www.opprib.ru
e-mail: info@opprib.ru

050201. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением

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

Требуемое оборудование: Модульный учебный комплекс МУК-ЭП

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.

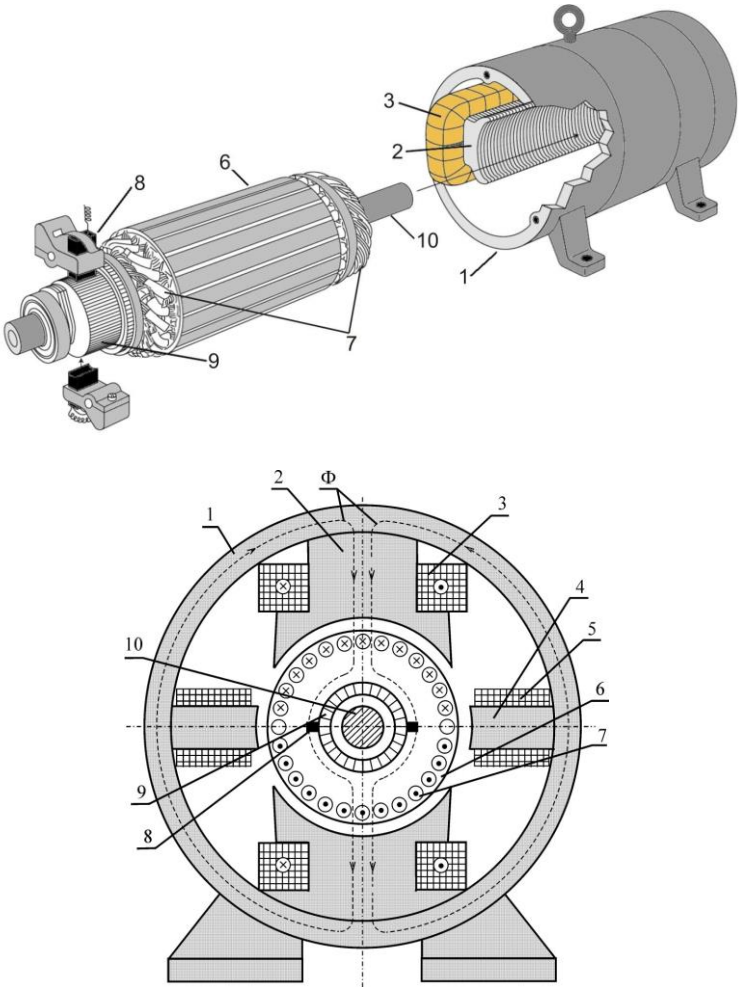


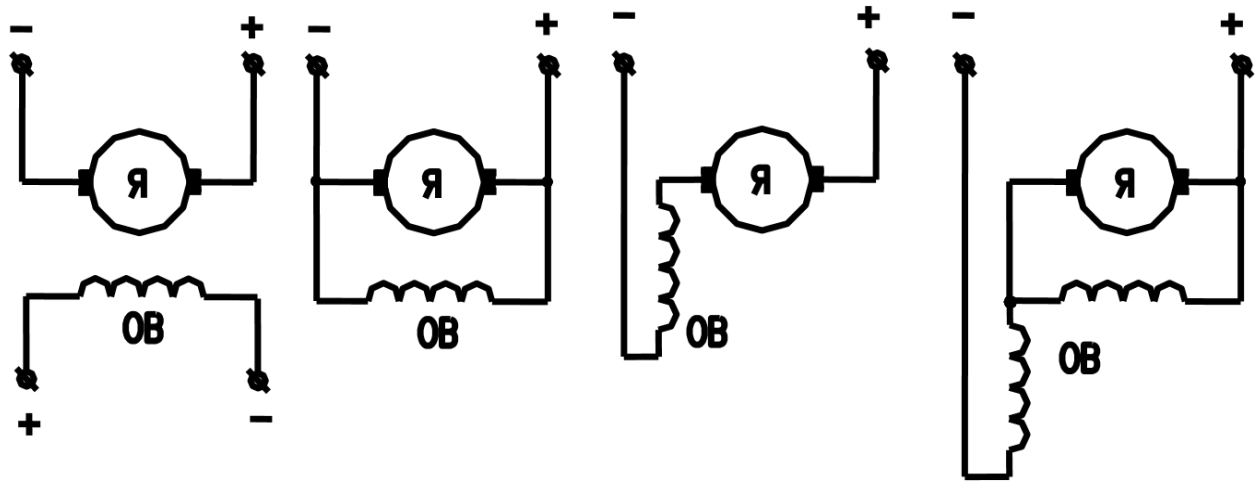
Рис. 1. Конструкция и разрез двигателя постоянного тока
1 – корпус; 2 – главные полюсы; 3 – обмотка возбуждения; 4 – дополнительные полюсы; 5 – обмотка дополнительных полюсов; 6 – якорь; 7 – обмотка якоря; 8 – щетки; 9 – коллектор; 10 – вал.

