

Лекция 1

Задачи на машины постоянного тока

Электротехника и электроника. В 3-х книгах. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. Под. ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1997

Электрические машины. Лабораторно-практические занятия: методическое пособие. В.И. Киселев, Е.И. Рослякова, И.В. Сильванский, М.Л. Солодова. – М.: Изд-во МЭИ, 2005

Электрические машины. Сборник индивидуальных заданий: методическое пособие. В.И. Киселев, Е.И. Рослякова, И.В. Сильванский. – М.: Изд-во МЭИ, 2002

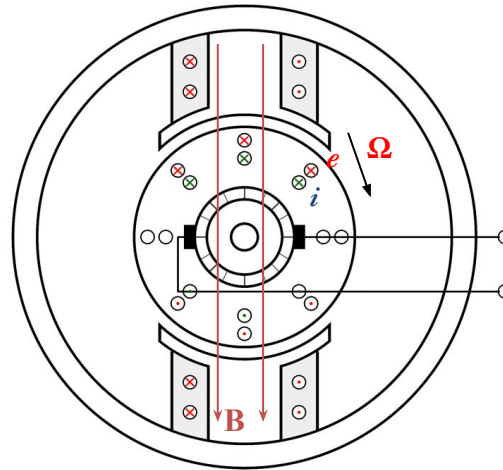
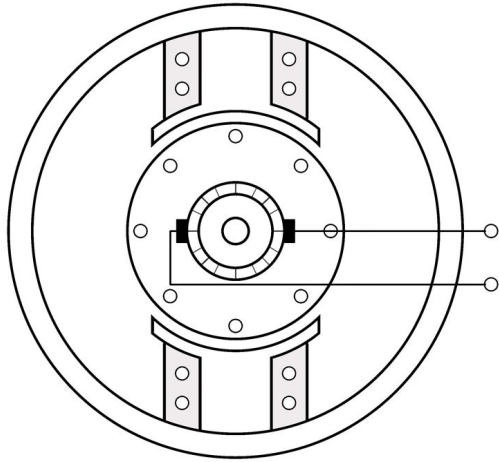
Электротехника и электроника. В 3-х книгах. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники. Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1998 г.

Лабораторно-практические занятия по дисциплине «Электротехника и электроника». Основы электроники. О.М. Князьков, Е.В. Комаров, Е.И. Рослякова/Под ред. М.С. Цепляевой. – М.: МЭИ, 2000 г.

Основы электроники. Сборник индивидуальных заданий. О.М. Князьков, Е.И. Рослякова, М.Л. Солодова, В.Б. Соколов. – М.: МЭИ, 2002 г.

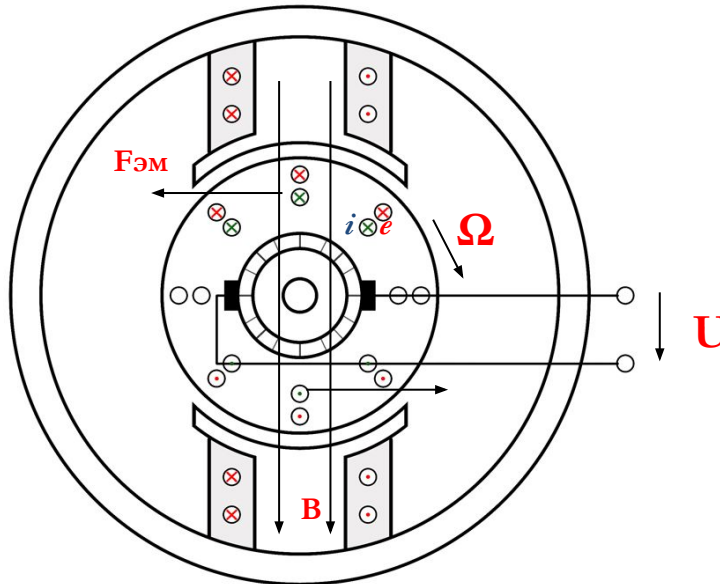
Напоминание. Устройство МПТ

Генератор



$$E_{\text{я}} = c_e \cdot n \cdot \Phi$$

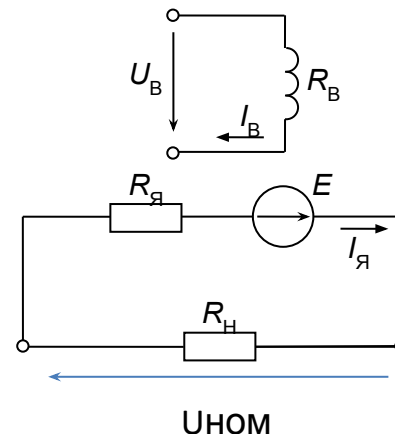
$$M = c_M \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi$$



