

050202. Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением

Цель работы: Ознакомиться с устройством, принципом действия двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением. Снять его основные характеристики.

Требуемое оборудование:

Модульный учебный комплекс МУК-ЭП в составе:

- Блок питания двигателя постоянного тока БПП1;
- Блок питания асинхронного двигателя БПА1;
- Машинный агрегат МА1-АП.

Краткое теоретическое введение

Двигатель постоянного тока (ДПТ) представляет собой преобразователь электрической энергии постоянного тока в механическую. Упрощённая конструкция двигателя и его поперечный разрез показаны на рис. 1.

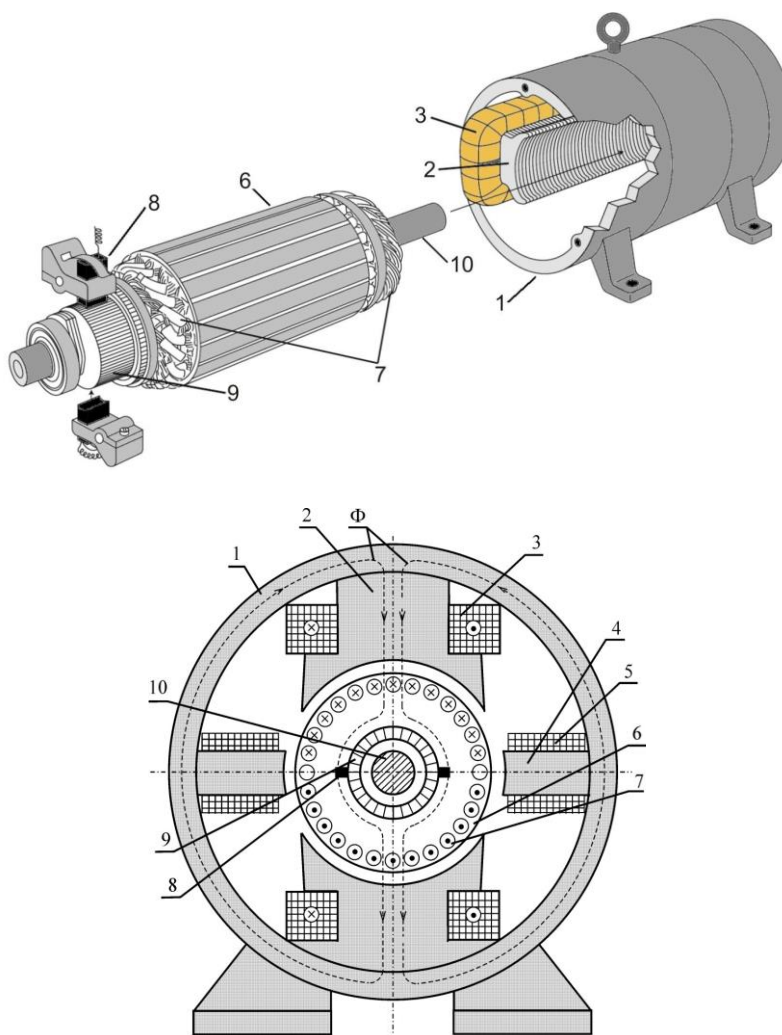


Рис. 1. Конструкция и разрез двигателя постоянного тока

1 – корпус; 2 – главные полюсы; 3 – обмотка возбуждения; 4 – дополнительные полюсы; 5 – обмотка дополнительных полюсов; 6 – якорь; 7 – обмотка якоря; 8 – щетки; 9 – коллектор; 10 – вал.

Двигатель постоянного тока состоит из двух основных частей – индуктора (неподвижная часть) и якоря (подвижная часть). Индуктор состоит из массивного стального корпуса 1, к которому прикреплены главные полюсы 2. Главные полюсы 2 имеют полюсные наконечники, служащие для равномерного распределения магнитной индукции по окружности якоря. На главных полюсах размещают обмотки возбуждения 3. Обмотка возбуждения машины питается постоянным током и служит для создания основного магнитного поля, показанного на рис. 1 условно с помощью двух силовых линий, изображенных пунктиром.

