

# 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

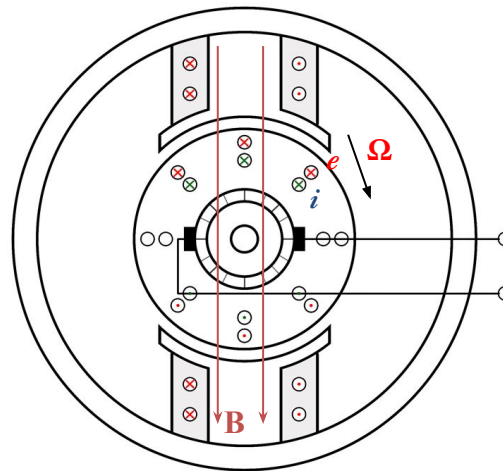
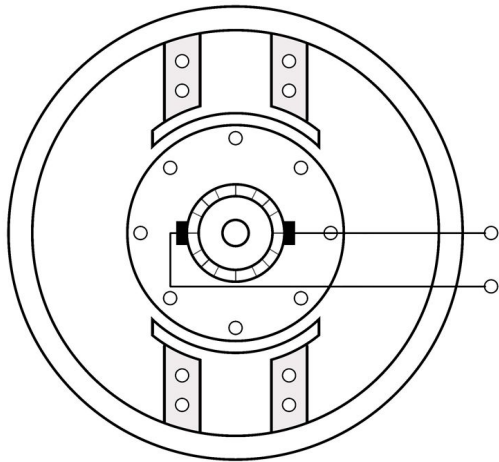
**Электротехника и электроника. В 3-х книгах. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники.** Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1998 г.

**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.

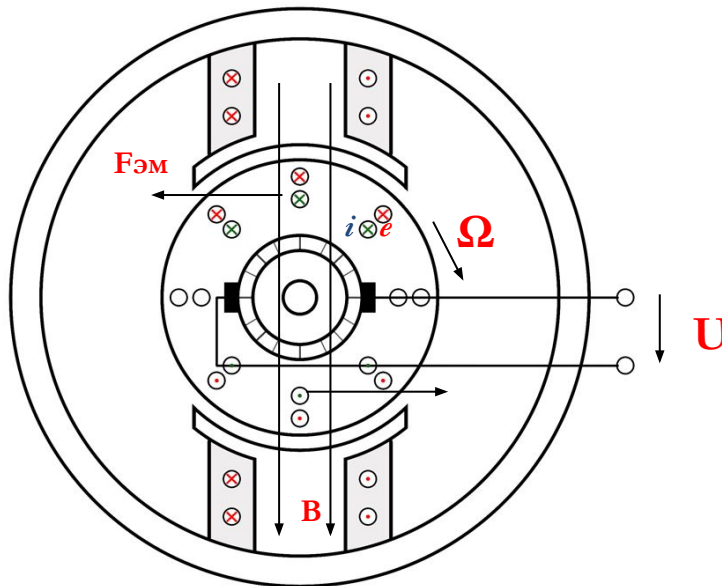
# Напоминание. Устройство МПТ

Генератор



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

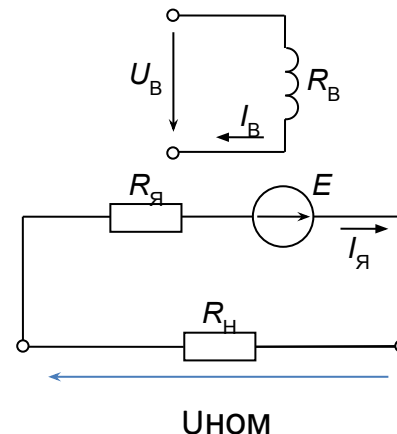
$$M = c_m \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi$$



## 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

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

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

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:

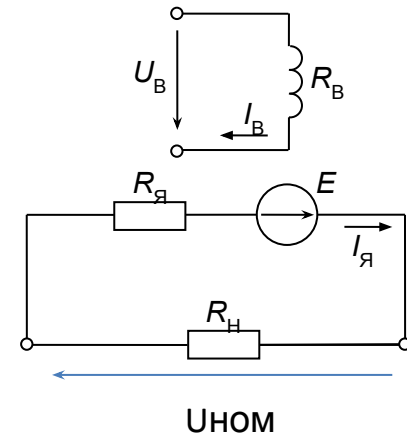
$$I_{\text{я.НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{14 \cdot 10^3}{115} \approx 122 \text{ А}$$

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

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

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

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



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

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

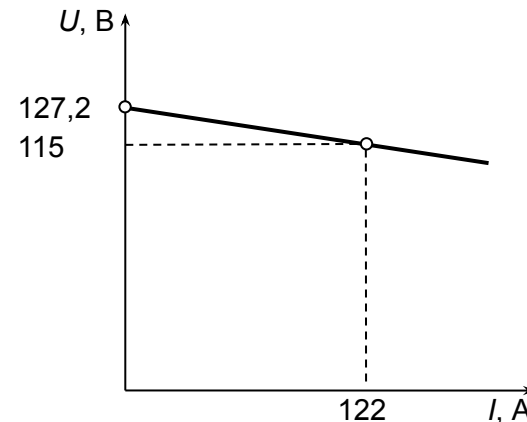
3. Построить рабочий участок внешней характеристики. Принять, что магнитная цепь не насыщена (реакцией якоря пренебречь).

