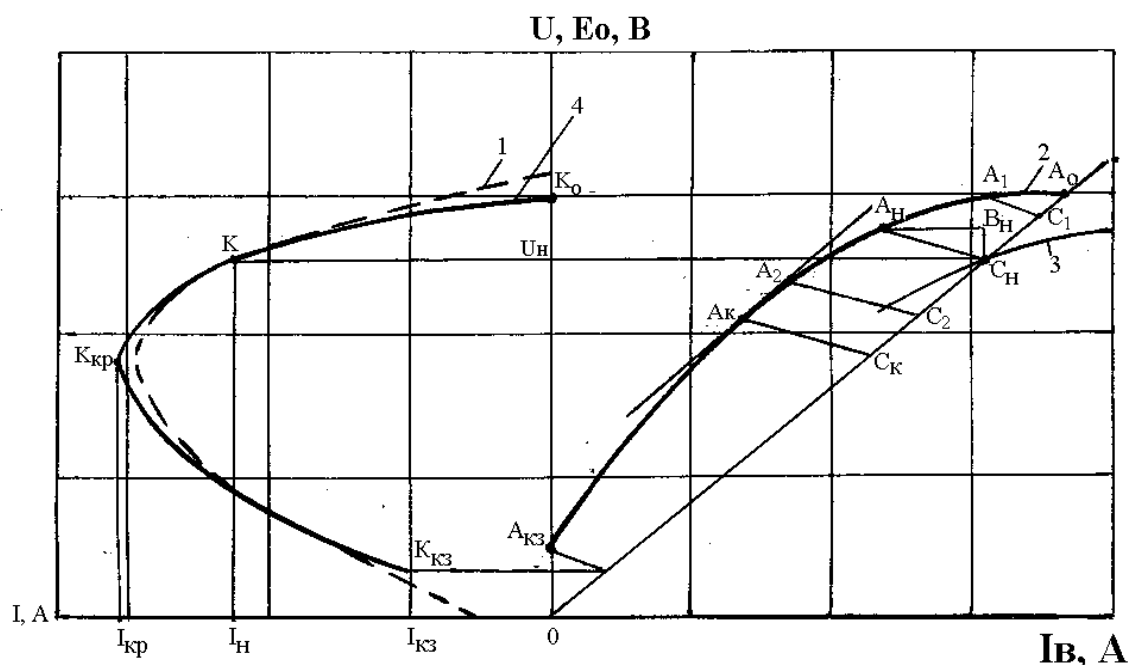


Рис. 2.3. Построение внешней характеристики по характеристике холостого хода, нагрузочной характеристике и характеристическому треугольнику

6. Снять и построить нагрузочную характеристику генератора.

Снятие нагрузочной характеристики $U = f(I_B)$ и построение характеристического треугольника выполнить в соответствии с п. 4.2 лабораторной работы № 1. Данные опыта свести в табл. 2.3, построить нагрузочную характеристику (кривая 3, рис. 2.2) и характеристический треугольник смп.

Таблица 2.3

Нагрузочная характеристика

$I = I_H = \text{const}$	A				
I_B	A				
U	B				

7. По характеристикам холостого хода 2, нагрузочной 3 и характеристическому треугольнику построить внешнюю характеристику генератора 4 и сравнить с опытной внешней характеристикой 1 (рис. 2.3).

Для построения внешней характеристики необходимо вершину C_H характеристического треугольника снести на пересечение с соответствующей нагрузкой в квадранте построения $U = f(I)$ (точка K). Стороны характеристического треугольника изменяются пропорционально нагрузке, и располагается треугольник всегда между характеристикой холостого хода и прямой, проведенной через начало координат и точку C_H нагрузочной характеристики для номинального режима. Прямая OA_0 является характеристикой падения напряжения в цепи возбуждения генератора. При разгрузке генератора этот треугольник будет перемещаться вверх и для случая холостого хода превратится в точку A_0 , что будет соответствовать первой точке внешней характеристики K_0 .

При нагрузке генератора характеристический треугольник будет перемещаться вниз. Таким образом будут получены точки $C_1, C_H, C_2, \dots, C_K$, и т.д., ординаты которых соответствуют напряжениям на якоре генератора при соответствующих токах нагрузки. Значение тока нагрузки для каждого значения напряжения можно определить исходя из следующего: отрезок $\overline{A_H C_H}$ пропорционален току I_H , а отрезок $\overline{A_1 C_1}$ - току нового режима I_1 , отсюда

$$I_1 = I_H \frac{\overline{A_1 C_1}}{\overline{A_H C_H}}.$$

Чтобы получить максимальный (критический) ток $I_{кр}$ при данном возбуждении, необходимо провести к характеристике холостого хода касательную, параллельную прямой OA_0 и в точке касания A_K провести отрезок $\overline{A_K C_K}$ параллельно гипотенузе $\overline{A_H C_H}$ характеристического треугольника. Ток $I_{кр} = I_H \cdot \frac{\overline{A_K C_K}}{\overline{A_H C_H}}$. Величина тока в точке $K_{кз}$ соответствует току короткого замыкания $I_{кз}$, обусловленному потоком остаточного намагничивания.

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия генератора параллельного возбуждения.
2. Каковы условия самовозбуждения генератора?
3. Как определить критическое сопротивление цепи возбуждения генератора? Что это такое?
4. Чем отличаются внешние характеристики генераторов независимого и параллельного возбуждения?
5. Как построить внешнюю характеристику генератора по характеристикам холостого хода, нагрузочной и характеристическому треугольнику?
6. В одинаковой ли степени опасно опытное короткое замыкание для генераторов параллельного и независимого возбуждения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА СМЕШАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: изучение конструкции генератора постоянного тока смешанного возбуждения и исследование его характеристик при встречном и согласном включении последовательной и параллельной обмоток возбуждения.

Программа и порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со стендом, собрать схему по рис. 3.1 и записать паспортные данные машин, регулировочных реостатов, измерительных приборов, которые приведены на лицевой панели стенда.

Обмотку статора гонного асинхронного двигателя М2 соединить по схеме “треугольник” и присоединить к клеммам 1, 2, 3 лицевой панели стенда. Якорную цепь генератора М1 присоединить к нагрузке (клеммы 4,5 лицевой панели стенда).