Якорь представляет собой цилиндр, собранный из стальных листов. В пазах, расположенных на поверхности якоря 6, размещается обмотка якоря 7. Якорь закреплен на одном валу 10 с коллектором 9, который представляет собой полый цилиндр, составленный из отдельных медных пластин (ламелей), изолированных друг от друга и от вала якоря и электрически связанных с отдельными частями обмотки якоря. К коллектору с помощью пружин прижимаются графитные, угольно-графитные или медно-графитные щетки 8. Назначение коллектора - механическая коммутация обмоток якоря во внешнюю цепь.

На рис. 1 показана машина постоянного тока с двумя главными полюсами. Кроме главных полюсов в конструкции двигателя есть и дополнительные полюсы 4 на которых размещены обмотки дополнительных полюсов 5. Дополнительные полюсы уменьшают искрение между щетками и коллектором. Обмотку дополнительных полюсов соединяют последовательно с обмоткой якоря 7 и на электрических схемах часто не изображают. В зависимости от мощности и напряжения машины могут иметь и большее число полюсов. При этом соответственно увеличивается число комплектов щеток и дополнительных полюсов.

Свойства двигателей постоянного тока, в основном, определяются способом питания обмотки возбуждения. В связи с этим двигатели постоянного тока классифицируют на 2 типа: с независимым возбуждением (рис.2а) и самовозбуждением (рис.2 б, в, г)

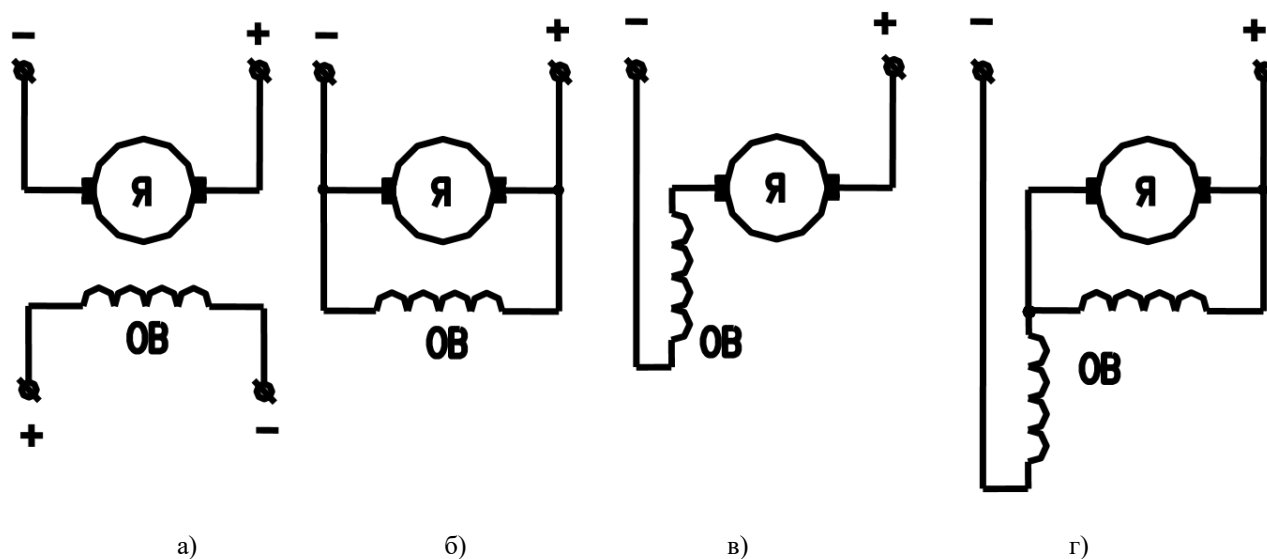


Рис.2

ОВ - обмотка возбуждения, Я – якорь.

