

УДК 621.313
ББК 31.261.5
И 889

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре электромеханики, и электрических и
электронных аппаратов

Авторы: Иванов А.С., Качалина Е.В., Кузьмичев В.А., Орешкин
Д.Н., Сидоров А.О., Ширинский С.В.

**Исследование генераторов и двигателей постоянного тока:
практикум /** Иванов А.С., Качалина Е.В., Кузьмичев В.А., Орешкин Д.Н.,
Сидоров А.О., Ширинский С.В. – М.: Издательство МЭИ, 2022. - 90 с.

Включены работы по исследованию генераторов и двигателей
постоянного тока. Продолжительность лабораторных занятий – 4 ч.

Каждая работа содержит описание объекта исследования,
программу, порядок проведения и обработки результатов.

Содержание лабораторных работ соответствует программе
подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и
электротехника» в рамках базовой дисциплины «Электрические
машины».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
Лабораторная работа № 4 ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	10
Лабораторная работа № 9 ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	25

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение сетей переменного тока и развитие силовой электроники привело к вытеснению машин постоянного тока (МПТ) из многих традиционных для них областей практического применения. С 80-х годов прошлого века стали появляться прогнозы полной их замены машинами переменного тока. До настоящего времени они не сбылись.

В настоящее время МПТ используются на практике в качестве:

- генераторов (ГПТ) в металлургии и на химических производствах (для питания электропечей и электролизных установок), в резервных источниках электроснабжения;

- двигателей (ДПТ) в электрическом транспорте (в электроприводах электропоездов, трамваев, троллейбусов), в металлургии (в прокатных станах), в энергетике (в электроприводах аварийных маслососов турбоагрегатов ТЭС).

МПТ выпускаются на мощности от долей Вт до 12 МВт, напряжения от 110 до 3000 В, частоты вращения от нескольких оборотов до нескольких тысяч оборотов в минуту.

Основным достоинством ДПТ является простота регулирования частоты вращения. Недостатками МПТ являются сложность конструкции и низкая надежность.

По способу возбуждения различают МПТ с магнитоэлектрическим (возбуждение осуществляется за счет использования постоянных магнитов) и электромагнитным возбуждением (вместо постоянных магнитов используется обмотка или обмотки возбуждения).

МПТ с электромагнитным возбуждением могут быть с независимым (НВ), параллельным (ПарВ), последовательным (ПосВ), смешанным согласным (СмСогВ) и смешанным встречным (СмВстрВ) возбуждением.

Работа машин постоянного тока в установившихся режимах описывается следующими уравнениями.

Генератор постоянного тока:

- уравнение равновесия напряжения цепи якоря: $U = E - I_a R_a$;

- ЭДС якоря: $E = c_E \Phi n$.

Двигатель постоянного тока:

- уравнение напряжения цепи якоря: $U = E + I_a R_a$;

- ЭДС якоря: $E = c_E \Phi n$;

- уравнение электромеханической (скоростной) характеристики:

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} - \frac{I_a R_a}{c_E \Phi};$$

- момент: $M = c_M \Phi I_a$;

- уравнение механической характеристики:

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} - \frac{MR_a}{c_E c_M \Phi^2}.$$

Типичный вид характеристик холостого хода, нагрузочной характеристики, внешних и регулировочных характеристик генераторов постоянного тока представлен на рис. В1 – В4.

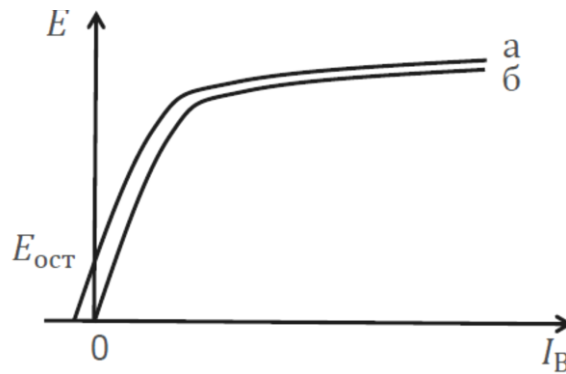


Рис. В1. Характеристики холостого хода ГПТ:
а - реальная, б – смещенная

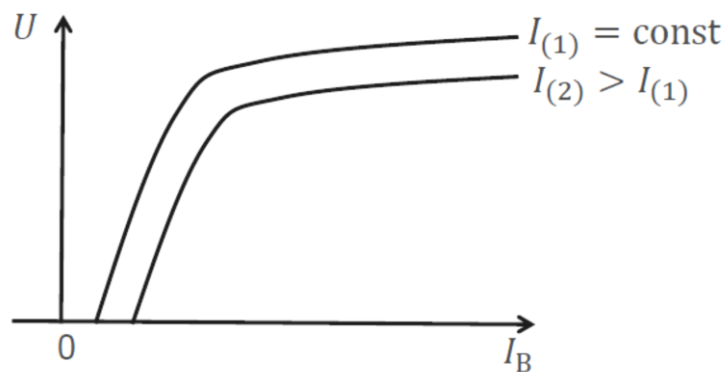


Рис. В2. Нагрузочные характеристики ГПТ

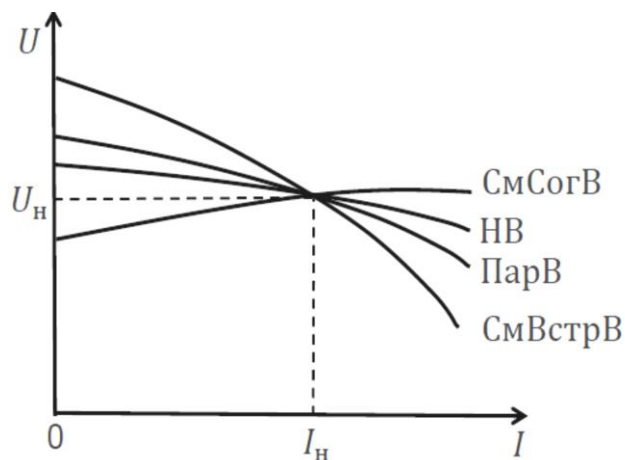


Рис. В3. Внешние характеристики ГПТ при разных способах возбуждения

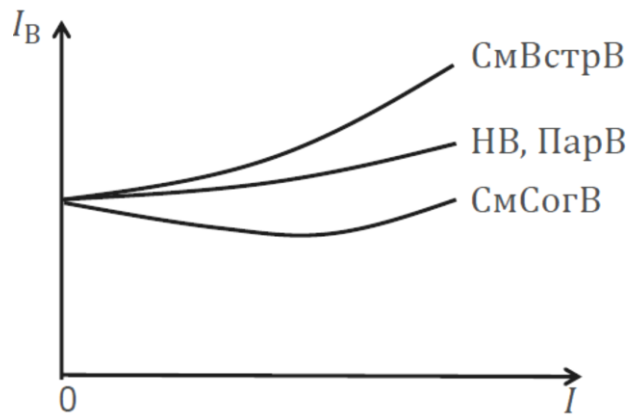


Рис. В4. Регулировочные характеристики ГПТ при разных способах возбуждения

Типичный вид механических, электромеханических, моментных характеристик двигателей постоянного тока при разных способах возбуждения представлен на рис. В5 – В6.

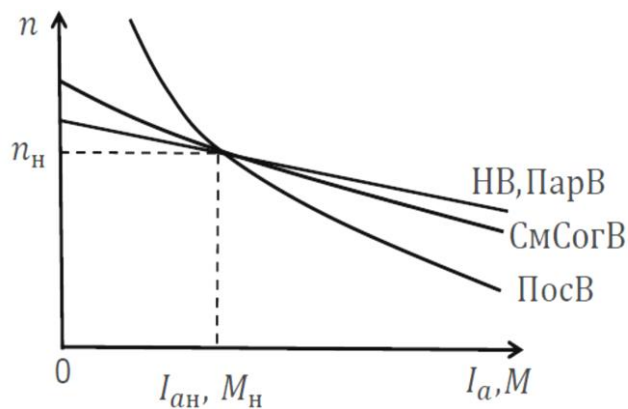


Рис. В5. Механические и электромеханические характеристики ДПТ при разных способах возбуждения

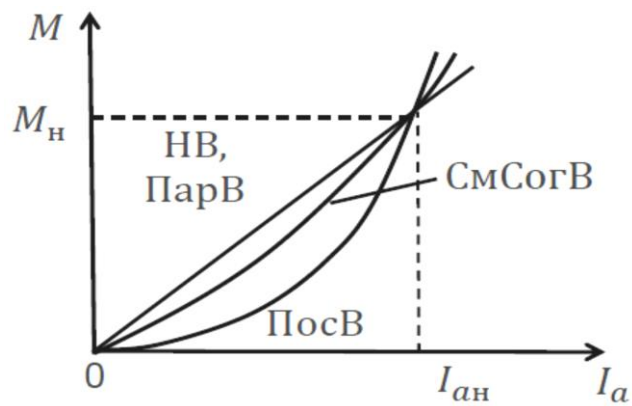


Рис. В6. Моментные характеристики ДПТ при разных способах возбуждения

Семейства механических и электромеханических характеристик двигателей постоянного тока независимого, параллельного и последовательного возбуждения при различных способах регулирования частоты вращения приведены на рис. В7-В10.