Т.к. токи якоря и нагрузки тождественны в ГПТ независимого возбуждения, то уравнение внешней характеристики  $U(I_A)$  можно записать как:

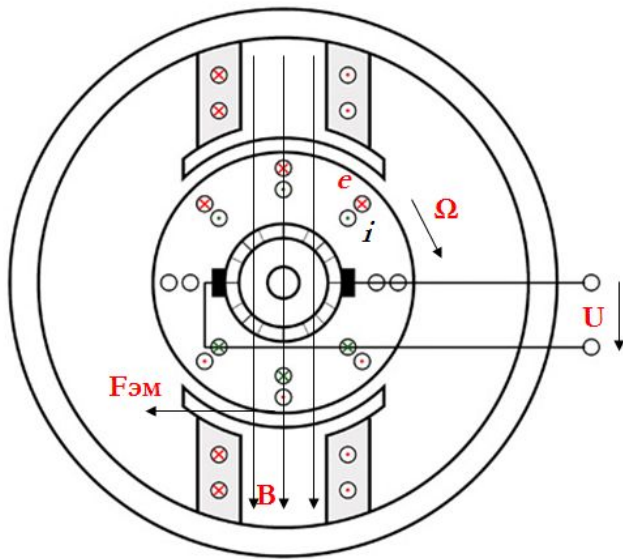
$$U = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$$

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



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

**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.

$$M = c_M \cdot I_{я} \cdot \Phi$$

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

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

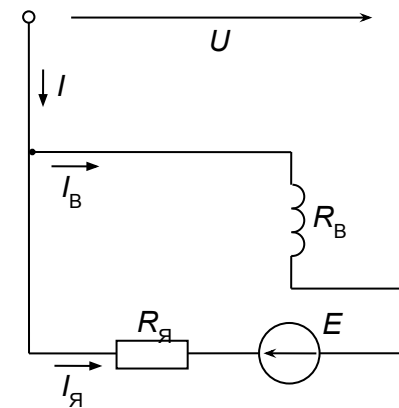
$$I_{п} = \frac{U_{ном}}{R_{п} + R_{я}}$$

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

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

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

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



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



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

$$U = E_{я} + I_{я} \cdot R_{я}$$

$$E_{я} = c_e \cdot n \cdot \Phi$$

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

$$M = c_m \cdot I_{я} \cdot \Phi$$



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  $R_{\text{в}} = \text{const}$



$$\frac{E_{\text{н.ном}}}{E_2} = \frac{n}{n_2}$$



$$E_2 = E_1 \cdot \frac{n_2}{n_{\text{ном}}}$$

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

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

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

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

### 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:  $P_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} \cdot I = 220 \cdot 21 = 4776$

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:  $P_{\text{эл(1)}} = P_1 = E_{\text{я.ном}} \cdot I = 195 \cdot 21 = 4095$

Механическая мощность при частоте вращения 500 об/мин:  $P_{\text{эл(2)}} = P_2 = E_{\text{я.ном}} \cdot I = 132 \cdot 21 = 2772$

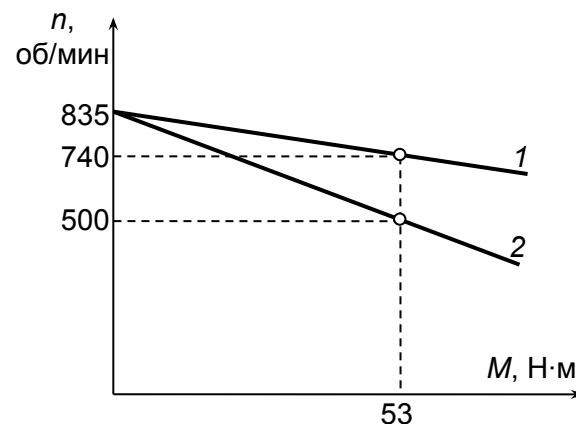
$$\eta_1 = \frac{P_{2(1)}}{P_1} = \frac{4095}{4776} = 0,86 \quad \eta_2 = \frac{P_{2(2)}}{P_1} = \frac{2772}{4776} = 0,58$$

### 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  $180 \text{ В}$  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:

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

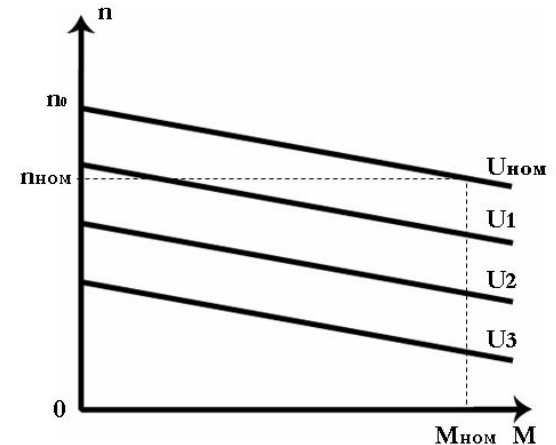
$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} \quad \Rightarrow \quad \text{При изменении } U \text{ изменится } E_{\text{я}} \text{ за счет изменения частоты вращения}$$

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

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

$$\frac{n_2}{n} = \frac{U_1 - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}}{U_{\text{НОМ}} - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я.НОМ}}} = \frac{180 - 0,5 \cdot 38,8}{220 - 0,5 \cdot 38,8} = 0,8$$

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



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