Задача 1

Генератор постоянного тока (ГПТ) независимого возбуждения имеет следующие данные: номинальная мощность $P_{\text{НОМ}} = 14$ кВт, номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}} = 115$ В, номинальная частота вращения $n_{\text{НОМ}} = 1460$ об/мин, ток в обмотке возбуждения $I_{\text{В.НОМ}} = 5$ А. Сопротивление обмотки якоря в нагретом состоянии $R_{\text{я}} = 0,1$ Ом, сопротивление цепи возбуждения $R_{\text{в}} = 20$ Ом. Определить:

1. КПД генератора (механическими и магнитными потерями пренебречь: $\Delta P_{\text{мех}} = \Delta P_{\text{магн}} = 0$).
2. Момент приводного двигателя при работе генератора в номинальном режиме.
3. Построить рабочий участок внешней характеристики. Принять, что магнитная цепь не насыщена (реакцией якоря пренебречь).
4. Относительное снижение напряжения ГПТ при переходе от холостого хода (ХХ) к номинальной нагрузке.



1. Определение КПД генератора

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{P_{1\text{НОМ}}}$$

$$P_1 = P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{е}} = P_{\text{эм}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{магн}} + \Delta P_{\text{е}}$$

Так как $\Delta P_{\text{мех}} = 0$ и $\Delta P_{\text{магн}} = 0$, то

$$P_{\text{эм}} = E_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{я.НОМ}}$$

Из схемы замещения ток якоря:

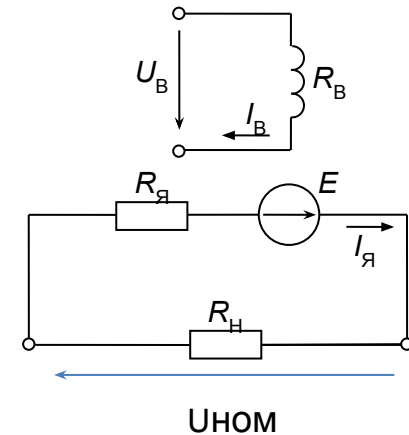
$$I_{\text{я.НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{14 \cdot 10^3}{115} \approx 122 \text{ А}$$

$$\text{ЭДС генератора: } E_{\text{НОМ}} = U_{\text{НОМ}} + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я.НОМ}} = 115 + 0,1 \cdot 122 = 127,2 \text{ В}$$

$$P_{\text{эм}} = E_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{я.НОМ}} = 127,2 \cdot 122 = 15,5 \text{ Вт}$$

Потери в обмотке возбуждения (нагрев обмотки током возбуждения): $\Delta P_{\text{е}} = I_{\text{в}}^2 \cdot R_{\text{в}}$

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{P_2}{P_{1\text{НОМ}} + R_{\text{в}} \cdot I_{\text{в}}^2} = \frac{14 \cdot 10^3}{15,5 \cdot 10^3 + 20 \cdot 5^2} = 0,875$$



2. Момент приводного двигателя при работе генератора в номинальном режиме.

$$M_{\text{ном}} = M_{\text{эм}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{эм}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{15500}{1460} \approx 101,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

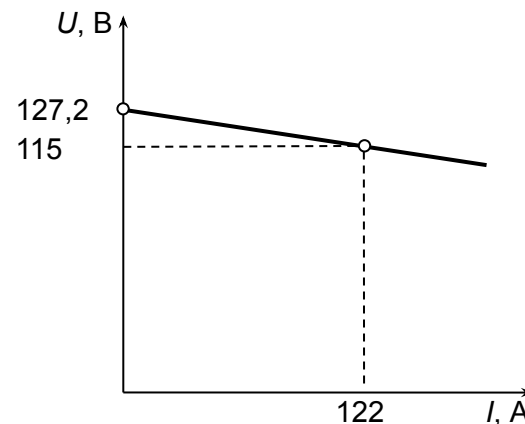
3. Построить рабочий участок внешней характеристики. Принять, что магнитная цепь не насыщена (реакцией якоря пренебречь).