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)



а) 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 независимым возбуждением.

Рассмотрим работу ДПТ с независимым возбуждением (рис.2а). При включении двигателя в к источникам постоянного тока в обеих обмотках возникают токи. При этом в обмотке возбуждения ток возбуждения $I_В$ создает магнитное поле индуктора. Взаимодействие тока якоря с магнитным полем индуктора создает электромагнитный момент $M_Э$.

$$M_Э = cФI_Я, \quad (1)$$

где ***c*** – постоянный коэффициент;

При превышении моментом $M_Э$ момента сопротивления $M_С$ якорь начинает вращаться с угловой скоростью ω. Итоговый момент M на валу двигателя отличается от электромагнитного момента $M_Э$ на величину момента потерь холостого хода M_{XX}, которым ввиду малости можно пренебречь и считать, что $M_Э = M$

В проводниках вращающего якоря индуктируется противо-ЭДС ***E***

$$E = k\omega Ф = \frac{2\pi nkФ}{60} = k_n nФ\,, \quad (2)$$

где ***n*** – скорость вращения якоря (об./мин);
k - постоянный коэффициент.

Уравнение электрического равновесия двигателя имеет вид:

$$U = E + I_Я \cdot R_Я = k_n nФ + I_Я \cdot R_Я, \quad (3)$$

где ***U*** – напряжение питания якоря.

При анализе свойств ДПТ используют механическую характеристику. Механическая характеристика ***n(M)*** представляет собой зависимость частоты вращения ***n*** (об/мин) от полезного вращающего момента на валу ***M*** (Н/м). Исходя из выражений 1 и 3 можно получить следующую зависимость:

$$n = \frac{U}{k_n Ф} - \frac{MR_Я}{k_n cФ^2}\,, \quad (4)$$

Из выражения 4 видно, что при неизменных ***U***, ***Ф***, $R_Я$ эти характеристики представляют собой прямые наклонные линии. Реально вследствие некоторого влияния тока якоря на результирующий поток двигателя (называемого реакцией якоря) эти характеристики несколько отличаются от прямых линий.

Если к обмоткам ДПТ с независимым возбуждением подведены номинальные напряжения ($U_Я = U_Н$, $I_В = I_{ВН}$) и отсутствуют дополнительные резисторы в его цепях ($r_Я = 0$ (сопротивление обмотки якоря), $r_В = 0$(сопротивление обмотки возбуждения), то двигатель имеет характеристики, называемые естественными характеристиками (рис. 3 кривая 1). На естественной характеристике находятся точки, соответствующие номинальному режиму работы ДПТ. Если же $U_Я \neq U_Н$ или $I_В \neq I_{ВН}$, либо в цепи якоря $r_Я \neq 0$ или в цепи возбуждения $r_В \neq 0$, то механические характеристики, соответствующие этим условиям, называются искусственными. На этих характеристиках двигатель работает при пуске, торможении, реверсе и регулировании скорости вращения.

