

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лидиевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 06.10.2025 22:12:03
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО
ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет КТБТ и Э

Кафедра Теоретической и общей электротехники

***Учебно-методические указания
к выполнению лабораторных работ №7, №8, №9
по дисциплине «Электротехника» для студентов направления подготовки бакалавров
27.03.04-«Управление в технических системах» (часть 3)***

Махачкала 2021

Учебно-методические указания к выполнению лабораторных работ №7, №8, №9 по дисциплине «Электротехника» для студентов направления подготовки бакалавров 27.03.04 - «Управление в технических системах» (часть 3).-Махачкала: ДГТУ, 2021.-с.21.

Аннотация

Данные методические указания являются учебным руководством к выполнению лабораторных работ с использованием лабораторных стендов. Лабораторная работа №7 посвящена исследованию однофазного трансформатора. Лабораторная работа №8 посвящена исследованию двигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Лабораторная работа №9 посвящена исследованию двигателю постоянного тока независимого возбуждения.

Составители: Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор каф. ТиОЭ, ФГБОУ ВО «ДГТУ»

Евдулов О.В., д.т.н., доцент каф. ТиОЭ, ФГБОУ ВО «ДГТУ»

Евдулов Д.В., к.т.н., ст. преподаватель каф. ТиОЭ, ФГБОУ ВО «ДГТУ»

Рецензенты:

1. Саркаров Т.Э., д.т.н., профессор кафедры ТиОЭ ФГБОУ ВО ДГТУ;
2. Кобзаренко Д.Н., д.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории комплексного освоения возобновляемых источников энергии Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики филиала- ФГБУН ОИВТ РАН.

Печатается согласно постановлению Совета ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» от _____ 2021 г.

Лабораторная работа №7. Исследование однофазного трансформатора

1. Цель работы: снять выходные характеристики, определить коэффициент трансформации, снять характеристики холостого хода и короткого замыкания однофазного трансформатора.

2. Краткие теоретические сведения

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, служащий для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения без изменения частоты.

Трансформаторы получили распространение как устройства, позволяющие передавать электрическую энергию на большие расстояния без существенных энергетических потерь в линиях электропередач. С их помощью также осуществляется объединение источников электрической энергии переменного тока различных уровней напряжений в единую энергетическую систему.

Устройство трансформатора схематично показано на рис.1.

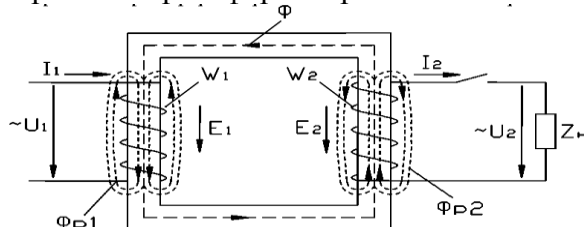


Рис.1. Устройство трансформатора.

На замкнутом сердечнике, собранном из листовой стали, расположены две изолированные обмотки. К одной из них с числом витков W_1 подводится электрическая энергия от источника переменного тока. Эта обмотка носит название первичной. От другой, вторичной обмотки с числом витков W_2 , энергия отводится к нагрузке.

Передача электрической энергии от источника через трансформатор к нагрузке осуществляется посредством переменного магнитного потока Φ , основная часть которого замыкается в стальном сердечнике, другая же часть его, проходя по воздуху, образует магнитные потоки рассеяния ($\Phi_{р1}$, $\Phi_{р2}$).

При включении первичной обмотки в сеть переменного тока в ней возникает переменный ток, который образует переменное магнитное поле. Это поле усиливается сердечником, и передается на вторичную обмотку трансформатора.

Под воздействием переменного магнитного потока в обеих обмотках, согласно принципу электромагнитной индукции возникает переменная ЭДС. При этом ЭДС первичной обмотки называется ЭДС самоиндукции. Она ограничивает величину первичного тока трансформатора, так как направлена против приложенного напряжения. ЭДС вторичной обмотки называется ЭДС взаимоиндукции. Она является источником тока вторичной обмотки (тока нагрузки). Действующие значения ЭДС обмоток определяют формулами:

$$E_1 = 4,44 \cdot W_1 \cdot f \cdot \Phi_m ;$$

$$E_2 = 4,44 \cdot W_2 \cdot f \cdot \Phi_m , \quad (1)$$

где Φ_m -амплитуда магнитного потока; W_1, W_2 - число витков первичной и вторичной обмоток; f - частота переменного тока. Трансформатор может работать только на переменном токе, так как при постоянном токе ($f = 0$) ЭДС в его обмотках не возникает.

Отношение ЭДС первичной и вторичной обмоток называется коэффициентом трансформации. Оно практически равно отношению числа витков первичной и вторичной обмоток:

$$K_{1,2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} . \quad (2)$$

Для повышающих трансформаторов $W_1 < W_2$, для понижающих трансформаторов $W_1 > W_2$.

Преобразование электрической энергии в трансформаторе сопровождается малыми потерями энергии: величина к.п.д. (η) силовых трансформаторов при номинальной нагрузке составляет $\eta = 0,96-0,995$ в зависимости от мощности трансформатора.

Трансформатор был изобретен в 1876 году знаменитым русским электротехником П.Н. Яблочковым. Современные трансформаторы весьма разнообразны в своем исполнении и могут быть однофазными, трехфазными и специальными.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА.

Режим холостого хода

Режим холостого тока – это такой режим, когда первичная обмотка трансформатора подключена к сети, а вторичная обмотка разомкнута, т.е. $I_{20} = 0$.

Уравнения электрического равновесия в исследуемом режиме могут быть записаны:

$$\vec{U}_{10} = (-\vec{E}_1) + \vec{I}_{10} \cdot Z_1 \quad \text{и} \quad \vec{U}_{20} = \vec{E}_2 + \vec{I}_{20} \cdot Z_2, \quad (3)$$

где I_{10} – ток первичной обмотки при холостом ходе, который не превышает 5–10% $I_{1н}$ ($I_{1н}$ – номинальное значение тока первичной обмотки).

Так как I_{10} мал, а $I_{20} = 0$, то можно считать, что $U_1 \approx E_{10}$ и $U_{20} \approx E_2$.