Т.к. токи якоря и нагрузки тождественны в ГПТ независимого возбуждения, то уравнение внешней характеристики $U(I_{\text{я}})$ можно записать как:

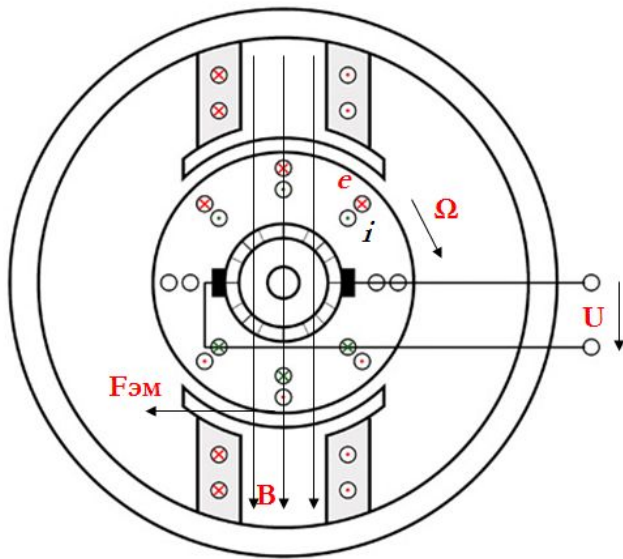
$$U = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

4. Относительное снижение напряжения ГПТ при переходе от холостого хода (ХХ) к номинальной нагрузке.

$$\Delta U = \frac{U_{\text{х}} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{127,2 - 115}{115} \cdot 100\% \approx 10,6\%$$



Напоминание. Двигатель постоянного тока



$$n = \frac{U}{c_e \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{я}} \cdot M}{c_e \cdot c_M \cdot \Phi^2}$$

Свойство саморегулирования заключается в способности двигателей автоматически создавать вращающий момент, равный моменту сопротивления на валу.

Поэтому в установившемся режиме не момент определяется током якоря, а ток якоря устанавливается необходимым для создания момента вращения, равного моменту нагрузки.

$$M = c_M \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi$$

Задача 2.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) параллельного возбуждения имеет следующие номинальные параметры: $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 21,71 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 740 \text{ об/мин}$. Сопротивление обмотки якоря в нагретом состоянии $R_{\text{я}} = 1,19 \text{ Ом}$, сопротивление цепи возбуждения $R_{\text{в}} = 310 \text{ Ом}$. Механические и магнитные потери считать равными нулю.

Определить:

1. Сопротивление пускового реостата $R_{\text{п}}$, который надо включить в цепь якоря, чтобы ток якоря при пуске был равен $I_{\text{п}} = 2,5 \cdot I_{\text{я.ном}}$.
2. Сопротивление регулировочного реостата $R_{\text{яр}}$, которое необходимо включить в цепь якоря, чтобы двигатель при неизменном моменте на валу понизил частоту вращения до $n_2 = 500 \text{ об/мин}$.
3. Как изменится КПД двигателя при включении $R_{\text{яр}}$.
4. Построить участки искусственной и естественной механических характеристик.

1. Сопротивление пускового реостата $R_{\text{п}}$, который надо включить в цепь якоря, чтобы ток якоря при пуске был равен $I_{\text{п}} = 2,5 \cdot I_{\text{я.ном}}$.

Сопротивление пускового реостата $R_{\text{п}}$ определяем из уравнения электрического состояния цепи якоря, когда $n = 0$ (якорь неподвижен) и, следовательно, $E = 0$:

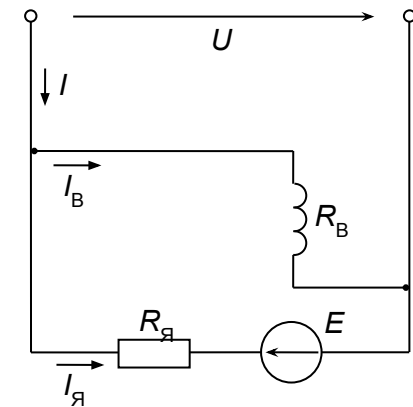
$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{\text{п}} + R_{\text{я}}}$$

$$I_{\text{я.ном}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в}} = 21,71 - 0,71 = 21 \text{ A}$$

$$I_{\text{в}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{\text{в}}} = \frac{220}{310} = 0,71 \text{ A}$$