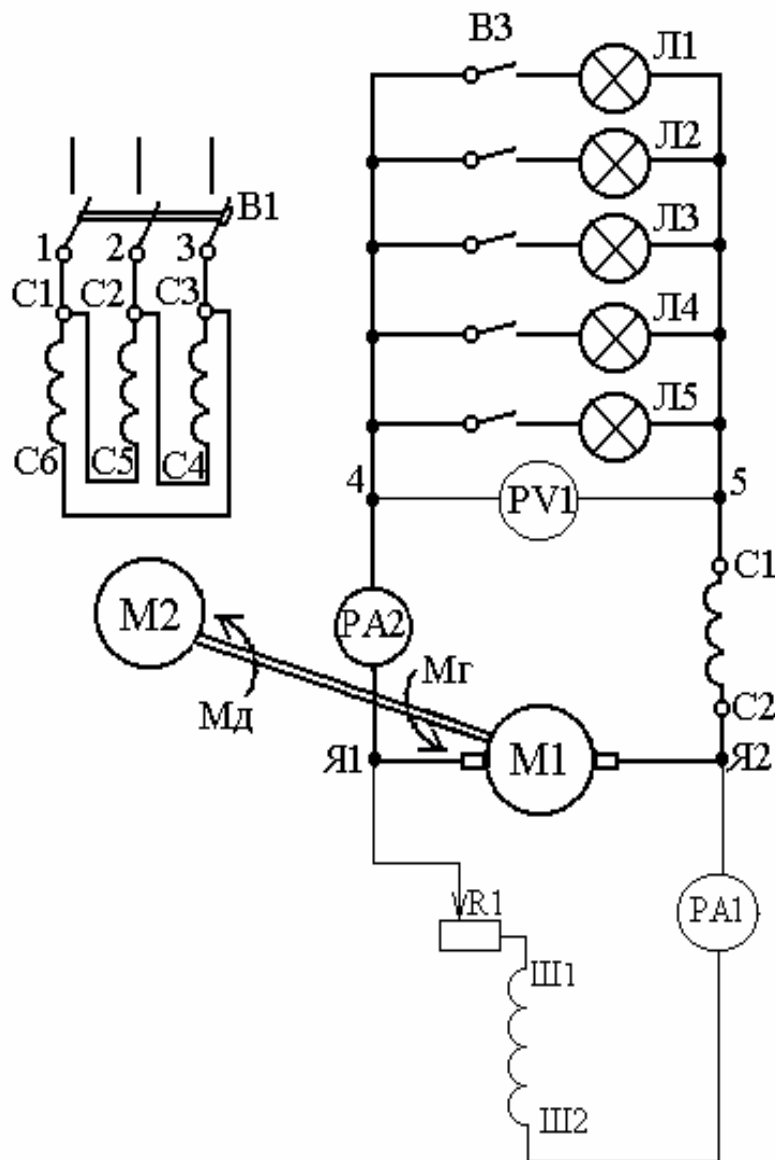


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки

2. Проверить условия самовозбуждения генератора.

Проверка условий самовозбуждения генератора производится в том же порядке, как в случае генератора параллельного возбуждения, так как свойства генератора смешанного возбуждения в режиме холостого хода не отличаются от свойств генератора параллельного возбуждения (см. п. 3 лабораторной работы № 2).

3. Снять и построить внешние характеристики генератора $U = f(I)$ при $n = \text{const}$, $R1 = \text{const}$:

- при параллельном возбуждении;
- при смешанном возбуждении и согласном включении обмоток возбуждения;
- при смешанном возбуждении и встречном включении обмоток возбуждения.

Для снятия внешних характеристик включить приводной двигатель М2 в сеть автоматом В1 и возбудить генератор воздействием на реостат R1 до номинального напряжения.

Увеличивая нагрузку на генератор (включением выключателями В3 ламп Л1-Л5) от $I = 0$ до $I = I_N$ через равные интервалы по току при указанных выше условиях, снимать показания измерительных приборов и заносить их в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Внешние характеристики

№№ пп	Параллельное возбуждение		Смешанное возбуждение						
			№№ пп	Согласное включение		№№ пп	Встречное включение		
	U, В	I, А		U, В	I, А		U, В	I, А	

Для снятия внешней характеристики генератора параллельного возбуждения следует отключить последовательную обмотку возбуждения С1-С2 (рис. 3.1).

Согласное и встречное включение обмоток определяется сравнением напряжений на зажимах генератора при переключениях выводов обмотки С1-С2 и условиях $R1 = \text{const}$, $I = \text{const}$. Большему напряжению на зажимах генератора отвечает согласное включение обмоток Ш1-Ш2 и С1-С2. По данным табл. 3.1 построить в одних осях координат внешние характеристики при трех включениях обмоток (кривые 1, 2, 3, рис. 3.2).

4. Снять и построить регулировочные характеристики генератора $I_B = f(I)$ при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$:

- при параллельном возбуждении;
- при смешанном возбуждении и согласном включении обмоток возбуждения;
- при смешанном возбуждении и встречном включении обмоток возбуждения.

Для снятия регулировочных характеристик включить приводной двигатель М2 в сеть автоматом В1 и возбудить генератор до номинального напряжения U_N или до заданного преподавателем значения напряжения на зажимах генератора U_3 . Это первая точка характеристик.

Увеличивая нагрузку генератора включением ламп Л1-Л5 от $I = 0$ до $I = I_N$ через равные интервалы по току и поддерживая номинальное напряжение U_N или U_3 на зажимах генератора регулировочным реостатом R1 в цепи возбуждения генератора, снимать показания измерительных приборов и заносить их в табл. 3.2.