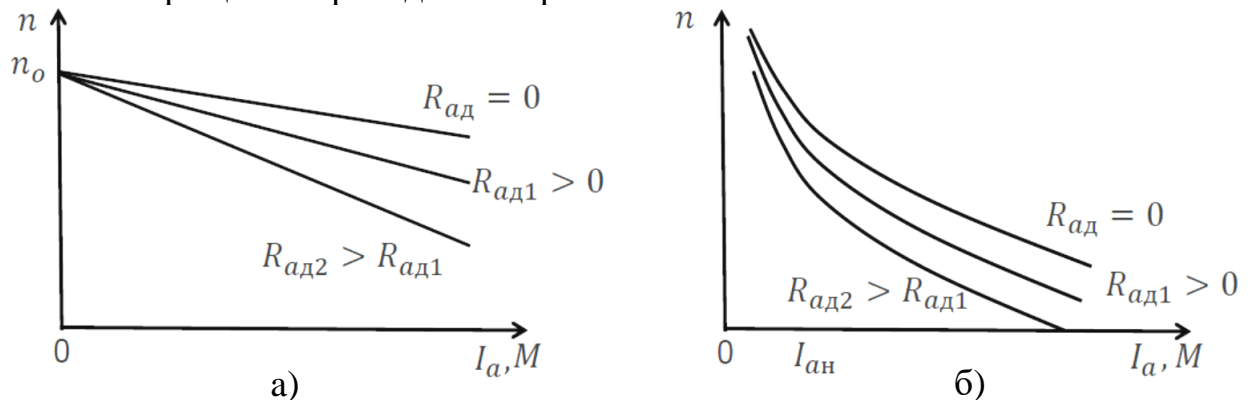


Рис. В7. Семейства механических и электромеханических характеристик ДПТ независимого, параллельного (а) и последовательного возбуждения (б) при регулировании частоты вращения введением в цепь якоря добавочного сопротивления

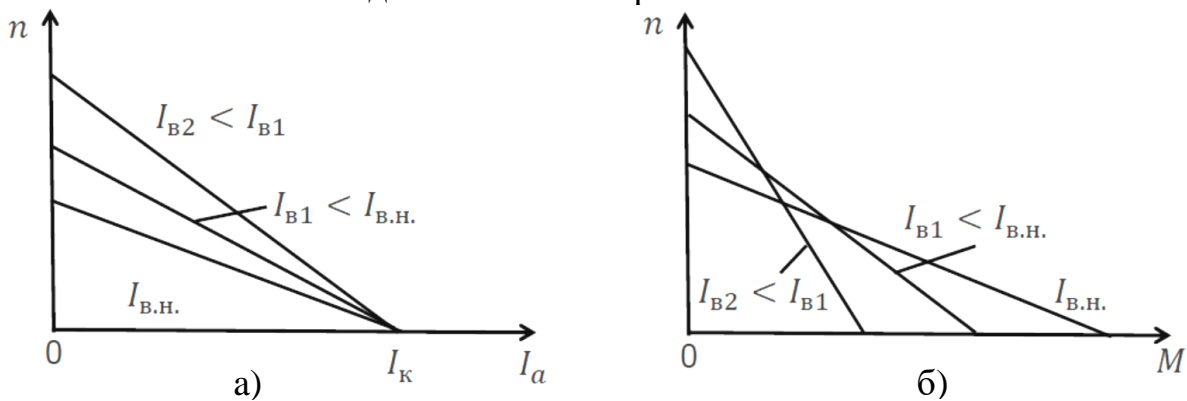


Рис. В8. Семейства электромеханических (а) и механических характеристик (б) ДПТ независимого и параллельного при различных токах возбуждения

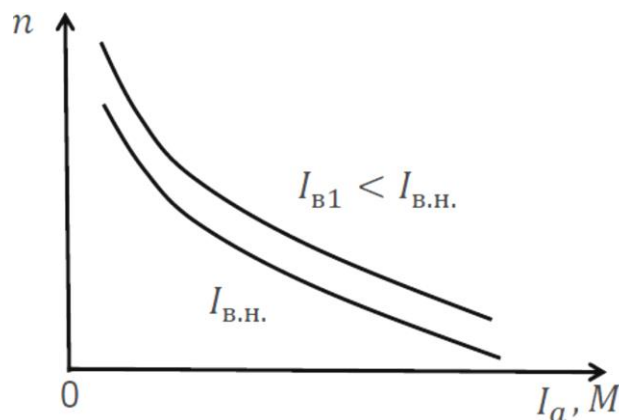


Рис. В9. Семейства электромеханических и механических характеристик ДПТ независимого возбуждения при различных токах возбуждения

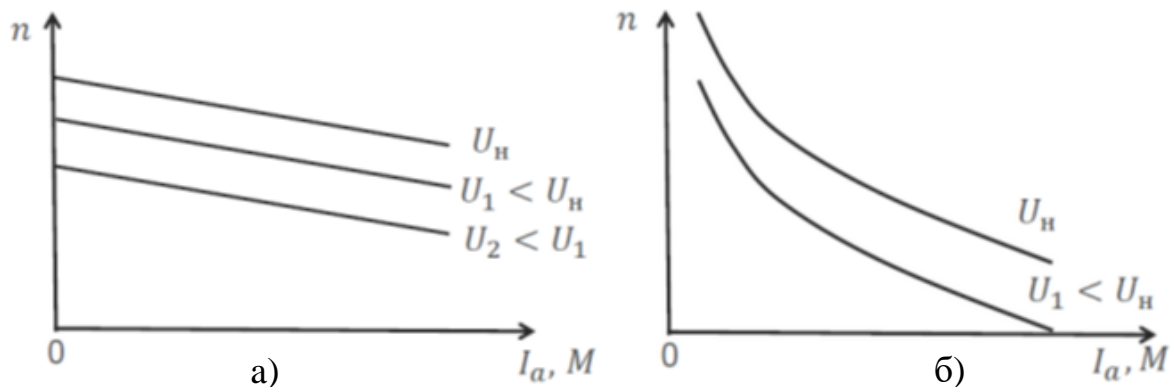
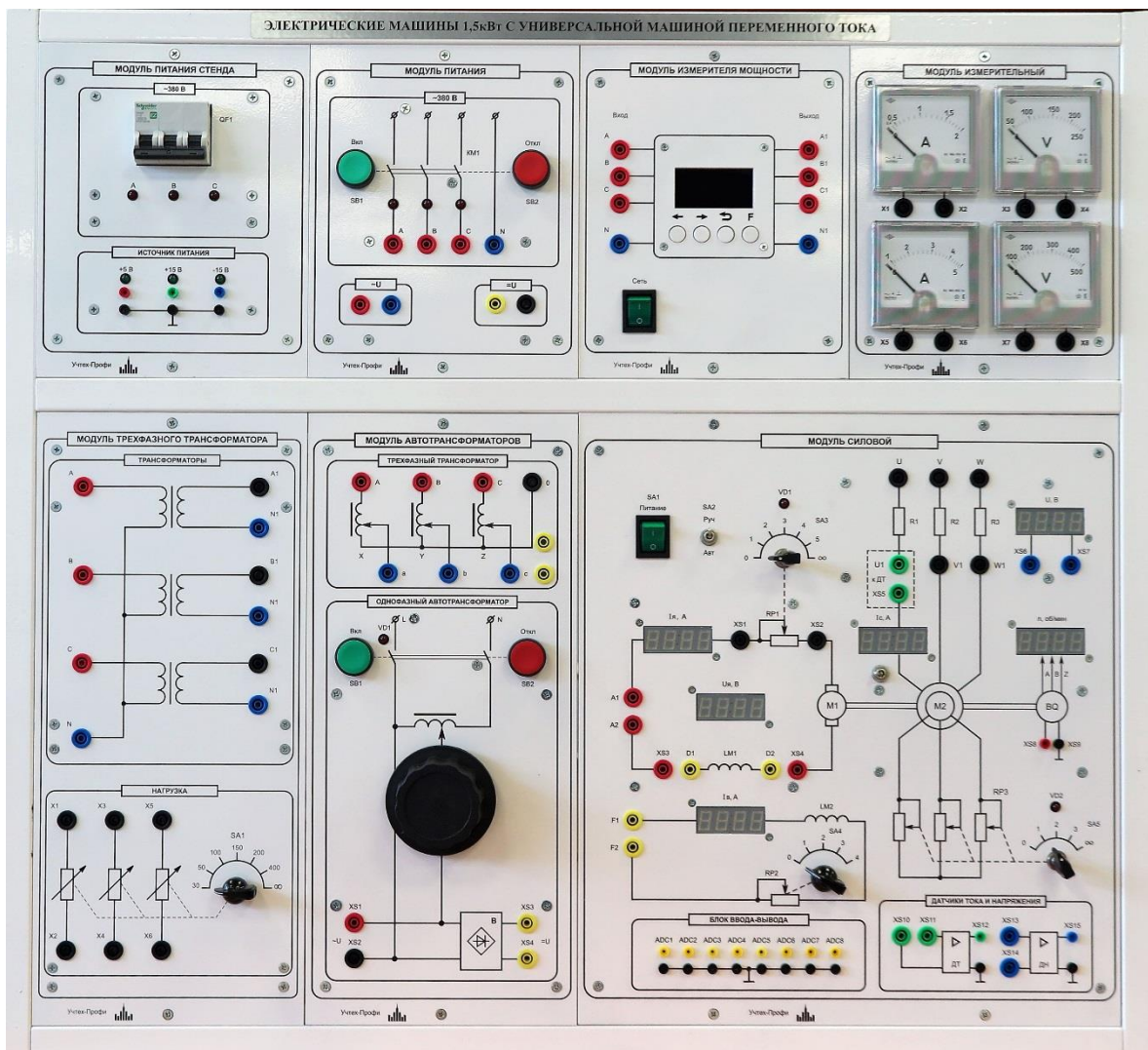


Рис. В10. Семейства механических и электромеханических характеристик ДПТ независимого, параллельного (а) и последовательного возбуждения (б) при регулировании частоты вращения изменением питающего напряжения

Для проведения лабораторных работ используются стенды производства ООО НПП «Учтех-Профи».