Опыт позволяет определить коэффициент трансформации трансформатора как:

$$K = \frac{U_{10}}{U_{20}} \approx \frac{E_1}{E_2}$$

Важно отметить, что при режиме холостого хода значительно снижается $\cos \varphi$ электрических цепей, а, следовательно, этот режим является недопустимым при эксплуатации трансформаторов.

Помимо определения коэффициента трансформации определяется мощность холостого хода, которая фактически равна магнитным потерям трансформатора, так как ток первичной обмотки очень мал, потерями энергии на нагревание обмотки можно пренебречь. Мощность магнитных потерь пропорциональна U_1^2 , а поскольку в опыте

холостого хода $U_{10} = U_{\text{ном}}$, значит магнитные потери, определяемые в этом опыте, равны номинальным магнитным потерям $P_{\text{маг}}$.

Режим нагрузки трансформатора

Данный режим работы определяется уравнениями электрического равновесия обмоток трансформатора, полученными на основе 1 закона Кирхгофа:

$$\bar{U}_1 = (-\bar{E}_1) + \bar{I}_1 \cdot R_1 + \bar{I}_1 \cdot x_1 \quad \text{для 1-й обмотки; (4)}$$

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_2 - \bar{I}_2 \cdot R_2 + \bar{I}_2 \cdot x_2 \quad \text{для 2-й обмотки, (5)}$$

где R_1, R_2 – активные сопротивления обмоток; x_1, x_2 – реактивные сопротивления обмоток.

Режим короткого замыкания

Опыт короткого замыкания нельзя путать с режимом короткого замыкания, который возникает при номинальном напряжении первичной обмотки. Режим короткого замыкания – аварийный режим работы трансформатора. Опыт же короткого замыкания проводится при очень небольшом напряжении $U_{\text{к.з.}}$, которое подбирается таким образом, чтобы токи первичной и вторичной обмоток соответствовали номинальным токам обмоток (в диапазоне 3 – 10 % от $I_{\text{ном}}$).

Опыт проводится при коротком замыкании вторичной обмотки, которая замыкается на амперметр, имеющий очень низкое сопротивление. Вся мощность, потребляемая трансформатором, практически идет на компенсацию электрических потерь при нагревании обмоток.

$$P_{\text{к.з.}} = P_{\text{эл}} = I_{\text{к.з.}}^2 \cdot R_1 + I_{\text{к.з.}}^2 \cdot R_2. \quad \text{На основании}$$

опытов холостого хода и короткого замыкания определяется КПД трансформатора η : токи первичной и вторичной обмоток соответствовали номинальным токам обмоток (в диапазоне 3 – 10 % от $I_{\text{ном}}$).

На основании опытов холостого хода и короткого замыкания определяется КПД трансформатора η :

где $P_{\text{эл}}, P_{\text{маг}}$ – электрические и магнитные потери, соответственно

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{маг}} + P_{\text{эл}}},$$

3. Порядок выполнения работы:

3.1. Изучить техническое описание.

3.2. Убедиться, что все выключатели, кнопки, автоматические выключатели, дифференциальные автоматы, УЗО модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ» [положение выключателя питания «О»; кнопки – отжатое состояние: автоматического выключателя, дифференциального автомата. УЗО – «OFF»).

3.3. По указанию преподавателя выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить

эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

- 1) Подключить защитное заземление.
- 2) Подключить модули стенда к сети -220В 50Гц.
- 3) Соединить модули стенда согласно схеме соединений.
- 4) Провести эксперимент.
- 5) Отключить модули от сети -220В 50Гц.
- 6) Составить отчет по лабораторной работе.

4. Порядок проведения эксперимента:

В работе используются:

- модули: «Модуль питания стенда», «Автотрансформатор регулируемый», «Трехфазная трансформаторная группа». «Трехфазный измеритель», «Активная нагрузка», «Мультиметры»

Определение коэффициента трансформации

4.1 Ознакомиться с принципиальной электрической схемой на рис.2.

4.2 Собрать схему на рис.4. В приложении приведен пример схемы соединения модулей стенда посредством соединительных проводов и перемычек. Схема, представленная на рис.2. является базовой. В данном эксперименте активная нагрузка не используется.

4.3 Представить схему для проверки преподавателю.

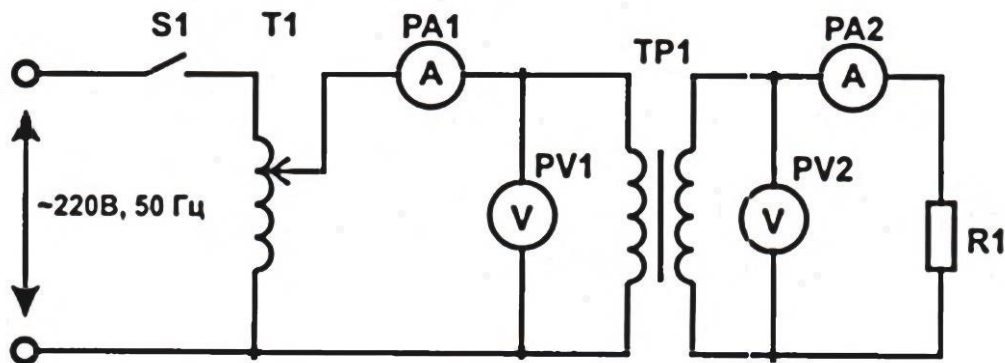


Рис.2. Схема электрическая принципиальная

4.4 Включить автомат дифференциальной защиты и нажать кнопку «ВКЛ.» модуля «Модуль питания стенда».

4.5 Включить питание модулей «Трехфазный измеритель», «Мультиметры», «Трехфазная трансформаторная группа».

4.6 Вращая ручку ЛАТРА модуля «Автотрансформатор регулируемый» устанавливать значение напряжения U_1 в соответствии с табл.1.

4.7 С помощью измерительных приборов снять следующие параметры трансформатора T2: PA1 - ток I_1 холостого хода первичной обмотки трансформатора,

PV1 - напряжение U_1 первичной обмотки трансформатора, PV2 - напряжение U_2 вторичной обмотки. Данные занести в табл.1.

4.8 Выключить питание модулей «Трехфазный измеритель», «Мультиметры», «Трехфазная трансформаторная группа», и нажать кнопку «ВЫКЛ.» модуля «Трехфазный источник питания». Выключить дифференциальный автомат.