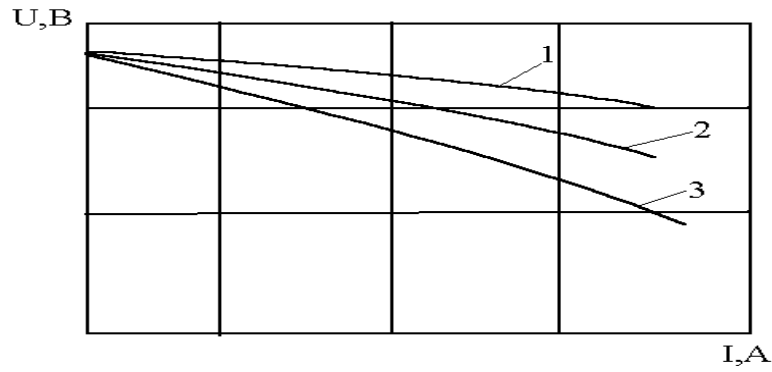


Рис. 3.2. Внешние характеристики:

- 1 - при смешанном возбуждении и согласном включении обмоток Ш1-Ш2 и С1-С2;
- 2- при параллельном возбуждении;
- 3- при смешанном возбуждении и встречном включении обмоток Ш1-Ш2 и С1-С2

Таблица 3.2

Регулировочные характеристики

№№ пп	Параллельное возбуждение		Смешанное возбуждение					
			№№ пп	Согласное включение		№№ пп	Встречное включение	
	I_B, A	I, A		I_B, A	I, A		I_B, A	I, A

По данным табл. 3.2 построить в одних осях координат регулировочные характеристики при трех включениях обмоток (кривые 1, 2, 3, рис. 3.3).

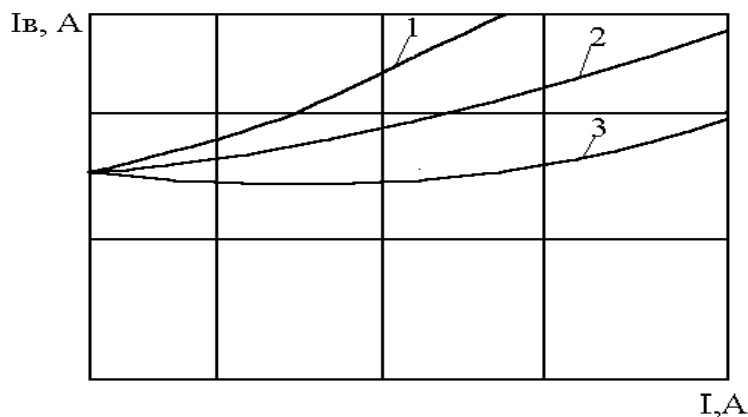


Рис. 3.3. Регулировочные характеристики:

- 1 - при смешанном возбуждении и встречном включении обмоток Ш1-Ш2 и С1-С2;
- 2- при параллельном возбуждении;
- 3 - при смешанном возбуждении и согласном включении обмоток Ш1-Ш2 и С1-С2

Контрольные вопросы

1. Начертить принципиальную электрическую схему генератора смешанного возбуждения.
2. Сравнить внешние характеристики генератора смешанного возбуждения с согласным и встречным включением обмоток.
3. Сравнить регулировочные характеристики генератора смешанного возбуждения с согласным и встречным включением обмоток.
4. Пояснить ход регулировочных характеристик.
5. Какова роль последовательной обмотки в генераторе смешанного возбуждения при ее встречном включении?
6. Как конструктивно выполняется последовательная обмотка возбуждения? Где эта обмотка размещается?
7. При каких условиях снимают внешние и регулировочные характеристики?
8. Какое включение параллельной и последовательной обмоток применяется чаще в генераторах смешанного возбуждения? Привести примеры использования генератора смешанного возбуждения с согласным и встречным включением обмоток возбуждения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: изучение конструкции двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и исследование его характеристик.

Программа и порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия двигателей постоянного тока.
2. Ознакомиться со стендом, собрать схему по рис. 4.1 и записать паспортные данные машин, регулировочных реостатов, измерительных приборов, которые приведены на лицевой панели стенда.
Якорную цепь двигателя М1 присоединить к клеммам 1, 2, а якорную цепь генератора М2 - к клеммам 3, 4 лицевой панели стенда.
3. Снять и построить рабочие характеристики двигателя.
Рабочие характеристики двигателя постоянного тока определяют зависимости частоты вращения n , момента на валу M_2 , подведенной мощности P_1 , тока в якоре I , коэффициента полезного действия η от полезной мощности на валу P_2 при $U = U_H = \text{const}$, $I_B = \text{const}$.

В конце опыта двигатель разгрузить, но не останавливать.

Вычисления произвести по следующим формулам:

$$P_{1D} = U_D \cdot I_D - \text{подведенная к двигателю мощность, Вт;}$$

$$P_{2r} = U_r \cdot I_r - \text{полезная мощность генератора, Вт;}$$

$$P_{2D} = P_{1r} = \frac{P_{2r}}{\eta_r} - \text{полезная мощность двигателя, Вт;}$$

$$\eta_D = \eta_r = \sqrt{\frac{P_{2r}}{P_{1D}}} - \text{коэффициент полезного действия двигателя (генератора при условии, что } \eta_D = \eta_r \text{), о.е.};$$

$$M_2 = 9,565 \frac{P_{2D}}{n} - \text{полезный тормозной момент на валу двигателя, Н·м;}$$

$$M_0 = 9,565 \frac{P_0}{n} \approx \text{const} - \text{момент холостого хода, Н·м;}$$

$$P_0 = U_H \cdot I_0 \approx \text{const} - \text{мощность холостого хода двигателя, Вт;}$$

$$M = M_2 + M_0 - \text{полезный (электромагнитный) момент, развиваемый двигателем, Н·м.}$$

По данным табл. 4.1 построить рабочие характеристики двигателя (рис. 4.2).

4. Используя данные табл. 4.1, построить механическую характеристику двигателя $n = f(M)$ при $U = U_H = \text{const}$, $I_B = \text{const}$ (рис. 4.3).