Обмотка возбуждения в ДПТ с независимым возбуждением питается от отдельного источника постоянного тока (от полупроводникового выпрямителя, аккумулятора или возбудителя - генератора постоянного тока).

В самовозбуждающихся ДПТ цепи якоря и индуктора электрически связаны, т.е. обмотка возбуждения питается от ЭДС якоря машины. В зависимости от электрической схемы соединения обмоток якоря и индуктора машины с самовозбуждением делятся еще на три типа: параллельного, последовательного и смешанного возбуждения (рис.2 б, в, г).

ДПТ как все электрические машины обратимы, т.е. они без существенных конструктивных изменений могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя.

Режим работы ДПТ с параллельным возбуждением.

Рассмотрим работу ДПТ с параллельным возбуждением (рис.2б). При включении двигателя в сеть постоянного тока в обеих обмотках возникают токи. При этом в обмотке возбуждения ток возбуждения I_B создает магнитное поле индуктора. Взаимодействие тока якоря с магнитным полем индуктора создает электромагнитный момент $M_{\text{Э}}$.

$$M_{\text{Э}} = c\Phi I_{\text{Я}}, \quad (1)$$

где c – постоянный коэффициент;

$I_{\text{Я}}$ – ток якоря;

Φ – магнитный поток.

Электромагнитный момент $M_{\text{Э}}$ отличается от момента M на валу двигателя на величину момента потерь холостого хода $M_{\text{ХХ}}$, которым ввиду малости можно пренебречь и считать, что $M_{\text{Э}} = M_{\text{в}} = M$.

В проводниках вращающегося якоря индуцируется противо-ЭДС E :

$$E = kn\Phi, \quad (2)$$

где n – скорость вращения якоря;

k – постоянный коэффициент.

Уравнение электрического равновесия двигателя имеет вид:

$$U = E + I_{\text{Я}} \cdot R_{\text{Я}} = kn\Phi + I_{\text{Я}} \cdot R_{\text{Я}}, \quad (3)$$

где U – напряжение питания сети.

Пуск двигателя

При пуске двигателя якорь в первый момент неподвижен ($n = 0$) и учитывая (2) ЭДС якоря $E = kn\Phi = 0$. При этом согласно (3) пусковой ток якоря $I_{\text{ЯП}}$ недопустимо велик, т.к. $R_{\text{Я}}$ мало и определяется как:

$$I_{\text{ЯП}} = \frac{U}{R_{\text{Я}}} \quad (4)$$

Поэтому для ограничения пускового тока последовательно в цепь якоря вводится сопротивление пускового реостата $R_{\text{П}}$, который полностью введен перед запуском двигателя и выводится после разгона двигателя по мере возрастания противо- ЭДС (E).

$$I_{\text{ЯП}} = \frac{U}{R_{\text{Я}} + R_{\text{П}}} \quad (5)$$

Такой запуск двигателя предохраняет его якорную обмотку от больших пусковых токов $I_{\text{ЯП}}$ и позволяет получить в этом режиме максимальный магнитный поток.

Если пуск двигателя осуществляется на холостом ходу, то нет необходимости развивать максимальный вращающий момент $M_{\text{В}}$ на валу. Поэтому, пуск двигателя может быть осуществлен путем плавного увеличения напряжения питания сети U .

Реверсирование двигателя

Изменение направления вращения двигателя может быть достигнуто изменением тока или в обмотке якоря, или в обмотке возбуждения, т.к. при этом меняется знак вращающего момента. Одновременное изменение направления тока в обеих обмотках направление вращения двигателя не изменяет. Переключение концов обмоток должно производиться только после полной остановки двигателя.

Регулирование скорости вращения

Из выражения (3) можно определить частоту вращения двигателя:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{k\Phi}, \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что регулировать скорость вращения двигателя постоянного тока можно изменением напряжения сети, магнитного потока возбуждения и сопротивления цепи якоря.