Частоту вращения двигателя можно регулировать тремя способами:

1. Изменением суммарного сопротивления цепи якоря или реостатное управление (рис. 3 кривая 2);
2. Изменением магнитного потока двигателя или полюсное управление (рис. 3 кривая 3);
3. Изменением напряжения источника питания, к которому подключен якорь двигателя (рис 3 кривая 4).

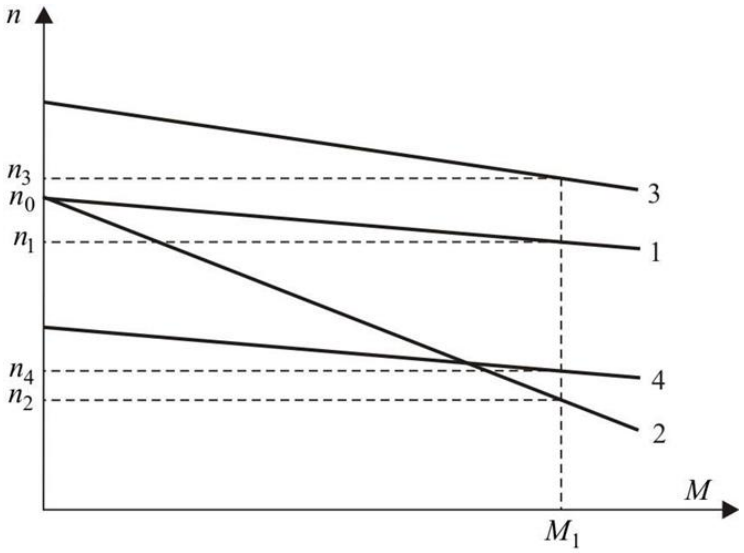


Рис. 3

Целесообразно при исследовании механических характеристик рассмотреть еще зависимость $\eta(M)$ коэффициента полезного действия η от вращающего момента на валу M рис. 4. Коэффициент полезного действия η является важнейшей энергетической характеристикой ДПТ. В общем виде

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \tag{5}$$

где P_2 – развиваемая двигателем мощность на валу
P_1 – мощность потребляемая из сети.

$$P_1 = UI_{Я} + U_B I_B \tag{6}$$

Характеристика $\eta(M)$ нелинейна и имеет выраженный максимум. Двигатели проектируют обычно таким образом, чтобы максимальное значение η соответствовало моменту, близкому к номинальному. Из рассмотрения зависимости $\eta(M)$ видно, что эксплуатация двигателей при малых нагрузках нежелательна вследствие малых значений η.

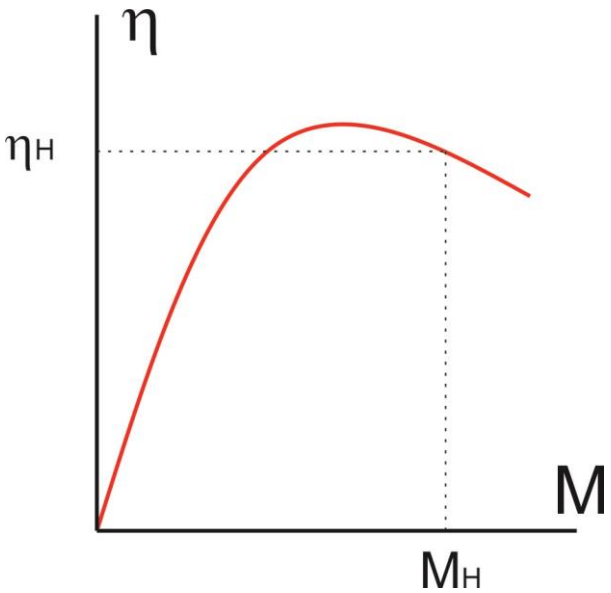


Рис. 4

Наряду с механической характеристикой при свойств ДПТ используют электромеханическую характеристику ***n(Iя)***, представляющая собой зависимость частоты вращения ***n*** от тока якоря ***Iя*** Уравнение электромеханической характеристики записывают в виде