Таблица 1

$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$K_{\text{ТР}}$	$P_1, \text{Вт}$
0				
20				
40				
60				
80				
100				
...				
230				

4.9 Вычислить коэффициент трансформации однофазного трансформатора: $K = U_1/U_2$ и активную мощность P_1 , потребляемую первичной обмоткой.

4.10 Данные занести в табл.1. Сделать выводы по работе.

Снятие характеристик холостого хода

4.11 Пользуясь данными таблицы 1, построить зависимость $I_1=f(U_1)$.

4.12 Пользуясь данными таблицы 1, построить зависимость $I_1=f(P_1)$.

4.13 Сделать выводы по работе.

Снятие характеристик короткого замыкания однофазного трансформатора

4.14 Ознакомиться с принципиальной электрической схемой на рис. 5

4.15 Собрать схему на рис.5. По указанию преподавателя, варьируя последовательным и параллельным соединением R_1 , R_2 , добиться необходимого номинала токоограничительного резистора. Установить заданную величину нагрузочного резистора R_3 на модуле «Активная нагрузка».

4.16 Представить схему для проверки преподавателю.

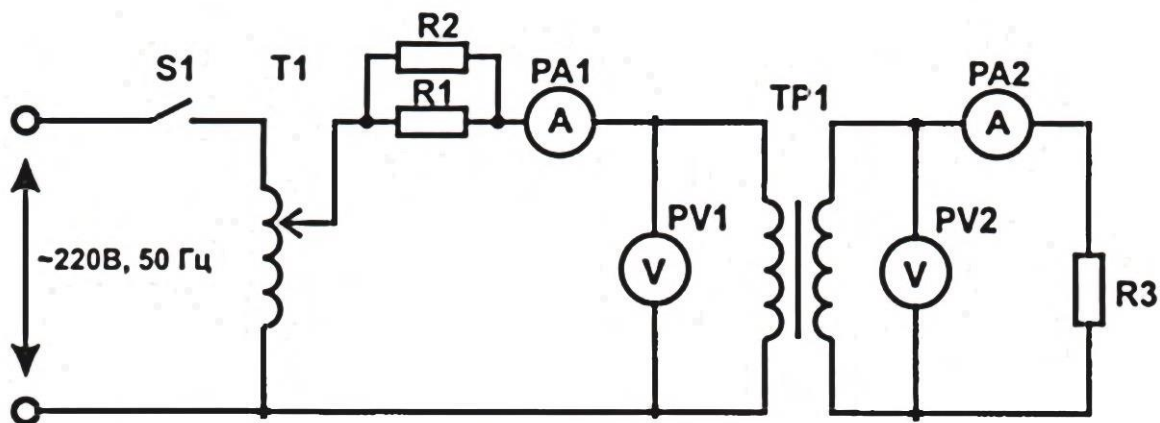


Рис.5 Схема электрическая принципиальная

4.17 Включить дифференциальный автомат и нажать кнопку «ВКЛ.» модуля «Трехфазный источник питания».

4.18 Включить модули: «Трехфазный измеритель», «Мультиметры». «Трехфазная трансформаторная группа».

4.19 С помощью перемычки замкнуть накоротко резистор R_3 при первичном напряжении на Т1, пониженном на столько, чтобы токи в обмотках не превысили их номинальные значения (см тех. описание).

4.20 С помощью измерительных приборов снять следующие параметры ТР1: ток первичной обмотки, напряжение первичной обмотки, напряжение вторичной обмотки, ток вторичной обмотки. Данные занести в табл.2.

Таблица 2.

№	U_1	I_1	P_1	$\cos \varphi$	$U_K, \%$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}; U_K = \frac{U_1}{220D} \cdot 100\%$$

4.21 Выключить модули: «Трехфазный измеритель», «Мультиметры», «Трехфазная трансформаторная группа», и нажать кнопку «ВЫКЛ.» модуля «Трехфазный источник питания». Выключить дифференциальный автомат.

4.22 Построить зависимости: $I_1 = f(U_1)$, $P_1 = f(U_1)$, $\cos \varphi = f(U_1)$. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

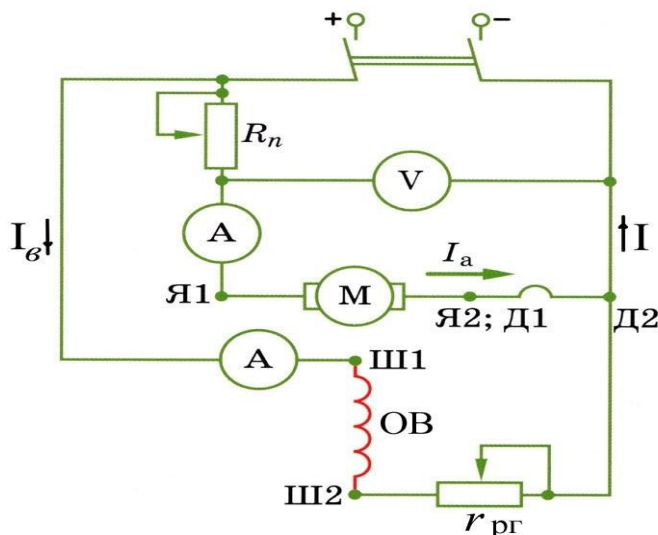
1. Устройство и принцип действия трансформатора.
2. Объяснить по электрической схеме как осуществляется тот или иной режим работы трансформатора.
3. Изменяется ли коэффициент трансформации при изменении первичного напряжения?
4. Почему режим холостого хода недопустим при работе трансформатора?
5. С чем связано падение напряжения трансформатора при нагрузке?
6. Чем отличается опыт короткого замыкания от режима короткого замыкания?

Лабораторная работа №8.

Исследование двигателя постоянного тока последовательного возбуждения ДПТПВ

1.Цель работы: ознакомиться с устройством, принципом действия двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Изучить механические характеристики электродвигателя при различных способах регулирования скорости.

2.Краткие теоретические сведения



В этом двигателе обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря, поэтому магнитный поток Φ зависит от тока нагрузки $I = I_a = I_6$.