Наиболее распространенный способ регулирования скорости вращения двигателя - изменение магнитного потока посредством регулировочного реостата в цепи возбуждения. Уменьшение тока возбуждения ослабляет магнитный поток и увеличивает скорость вращения электродвигателя. Этот способ экономичен, т.к. ток возбуждения (в двигателях параллельного возбуждения) составляет 3-5% от $I_{\text{н}}$ якоря, и тепловые потери в регулировочном реостате весьма малы.

Основными характеристиками двигателя параллельного возбуждения являются следующие:

- Механические и электромеханические характеристики;
- Рабочие характеристики;
- Регулировочные характеристики;
- Нагрузочные характеристики.

Механическая характеристика ($n=f(M)$, при $U = \text{const}$, $I_{\text{в}} = \text{const}$) представляет собой зависимость частоты вращения n (об/мин) от полезного вращающего момента на валу M (Н/м) при постоянном значении напряжения сети U и тока возбуждения $I_{\text{в}}$. Если $U=U_{\text{н}}$ и $I_{\text{в}}=I_{\text{вн}}$ (добавочное сопротивление обмотки возбуждения равно 0), то такая характеристика называется естественной. В противном случае характеристики будут искусственными. На этих характеристиках двигатель работает при пуске, торможении, реверсе и регулировании скорости вращения.

Исходя из выражений 1 и 3 можно получить следующую зависимость:

$$n = \frac{U}{k_{\text{н}} \Phi} - \frac{MR_{\text{я}}}{k_{\text{н}} c \Phi^2}, \quad (7)$$

Для двигателя параллельного возбуждения момент $M_{\text{в}}$ пропорционален первой степени тока якоря $I_{\text{я}}$. Поэтому механическая характеристика может быть представлена зависимостью $n(I_{\text{я}})$, которая называется *электромеханической*.

Если к валу двигателя приложена нагрузка (тормозной момент), то согласно (6) при постоянных значениях тока возбуждения уменьшение скорости вращения n является следствием падения напряжения в цепи якоря – $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ и реакции якоря. При увеличении нагрузки скорость вращения уменьшается на незначительную величину, порядка 3-8%. Такая скоростная характеристика называется жесткой.

Целесообразно при исследовании механических характеристик рассмотреть еще зависимость $\eta(M)$ коэффициента полезного действия η от вращающего момента на валу M . Коэффициент полезного действия η является важнейшей энергетической характеристикой ДПТ. В общем виде

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (8)$$

где P_2 – развиваемая двигателем мощность на валу

P_1 – мощность потребляемая из сети.

$$P_1 = UI_{\text{я}} + U_{\text{в}} I_{\text{в}} \quad (9)$$

Рабочие характеристики ($n, I_{\text{я}}, M, P1, \eta=f(P2)$ при $U=U_{\text{н}}, I_{\text{в}}=I_{\text{вн}}$) это зависимости частоты вращения n , тока якоря $I_{\text{я}}$, полезного момента на валу M , подводимой мощности $P1$ и КПД η от полезной (отдаваемой приводному механизму) механической мощности $P2$. При этом напряжение, подведенное от сети к двигателю U и ток возбуждения в параллельной обмотке $I_{\text{в}}$ должны быть равны номинальным значениям, а добавочное сопротивление в цепи якоря $r_{\text{я}}$ и цепи возбуждения $r_{\text{в}}$ должны быть равны нулю.