$$n = \frac{U - I_Я R_Я}{k_n \Phi}, \qquad (7)$$

Поскольку у двигателя независимого возбуждения ток ***IВ*** не зависит от нагрузки на валу и без учета реакции якоря магнитный поток также не зависит от нагрузки, то между током якоря ***Iя*** и моментом ***M*** существует линейная зависимость (рис. 5 прямая 1). При изменении дополнительного сопротивления в цепи якоря ***rя*** или напряжения на якоре ***U*** магнитный поток ***Ф*** практически не изменяется, то и соотношение между ***Iя*** и ***M*** остается без изменения. Поэтому на рис. 3 характеристики ***M(Iя)*** при различных значениях ***rя*** и ***U*** совпадают с характеристикой 1. При уменьшении тока возбуждения ***IВ*** (магнитного потока ***Ф***) соответствует прямая 2 на рис. 5.

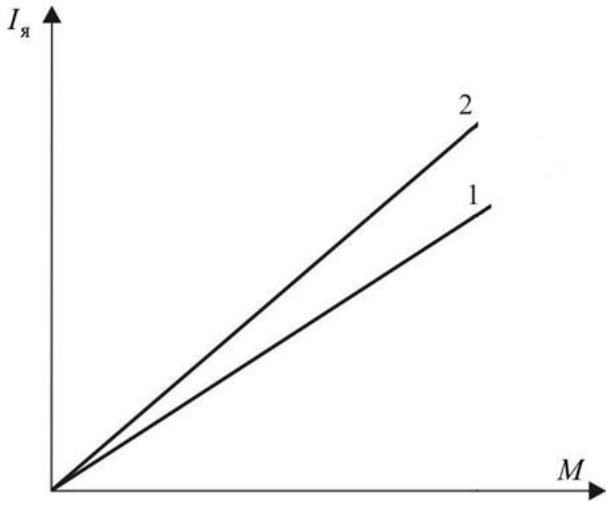


Рис. 5

В связи с этим электромеханическая характеристика, по форме будет соответствовать механической.

Методика эксперимента

Исследование режимов работы ДПТ с независимым возбуждением проводятся на модульном учебном комплексе МУК-ЭП (рис. 6), который состоит из электромашинного агрегата МА1-АП, блока питания двигателя постоянного тока БПП1, блока питания асинхронного двигателя БПА1.



Рис. 6

В состав машинного агрегата входит двигатель постоянного тока, асинхронный двигатель и измерительное устройство. В работе в качестве исследуемого двигателя постоянного тока использован ПЛ072У3, имеющий следующие характеристики

- Номинальное напряжение цепи якоря $\boldsymbol{U_H}$ – 220В,
- Номинальная мощность – 180 Вт;
- Номинальная частота вращения – 1500 об/мин:

Автоматическая коммутация обмоток двигателя и подключение измерительных приборов осуществляется в блоке БПП1. Асинхронный двигатель использован в качестве нагрузки в режиме динамического торможения. Автоматическая коммутация обмоток асинхронного двигателя и подключение измерительных приборов к нему осуществляется в блоке БПА1. Схема работы комплекса после коммутаций блоков представлена на рис. 7.