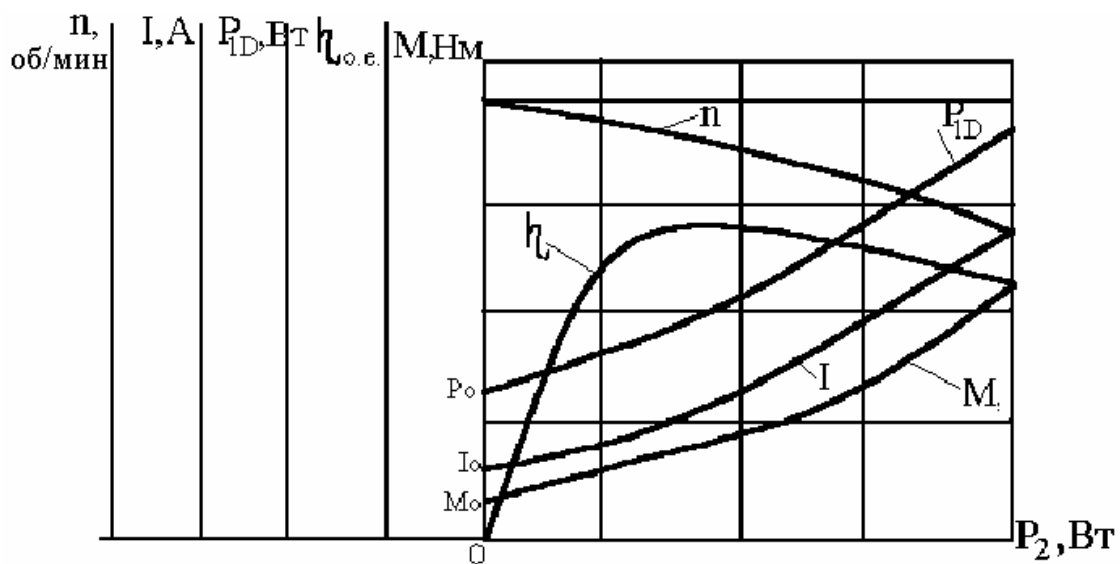


Рис. 4.2. Рабочие характеристики двигателя

5. Снять и построить скоростные (электромеханические) характеристики двигателя $n = f(I)$ при $U = U_H = \text{const}$:

- естественную при $R1 = 0$;

- искусственную (реостатную) при введении добавочного сопротивления $R1$ в цепь якоря;

- искусственную при ослаблении поля (введении сопротивления R_2 в цепь обмотки возбуждения).

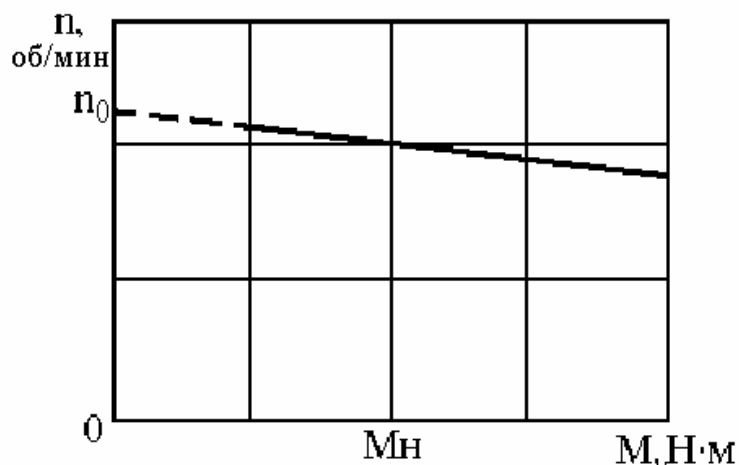


Рис. 4.3. Механическая характеристика двигателя параллельного возбуждения

5.1. Естественную скоростную характеристику, когда добавочное сопротивление в цепи якоря равно нулю ($R_1 = 0$), построить по данным табл. 4.1 (кривая 1, рис. 4.4).

5.2. Искусственную (реостатную) скоростную характеристику снять следующим образом. Ввести в цепь якоря часть сопротивления R_1 . С помощью реостата R_3 в цепи возбуждения генератора возбудить генератор до номинального или заданного напряжения. Это первая точка характеристики. Затем, увеличивая нагрузку на двигатель до $1,25 I_H$ включением ламп Л1-Л5 и поддерживая при этом напряжение на зажимах генератора на заданном уровне, снять 5-6 точек характеристики и занести показания приборов в табл. 4.2. В конце опыта двигатель разгрузить, но не останавливать.

По данным табл. 4.2 построить характеристику (кривая 2, рис. 4.4).

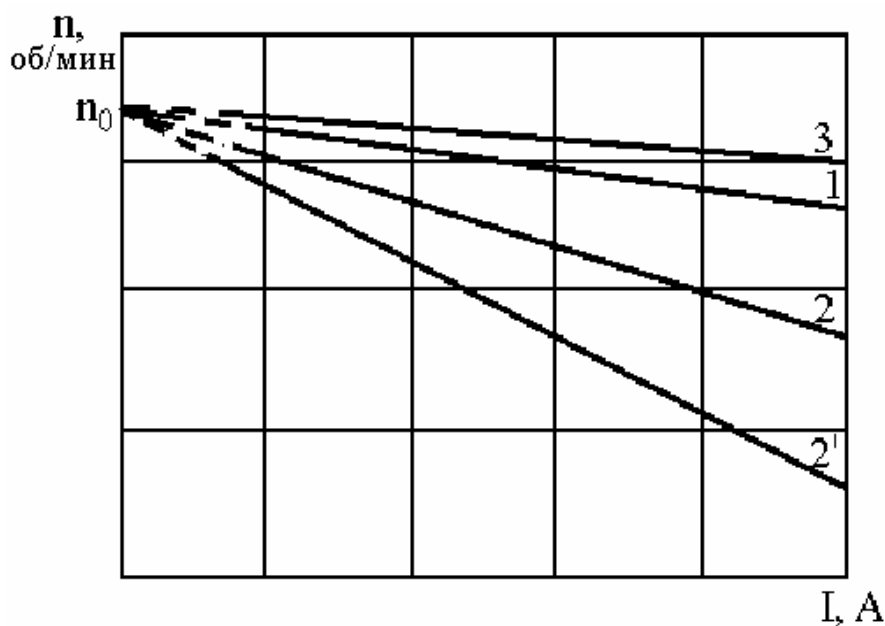


Рис. 4.4. Скоростные (электромеханические) характеристики двигателя параллельного возбуждения: 1 - естественная; 2, 2' - реостатные; 3 - при ослаблении поля

По заданию преподавателя можно снять и построить еще одну искусственную (реостатную) скоростную характеристику (кривая 2', рис.4.4). Для этого необходимо в цепь якоря ввести еще часть сопротивления R1 и повторить опыт.