При небольших нагрузках магнитная система машины ненасыщена и зависимость магнитного потока от тока нагрузки прямо пропорциональна, т.е. $\Phi = k_\Phi I_a$, где k_Φ – коэффициент пропорциональности. При этом электромагнитный момент:

$$M = C_m k_\Phi I_a^2.$$

Формула частоты вращения принимает вид:

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e k_\Phi I_a}$$

Таким образом, вращающий момент двигателя при ненасыщенной магнитной системе пропорционален квадрату тока, а частота вращения обратно пропорциональна току нагрузки.

Рабочие характеристики

1) Скоростная характеристика $n=f(I)$

При ненасыщенной магнитной системе (при малых нагрузках) с увеличением нагрузки частота вращения резко убывает. Но затем наступает насыщение магнитной системы двигателя и магнитный поток при возрастании нагрузки практически не изменяется и скоростная характеристика приобретает почти прямолинейный характер. Такую характеристику принято называть **мягкой**.

При уменьшении нагрузки двигателя постоянного тока последовательного возбуждения частота вращения резко увеличивается и при нагрузке меньше 25% от номинальной может достигнуть опасных для

двигателя значений («разнос»). Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу меньше 25% от номинальной недопустима.

Для более надежной работы вращающий момент с двигателя на рабочий механизм передают только с помощью зубчатых передач. Применение ременных и цепных передач недопустимо, так как при разрыве гибкой связи может произойти «разнос» двигателя.

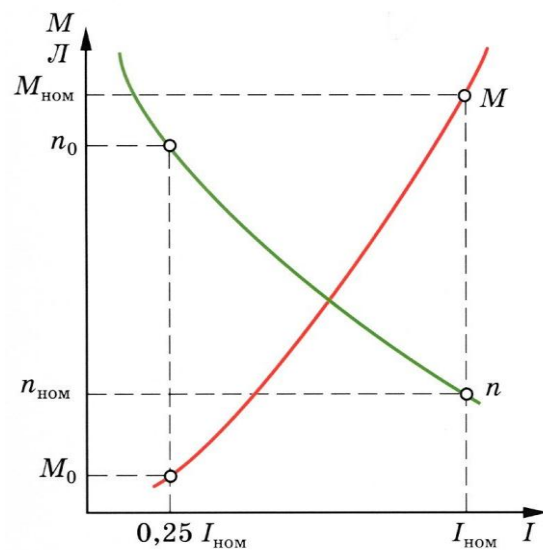
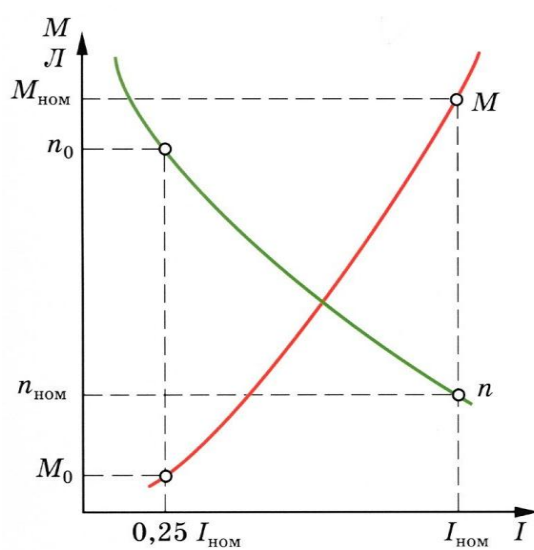
1) Зависимость электромагнитного момента M от тока нагрузки $M=f(I)$

Электромагнитный момент M при увеличении нагрузки резко возрастает, так как он пропорционален квадрату тока нагрузки.

2) Механическая характеристика $n=f(M)$

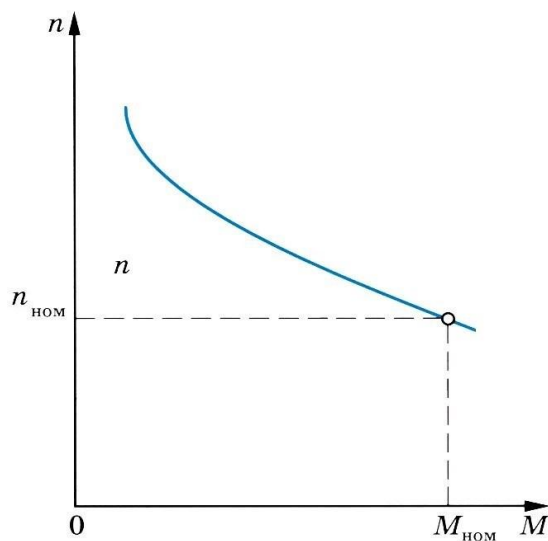
Резко падающая кривая механической характеристики обеспечивает двигателю постоянного тока последовательного возбуждения устойчивую работу при любой нагрузке большей 25% от номинальной.

Графики этих характеристик представлены в таблице:



Скоростная характеристика $n=f(I)$
момента M от тока нагрузки $M=f(I)$

Зависимость электромагнитного



Механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения

Регулирование частоты вращения двигателя последовательного возбуждения.

Это можно делать двумя способами:

изменением напряжения U

изменением величины магнитного потока Φ .

а) Изменение напряжения U подаваемого на двигатель

Для этого в цепь якоря включают регулировочный реостат R_{pg} .

С увеличением сопротивления реостата уменьшается напряжение на входе двигателя и частота его вращения ($\uparrow R_{pg} \Rightarrow \downarrow U \Rightarrow \downarrow n$). Этот метод применяют для двигателей небольшой мощности. В случае значительной мощности этот способ неэкономичен из-за больших потерь мощности в регулировочном реостате.

При **параллельном** включении двух двигателей каждый из них оказывается под полным напряжением сети, а при **последовательном** включении двух двигателей на каждый двигатель приходится половина напряжения сети

При одновременной работе большого числа двигателей возможно большее количество вариантов включения. Этот способ регулирования частоты вращения применяют на электровозах. Изменение подводимого к двигателю напряжения возможно также при питании его от источника постоянного тока с регулируемым напряжением.

б) Изменение основного магнитного потока

Изменять величину магнитного потока можно тремя способами.