Объектом испытаний в лабораторных работах является машина постоянного тока, паспортные данные которой приведены в табл. В1

Таблица В1. Паспортные данные машины постоянного тока

Тип	ПЗ2М
Мощность, кВт	1,1
Номинальное напряжение обмотки якоря, В	220
Номинальный ток обмотки якоря, А	6,53
Номинальное напряжение обмотки возбуждения, В	220
Номинальная частота вращения, об/мин	1000
Максимальная частота вращения, об/мин	2000
Номинальный момент, Нм	10,5
Сопротивление обмотки якоря, Ом	3,5
Сопротивление параллельной обмотки возбуждения, Ом	340
Сопротивление последовательной обмотки возбуждения, Ом	0,6
КПД, %	76,5
Момент инерции ротора, кг·м ²	0,029
Режим работы	S1

В выполнении лабораторных работ по изучению ГПТ в качестве привода МПТ используется асинхронный двигатель с фазным ротором. Его паспортные данные приведены в табл. В2

Таблица В2. Паспортные данные асинхронного двигателя с фазным ротором

Тип	5МТН-011-6
Мощность, кВт	1,4
Номинальное напряжение обмотки статора, Δ/У, В	220/380
Номинальный ток обмотки статора, Δ/У, А	8,0/4,6
Номинальный ток обмотки ротора, А	10,5
Номинальная частота вращения, об/мин	861
Номинальный КПД, %	64,6
Коэффициент мощности	0,67
Сопротивление фазы обмотки статора, Ом	5,78
Сопротивление фазы обмотки ротора, Ом	0,77
Режим работы	S3 40%

Паспортные данные магазинов сопротивлений, используемых для регулирования токов в цепях обмоток якоря и возбуждения МПТ, а также в цепи обмотки ротора асинхронного двигателя приведены в таблицах В3-В5

Таблица В3. Паспортные данные магазина добавочных сопротивлений обмотки якоря МПТ

Положение переключателя SA3	Сопротивление, Ом	Мощность, Вт	Допустимый ток, А
0	0	-	-
1	11	3600	10
2	20	2000	10
3	25	1600	8
4	50	800	4
5	100	400	2
∞	∞	-	-

Таблица В4. Паспортные данные магазина добавочных сопротивлений обмотки возбуждения МПТ

Положение переключателя SA4	Сопротивление, Ом	Мощность, Вт	Допустимый ток, А
0	0	-	-
1	110	15	0,45
2	160	35	0,45
3	275	55	0,45
4	370	80	0,45

Таблица В5. Паспортные данные магазина добавочных сопротивлений цепи обмотки ротора асинхронного двигателя

Положение переключателя SA5	Сопротивление, Ом	Мощность, Вт	Допустимый ток, А
0	0	-	-
1	4	400	15
2	8	800	15
3	12	1200	15
∞	-	-	-

При выполнении работ потребуется знание зависимостей, приведенных на рис. В7, В8.

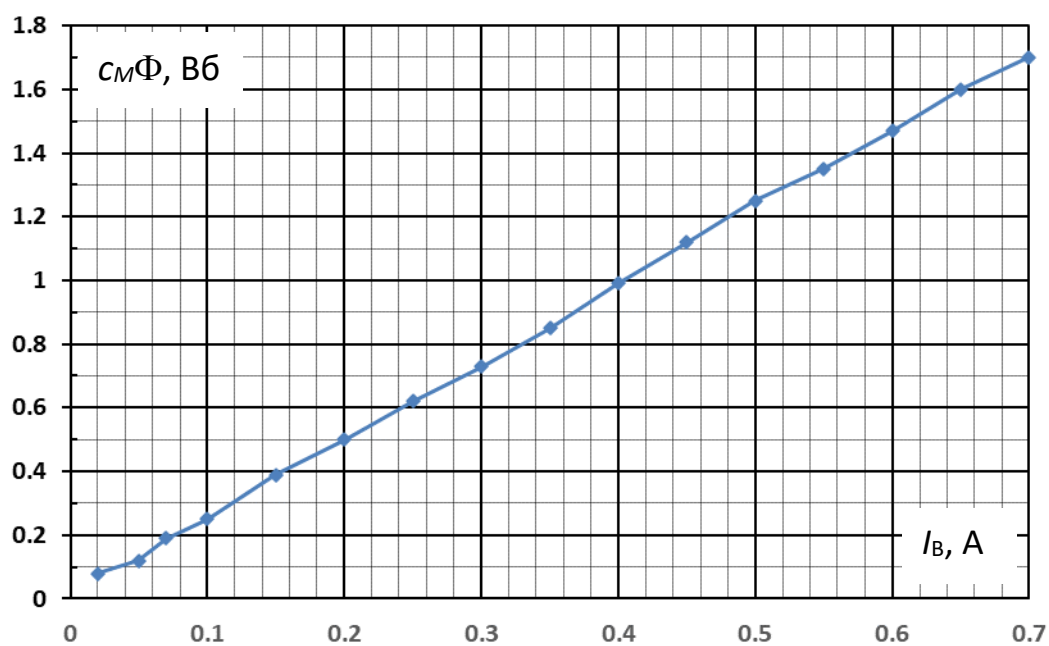


Рис. В7. Зависимость потока обмотки возбуждения МПТ от тока возбуждения

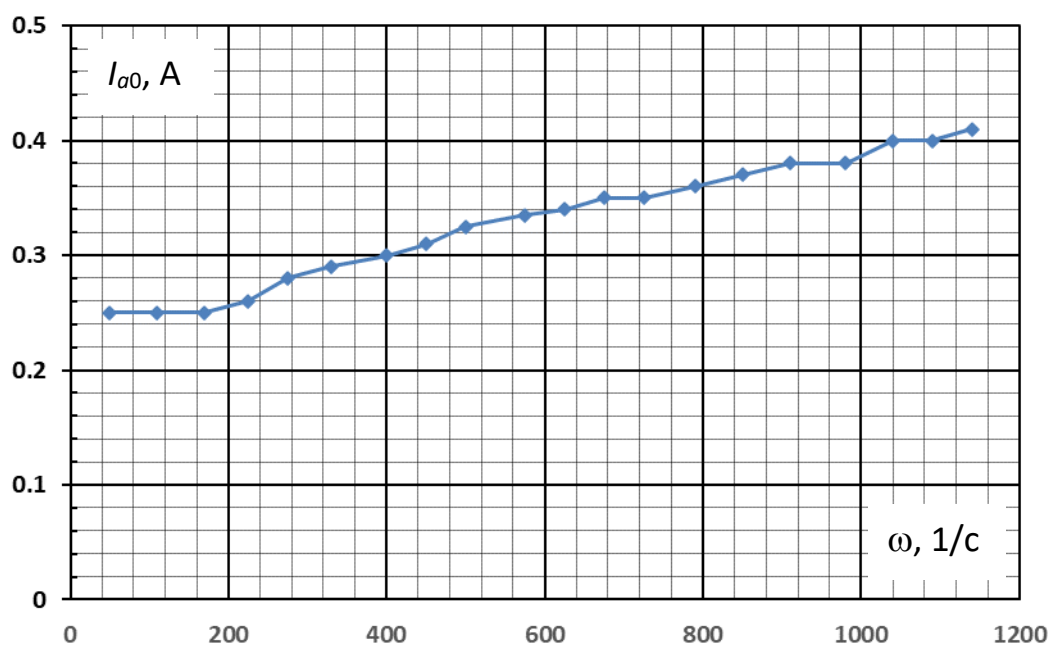


Рис. В.8. Зависимость тока холостого хода от угловой скорости МПТ

При выполнении лабораторных работ должны соблюдаться требования Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок (утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. №903н).

Лабораторная работа № 4
ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Целью работы является экспериментальное исследование характеристик и электромеханических свойств генераторов постоянного тока с различными способами возбуждения.

Программа работы

1. Экспериментальные исследования

1. Ознакомиться с паспортными данными исследуемого генератора, внести данные в протокол.
2. Для генератора независимого возбуждения:
 - 2.1. Снять характеристику холостого хода $E = f(I_B)$ при $I_a = 0$ и $n = \text{const}$.
 - 2.2. Снять нагрузочную характеристику $U = f(I_B)$ при $I_a = \text{const}$ и $n = \text{const}$.
 - 2.3. Снять регулировочную характеристику $I_B = f(I_a)$ при $U = \text{const}$ и $n = \text{const}$.
3. Снять внешние характеристики генератора постоянного тока $U = f(I_a)$ при $I_B = \text{const}$ и $n = \text{const}$ при независимом возбуждении, параллельном возбуждении, смешанном согласном и смешанном встречном возбуждении.

2. Обработка результатов эксперимента

1. Построить характеристику холостого хода. Определить по ней степень насыщения магнитной цепи генератора.
2. Для каждой точки нагрузочной характеристики генератора независимого возбуждения рассчитать КПД генератора.
3. Построить нагрузочную характеристику генератора постоянного тока независимого возбуждения и сравнить ее с характеристикой холостого хода.
4. Построить зависимость КПД генератора от тока возбуждения при постоянной нагрузке.
5. Построить регулировочную характеристику генератора независимого возбуждения.
6. Построить на одном графике внешние характеристики генераторов независимого возбуждения, параллельного возбуждения, смешанного согласного и смешанного встречного возбуждения. Сравнить характеристики, объяснить различие.

Пояснения и указания к работе

Перед проведением работы необходимо привести модули в исходное состояние. Для этого при выключенном автоматическом выключателе $QF1$ модуля питания стенда:

- установить ручки автотрансформаторов (однофазного на стенде и трехфазного ЛАТР) в нулевое положение, повернув их до конца против часовой стрелки;
- установить переключатель $SA2$ модуля силового в положение «Руч»;
- отключить нагрузку генератора, установив переключатель $SA3$ в положение « ∞ »;
- вывести добавочное сопротивление из цепи обмотки возбуждения генератора постоянного тока, установив переключатель $SA4$ модуля силового в положение «0»;
- вывести добавочное сопротивление из цепи ротора асинхронного двигателя, установив переключатель $SA5$ модуля силового в положение «0».