5.3. Скоростная искусственная характеристика при ослаблении поля снимается при полностью выведенном сопротивлении R1 и введенном (незначительно) сопротивлении R2. Скоростную характеристику при ослаблении поля снимать таким же образом, как и реостатную. Данные опыта свести в табл. 4.2 и по ним построить характеристику (кривая 3, рис. 4.4).

Таблица 4.2

Скоростные характеристики

№№ пп		1	2	3	4	5	6	Примечание
U	B							Реостатная характеристика
I	A							
n	об/мин							
U	B							Характеристика при ослаблении поля
I	A							
n	об/мин							

6. Снять и построить регулировочную характеристику $n = f(I_B)$ при $U=U_H=const$, $M_2=0$.

Регулировочная характеристика $n = f(I_B)$ при $U = U_H = const$ и $M_2 = 0$ (лампы Л1-Л5 отключены) дает возможность исследовать регулирование частоты вращения двигателя путем изменения тока возбуждения. Она снимается следующим образом. Поддерживая напряжение постоянным, уменьшать ток возбуждения двигателя и измерять частоту вращения до $n = 1,25 n_H$ (снять 4-5 точек характеристики). Данные опыта свести в табл. 4.3 и построить характеристику (рис. 4.5). В конце опыта двигатель не останавливать.

Таблица 4.3

Регулировочная характеристика

№№ пп	$M_2 = 0$		
	I_B, A	$n, об/мин$	$U = U_H, B$

7. Снять и построить регулировочную характеристику $I_B = f(I)$ при $n = n_H = const$ и $U=U_H=const$.

Регулировочная характеристика $I_B = f(I)$ при $U = U_H = const$ и $n = n_H = const$ показывает, каким образом необходимо менять величину тока возбуждения I_B , а следовательно, и магнитный поток, с тем чтобы при увеличении нагрузки частота вращения двигателя оставалась неизменной. Она снимается следующим образом.

Установить при номинальном напряжении на якоре двигателя номинальную частоту вращения воздействием на реостат R2. Возбудить генератор до заданного напряжения. Это первая точка характеристики. Затем, увеличивая нагрузку на двигатель до $1,25 I_H$ включением ламп Л1-Л5 и поддерживая при этом напряжение на зажимах генератора на заданном уровне, регулировать ток возбуждения двигателя реостатом R2

так, чтобы частота вращения его оставалась неизменной, снять 5-6 точек характеристики. Данные опыта свести в табл. 4.4. Двигатель разгрузить, но не останавливать. По данным табл. 4.4 построить характеристику (рис. 4.6).

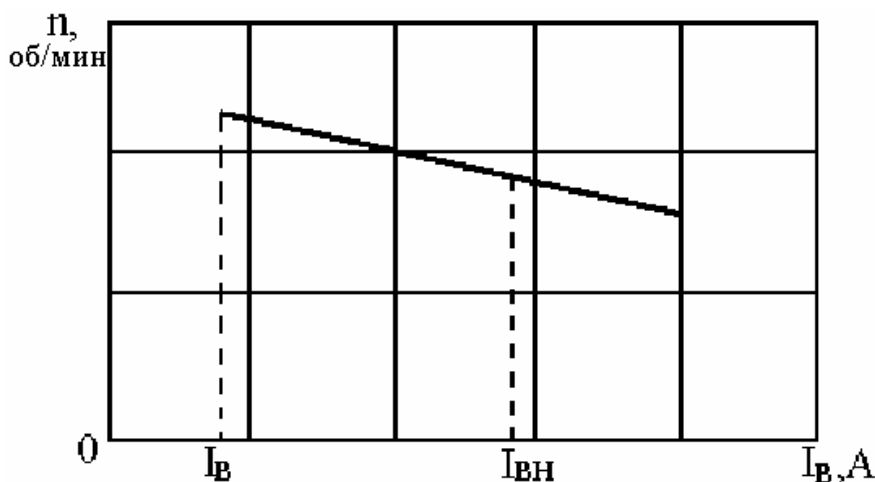


Рис. 4.5. Регулировочная характеристика

Таблица 4.4

Регулировочная характеристика

№№ пп	I	I _B	n = n _H = const
	А	А	об/мин

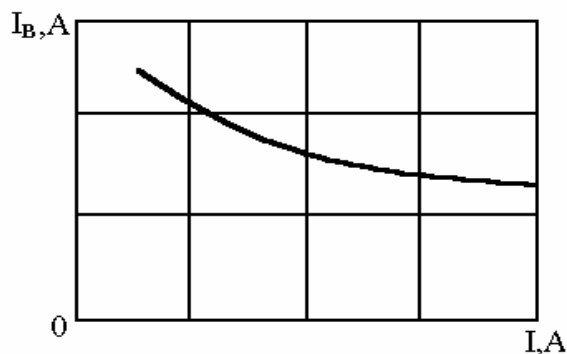


Рис. 4.6. Регулировочная характеристика $I_B = f(I)$

8. Снять и построить регулировочную характеристику $n = f(U)$ при $U_C = \text{const}$ и $M_2 = \text{const}$.

Регулировочная характеристика $n = f(U)$ при $U_C = \text{const}$ и $M = \text{const}$ дает возможность исследовать регулирование частоты вращения двигателя путем изменения сопротивления в цепи якоря. Она снимается следующим образом.

Установить при номинальном напряжении на якоре двигателя номинальную частоту вращения. Нагрузить двигатель так, чтобы ток в якоре был равен $0,7 I_H$ ($I = 0,7 I_H$). Снять показания приборов, соответствующие первой точке характеристики. Затем уменьшать напряжение на зажимах якоря двигателя введением реостата R1 и, поддерживая заданную нагрузку на двигателе ($I = 0,7 I_H$), снимать показания приборов.

Уменьшение напряжения следует производить до такого его значения, при котором еще возможно поддержание заданной нагрузки на двигателе при устойчивой его работе.

Данные опыта свести в табл. 4.5. В конце опыта двигатель разгрузить и отключить от сети.