Из условия, что $I_{\text{п}} = 2,5 \cdot I_{\text{я.ном}}$, получаем:

$$R_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ном}}}{2,5 \cdot I_{\text{я.ном}}} - R_{\text{я}} = \frac{220}{2,5 \cdot 21} - 1,19 = 3 \text{ Ом}$$



2. Сопротивление регулировочного реостата $R_{\text{яр}}$, которое необходимо включить в цепь якоря, чтобы двигатель при неизменном моменте на валу понизил частоту вращения до $n_2 = 500$ об/мин.



$$n = \frac{U}{c_e \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{я}} \cdot M}{c_e \cdot c_m \cdot \Phi^2}$$

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

$$E_{\text{я}} = c_e \cdot n \cdot \Phi$$

Ток якоря постоянен, т.к. определяется моментом нагрузки!

$$M = c_m \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi$$

При включении регулировочного реостата $R_{\text{яр}}$ в цепь якоря в установившемся режиме будет выполняться равенство вращающего момента $M_{\text{вр}}$ и момента сопротивления на валу $M_{\text{торм}}$

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{торм}} = c_M I_{\text{я}} \Phi_{\text{п}}$$

Момент $M_{\text{торм}}$, напряжение U и сопротивление ОВ $R_{\text{в}}$ остаются неизменными, поэтому ток якоря не изменится. Следовательно, при включении $R_{\text{яр}}$ уравнение электрического состояния цепи якоря будет иметь вид:

$$U_{\text{ном}} = E_2 + (R_{\text{я}} + R_{\text{яр}}) \cdot I_{\text{я.ном}}$$

При $n_2 = 500$ об/мин определим ЭДС E_2 якоря. Для этого запишем выражения для E_1 ($n_{\text{ном}} = 740$ об/мин) и E_2 ($n_2 = 500$ об/мин):

$$E_{\text{н}} = c_{\text{н}} \cdot \Phi \cdot n$$

$$E_{\text{в}} = c_E \cdot \Phi \cdot n$$

$$\Phi_{\text{п}} = \text{const, так как } U = \text{const и } R_{\text{в}} = \text{const} \quad \Rightarrow \quad \frac{E_{\text{н}}}{E_2} = \frac{n}{n_2} \quad \Rightarrow \quad E_2 = E_1 \cdot \frac{n_2}{n_{\text{ном}}}$$

ЭДС E_1 найдем из уравнения электрического состояния цепи якоря, когда $R_{\text{яр}} = 0$

$$E_{\text{н}} = U_{\text{я}} - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я.ном}} = 220 - 1,19 \cdot 21 = 195 \text{ В}$$

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{n_2}{n_{\text{ном}}} = 195 \cdot \frac{500}{740} = 132 \text{ В}$$

$$R_{\text{яр}} = \frac{U_{\text{ном}} - E_2}{I_{\text{я.ном}}} - R_{\text{я}} = \frac{220 - 132}{21} - 1,19 = 3 \text{ Ом}$$

3. Как изменится КПД двигателя при включении $R_{\text{яр}}$.

Реостатное регулирование очень не экономичное. Т.к. момент ДПТ постоянен, постоянен и потребляемый ток (ток якоря определяется моментом, а ток возбуждения не зависит от режима работы ДПТ при параллельном возбуждении), в итоге потребляемая ДПТ мощность не меняется при введении регулировочного сопротивления. Но меняются потери. Они увеличиваются за счет нагрева регулировочного сопротивления током якоря. По сути, уменьшение мощности в нагрузке (частота стала ниже при постоянном моменте) происходит за счет увеличения потерь при той же потребляемой мощности.

Потребляемая электрическая мощность ДПТ: $P_{\text{э(ом)}} = U_{\text{ном}} \cdot I = 220 \cdot 21 = 4776$

Механическая мощность: $P_{\text{эм}} = P_{\text{мех}} - \Delta P_{\text{магн}}$

Так как $\Delta P_{\text{магн}} = 0$ и $\Delta P_{\text{мех}} = 0$, то $P_2 = P_{\text{эм}} = E \cdot I_{\text{я}}$.