1) Шунтирование обмотки возбуждения

Параллельно к обмотке возбуждения подключают реостат r_{pg} . Уменьшение сопротивления этого реостата ведет к снижению тока возбуждения $I_b = I_a - I_{pg}$, а, следовательно, к увеличению частоты вращения ($\downarrow r_{pg} \Rightarrow \uparrow I_{pg} \Rightarrow \downarrow I_b \Rightarrow \downarrow \Phi \Rightarrow \uparrow n$)

Этот способ экономичен и часто применяется, например, для регулирования частоты вращения тяговых двигателей тепловозов.

2) Шунтирование обмотки якоря

При шунтировании обмотки якоря реостатом $r_{ш}$ увеличивается ток возбуждения $I_b = I_a + I_{ш}$, что вызывает уменьшение частоты вращения ($\downarrow r_{ш} \Rightarrow \uparrow I_{ш} \Rightarrow \uparrow I_b \Rightarrow \uparrow \Phi \Rightarrow \downarrow n$).

Этот способ неэкономичен и применяется редко.

3) Секционирование обмотки возбуждения

В этом случае обмотка возбуждения имеет конструкцию, позволяющую включать в работу разное число витков w_b , при этом изменяется МДС обмотки возбуждения ($F_b = w_b \cdot I_b$), следовательно, меняется основной магнитный поток Φ и частота вращения. Например, $\downarrow w_b \Rightarrow \downarrow F_b \Rightarrow \downarrow \Phi \Rightarrow \uparrow n$ и наоборот.

Применение двигателей последовательного возбуждения.

Таким образом, двигатели последовательного возбуждения обладают следующими свойствами:

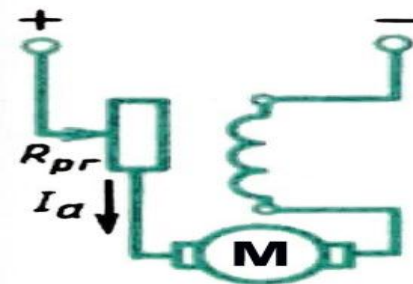
- 1) развивают большой вращающий момент пропорциональный квадрату тока, что важно в тяжелых условиях пуска и при перегрузках;

2) при постепенном увеличении нагрузки мощность на входе двигателя растёт медленнее, чем вращающий момент, так как момент пропорционален квадрату тока, а потребляемая мощность - току в первой степени ($P_1 = U \cdot I$)

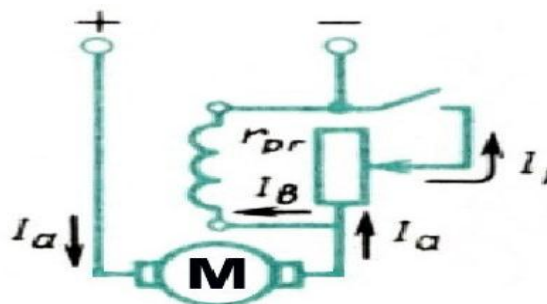
3) двигатели могут устойчиво работать на малых оборотах;

4) устойчиво работают при любой нагрузке большей 25% от номинальной.

Поэтому эти двигатели широко применяют в качестве тяговых на транспорте, в качестве крановых в подъёмных установках, т.е. во всех случаях электропривода с тяжёлыми условиями пуска и сочетания значительных нагрузок на вал двигателя с малой частотой вращения.



Регулирование частоты вращения якоря изменением напряжения, подаваемого на двигатель последовательного возбуждения



Шунтирование обмотки возбуждения двигателя последовательного возбуждения

3.Порядок выполнения работы:

3.1.Изучить техническое описание.

3.2.Убедиться, что все выключатели, кнопки, автоматические выключатели, дифференциальные автоматы, УЗО модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ» (положение выключателя питания «О»: кнопки - отжатое состояние; автоматического выключателя, дифференциального автомата, УЗО - «OFF»).

3.3.По указанию преподавателя, выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

1. Подключить защитное заземление
2. Подключить модули стенда к сети -220В 50Гц.
3. Соединить модули стенда согласно схеме соединений.
4. Провести эксперимент.
5. Отключить модули от сети -220В 50Гц.
6. Составить отчет по лабораторной работе.

4. Порядок проведения эксперимента:

В работе используются:

- модули: «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль»;

- электромашинный агрегат.

4.1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой на рис. 3.1.

4.2. Собрать схему на рис.1..

4.3. Представить схему для проверки преподавателю.

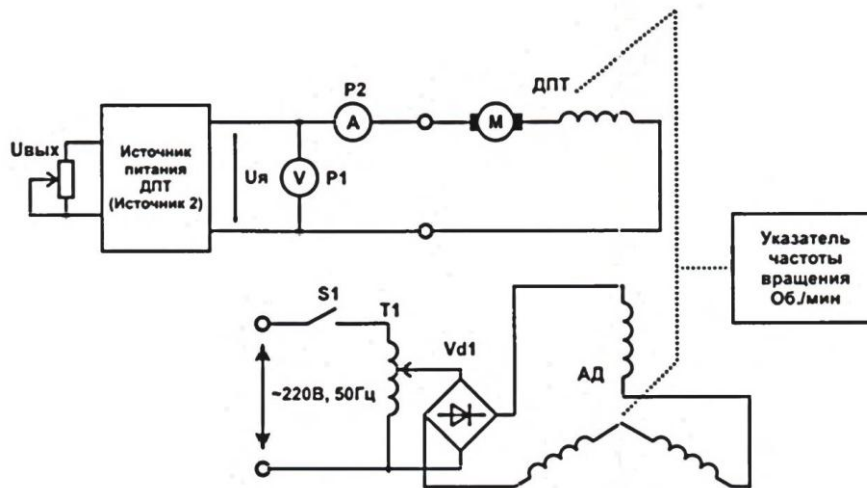


Рис.1 Схема электрическая принципиальная

Характеристика холостого хода

4. Включить питание модулей: «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль»;

5. Вращая ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый», установить нулевое значение напряжения $U_{ЛАТР} = 0$ на автотрансформаторе Т1 (ЛАТР).

6. По указанию преподавателя, путем вращения ручки «Uвых» модуля «Источник питания ДПТ», установить величину напряжения цепи питания двигателя постоянного тока в пределах 0...220В. С амперметра Р2РА2 модуля «Источник питания ДПТ») и вольтметра (мультиметр), считать показания $U_{я}$ и $I_{ОБЩ.}$. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$U_{я}, В$	$I_{общ}, А$	$n, об/мин$

7. Наблюдать за пуском ДПТПВ. На модуле «Модуль силовой» с тахометра считать показания числа оборотов вала двигателя. Данные занести в табл.1.