По данным табл. 4.5 построить характеристику (рис. 4.7).

Таблица 4.5

Регулировочная характеристика

№№ пп	U	n	$I = 0,7 I_H = \text{const}$
	В	об/мин	А

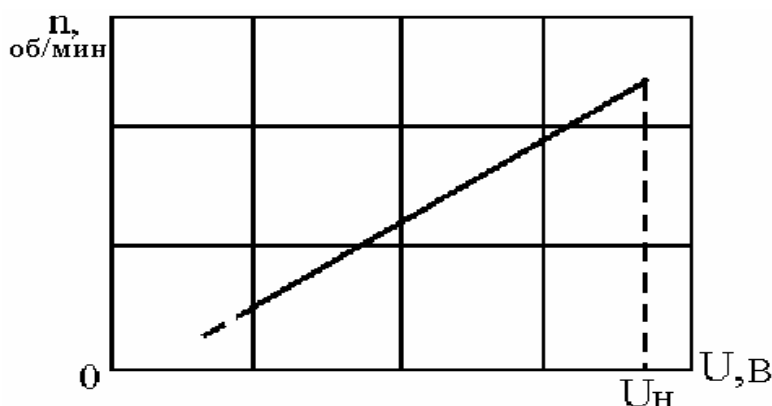


Рис. 4.7. Регулировочная характеристика $n = f(U)$

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия двигателя постоянного тока.
2. Объясните устройство двигателя постоянного тока.
3. Почему велик пусковой ток двигателя при прямом пуске?
4. Чем определяется момент двигателя на холостом ходу?
5. Как рассчитать номинальный момент двигателя по его паспортным данным?
6. Перечислить способы регулирования частоты вращения двигателя параллельного возбуждения.
7. Что такое жесткость механической характеристики?
8. Перечислить рабочие характеристики двигателя.
9. Поясните регулировочные характеристики двигателя.
10. Перечислите обмотки, имеющиеся в двигателе и поясните их назначение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: изучение конструкции двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и исследование его характеристик.

Программа и порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

2. Ознакомиться со стендом, схемой опыта (рис. 5.1), записать паспортные данные машин, пускового и регулировочных реостатов и измерительных приборов. Паспортные данные машин приведены в таблице на их корпусе.

Схема по рис. 5.1 собрана на стенде “Двигатель последовательного возбуждения”. Частота вращения двигателя измеряется с помощью тахогенератора ТГ. Обмотка якоря тахогенератора подключена к измерительному прибору Рп, шкала которого отградуирована в об/мин.

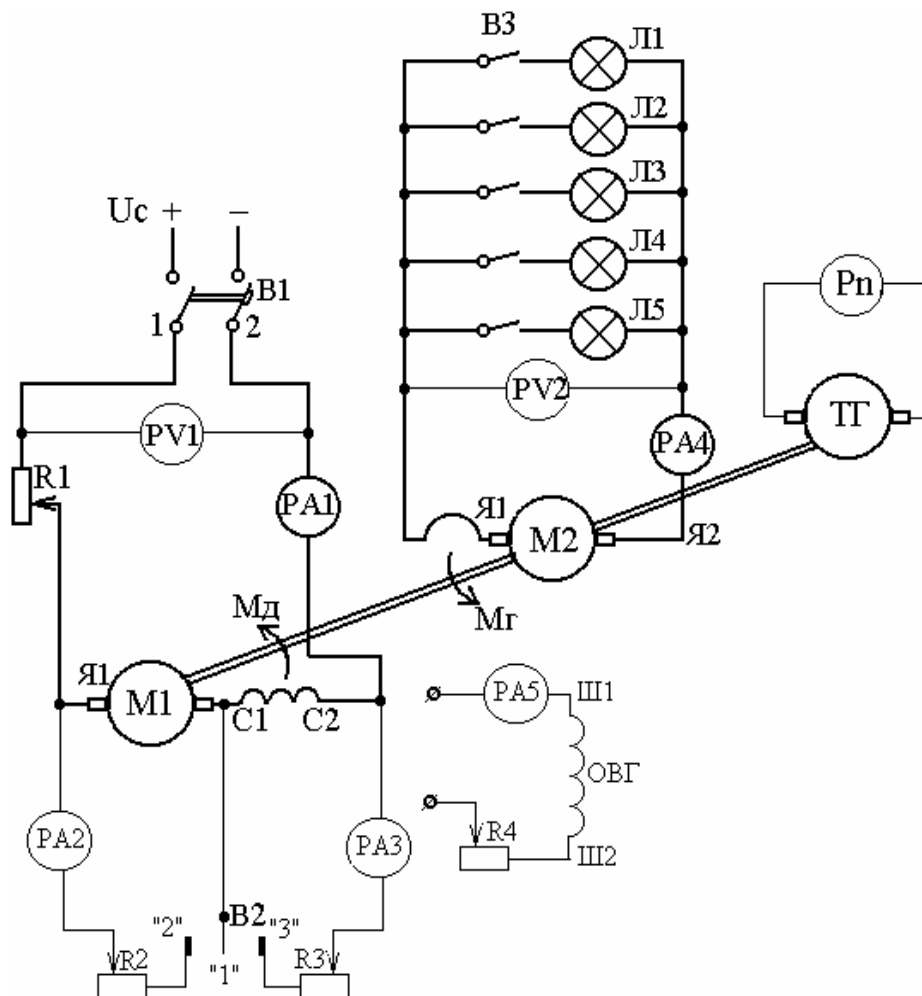


Рис. 5.1. Схема экспериментальной установки

Осуществить пуск двигателя М1 включением автомата В1. Перед пуском двигателя необходимо полностью ввести сопротивление пускового реостата R1 (для ограничения пускового тока). По мере разгона двигателя пусковой реостат медленно вывести (нижнее положение движка реостата R1 соответствует его введенному положению).

Особенностью пуска двигателя последовательного возбуждения является необходимость пуска его под нагрузкой (не менее 25 % номинальной). В противном случае двигатель идет “в разнос” (на данном стенде нагрузка включена).

Переключатель В2 должен быть установлен в положение “1”.