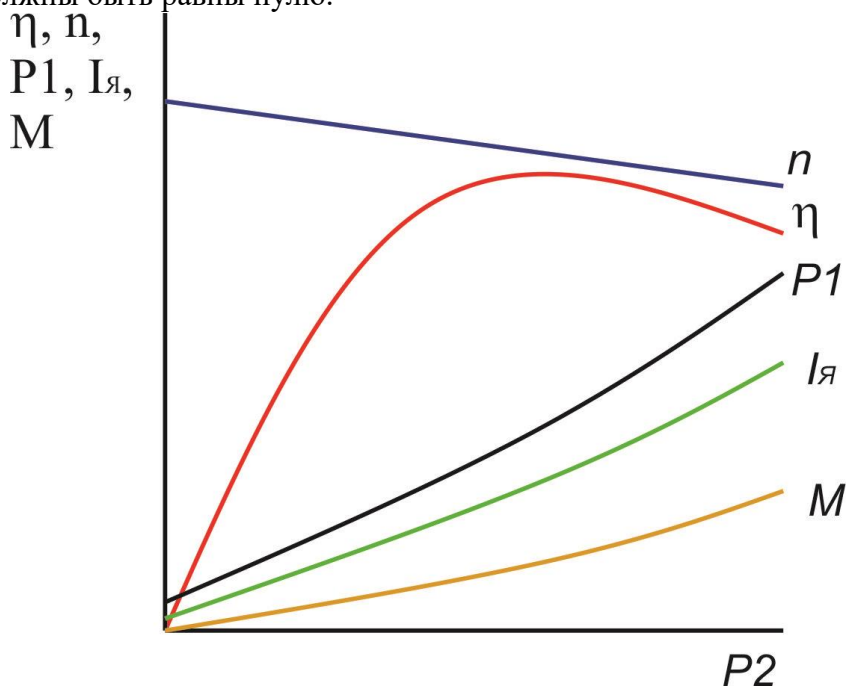


Рис. 3

Регулировочная характеристика ($I_{\text{в}}=f(M)$ при $U=U_{\text{н}}, n=\text{const.}$) это зависимость тока возбуждения $I_{\text{в}}$ от полезного вращающего момента на валу M при постоянном напряжении сети U и постоянной скорости вращения n . Из анализа механической характеристики видно, что скорость вращения падает с ростом нагрузки. Регулировочная характеристика дает возможность судить о том, каким образом, в каких пределах необходимо регулировать ток в обмотке возбуждения, чтобы поддерживать постоянную скорость вращения.

Нагрузочные характеристики представляют собой зависимости, которые иллюстрируют свойства двигателя в отношении регулирования его частоты вращения при неизменной нагрузке. Обычно рассматривается два вида зависимостей:

- а) $n=f(U_{\text{я}})$ при $M = \text{const}$ и $I_{\text{в}} = \text{const}$ (реостатная регулировка);
- б) $n=f(I_{\text{в}})$ при $M = \text{const}$ и $U_{\text{а}}=U_{\text{н}}$ (полюсное регулирование);

Если $M=0$ характеристики соответствуют *характеристика холостого хода* ($n_0=f(I_{\text{в}})$, при $U=U_{\text{н}} = \text{const}$ и $M = 0$)

Учитывая, что на холостом ходу произведение $I_{\text{я}}R_{\text{я}}$ мало по сравнению с U , то из (6) скорость двигателя определяется обратной зависимостью к магнитному потоку Φ :

$$n = \frac{U}{k\Phi}, \quad (10)$$

При увеличении тока в обмотке возбуждения магнитный поток изменяется по кривой намагничивания $\Phi = f(I_{\text{в}})$, поэтому зависимость между скоростью вращения двигателя n и током возбуждения $I_{\text{в}}$ имеет почти гиперболический характер. При малых значениях тока возбуждения обороты меняются почти обратно пропорционально. При больших токах возбуждения начинает сказываться магнитное насыщение стали полюсов, и кривая становится более пологой и идет почти параллельно оси абсцисс. Резкое изменение – уменьшение тока возбуждения, а также случайный обрыв цепи возбуждения согласно (9) могут вызвать «разнос» двигателя (при $I_{\text{в}} \rightarrow 0$, а следовательно Φ также стремится к 0, $n \rightarrow \infty$).

Методика эксперимента

Исследование режимов работы ДПТ с параллельным возбуждением проводится на модульном учебном комплексе МУК-ЭП, который состоит из:

- Блока питания двигателя постоянного тока БПП1;
- Блока питания асинхронного двигателя БПА1;
- Электромашинного агрегата МА1-АП.