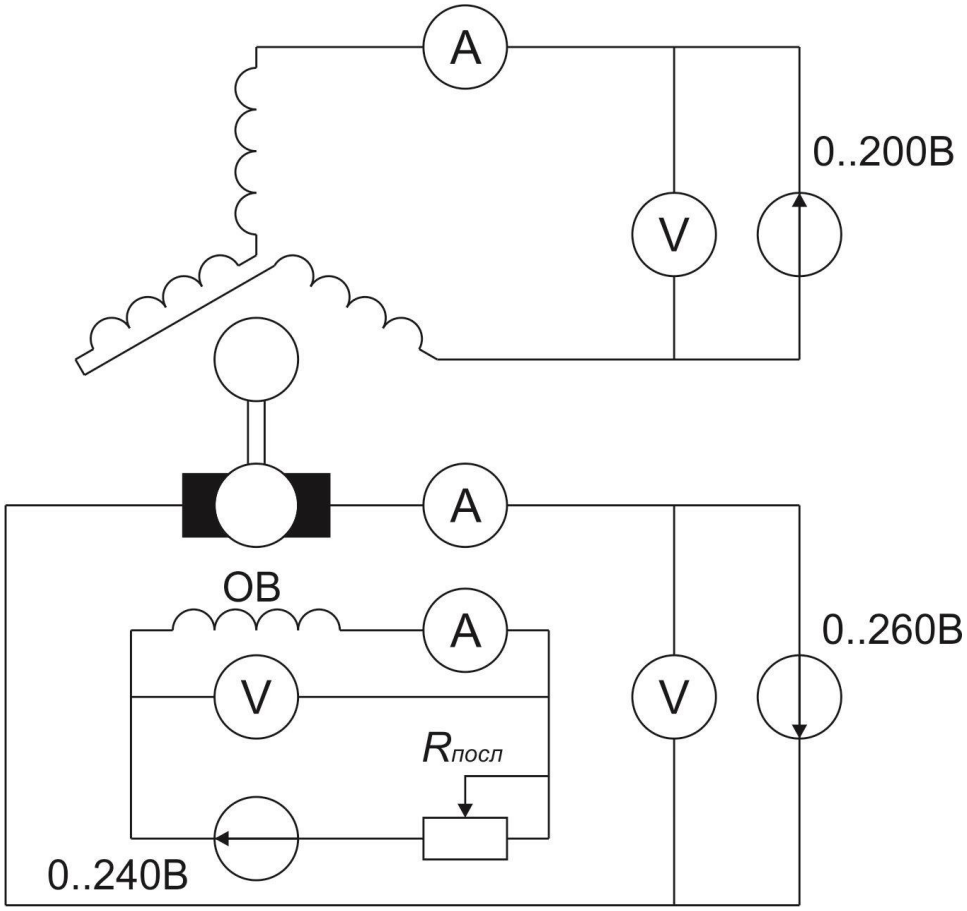


Рис. 7

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

1. Включите БПП1 в сеть. Установите нажатием кнопок «Двигатель» и «Независимое возбуждение» соответствующий режим коммутации обмоток двигателя постоянного тока и измерительных приборов.

3. 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. 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». Отключение режима торможения осуществляется повторным нажатием кнопки «Пуск/Стоп»

Измерительное устройство, содержащееся в электромашинном агрегате, позволяет измерять частоту вращения $\boldsymbol{n}$ (об/мин) и полезный вращающий момент на валу $\boldsymbol{M}$ (Н/м).

Развиваемую двигателем мощность на валу P_2 можно по показаниям измерительного устройства рассчитать, как:

$$P_2 = \frac{nM}{9.52} \quad (8)$$

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 возбуждения 220В. Осуществите прогрев двигателя 10-15 мин на холостом ходе. Установите ток возбуждения 250мА.

2. Снять естественную механическую характеристику $n = f(M)$, при $U_Я = U_Н = const$ и $I_в = I_н = const$.

Включите блок БПА1. Выберите режим «Нагрузка». Поставьте регулятор в минимальное положение. Нажмите кнопку «Пуск»

Для разных значений момента на валу M проведите измерения $I_Я$, n. При проведении измерений контролируйте установленные значения $I_В$ и $U_Я$.

3. Снять семейство искусственных механических характеристик $n = f(M)$ при $U_Я \neq U_Н = const$ и $I_В = I_Н$. Установить $U_Я$ = 200В, 180В

4. Снять семейство искусственных механических характеристик $n = f(M)$ при $U_Я = U_Н = const$ и $I_в \neq I_н = const$. Установить $I_В$ = 220 мА, 200 мА.

5. Постройте в соответствующих осях полученные семейства искусственных характеристик. Для анализа на графики нанесите естественную характеристику

6. Постройте зависимости $I_Я = (M)$ для естественной и по одной из искусственных характеристик.

7. Постройте электромеханическую естественную характеристику $n(I_Я)$ и по одной из искусственных характеристик.

8. Постройте зависимость $\eta(M)$ при $U_Я = U_Н = const$ и $I_в = I_н = const$.

9. Сделайте выводы.

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.