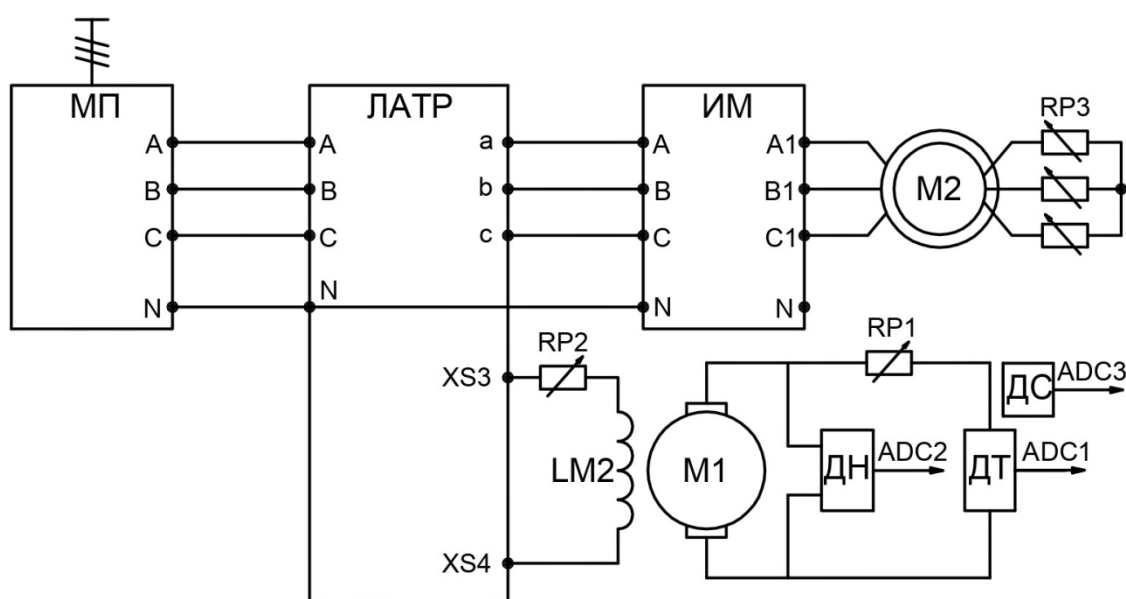


Рис. 4.1. Схема для исследования генератора постоянного тока независимого возбуждения

МП – модуль питания, ЛАТР – модуль трансформаторов, ИМ – модуль измерителя мощности, ДН – датчик напряжения, ДТ – датчик тока, ДС – датчик скорости

В работе исследуется генератор постоянного тока $M1$, приводимый во вращение асинхронным двигателем $M2$. Паспортные данные генератора и приводного двигателя приведены во введении. Генератор

постоянного тока имеет последовательную и параллельную обмотки возбуждения, с помощью которых можно собирать разные схемы возбуждения. Для проведения данной работы на персональном компьютере стенда должно быть запущено программное обеспечение *DeltaProfi* и выбрана соответствующая лабораторная работа. Для снятия характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения используется схема включения, показанная на рис. 4.1.

Приводной асинхронный электродвигатель *M2* получает электропитание от трехфазного автотрансформатора модуля автотрансформаторов (ЛАТР) через модуль измерителя мощности (ИМ). Автотрансформатор подключается к трехфазному напряжению от модуля питания МП (клеммы *A, B, C*).

Обмотка независимого возбуждения *LM2* генератора постоянного тока подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения модуля автотрансформаторов (ЛАТР), клеммам *XS3* и *XS4*.

Якорная цепь генератора постоянного тока подключается на регулируемое активное сопротивление нагрузки *RP1* силового модуля путем установки перемычки между клеммами *A1* и *XS4* или через амперметр.

Для измерения токов и напряжений в якорной цепи используются датчики тока ДТ и напряжения ДН силового модуля. Выходы датчиков тока и напряжения соединяются с входами *ADC1* и *ADC2* блока ввода/вывода для передачи сигнала. Выход датчика скорости ДС подключается к входу *ADC3* блока ввода/вывода. Также ток якоря, напряжение на якоре, ток возбуждения и скорость электромашинного агрегата можно наблюдать на индикаторах силового модуля.

Характеристика холостого хода

Характеристика холостого хода представляет собой зависимость ЭДС, равной напряжению на выходе генератора, от тока возбуждения $E = f(I_B)$ при разомкнутой якорной цепи и постоянной частоте вращения.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель *QF1* модуля питания стенда и нажатием кнопки *SB1* модуля питания подать напряжение на элементы стенда;
- включить кнопку «Сеть» силового модуля;
- ручкой трехфазного автотрансформатора увеличить напряжение на обмотках асинхронного двигателя до достижения линейного напряжения 380В ($U_\phi = 220$ В по показаниями модуля измерителя мощности);
- внести показания приборов (амперметра в цепи возбуждения, вольтметра в цепи якоря и датчика скорости) в таблицу 4.1, зафиксировав

напряжение на выходе генератора (и частоту вращения) при отсутствии тока возбуждения для случая остаточной намагниченности;

- нажать кнопку «Вкл» модуля автотрансформаторов для подачи питания на обмотку возбуждения $LM2$ генератора;

- последовательно увеличивать ток возбуждения ручкой однофазного автотрансформатора от нулевого до номинального значения, фиксируя при этом величины тока возбуждения I_B и ЭДС якоря E . Результаты измерений сохранить в таблице 4.1. для восходящей ветви характеристики. Затем, последовательно уменьшая ток возбуждения, зафиксировать нисходящую ветвь характеристики;

- после проведения опыта уменьшить до нуля напряжение на обмотке возбуждения, повернув ручку однофазного автотрансформатора в крайнее положение против часовой стрелки, уменьшить до нуля напряжение на обмотках приводного двигателя, повернув ручку трехфазного автотрансформатора в крайнее положение против часовой стрелки. Последовательно отключить модуль автотрансформаторов (кнопка $SB2$ «Откл»), модуль питания (кнопка $SB2$ «Откл») и автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда.

Таблица 4.1.

<i>Восходящая ветвь характеристики</i>					
n , об/мин					
I_B , А					
E , В					
<i>Нисходящая ветвь характеристики</i>					
n , об/мин					
I_B , А					
E , В					

В табл. 4.1 приняты следующие обозначения измеряемых величин:

n – частота вращения, об/мин;

I_B – ток возбуждения ГПТ, А;

E – ЭДС, наведенная в обмотке якоря ГПТ, В.

По данным опыта следует построить характеристику холостого хода генератора $E = f(I_B)$ и определить степень насыщения магнитной цепи генератора при номинальной ЭДС.

Степень насыщения магнитной цепи определяется соотношением реальной МДС всей магнитной цепи и МДС ненасыщенной машины (определяемой МДС воздушного зазора). Коэффициент насыщения K_μ равен отношению длин отрезков $|AC|$ и $|AB|$, пропорциональных МДС реальной магнитной цепи и ненасыщенной магнитной цепи соответственно (рис. 4.2)

$$K_{\mu} = \frac{|AC|}{|AB|}.$$

Точка C лежит на реальной характеристике холостого хода, а точка B – на спрямленной характеристике.

Степень насыщения магнитной цепи находят при значении ЭДС, близком к номинальному, которое обеспечивает номинальное напряжение на зажимах генератора при номинальной нагрузке (номинальном токе генератора)

$$E_{\text{н}} = U_{\text{н}} + I_{\text{ян}} R_a,$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение, $I_{\text{ян}}$ – номинальный ток якоря, R_a – сопротивление обмотки якоря генератора (таблица В.2 во введении).

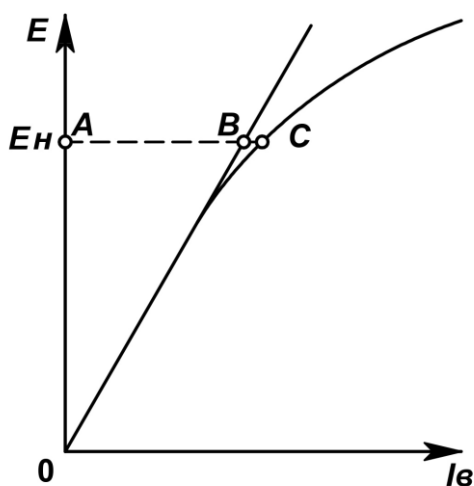


Рис. 4.2. Характеристика холостого хода генератора постоянного тока и спрямленная характеристика

Нагрузочная характеристика

Нагрузочная характеристика генератора постоянного тока независимого возбуждения представляет собой зависимость напряжения на выходе генератора от тока возбуждения $U = f(I_B)$ при постоянном токе якоря и постоянной частоте вращения.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажатием кнопки $SB1$ модуля питания подать напряжение на элементы стенда;
- включить кнопку «Сеть» силового модуля;
- отключить нагрузку генератора, установив переключатель $SA3$ в положение «∞»;

– ручкой трехфазного автотрансформатора увеличить напряжение на обмотках асинхронного двигателя до достижения фазного напряжения 220 В (по показаниями модуля измерителя мощности);

– нажать кнопку «Вкл» модуля автотрансформаторов для подачи питания на обмотку возбуждения $LM2$ генератора;

– включить нагрузку генератора, установив переключатель $SA3$ в положение «5». Ток якоря при этом должен быть равен 1,5 А (обеспечивается выбором соответствующего тока возбуждения ручкой однофазного трансформатора);

– последовательно изменять нагрузку генератора, переключая $SA3$ из положения «5» в положения «4», «3», «2» и «1», и поддерживая ток якоря на постоянном уровне 1,5 А путем регулирования тока возбуждения (ручкой однофазного трансформатора). Фиксировать при этом величины тока возбуждения I_B и тока якоря I_a , напряжение якоря U , а также частоту вращения n , ток статора I_C и напряжение статора U_C приводного асинхронного двигателя и мощность P_C , потребляемую статором приводного двигателя (по показаниями модуля измерителя мощности). Результаты измерений сохранить в таблице 4.2;

– частоту вращения можно поддерживать постоянной, регулируя напряжение на статоре приводного асинхронного двигателя ручкой трехфазного автотрансформатора, однако свыше 390 В напряжение повышать нельзя;

– после проведения опыта отключить нагрузку генератора, установив переключатель $SA3$ силового модуля в положение «∞», уменьшить до нуля напряжения на обмотках приводного двигателя и на обмотке возбуждения, повернув ручки автотрансформаторов в крайнее положение против часовой стрелки. Последовательно отключить модуль автотрансформаторов (кнопка $SB2$ «Откл»), модуль питания (кнопка $SB2$ «Откл») и автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда.

Таблица 4.2.