3. Снять и построить рабочие характеристики двигателя.

Рабочие характеристики двигателя постоянного тока определяют зависимости частоты вращения n , момента на валу M_2 , подведенной мощности P_1 , тока в якоре I , коэффициента полезного действия η от полезной мощности на валу P_2 при $U = U_H = \text{const}$.

Для снятия рабочих характеристик после осуществления пуска двигателя необходимо довести нагрузку двигателя по току до $1,25 I_H$ (включением ламп Л1-Л5 выключателями В3). Это первая точка характеристик. Затем постепенно снижать нагрузку до величины, при которой частота вращения двигателя не превысит $1,5 n_H$. Снять 5-6 точек. Данные замеров свести в табл. 5.1. Двигатель в конце опыта не останавливать.

Вычисления выполнить по следующим формулам. Данные расчетов свести в табл. 5.1.

$P_{1D} = U_D \cdot I_D$ - подведенная к двигателю мощность, Вт;

$P_{2r} = U_r \cdot I_r$ - полезная мощность генератора, Вт;

$P_{2D} = P_{1r} = \frac{P_{2r}}{\eta_r}$ - полезная мощность двигателя, Вт;

$\eta_D = \eta_r = \sqrt{\frac{P_{2r}}{P_{1D}}}$ - коэффициент полезного действия двигателя (генератора при

условии, что $\eta_D = \eta_r$), о.е.;

$M_2 = 9,565 \frac{P_{2D}}{n}$ - полезный тормозной момент на валу двигателя, Н·м;

$M_0 = 9,565 \frac{P_0}{n} \approx \text{const}$ - момент холостого хода, Н·м;

$P_0 = (0,02 \div 0,05) P_{2H}$ - мощность холостого хода двигателя, Вт;

$M = M_2 + M_0$ - электромагнитный момент, Н·м

По данным табл. 5.1 построить рабочие характеристики двигателя (рис. 5.2).

4. Построить механическую характеристику двигателя $n = f(M)$ при $U = U_H = \text{const}$. Она строится по данным табл. 5.1. (рис. 5.3).

5. Снять и построить скоростные (электромеханические) характеристики $n = f(I)$ при $U = U_H = \text{const}$ для трех случаев:

- естественную;
- при шунтировании обмотки якоря;
- при шунтировании обмотки возбуждения.

Рабочие характеристики двигателя

Измерено					Вычислено							
Двигатель			Генератор									
U_D	I_D	n	U_G	I_G	P_{1D}	$P_{2Г}$	P_{2D}	η_D	M_2	M_0	M	
В	А	об/мин	В	А	Вт	Вт	Вт	о.е.	Н·м	Н·м	Н·м	

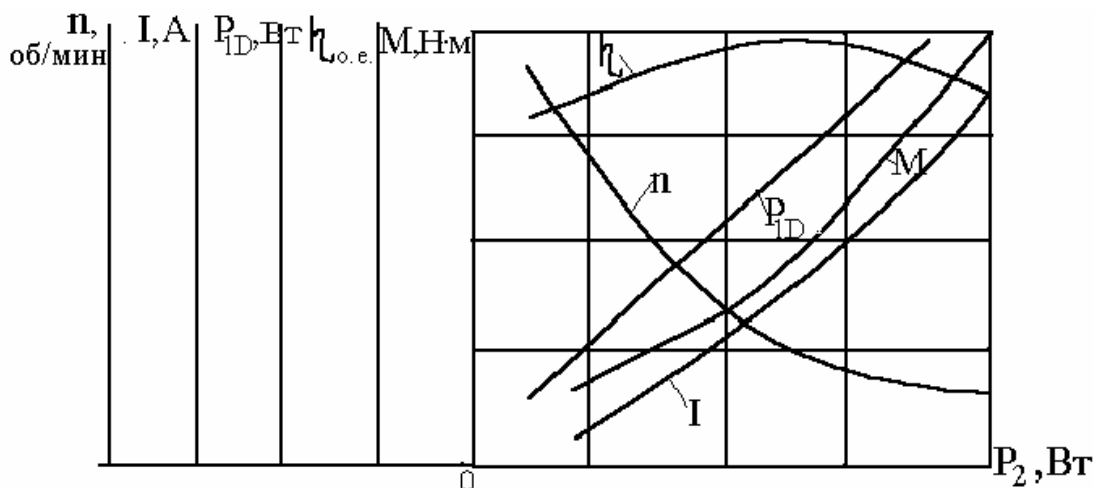


Рис. 5.2. Рабочие характеристики двигателя

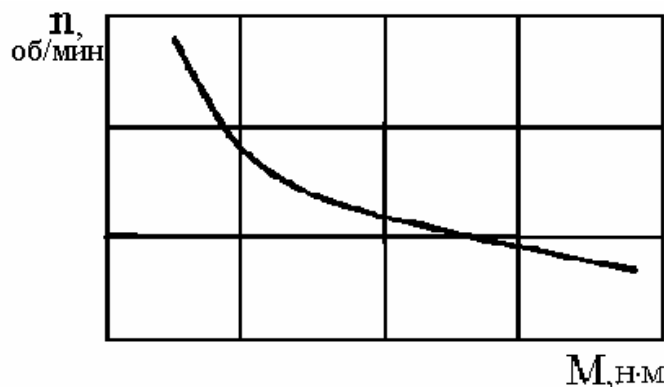


Рис. 5.3. Механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения

5.1. По данным табл. 5.1 построить естественную скоростную (электромеханическую) характеристику $n = f(I)$ (кривая 1, рис. 5.4).

5.2. Для снятия скоростной (электромеханической) характеристики при шунтировании обмотки якоря переключатель В2 перевести в положение "2" и с помощью реостата R2 установить ток I_2 в шунте, равный 2 А. Это соответствует такой величине сопротивления шунта R2, когда при $I_2 = 0,75 I_1$ частота вращения двигателя составит $0,5 n_H$. Уменьшая нагрузку двигателя отключением ламп Л1-Л5 и поддерживая

с помощью R2 ток I_2 в шунте неизменным, снять 4-5 точек характеристики. Показания приборов занести в табл. 5.2 и по ним построить характеристику (кривая 2, рис. 5.4).