8. Вращая ручку «Увых» модуля «Источник питания ДПТ», тем самым, регулируя величину напряжения цепи якоря $U_{я}$ в пределах 0...220В, снять характеристику холостого хода двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением $n = f(I_{общ})$. при $U_{латр} = const$. Данные о скорости снимать с тахометра модуля «Модуль силовой». По мультиметрам Р1, Р2 (РА2 модуля «Источник питания ДПТ») считать показания $U_{я}$ и $I_{общ}$. Данные занести в табл.1. Выключить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

9. Построить характеристику холостого хода двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением $n = f(I_{общ})$, при $U_{латр} = const$.

Скоростная характеристика

10. Включить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

11. Вращая ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый», установить минимальное значение напряжения $U_{латр}$ на автотрансформаторе Т1.

12. По указанию преподавателя, установить значение напряжения $U_{я}$ по указанию преподавателя в пределах 0...200В. Для этого вращать ручку «Увых» модуля «Источник питания ДПТ». Данные считывать с мультиметра Р1.

13. Наблюдать за пуском ДПТПВ. На модуле «Модуль силовой» по тахометру считать показания числа оборотов вала двигателя.

14. Снять скоростную характеристику двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением $n = f(I_{общ})$. Для этого, вращая ручку «Автотрансформатора регулируемого» в диапазоне 0...250В, тем самым постепенно увеличивая нагрузку на валу двигателя $U_{латр}$, снимать показания $I_{общ}$ по Р2 (РА2 модуля «Источник питания ДПТ») и число оборотов вала двигателя n . Данные о скорости снимать с тахометра модуля «Модуль силовой». Данные занести в табл.2.

15. Выключить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

16. Построить скоростную характеристику двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением $n = f(I_{общ})$.

Таблица 2.

$U_{я}, В$		
$U_{ЛАТР}, В$	$I_{ОБЩ}, А$	$n, об/мин$

Контрольные вопросы

1. Что такое естественная и искусственная механические характеристики?
2. Чем отличается естественная механическая характеристика от искусственных?
3. Назовите режимы работы двигателя постоянного тока.
4. Назовите способы регулирования угловой скорости вращения двигателя постоянного тока и перечислите их основные достоинства и недостатки для ДПТ с ПВ.
5. Перечислите основные достоинства и недостатки известных Вам способов для ДПТ с ПВ.
6. Проведите сравнение характеристик двигателей с последовательным и независимым возбуждением и укажите область применения ДПТ с НВ и ДПТ с ПВ.

Лабораторная работа №9.

Исследование двигателя постоянного тока независимого возбуждения ДПТНВ

1.Цель работы: ознакомиться с устройством, принципом действия двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Изучить механические характеристики электродвигателя при различных способах регулирования скорости.

2. Краткие теоретические сведения

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) В этом двигателе (рисунок 1) обмотка возбуждения подключена к отдельному источнику питания. В цепь обмотки возбуждения включен регулировочный реостат $r_{рег}$, а в цепь якоря - добавочный (пусковой) реостат $R_{доб}$. Характерная особенность ДПТ НВ - его ток возбуждения I_b не зависит от тока якоря I_a так как питание обмотки возбуждения независимое.

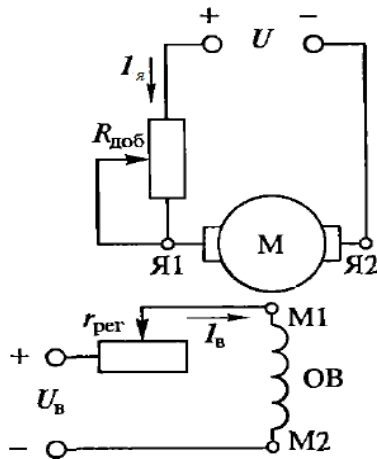


Рис. 1.Схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ)

Механическая характеристика двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ)

Уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения имеет вид

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{M(\sum r + R_{доб})}{c_e c_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n.$$

где: n_0 - частота вращения вала двигателя при холостом ходе.

Δn - изменение частоты вращения двигателя под действием механической нагрузки.

Из этого уравнения следует, что механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) прямолинейны и пересекают ось ординат в точке холостого хода n_0 (рис 2 а), при этом изменение частоты вращения двигателя Δn , обусловленное изменением его механической нагрузки, пропорционально сопротивлению цепи якоря $R_a = \sum R + R_{доб}$. Поэтому при наименьшем сопротивлении цепи якоря $R_a = \sum R$, когда $R_{доб} = 0$, соответствует наименьший перепад частоты вращения Δn . При этом механическая характеристика становится жесткой (график 1).

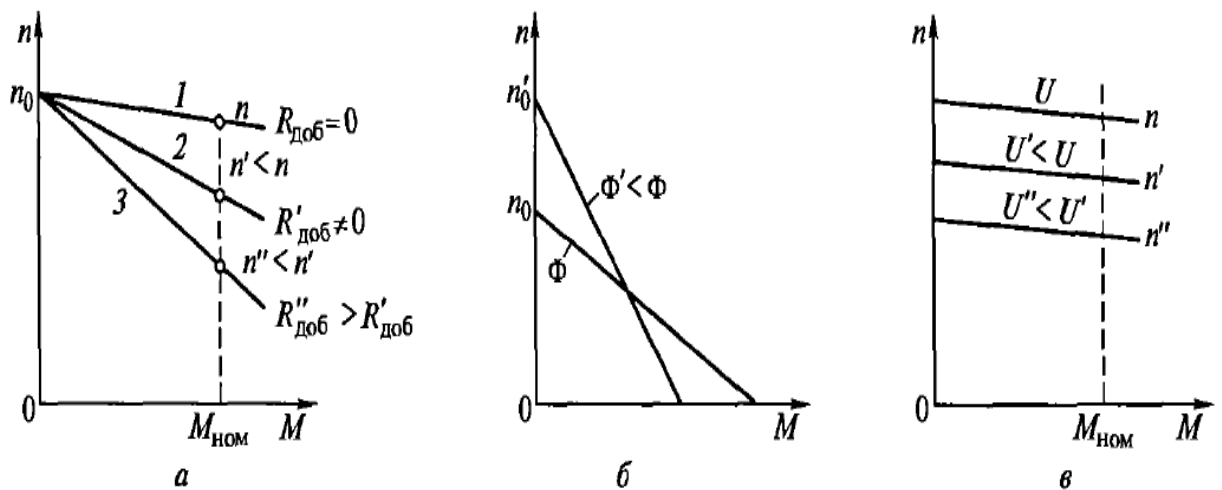


Рис.2. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения: *а* – при изменениях сопротивления резистора $R_{доб}$; *б* – при изменениях основного магнитного потока возбуждения Φ ; *в* – при изменениях напряжения U , подводимого к обмотке якоря