<i>Опытные данные</i>					
n , об/мин					
I_B , А					
I_a , А					
U , В					
I_C , А					
U_C , В					
P_C , Вт					
<i>Расчетные данные</i>					
$\Delta P_{я}$, Вт					
ΔP_B , Вт					
$P_{я}$, Вт					

ΔP_C , Вт					
$P_{\text{мех}}$, Вт					
η					

В табл. 4.2 приняты следующие обозначения измеряемых величин:

n – частота вращения, об/мин;

I_B – ток возбуждения ГПТ, А;

I_a – ток якоря ГПТ, А;

U – напряжение якоря ГПТ, В;

I_C – ток статора АД, А;

U_C – напряжение статора АД, В;

P_C – мощность, потребляемая АД, Вт.

При обработке экспериментальных данных следует по полученным значениям рассчитать потери в генераторе и приводном двигателе, найти мощность на валу приводного двигателя и мощность генератора и рассчитать КПД генератора постоянного тока. Расчетные значения сохранить в таблице 4.2.

Электрические потери в цепи якоря генератора постоянного тока

$$\Delta P_{\text{я}} = I_a^2 R_a,$$

где R_a – сопротивление обмотки якоря генератора постоянного тока (таблица В.1 во введении).

Электрические потери в цепи возбуждения генератора постоянного тока

$$\Delta P_B = I_B^2 R_B,$$

где R_B – сопротивление параллельной обмотки возбуждения генератора, включенной независимо (таблица В.1).

Мощность на выходе генератора постоянного тока

$$P_{\text{я}} = UI_a.$$

Электрические потери в цепи статора приводного двигателя

$$\Delta P_C = 3I_C^2 R_C,$$

где R_C – сопротивление фазы статора приводного асинхронного двигателя (таблица В.1).

Мощность на валу приводного электродвигателя

$$P_{\text{мех}} = P_C - \Delta P_C - \Delta P_{\text{мех}},$$

где $\Delta P_{\text{мех}}$ – механические потери асинхронного двигателя, которые можно принять на уровне 5% от номинальной мощности двигателя.

Коэффициент полезного действия генератора постоянного тока может быть найден как отношение отдаваемой электрической мощности генератора к механической мощности на валу

$$\eta = \frac{P_{\text{я}}}{P_{\text{мех}}}.$$

На основании экспериментальных и расчетных данных следует построить на одном графике нагрузочную характеристику генератора и характеристику холостого хода.

Регулировочная характеристика

Регулировочная характеристика генератора постоянного тока независимого возбуждения представляет собой зависимость тока возбуждения от тока нагрузки $I_B = f(I_a)$ при поддержании постоянного напряжения генератора и постоянной частоте вращения.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажатием кнопки $SB1$ модуля питания подать напряжение на элементы стенда;
- включить кнопку «Сеть» силового модуля;
- отключить нагрузку генератора $RP1$, установив переключатель $SA3$ в положение «∞»;
- ручкой трехфазного автотрансформатора увеличить напряжение на обмотках асинхронного двигателя до достижения линейного напряжения 380В ($U_{\phi} = 220$ В по показаниям модуля измерителя мощности);
- нажать кнопку «Вкл» модуля автотрансформаторов для подачи питания на обмотку возбуждения $LM2$ генератора;
- установить такой ток в обмотке независимого возбуждения, при котором напряжение генератора при отсутствии нагрузки будет равно 140 В. Зафиксировать первую точку характеристики;
- последовательно увеличивать нагрузку генератора, уменьшая добавочное сопротивление $RP1$ в якорной цепи генератора переключателем $SA3$ (переводя переключатель $SA3$ из положения «∞» в положение «5», затем «4», «3», «2»). При этом увеличивается ток якоря генератора. **Внимание! Не увеличивать ток якоря выше 7 А. Не переводить переключатель $SA3$ в положения «1» и «0»!** Одновременно для каждой нагрузки регулировать напряжение на обмотке независимого возбуждения так, чтобы напряжение генератора оставалось неизменным. Результаты измерений сохранить в таблице, аналогичной таблице 4.2, фиксируя значения скорости, тока возбуждения, тока и напряжения в цепи якоря;

– после проведения опыта отключить нагрузку генератора, установив переключатель SA3 силового модуля в положение «∞», уменьшить до нуля напряжения на обмотках приводного двигателя и на обмотке возбуждения, повернув ручки автотрансформаторов в крайнее положение против часовой стрелки. Последовательно отключить модуль автотрансформаторов (кнопка SB2 «Откл»), модуль питания (кнопка SB2 «Откл») и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

На основании экспериментальных данных следует построить регулировочную характеристику генератора независимого возбуждения.

Внешняя характеристика

Внешняя характеристика генератора постоянного тока независимого возбуждения представляет собой зависимость выходного напряжения генератора от тока нагрузки $U = f(I_a)$ при постоянном значении тока возбуждения и постоянной частоте вращения. Одновременно снимается зависимость КПД генератора от тока нагрузки $\eta = f(I_a)$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда и нажатием кнопки SB1 модуля питания подать напряжение на элементы стенда;

– включить кнопку «Сеть» силового модуля;

– отключить нагрузку генератора RP1, установив переключатель SA3 в положение «∞»;

– ручкой трехфазного автотрансформатора увеличить напряжение на обмотках асинхронного двигателя до достижения линейного напряжения 380В ($U_\phi = 220$ В по показаниями модуля измерителя мощности);

– нажать кнопку «Вкл» модуля автотрансформаторов для подачи питания на обмотку возбуждения LM2 генератора;

– установить номинальный ток возбуждения ручкой однофазного автотрансформатора;

– последовательно увеличивать нагрузку генератора, уменьшая добавочное сопротивление RP1 в якорной цепи генератора переключателем SA3 (переводя переключатель SA3 из положения «∞» в положение «5», затем «4», «3», «2»). При этом увеличивается ток якоря генератора. **Внимание! Не увеличивать ток якоря свыше 7 А. Не переводить переключатель SA3 в положения «1» и «0»!** Результаты измерений сохранить в таблице, аналогичной таблице 4.2;

– после проведения опыта отключить нагрузку генератора, установив переключатель SA3 силового модуля в положение «∞», уменьшить до нуля напряжения на обмотках приводного двигателя и на обмотке возбуждения, повернув ручки автотрансформаторов в крайнее

положение против часовой стрелки. Последовательно отключить модуль автотрансформаторов (кнопка *SB2* «Откл»), модуль питания (кнопка *SB2* «Откл») и автоматический выключатель *QF1* модуля питания стенда.

При обработке экспериментальных данных следует по полученным значениям рассчитать потери в генераторе и приводном двигателе, найти мощность на валу приводного двигателя и мощность генератора и рассчитать КПД генератора постоянного тока.

На основании экспериментальных и расчетных данных следует построить внешнюю характеристику генератора независимого возбуждения и график зависимости КПД генератора от нагрузки (от тока якоря).

Внешняя характеристика ГПТ параллельного возбуждения

Для снятия характеристик генератора постоянного тока параллельного возбуждения следует на отключенном стенде собрать схему, показанную на рис. 4.3.

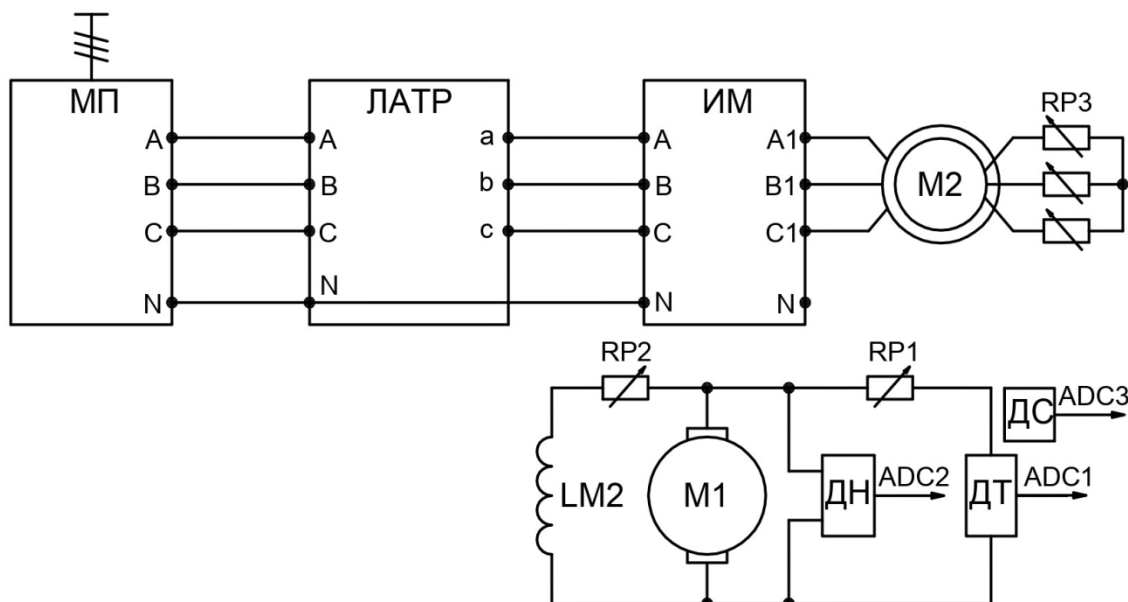


Рис. 4.3. Схема для исследования генератора постоянного тока параллельного возбуждения

МП – модуль питания, ЛАТР – модуль трансформаторов, ИМ – модуль измерителя мощности, ДН – датчик напряжения, ДТ – датчик тока, ДС – датчик скорости

Приводной асинхронный электродвигатель *M2* получает электропитание от трехфазного автотрансформатора модуля автотрансформаторов (ЛАТР) через модуль измерителя мощности ИМ. Трёхфазный автотрансформатор подключается к трехфазному напряжению от модуля питания МП (клеммы *A, B, C*).

Обмотка независимого возбуждения $LM2$ генератора постоянного тока подключается параллельно якорной цепи генератора.

Якорная цепь генератора постоянного тока подключается на регулируемое активное сопротивление нагрузки $RP1$ силового модуля путем установки переключки между клеммами $A1$ и $XS4$ или через амперметр.