5.3. Для снятия скоростной (электромеханической) характеристики при шунтировании обмотки возбуждения (ослабление поля) переключатель В2 перевести в положение "3" и с помощью реостата R3 установить ток I_3 в шунте равным $(0,15-0,2) I_H$ ($I_3 \approx 1A$) при близкой к номинальной нагрузке двигателя. Поддерживая ток I_3 в шунте неизменным, уменьшать нагрузку двигателя до такого значения, при котором частота вращения двигателя не превысит $1,5 n_H$. Для 4-5 значений нагрузки занести показания приборов в табл. 5.3 и построить характеристику (кривая 3, рис. 5.4). Двигатель в конце опыта не отключать. Переключатель В2 оставить в положении "3".

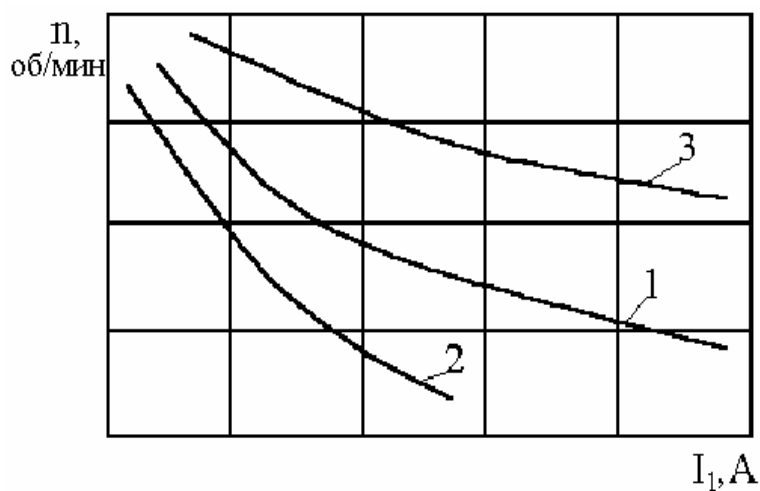


Рис.5.4. Скоростные характеристики двигателя последовательного возбуждения:
 1 - естественная; 2 - при шунтировании обмотки якоря;
 3 - при шунтировании обмотки возбуждения

Таблица 5.2

Скоростная характеристика при шунтировании обмотки якоря

№№ пп	U	I_1	$I_a = I_1 - I_2$	$I_B = I_1$	$I_2 = \text{const}$	n
	B	A	A	A	A	об/мин

Таблица 5.3

Скоростная характеристика при шунтировании обмотки возбуждения

№№ пп	U	I_1	$I_a = I_1$	$I_B = I_1 - I_3$	$I_3 = \text{const}$	n
	B	A	A	A	A	об/мин

За счет ответвления части якорного тока через сопротивление, шунтирующее обмотку возбуждения, уменьшается ток возбуждения. Ослабление поля двигателя приводит к увеличению частоты вращения. Характеристика пройдет выше естественной. Этот способ регулирования является экономичным, т.к. падение напряжения на обмотке возбуждения и, следовательно, шунте мало. Однако при уменьшении магнитного потока увеличивается ток якоря I_a , который может превысить номинальный и вызвать перегрев обмотки якоря.

Одновременное увеличение тока якоря I_a и частоты вращения двигателя ухудшает условия коммутации. Регулирование частоты вращения осуществляется при постоянной мощности, т.е. при переменном полезном моменте.

6. Снять и построить регулировочную характеристику $n = f(I_B)$ при $U = U_H = \text{const}$ и $M_2 = \text{const}$.

Для снятия регулировочной характеристики $n = f(I_B)$ при $U = U_H = \text{const}$ и $M_2 = \text{const}$ нагрузить двигатель так, чтобы ток в якоре I_1 был равен $0,5 I_H$, и поддерживать его в процессе опыта неизменным. Затем плавно увеличивать с помощью R_3 ток I_3 в цепи, шунтирующей обмотку возбуждения, до $(0,2-0,3) I_H$.

Частота вращения двигателя при наибольшем ослаблении поля не должна превышать $1,5 n_H$. Снять показания приборов при 4-5 разных токах I_3 шунта и записать показания в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Регулировочная характеристика

№№ пп	$I_B = I_1 - I_3$	n	I_3	$I_1 = 0,5 I_H = \text{const}$
	А	об/мин	А	А

По данным табл.5.4 построить регулировочную характеристику (рис. 5.5).

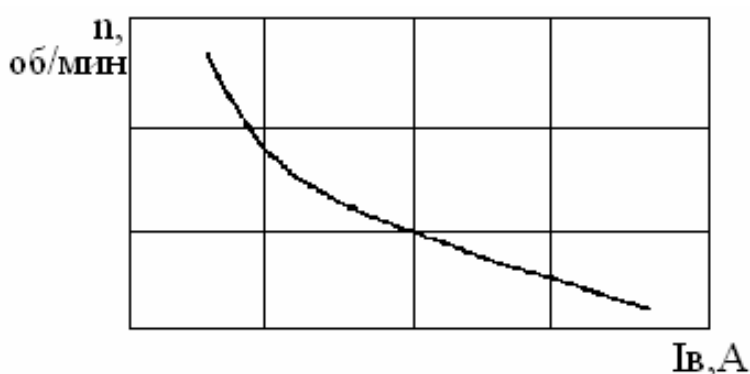


Рис. 5.5. Регулировочная характеристика $n = f(I_B)$

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы двигателя последовательного возбуждения.
2. В чем конструктивное отличие последовательной и параллельной обмоток возбуждения?
3. Как отразилось на механической характеристике последовательное включение обмотки возбуждения по сравнению с параллельным или независимым включением?
4. Где целесообразно использовать двигатель последовательного возбуждения и почему?
5. Почему недопустимо пускать двигатель последовательного возбуждения без нагрузки?
6. Как влияет на механические характеристики шунтирование обмотки возбуждения?
7. Перечислите способы регулирования частоты вращения двигателя последовательного возбуждения.
8. Объясните назначение реостата R1.
9. Как влияет на механические характеристики шунтирование обмотки якоря?
10. Почему во время пуска по мере разгона двигателя уменьшается ток якоря?