В качестве исследуемого двигателя постоянного тока использован ПЛ073У3 (220В, 180 Вт, 1500 об/мин). Автоматическая коммутация обмоток двигателя и подключение измерительных приборов осуществляется в блоке БПП1.



Рис. 4

В качестве нагрузки использован асинхронный двигатель (АД) в режиме динамического торможения. Автоматическая коммутация обмоток АД и подключение измерительных приборов к нему осуществляется в блоке БПА1. Схема работы комплекса после коммутаций блоков представлена на рис. 6.

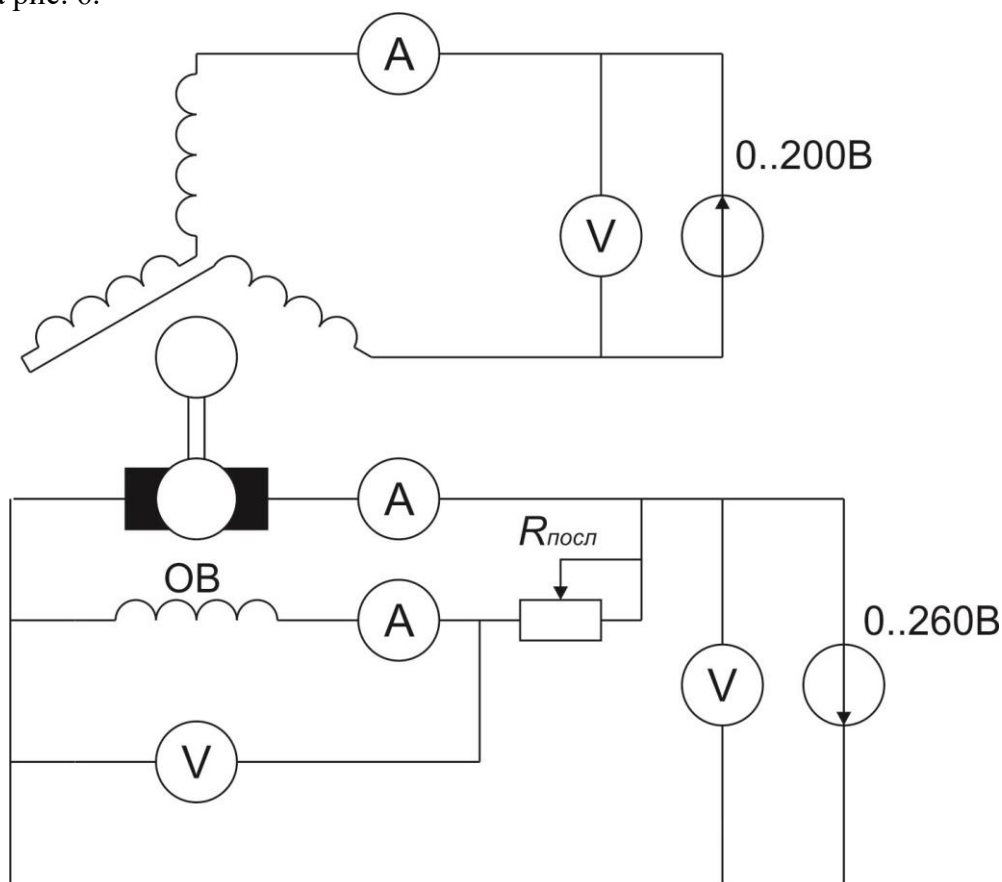


Рис. 5

При работе с комплексом МУК-ЭП необходимо соблюдать следующую последовательность в работе:

1. Включите БПП1 в сеть. Установите нажатием кнопок «Двигатель» и «Параллельное возбуждение» соответствующий режим коммутации обмоток двигателя постоянного тока и измерительных приборов.
2. Для запуска ДПТ необходимо в блоке БПП1 нажать кнопку «Пуск/Стоп». Разгон двигателя осуществляется при плавном увеличении напряжения питающей сети. Регулятором напряжения обмотки ротора устанавливается требуемое значение.
3. Остановка ДПТ осуществляется повторным нажатием кнопки «Пуск/Стоп».
4. Включите БПА1 в сеть. Установите нажатием кнопки «Торможение» соответствующий режим коммутации для динамического торможения асинхронного двигателя и измерительных приборов. Включение питания обмоток АД осуществляется нажатием кнопки «Пуск/Стоп».
5. Отключение режима торможения осуществляется повторным нажатием кнопки «Пуск/Стоп».
6. Измерение частоты вращения и вращающего момента производится при помощи измерительного устройства, которое расположено в электромашинном агрегате МА1-АП.

Внимание: Запуск ДПТ должен осуществляться при отсутствии нагрузки на валу.

Рекомендуемое задание

1. Осуществите пуск ДПТ, согласно методики эксперимента. Установите номинальное значение напряжения цепи якоря 220В. Установите номинальное значение напряжения цепи якоря 220В. Осуществите прогрев двигателя 10-15 мин на холостом ходе.

2. Снять естественную механическую характеристику $n = f(M)$ и $\eta = f(M)$, при $U_{\text{я}} = U_{\text{н}} = \text{const}$ и $I_{\text{в}} = I_{\text{н}} = \text{const}$.

– Включите блок БПА1. Выберите режим «Нагрузка». Поставьте регулятор $I_{\text{торм}}$ в минимальное положение. Нажмите кнопку «Пуск»

– Для разных значений момента на валу M проведите измерения $I_{\text{я}}$, n . При проведении измерений контролируйте установленные значения $I_{\text{в}}$ и $U_{\text{я}}$.

3. Построить рабочие характеристики (n , $I_{\text{я}}$, M , $P1$, $\eta = f(P2)$) при $U = U_{\text{н}}$, $I_{\text{в}} = I_{\text{н}}$

4. Снять семейство искусственных механических характеристик $n = f(M)$ при $U_{\text{я}} = U_{\text{в}} = U = 200\text{В}, 180\text{В}$.

Постройте на одном графике естественную и искусственные характеристики.

5. Снять регулировочную характеристику $I_{\text{в}} = f(M)$, при $U = U_{\text{н}}$, $n = \text{const}$.

Характеристика снимается следующим образом:

– Установите номинальное значение напряжения питающей сети 220В.

– При холостом ходе установите измерьте скорость вращения $n_{\text{изм}}$. Затем постепенно увеличивают нагрузку на валу двигателя и поддерживают скорость вращения постоянной $n_{\text{изм}}$ с помощью реостата $R_{\text{носл}}$, в цепи возбуждения. Полученные данные (5-6 точек).

– По данным опыта построить регулировочную характеристику.

6. Снять нагрузочную характеристику при $M = 0$ Н/м (характеристику холостого хода) ($n = f(I_{\text{в}})$, при $U = U_{\text{н}} = \text{const}$).

Характеристика снимается следующим образом:

– Установите номинальное значение напряжения питающей сети 220В.

– Постепенно меняя значения регулировочного реостата $R_{\text{носл}}$ в цепи возбуждения снимите показания (5-6 точек) $I_{\text{в}}$. Обороты вала двигателя измерить тахометром.

– По данным опыта построить характеристику холостого хода $n = f(I_{\text{в}})$.

– Устанавливается значение M на валу.

7. Снять нагрузочную характеристику при $M = 0,7$ Н/м ($n = f(I_{\text{в}})$, при $U = U_{\text{н}} = \text{const}$).

Характеристика снимается аналогично п. 6. При этом следует в процессе измерений контролировать значение M .

Список использованных источников

1. Исследование двигателя постоянного тока независимого возбуждения: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электротехника и электроника» / А. Б. Красовский, С. А. Васюков, О. И. Мисеюк, Ю. В. Трунин. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 23с.
2. Сочава М.В., Хомицевич Н.А. Испытание электрических машин постоянного тока. Учебное пособие. — СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2018. — 106 с.