Для измерения токов и напряжений в якорной цепи используются датчики тока ДТ и напряжения ДН силового модуля. Выходы датчиков тока и напряжения соединяются с входами $ADC1$ и $ADC2$ блока ввода/вывода для передачи сигнала. Выход датчика скорости ДС подключается к входу $ADC3$ блока ввода/вывода. Также ток якоря, напряжение на якоре, ток возбуждения и скорость электромашинного агрегата можно наблюдать на индикаторах силового модуля.

Внешняя характеристика генератора постоянного тока параллельного возбуждения представляет собой зависимость выходного напряжения генератора от тока нагрузки $U = f(I_a)$ при постоянном значении сопротивления в цепи возбуждения и постоянной частоте вращения. Одновременно снимается зависимость КПД генератора от тока нагрузки $\eta = f(I_a)$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажатием кнопки $SB1$ модуля питания подать напряжение на элементы стенда;

- включить кнопку «Сеть» силового модуля;

- отключить нагрузку генератора $RP1$, установив переключатель $SA3$ в положение « ∞ »;

- ручкой трехфазного автотрансформатора увеличить напряжение на обмотках асинхронного двигателя до достижения линейного напряжения 380В ($U_{\phi} = 220$ В по показаниям модуля измерителя мощности);

- установить номинальный ток возбуждения, выведя добавочное сопротивление $RP2$ в цепи параллельной обмотки возбуждения (переключатель $SA4$ перевести в положение «0»);

- последовательно увеличивать нагрузку генератора, уменьшая добавочное сопротивление $RP1$ в якорной цепи генератора переключателем $SA3$ (переводя переключатель $SA3$ из положения « ∞ » в положение «5», затем «4», «3», «2»). При этом увеличивается ток якоря генератора. **Внимание! Не увеличивать ток якоря свыше 7 А. Не переводить переключатель $SA3$ в положения «1» и «0»!** При проведении опыта поддерживать постоянное значение частоты вращения генератора. При снятии внешней характеристики фиксировать величины тока возбуждения I_B и тока якоря I_a , напряжение якоря U , а также частоту вращения n , ток статора I_C и напряжение статора U_C приводного

Обмотка параллельного возбуждения $LM2$ генератора постоянного тока подключается параллельно якорной цепи генератора.

Обмотка последовательного возбуждения $LM1$ генератора постоянного тока включается последовательно в цепь якоря генератора.

Якорная цепь генератора постоянного тока подключается на регулируемое активное сопротивление нагрузки $RP1$ силового модуля.

Для измерения токов и напряжений в якорной цепи используются датчики тока ДТ и напряжения ДН силового модуля. Выходы датчиков тока и напряжения соединяются с входами $ADC1$ и $ADC2$ блока ввода/вывода для передачи сигнала. Выход датчика скорости ДС подключается к входу $ADC3$ блока ввода/вывода. Также ток якоря, напряжение на якоре, ток возбуждения и скорость электромашинного агрегата можно наблюдать на индикаторах силового модуля.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажатием кнопки $SB1$ модуля питания подать напряжение на элементы стенда;

- включить кнопку «Сеть» силового модуля;

- отключить нагрузку генератора $RP1$, установив переключатель $SA3$ в положение «∞»;

- перевести переключатель $SA4$ в положение «0»;

- ручкой трехфазного автотрансформатора увеличить напряжение на обмотках асинхронного двигателя до достижения линейного напряжения 380В ($U_{\phi} = 220$ В по показаниям модуля измерителя мощности);

- последовательно увеличивать нагрузку генератора, уменьшая добавочное сопротивление $RP1$ в якорной цепи генератора переключателем $SA3$ (переводя переключатель $SA3$ из положения «∞» в положение «5», затем «4», «3» и т.д.). При этом увеличивается ток якоря генератора. **Внимание! Не увеличивать ток якоря свыше 7 А. Не переводить переключатель $SA3$ в положение «0» (не закорачивать обмотку якоря)!** При проведении опыта поддерживать постоянное значение частоты вращения генератора. При снятии внешней характеристики фиксировать величины тока возбуждения I_B и тока якоря I_a , напряжение якоря U , а также частоту вращения n , ток статора I_C и напряжение статора U_C приводного асинхронного двигателя и мощность P_C , потребляемую статором приводного двигателя. Результаты измерений сохранить в таблице, аналогичной таблице 4.2;

- после проведения опыта отключить нагрузку генератора, установив переключатель $SA3$ силового модуля в положение «∞», уменьшить до нуля напряжение на обмотках приводного двигателя, повернув ручку трехфазного автотрансформатора в крайнее положение против часовой стрелки. Затем выключить кнопку «Сеть» силового

модуля, отключить модуль питания (кнопка *SB2* «Откл») и автоматический выключатель *QF1* модуля питания стенда.

Отключив стенд, следует изменить полярность подключения последовательной обмотки возбуждения *LM1* и повторить опыт снятия внешней характеристики, сохраняя результаты измерений в таблице, аналогичной таблице 4.2.

Контрольные вопросы

Основные вопросы для защиты

1. Опишите конструкцию генератора постоянного тока.
2. Объясните устройство и назначение главных и добавочных полюсов в машине постоянного тока.
3. Объясните устройство и назначение коллектора в генераторе постоянного тока.
4. Объясните принцип работы генератора постоянного тока.
5. Опишите процесс самовозбуждения генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
6. Как снимается характеристика холостого хода генератора? Объясните форму кривой этой характеристики.
7. Как снимается нагрузочная характеристика генератора? Объясните форму кривой этой характеристики и ее расположение относительно характеристики холостого хода.
8. Что такое характеристический треугольник генератора постоянного тока? Покажите его на полученных характеристиках. Объясните физический смысл его сторон.
9. Как снимается внешняя характеристика генератора независимого возбуждения, параллельного возбуждения? Объясните ход кривых и их взаимное расположение.
10. Как снимается регулировочная характеристика генератора независимого возбуждения? Как снимается регулировочная характеристика генератора параллельного возбуждения? Объясните ход кривых и их взаимное расположение.
11. В чем проявляется влияние поперечной реакции якоря на поток возбуждения машины постоянного тока.
12. 12. Чем отличаются внешние и регулировочные характеристики генераторов постоянного тока смешанного согласного и смешанного встречного возбуждения?

Дополнительные вопросы для защиты

1. Запишите уравнение напряжения генератора постоянного тока.
2. Как классифицируются генераторы по способу возбуждения?
3. Что такое характеристика холостого хода?

4. Что такое внешняя характеристика?
5. Что такое регулировочная характеристика?
6. Назовите условия самовозбуждения генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
7. Чем определяется величина ЭДС генератора постоянного тока?
8. Как определить коэффициент насыщения генератора постоянного тока по характеристике холостого хода?
9. Как определить процентное изменение напряжения генератора?
10. Что произойдет, если поменять полярность включения обмотки возбуждения генератора постоянного тока?
11. Чем отличаются генераторы постоянного тока смешанного согласного и смешанного встречного возбуждения?

Литература

1. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2013. (Глава 21)
2. Копылов И. П. Электрические машины. Учебник для вузов. 5-е изд., стер., – М.: Высшая школа, 2006. (§ 5.9)
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Том 2. – М.: Издательство МЭИ, 2017. (§ 64.11)

Лабораторная работа № 9 ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Целью работы является экспериментальное исследование характеристик электродвигателей постоянного тока параллельного возбуждения и последовательного возбуждения.

Программа работы

1. Экспериментальные исследования

1. Ознакомиться с паспортными данными исследуемого генератора, внести данные в протокол.

2. Для двигателя параллельного возбуждения:

2.1. Снять рабочие характеристики n , I_a , I_B , $P_{я}$, M , $\eta = f(P_{мех})$ при номинальных значениях напряжения питания и сопротивлений в цепях возбуждения и якоря.

2.2. Снять рабочие характеристики n , I_a , I_B , $P_{я}$, M , $\eta = f(P_{мех})$ при пониженном напряжении питания и номинальных сопротивлениях в цепях возбуждения и якоря.

2.2. Снять рабочие характеристики n , I_a , I_B , $P_{я}$, M , $\eta = f(P_{мех})$ при номинальном напряжении питания и добавочном сопротивлении в цепи обмотки возбуждения.

2.3 Снять рабочие характеристики n , I_a , I_B , $P_{я}$, M , $\eta = f(P_{мех})$ при номинальном напряжении питания и добавочном сопротивлении в цепи обмотки якоря.

3. Для двигателя последовательного возбуждения:

3.1. Снять рабочие характеристики n , I_a , $P_{я}$, $\eta = f(P_{мех})$ при номинальном напряжении питания.

3.2. Снять рабочие характеристики n , I_a , $P_{я}$, $\eta = f(P_{мех})$ при пониженном напряжении питания.

2. Обработка результатов эксперимента

1. Для двигателя параллельного возбуждения:

1.1. Построить рабочие: n , I_a , I_B , $P_{я}$, M , $\eta = f(P_{мех})$, механическую $n = f(M_{мех})$ и электромеханическую $n = f(I_a)$ характеристики двигателя.

1.2. Для опытов 2.1-2.3 построить на одном графике (в одних координатных плоскостях) рабочие характеристики: n , I_a , I_B , $P_{я}$, M , $\eta = f(P_{мех})$, механические $n = f(M_{мех})$ и электромеханические $n = f(I_a)$ характеристики двигателя.

2. Для двигателя последовательного возбуждения:

2.1. Для опытов 3.1-3.2 построить на одном графике (в одних координатных плоскостях) рабочие характеристики: n , I_a , $P_{я}$, $\eta = f(P_{мех})$,

механические $n = f(M_{\text{мех}})$ и электромеханические $n = f(I_a)$ характеристики двигателя.

Пояснения и указания к работе

Перед проведением работы необходимо привести модули в исходное состояние. Для этого при выключенном автоматическом выключателе *QF1* модуля питания стенда:

- установить ручки автотрансформаторов в нулевое положение, повернув их до конца против часовой стрелки;
- установить переключатель *SA2* силового модуля в положение «Руч»;
- вывести дополнительные сопротивления из цепи якоря, перевести переключатель *SA3* в положение «0»;
- вывести добавочное сопротивление из цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока, установив переключатель *SA4* силового модуля в положение «0».

