

# Лекция 14

## II.

# Магнитные цепи и электромагнитные устройства

# Электрические машины (продолжение)

# Содержани



## Электрические машины постоянного тока

(продолжение)

1. Электромагнитный момент машины постоянного тока
2. ЭДС якоря машины постоянного тока
3. Потери мощности в машине постоянного тока
4. Эксплуатационные характеристики генератора постоянного тока
5. Эксплуатационные характеристики двигателя постоянного тока

# 1. Электромагнитный момент машины постоянного тока

Электромагнитная сила, действующая на проводник обмотки якоря, находящийся в магнитном поле возбуждения:

$$F_{\text{ЭМ}} = I_{\text{я}} B l$$

Электромагнитный момент, создаваемый всей обмоткой якоря:

$$M_{\text{ЭМ}} = F_{\text{ЭМ}} N \frac{D}{2} = \left( I_{\text{я}} \frac{\Phi_{\text{В}} l}{S} \right) N \frac{D}{2} = \left( \frac{lD}{2S} N \right) I_{\text{я}} \Phi_{\text{В}} = C_{\text{М}} I_{\text{я}} \Phi_{\text{В}}$$

$I_{\text{я}}$  – ток якоря

$\Phi_{\text{В}}$  – магнитный поток возбуждения

$D$  – диаметр якоря

$N$  – число проводников обмотки якоря

$S$  – сечение поверхности полюса

$l$  – длина якоря

$$M_{\text{ЭМ}} = C_{\text{М}} I_{\text{я}} \Phi_{\text{В}}$$

Электромагнитный момент машины постоянного тока пропорционален току в обмотке якоря  $I_{\text{я}}$  и магнитному потоку возбуждения  $\Phi_{\text{В}}$ .

## 2. ЭДС якоря машины постоянного тока

ЭДС в одном проводнике обмотки якоря определяется индукцией магнитного поля  $B$  и скоростью движения проводника в магнитном поле  $v$ :

$$e = Bvl$$

ЭДС, создаваемая всей обмоткой якоря:

$$E_{\text{я}} = eN = \left( \frac{\Phi_{\text{В}}}{S} \frac{\pi D n}{60} l \right) N = \left( \frac{\pi D}{60} l N \frac{1}{S} \right) \Phi_{\text{В}} n$$