Механическая мощность при частоте вращения 740 об/мин: $P_{\text{э(II)}} = P_1 = E_{\text{я.ном}} \cdot I = 195 \cdot 21 = 4095$

Механическая мощность при частоте вращения 500 об/мин: $P_{\text{э(II)}} = P_2 = E_{\text{я.ном}} \cdot I = 132 \cdot 21 = 2772$

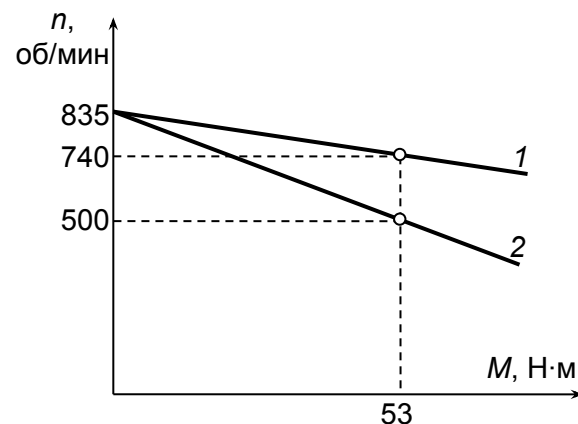
$$\eta_1 = \frac{P_{2(1)}}{P_1} = \frac{4095}{4776} = 0,86 \quad \eta_2 = \frac{P_{2(2)}}{P_1} = \frac{2772}{4776} = 0,58$$

4. Построить участки искусственной и естественной механических характеристик.

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{2(1)}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{4095}{740} \approx 53 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При идеальном холостом ходе момент равен нулю, нет тока якоря, а E равно $U_0 = 220 \text{ В}$

$$n_{\text{ном}} = \frac{E_0}{E_1} \cdot n = \frac{220}{195} \cdot 740 = 835 \text{ об / мин}$$



Задача 3

ДПТ параллельного возбуждения имеет следующие номинальные данные:
 $U_{\text{НОМ}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{НОМ}} = 40 \text{ А}$, $n_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ об/мин}$, $I_{\text{В НОМ}} = 1,2 \text{ А}$. Сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}} = 0,5 \text{ Ом}$.

Как изменяется частота вращения n и ток якоря $I_{\text{я}}$ при неизменном моменте на валу, если подведенное к обмотке якоря напряжение уменьшается до 180 В и при этом ток возбуждения поддерживается неизменным.

Механические и магнитные потери считать равными нулю.

Т.к. ток возбуждения поддерживается постоянным, то $\Phi = \text{const}$.
 Из условия постоянства момента следует постоянство тока якоря:

$$M = c_e \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi = \text{const} \quad \Rightarrow \quad I_{\text{я}} = \text{const}$$

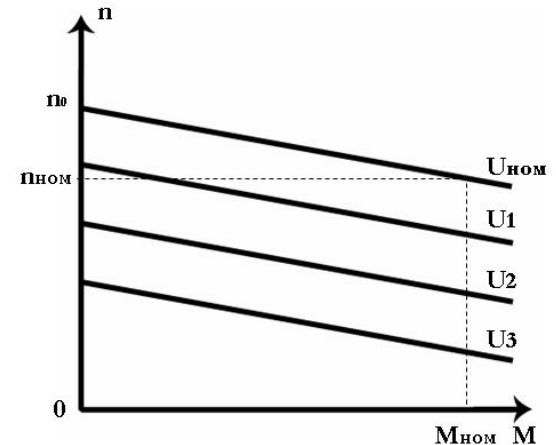
$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} \quad \Rightarrow \quad \text{При изменении } U \text{ изменится } E_{\text{я}} \text{ за счет изменения частоты вращения}$$

ЭДС и частота связаны прямо пропорционально $E_{\text{я}} = c_e \cdot n \cdot \Phi$
 поэтому можно составить пропорцию:

$$\frac{E_{\text{НОМ}}}{E_2} = \frac{n}{n_2}$$

$$\frac{n_1}{n} = \frac{U_1 - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я.НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я.НОМ}}} = \frac{180 - 0,5 \cdot 38,8}{220 - 0,5 \cdot 38,8} = 0,8$$

$$I_{\text{я.НОМ}} = I_{\text{НОМ}} - I_{\text{В.НОМ}} = 40 - 1,2 = 38,8 \text{ А}$$



$$n = \frac{U}{c_e \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{я}} \cdot M}{c_e \cdot c_M \cdot \Phi^2}$$