1. Двигатель параллельного возбуждения

В работе исследуется двигатель постоянного тока *M1*. Его паспортные данные приведены во введении. Для проведения данной работы на персональном компьютере должно быть запущено программное обеспечение *DeltaProfi* и выбрана соответствующая лабораторная работа.

Для исследования характеристик электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения используется схема соединения, приведенная на рис. 9.1.

Якорь электродвигателя постоянного тока *M1* получает питание от регулируемого источника постоянного напряжения однофазного автотрансформатора ЛАТР. Обмотка параллельного возбуждения *LM2* двигателя постоянного тока вместе с последовательно включенным добавочным сопротивлением *RP2* подключается параллельно якорю двигателя (клеммы *XS2*, *XS4* силового модуля). Последовательно с якорем включается регулируемое активное сопротивление *RP1*.

В качестве нагрузочной машины используется асинхронный двигатель *M2*, который получает питание постоянного тока от диодного моста, подключенного к выходу трехфазного автотрансформатора ЛАТР. Вход трехфазного автотрансформатора подключается к источнику трехфазного напряжения модуля питания МП.

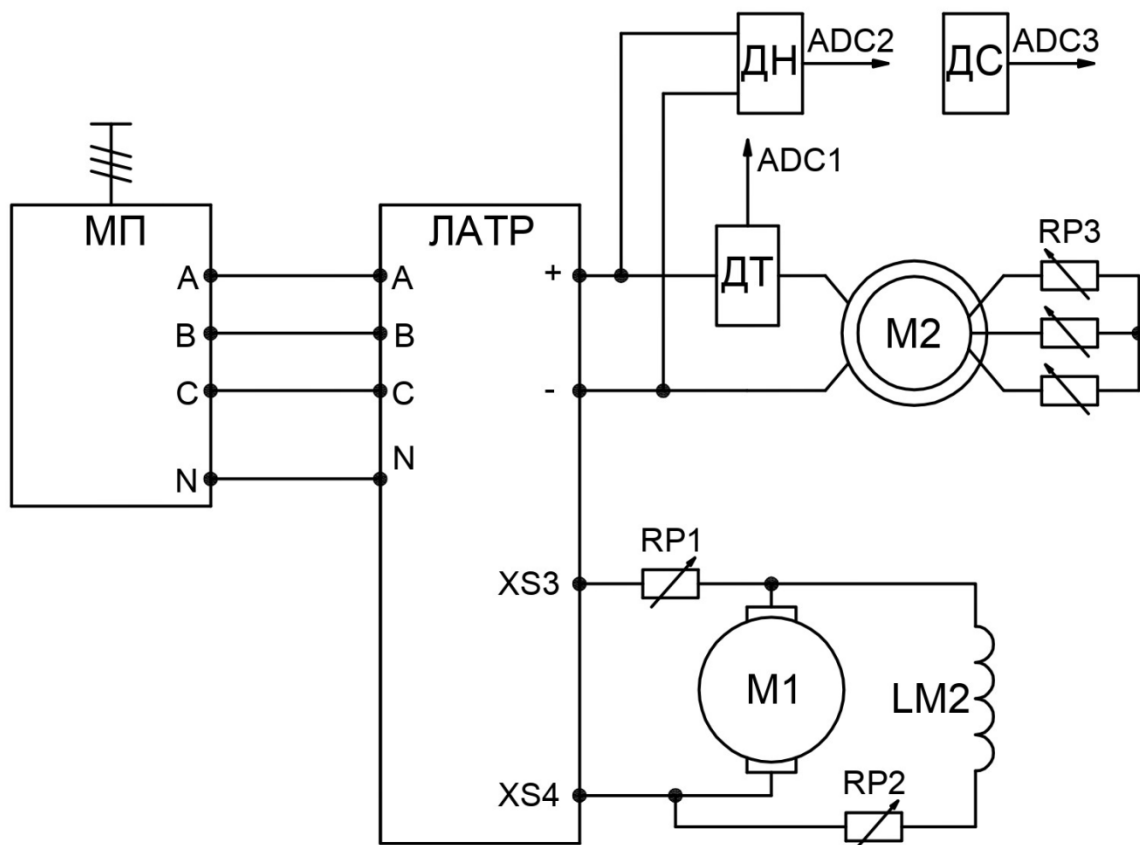


Рис. 9.1. Схема для исследования двигателя постоянного тока параллельного возбуждения
 МП – модуль питания, ЛАТР – модуль трансформаторов, ДН – датчик напряжения, ДТ – датчик тока, ДС – датчик скорости

Для измерения токов и напряжений в якорной цепи используются датчики тока ДТ и напряжения ДН силового модуля. Выходы датчиков тока и напряжения соединяются с входами *ADC1* и *ADC2* блока ввода/вывода для передачи сигнала. Выход датчика скорости ДС подключается к входу *ADC3* блока ввода/вывода. Также ток якоря, напряжение на якоре, ток возбуждения и скорость электромашинного агрегата можно наблюдать на индикаторах силового модуля.

Рабочие характеристики двигателя параллельного возбуждения

1.1. Рабочие характеристики представляют собой зависимость мощности, подводимой к двигателю, токов обмоток, частоты вращения и КПД двигателя от мощности на валу электродвигателя при постоянном напряжении питания.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажатием кнопки $SB1$ модуля питания подать напряжение на элементы стенда;

– включить кнопку «Сеть» силового модуля;

– включить кнопку $SB1$ («Вкл») однофазного автотрансформатора;

– ручкой однофазного автотрансформатора установить номинальное напряжение на якоре двигателя постоянного тока 220 В;

– последовательно увеличивать нагрузку двигателя постоянного тока, плавно поворачивая ручку трехфазного автотрансформатора, фиксируя при этом величины токов якоря I_a и обмотки возбуждения I_B , напряжения якоря U , частоты вращения n . **Внимание! Ток статора АМ не должен превышать значения 3 А, а ток якоря рекомендуется поддерживать на уровне менее 5 А.** Результаты измерений сохранить в таблице 9.1.

– после проведения опыта уменьшить до нуля напряжения питания, повернув ручки автотрансформаторов в крайнее положение против часовой стрелки. Затем выключить кнопку «Сеть» силового модуля, отключить автотрансформатор (кнопка $SB2$ «Откл»), отключить модуль питания (кнопка $SB2$ «Откл») и автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда.

Таблица 9.1.

<i>Опытные данные</i>					
U , В					
I_B , А					
I_a , А					
n , об/мин					
<i>Расчетные данные</i>					
$P_{я}$, Вт					
$\Delta P_{я}$, Вт					
ΔP_B , Вт					
$M_{эм}$, Н·м					
$P_{мех}$, Вт					
$M_{мех}$, Н·м					
η					

В табл. 9.1 приняты следующие обозначения измеряемых величин:

U – напряжение на якоре ДПТ, В;

I_B – ток возбуждения ДПТ, А;

I_a – ток якоря ДПТ, А;

n – частота вращения, об/мин.

1.2. Повторить опыт и снять характеристики при напряжении питания 200 В. Результаты занести в таблицу 9.1.

1.3. Повторить опыт, установив значение напряжения 220 В и введя дополнительное сопротивление в цепь якоря (перевести переключатель SA3 в положение «1»). Результаты занести в таблицу 9.1.

1.4. Повторить опыт, установив значение напряжения 220 В и введя дополнительное сопротивление в цепь обмотки возбуждения (перевести переключатель SA4 в положение «1»), переключатель SA3 вернуть в положение «0». Результаты занести в таблицу 9.1.

При обработке экспериментальных данных следует по полученным значениям рассчитать потребляемую мощность, потери в обмотках двигателя, найти мощность на валу и рассчитать КПД двигателя постоянного тока. Расчетные значения сохранить в таблице 9.1.

Мощность, подводимая к якорю двигателя постоянного тока

$$P_{\text{я}} = UI_a.$$

Электрические потери в цепи обмотки якоря двигателя

$$\Delta P_{\text{я}} = I_a^2 R_a,$$

где R_a – сопротивление обмотки якоря двигателя (таблица В.2).

Электрические потери в цепи обмотки возбуждения двигателя

$$\Delta P_{\text{в}} = I_{\text{в}}^2 R_{\text{в}},$$

где $R_{\text{в}}$ – сопротивление параллельной обмотки возбуждения двигателя (таблица В.2).

Электромагнитный момент находят как

$$M = c_M \Phi I_a,$$

где величину $[c_M \Phi]$ вычисляют по паспортным данным двигателя или находят по тарировочным кривым $[c_M \Phi] = f(I_{\text{в}})$ (см. введение).

Момент холостого хода двигателя, пропорциональный механическим потерям и потерям в стали, находят как

$$M_0 = c_M \Phi I_{a0},$$

где ток I_{a0} находят для соответствующего значения угловой скорости $\omega = \frac{2\pi}{60} n$ по эмпирической кривой $I_{a0} = f(\omega)$ (см. введение).

Механическая мощность на валу двигателя

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{я}} - \Delta P_{\text{я}} - M_0 \omega.$$

Момент на валу двигателя

$$M_{\text{мех}} = \frac{P_{\text{мех}}}{\omega}$$

Коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока параллельного возбуждения может быть найден как отношение отдаваемой механической мощности на валу двигателя и потребляемой электрической мощности

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{в}}}$$

На основании экспериментальных и расчетных данных опытов 1.1-1.4 следует построить на одном графике (в одних координатных плоскостях) рабочие характеристики: n , I_a , I_B , $P_{\text{я}}$, M , $\eta = f(P_{\text{мех}})$ и механическую $n = f(M_{\text{мех}})$ и электромеханическую $n = f(I_a)$ характеристики.