Механические характеристики двигателя, полученные при номинальных значениях напряжения на обмотках якоря и возбуждения и при отсутствии добавочных сопротивлений в цепи якоря, называют **естественными**.

Если же хотя бы один из перечисленных параметров двигателя изменен (напряжение на обмотках якоря или возбуждения отличаются от номинальных значений, или же изменено сопротивление в цепи якоря введением $R_{доб}$), то механические характеристики называют **искусственными**.

Искусственные механические характеристики, полученные введением в цепь якоря добавочного сопротивления $R_{доб}$, называют также **реостатными**.

При оценке регулировочных свойств двигателей постоянного тока наибольшее значение имеют механические характеристики $n = f(M)$. При неизменном моменте нагрузки на валу двигателя с увеличением сопротивления резистора $R_{доб}$ частота вращения уменьшается. Сопротивления резистора $R_{доб}$ для получения искусственной механической характеристики, соответствующей требуемой частоте вращения n при заданной нагрузке (обычно номинальной) для двигателей независимого возбуждения:

$$R_{доб} = \frac{U}{I_{я}} \left(1 - \frac{n}{n_0} \right) - \sum r$$

где U - напряжение питания цепи якоря двигателя, В; $I_{я}$ - ток якоря, соответствующий заданной нагрузке двигателя, А; n - требуемая частота вращения, об/мин; n_0 - частота вращения холостого хода, об/мин.

Частота вращения холостого хода n_0 представляет собой **пограничную частоту** вращения, при превышении которой двигатель переходит в **генераторный режим**. Эта частота вращения превышает номинальную $n_{ном}$ на столько, на сколько номинальное напряжение $U_{ном}$ подводимое к цепи якоря, превышает ЭДС якоря $E_{я ном}$ при номинальной нагрузке двигателя.

$$\frac{n_0}{n_{ном}} = \frac{U_{ном}}{E_{я.ном}}$$

$$n_0 = n_{\text{ном}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{E_{\text{я.ном}}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} \sum r}$$

На форму механических характеристик двигателя влияет величина основного магнитного потока возбуждения Φ . При уменьшении Φ (при возрастании сопротивления резистора $r_{\text{рег}}$) увеличивается частота вращения холостого хода двигателя n_0 и перепад частоты вращения Δn . Это приводит к значительному изменению жесткости механической характеристики двигателя (рис. 2, б). Если же изменять напряжение на обмотке якоря U (при неизменных $R_{\text{доб}}$ и $R_{\text{рег}}$), то меняется n_0 , а Δn остается неизменным. В итоге механические характеристики смещаются вдоль оси ординат, оставаясь параллельными друг другу (рис. 2, в). Это создает наиболее благоприятные условия при регулировании частоты вращения двигателей путем изменения напряжения U , подводимого к цепи якоря. Такой метод регулирования частоты вращения получил наибольшее распространение еще и благодаря разработке и широкому применению регулируемых тиристорных преобразователей напряжения.

3.Порядок выполнения работы:

3.1. Изучить техническое описание.

3.2. Убедиться, что все выключатели, кнопки, автоматические выключатели, дифференциальные автоматы, УЗО модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ» (положение выключателя питания «0»: кнопки - отжатое состояние: автоматического выключателя, дифференциального автомата, УЗО -«OFF»).

3.3. По указанию преподавателя, выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

4. Подключить защитное заземление

5. Подключить модули стенда к сети -220В 50Гц.

6. Соединить модули стенда согласно схеме соединений.

7. Провести эксперимент.

8. Отключить модули от сети -220В 50Гц.

9. Составить отчет по лабораторной работе.

4.Порядок проведения эксперимента:

В работе используются:

- модули: «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль»:

- электромашинный агрегат.

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой на рис.1.

2. Собрать схему на рис.3.1. В приложении приведен пример схемы соединения модулей стенда посредством соединительных проводов и перемычек.

3. Представить схему для проверки преподавателю.

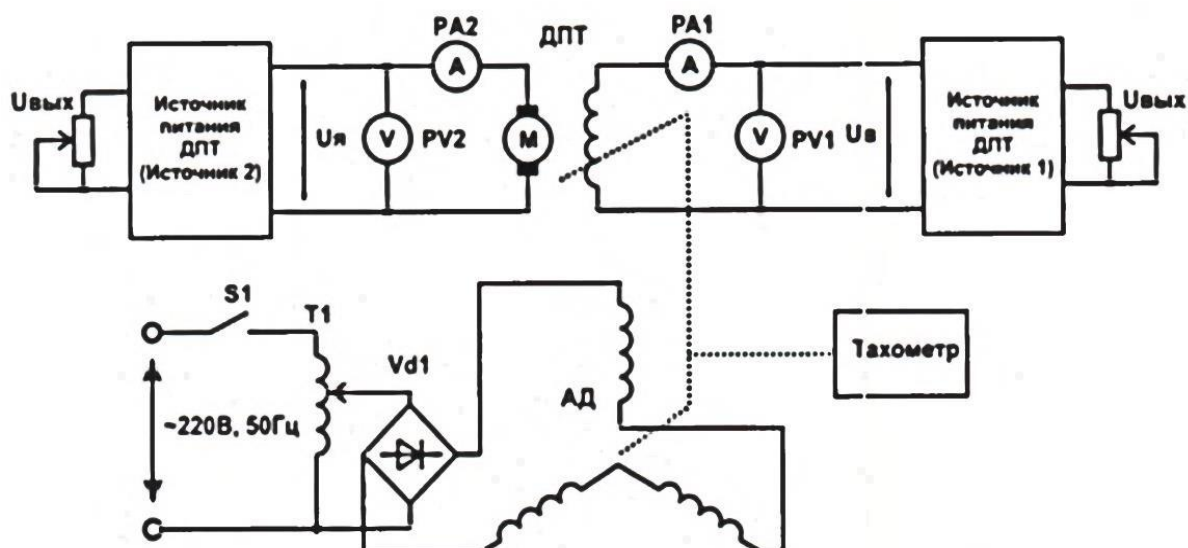


Рис.3. Схема электрическая принципиальная

Характеристика холостого хода

4. Включить переключатель «ВКЛ.» модулей: «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

5. Вращая ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый», установить минимальное значение напряжения $U_{ЛАТР}$ на автотрансформаторе Т1.