2. Двигатель последовательного возбуждения

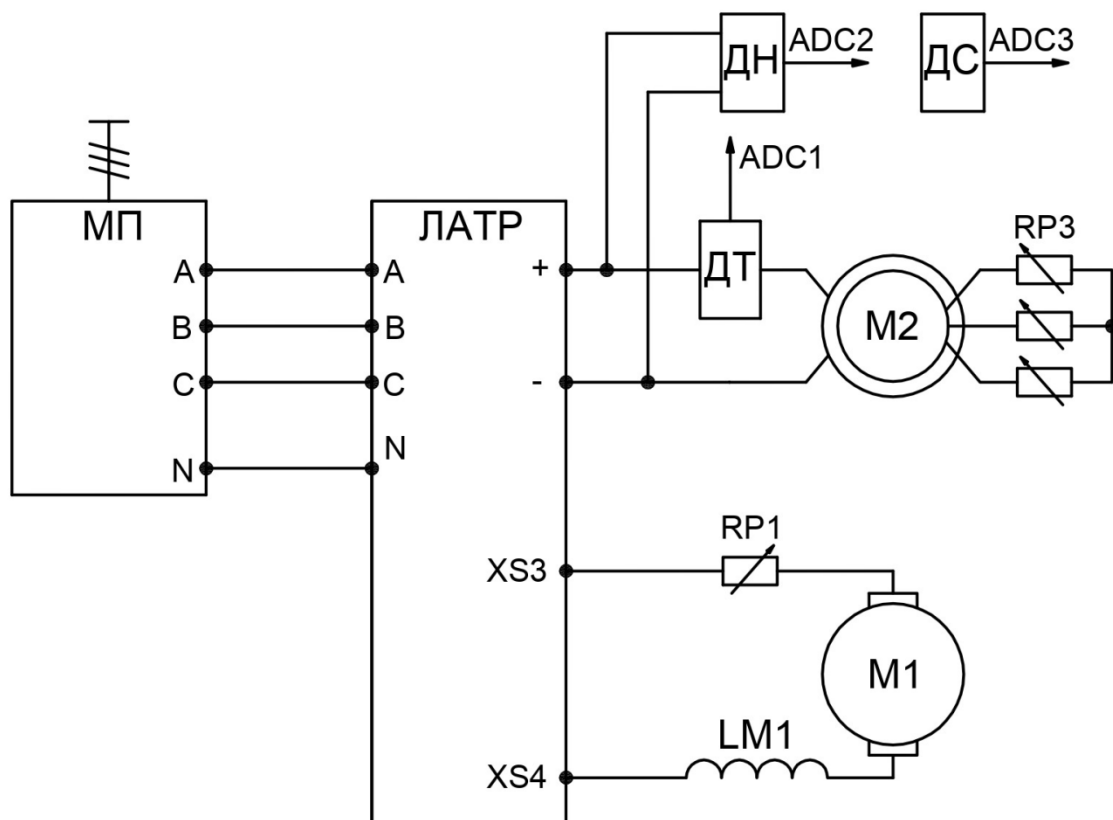


Рис. 9.2. Схема для исследования двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
 МП – модуль питания, ЛАТР – модуль трансформаторов, ДН – датчик напряжения, ДТ – датчик тока, ДС – датчик скорости

В работе используется тот же двигатель постоянного тока $M1$. Для исследования двигателя постоянного тока последовательного возбуждения в программе *DeltaProfi* должна быть выбрана соответствующая лабораторная работа.

Схема для снятия характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения приведена на рис. 9.2.

Якорь электродвигателя постоянного тока $M1$ получает питание от регулируемого источника постоянного напряжения однофазного автотрансформатора ЛАТР. Обмотка последовательного возбуждения $LM1$ подключается последовательно в цепь якоря двигателя постоянного тока. Последовательно с якорем также включается регулируемое активное сопротивление $RP1$.

Рабочие характеристики двигателя последовательного возбуждения

2.1. Рабочие характеристики представляют собой зависимость мощности, подводимой к двигателю, тока якоря, частоты вращения и КПД двигателя от мощности на валу электродвигателя при постоянном напряжении питания.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажатием кнопки $SB1$ модуля питания подать напряжение на элементы стенда;

- включить кнопку «Сеть» силового модуля;

- ручкой трехфазного автотрансформатора установить такое напряжение питания асинхронной машины, при котором ток статора будет равен 0,05-0,1 А;

- ручкой однофазного автотрансформатора установить напряжение на якоре на уровне 50 В – при этом двигатель постоянного тока приводится во вращение. При проведении опыта следить за скоростью вращения двигателя – она не должна превысить значения 1500 об/мин;

- последовательно увеличивать нагрузку двигателя постоянного тока, поворачивая ручку трехфазного автотрансформатора, фиксируя при этом величины тока якоря I_a , напряжения якоря U , частоты вращения n . **Внимание! Ток статора I_M не должен превышать значения 3 А, а ток якоря не должен превышать 5 А.** Результаты измерений сохранить в таблице 9.2;

- после проведения опыта уменьшить до нуля напряжения питания, повернув ручки автотрансформаторов в крайнее положение против часовой стрелки. Затем выключить кнопку «Сеть» силового модуля, отключить автотрансформатор (кнопка $SB2$ «Откл»), отключить модуль

питания (кнопка SB2 «Откл») и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

Таблица 9.2.

<i>Опытные данные</i>					
U , В					
I_a , А					
n , об/мин					
<i>Расчетные данные</i>					
$P_{я}$, Вт					
$\Delta P_{я}$, Вт					
$\Delta P_{вс}$, Вт					
$P_{мех}$, Вт					
$M_{мех}$, Н·м					
η					

В табл. 9.2 приняты следующие обозначения измеряемых величин:

U – напряжение на якоре ДПТ, В;

I_a – ток якоря ДПТ, А;

n – частота вращения, об/мин.

2.2. Повторить опыт, выставив напряжение питания двигателя 40 В.

При обработке экспериментальных данных следует по полученным значениям рассчитать потребляемую мощность, потери в обмотках двигателя, найти мощность на валу и рассчитать КПД двигателя постоянного тока. Расчетные значения сохранить в таблице 9.2.

Мощность, подводимая к якору двигателя постоянного тока

$$P_{я} = UI_a.$$

Электрические потери в цепи обмотки якоря двигателя

$$\Delta P_{я} = I_a^2 R_a,$$

где R_a – сопротивление обмотки якоря двигателя (таблица В.2).

Электрические потери в цепи последовательной обмотки возбуждения двигателя

$$\Delta P_{вс} = I_a^2 (R_{вс} + R_{рп1}),$$

где $R_{вс}$ – сопротивление последовательной обмотки возбуждения двигателя (таблица В.2).

Момент холостого хода двигателя, пропорциональный механическим потерям и потерям в стали, находят как

$$M_0 = c_M \Phi I_{a0},$$

где ток I_{a0} находят для соответствующего значения угловой скорости $\omega = \frac{2\pi}{60}n$ по эмпирической кривой $I_{a0} = f(\omega)$ (см. введение).

Механическая мощность на валу двигателя

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{я}} - \Delta P_{\text{я}} - M_0 \omega.$$

Момент на валу двигателя

$$M_{\text{мех}} = \frac{P_{\text{мех}}}{\omega}.$$

Коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока может быть найден как отношение отдаваемой механической мощности на валу двигателя и потребляемой электрической мощности

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{вс}}}.$$

На основании экспериментальных и расчетных данных для двух экспериментов следует построить на одном графике (в одних координатных плоскостях) рабочие характеристики: n , I_a , $P_{\text{я}}$, $\eta = f(P_{\text{мех}})$, механические $n = f(M_{\text{мех}})$ и электромеханические $n = f(I_a)$ характеристики двигателя.

Контрольные вопросы

Основные вопросы для защиты

1. Объясните принцип работы двигателя постоянного тока.
2. Поясните принцип действия и назначение коллектора в двигателе постоянного тока.
3. Объясните схему соединения и назначение обмоток двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
4. Объясните схему соединения и назначение обмоток двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.
5. Почему у двигателя постоянного тока возрастает ток якоря при увеличении механической нагрузки на валу?
6. Что относится к рабочим характеристикам двигателя постоянного тока? Как снимались рабочие характеристики? Поясните ход кривых.
7. Как снималась механическая характеристика ДПТ? Поясните вид механической характеристики двигателя параллельного возбуждения.
8. Как снималась механическая характеристика ДПТ? Поясните вид механической характеристики двигателя последовательного

возбуждения.

9. Как зависит ток якоря от момента нагрузки на валу в двигателях параллельного и последовательного возбуждения?

10. Как влияет добавочное сопротивление в цепи якоря на жесткость механической характеристики двигателя параллельного возбуждения?

11. Почему при уменьшении тока возбуждения частота вращения электродвигателя возрастает?

12. Перечислите способы регулирования скорости двигателя постоянного тока, оцените их энергетическую эффективность.

13. Что такое реакция якоря в двигателе постоянного тока? Какие виды реакции якоря в ДПТ бывают? В каких случаях?

14. В чем проявляется влияние поперечной реакции якоря на поток возбуждения машины постоянного тока?

15. В каких случаях применяют двигатели независимого, параллельного и последовательного возбуждения?

16. Чем отличаются механические и моментные характеристики двигателей постоянного тока параллельного и последовательного возбуждения?

Дополнительные вопросы для защиты

1. Запишите уравнение напряжения двигателя постоянного тока.

2. Как классифицируются двигатели по способу возбуждения?

3. Каковы правила пуска двигателя параллельного возбуждения?

4. Каковы правила пуска двигателя последовательного возбуждения?

5. Как по паспортным данным двигателя рассчитать его номинальный момент?

6. Как изменить направление вращения двигателя постоянного тока?

7. Что называется механической характеристикой двигателя?

8. Какая характеристика называется естественной механической характеристикой двигателя?

9. Что такое жесткость механической характеристики двигателя?

10. Чем определяется номинальная скорость двигателя постоянного тока?

11. Что произойдет, если поменять полярность включения обмотки возбуждения двигателя постоянного тока?

12. Чем отличаются двигатели постоянного тока параллельного и последовательного возбуждения?

Литература

1. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2013. (Глава 22)
2. Копылов И. П. Электрические машины. Учебник для вузов. 5-е изд., стер., – М.: Высшая школа, 2006. (§ 5.10)
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Том 2. – М.: Издательство МЭИ, 2017. (§ 64.12)