6. По указанию преподавателя, путем вращения ручки « $U_{вых}$ » модуля «Источник питания ДПТ» (Источник 2), установить величину напряжения в цепи якоря $U_{я}$, в пределах 0...220В. По измерительным приборам РА2 (модуль

«Источника питания ДПТ»), PV2 (мультиметр) считывать показания $U_{я}$ и $I_{я}$. Данные занести в таблицу.1.

Таблица 1.

$U_{я}, В$		
$I_{я}, А$		
$U_{в}, В$	$I_{в}, А$	$n, об/мин$

7. Регулируя величину напряжения в обмотке возбуждения $U_{в}$ в пределах 0...220В, снять характеристику холостого хода двигателя постоянного тока с независимым возбуждением $n = f(I_{в})$ при $U_{я} = const$. Для этого вращать ручку « $U_{вых}$ » модуля «Источник питания ДПТ» (Источник 1). Данные о скорости снимать с субблока «Тахометр» модуля «Модуль силовой». По амперметру РА1 (модуль «Источника питания ДПТ») и вольтметру PV1 (мультиметр) считать показания $U_{в}$ и $I_{в}$. Данные занести в табл.1.

8. Выключить питание модулей: «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

9. Построить характеристику холостого хода двигателя постоянного тока $n = f(I_B)$, при $U_{\text{я}} = \text{const}$, $I_{\text{я}} = \text{const}$.

Скоростная характеристика

10. Включить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

11. Вращая ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый» установить минимальное значение напряжения $U_{\text{ЛАТР}}$ на ЛАТРе.

12. Установить значение напряжения обмотки якоря двигателя постоянного тока по указанию преподавателя. Для этого вращать ручку «Увых» модуля «Источник питания ДПТ» (Источник 2) от крайнего левого положения. Данные считывать по вольтметру PV2 (мультиметр).

13. По указанию преподавателя, установить значение тока обмотки возбуждения двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Для этого вращать ручку «Увых» модуля «Источник питания ДПТ». Данные считывать с амперметра PA1 (Источник 1).

14. Снять скоростную характеристику двигателя постоянного тока с независимым возбуждением $n = f(I_{\text{я}})$, при $U_{\text{я}} = \text{const}$, $I_{\text{в}} = \text{const}$. Для этого вращая ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый» в диапазоне $U_{\text{ЛАТР}} = 0 \dots 250\text{В}$, тем самым постепенно увеличивая нагрузку на валу двигателя постоянного тока, снимать показания тока якоря $I_{\text{я}}$ с амперметра PA2 (Источник 2) и число оборотов вала двигателя n . Данные о скорости снимать с субблока «Тахометр» модуля «Модуль силовой». Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2.

$U_{\text{я}}, \text{В}$		
$I_{\text{в}}, \text{А}$		
$U_{\text{ЛАТР}}, \text{В}$	$I_{\text{я}}, \text{А}$	$n, \text{об/мин}$

15. Выключить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

16. Построить скоростную характеристику двигателя постоянного тока с независимым возбуждением $n = f(I_{\text{я}})$, при $U_{\text{я}} = \text{const}$, $I_{\text{в}} = \text{const}$.

Регулировочная характеристика

17. Включить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

18. Вращая ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый», установить минимальное значение напряжения $U_{\text{ЛАТР}}$.

19. Вращая ручки «Увых» модуля «Источник питания ДПТ» (Источник 1. Источник 2), установить номинальное напряжение возбуждения, номинальную скорость вращения двигателя $n = 1500 \text{ об/мин}$. Данные о скорости снимать с субблока «Тахометр» модуля

«Модуль силовой». По амперметру РА1 и вольтметру PV1 (мультиметр) считать показания $U_{в}$ и $I_{в}$. Данные занести в табл.3.

20. Снять регулировочную характеристику двигателя постоянного тока с независимым возбуждением $I_{в} = f(I_{я})$, при $U_{я} = const$, $n = const$. Для этого вращать ручку модуля «Автотрансформатор регулируемый» в диапазоне 0...250В. тем самым постепенно увеличивая нагрузку на валу двигателя $C_{итг.}$ снимать показания тока якоря $I_{я}$ по амперметру РА2 (Источник 2) и тока обмотки возбуждения $I_{в}$ по амперметру РА1 (Источник 1). Скорость вращения поддерживать постоянной путем подстройки $U_{в}$. Данные занести в табл.3..

21. Выключить питание модулей «Автотрансформатор регулируемый», «Источник питания ДПТ», «Мультиметры», «Силовой модуль».

Таблица 3.

$U_{я}, В$		
$n, об/мин$		
$U_{латр}, В$	$I_{я}, А$	$I_{в}, А$

22. Построить регулировочную характеристику двигателя постоянного тока с независимым возбуждением $I_{в} = f(I_{я})$, при $U_{я} = const$, $n = const$.

Контрольные вопросы.

1. Как устроен двигатель постоянного тока?
2. Каков принцип действия двигателя постоянного тока.
3. Почему пусковой ток двигателя может быть в 10.....30 раз больше номинального?
4. Какие способы регулирования частоты вращения двигателя независимого возбуждения вам известны?
5. Почему при малых нагрузках на валу двигатель имеет малые значения КПД?
6. Какова роль защитного кожуха и почему без него нельзя включить двигатель?
7. Почему ток якоря не равен нулю в режиме холостого хода двигателя ($M_c=0$)?
8. От чего зависит КПД двигателя постоянного тока?