$n$  – частота вращения якоря

$\Phi_{\text{В}}$  – магнитный поток возбуждения

$D$  – диаметр якоря

$N$  – число проводников обмотки

якоря

$S$  – сечение поверхности полюса

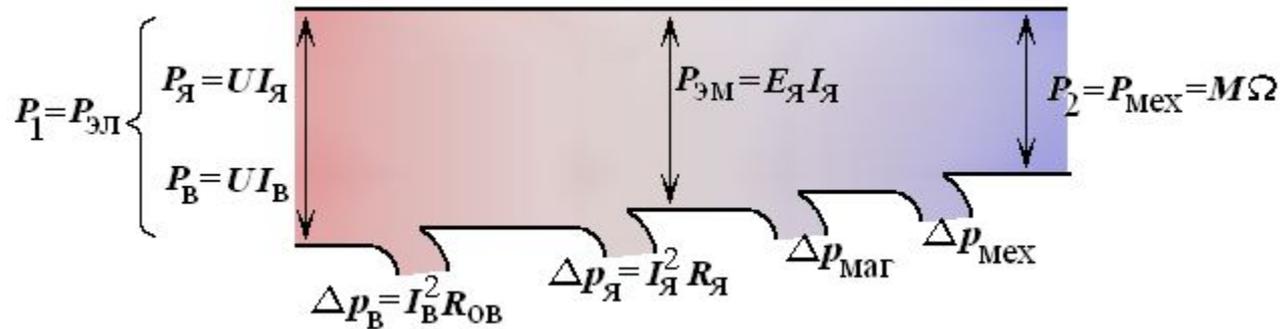
$l$  – длина якоря

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi_{\text{В}} n$$

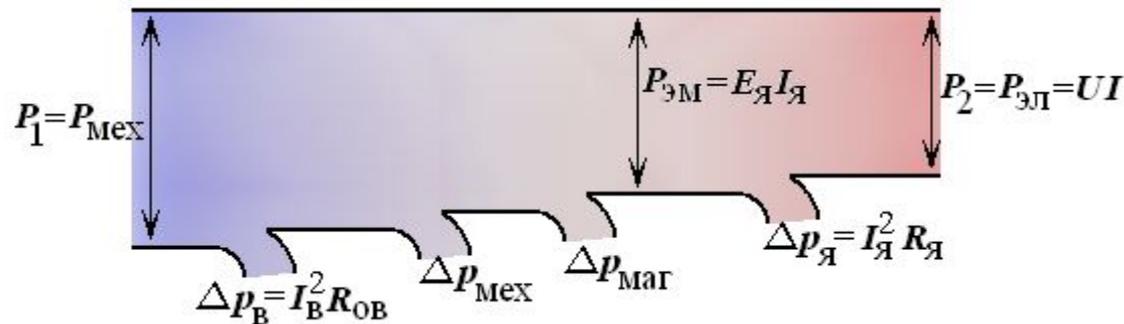
*ЭДС обмотки якоря машины постоянного тока пропорциональна магнитному потоку возбуждения и частоте вращения якоря.*

### 3. Потери мощности в машине постоянного тока

- Потери в обмотке возбуждения:  $\Delta p_B$
- Потери в обмотке якоря:  $\Delta p_{\text{я}}$
- Магнитные потери в магнитопроводе ( $\Delta p_{\text{МАГ}}$ )
- Механические потери ( $\Delta p_{\text{МЕХ}}$ )



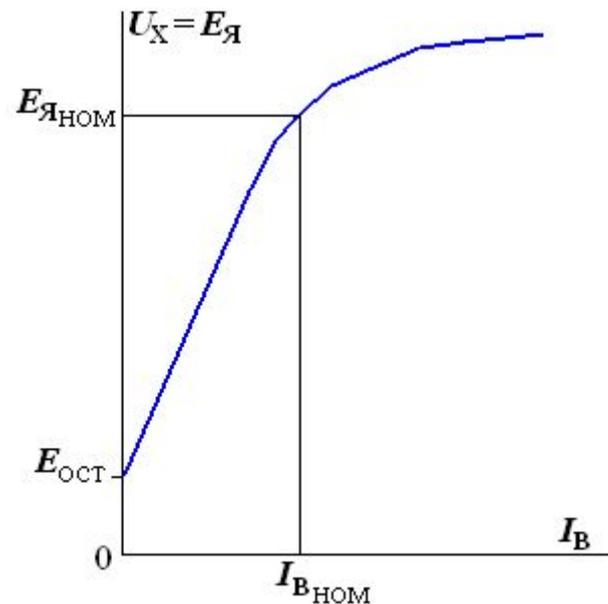
Энергетическая диаграмма двигателя постоянного тока



Энергетическая диаграмма генератора постоянного тока

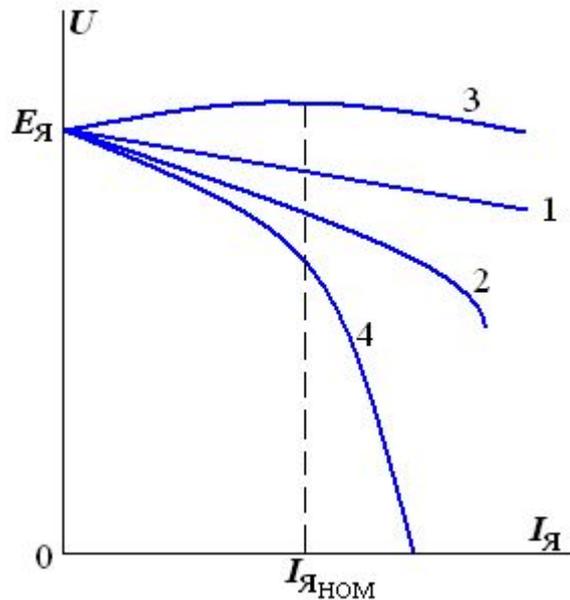
## 4. Эксплуатационные характеристики генератора постоянного тока

*Характеристика холостого хода* – это зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения при отсутствии нагрузки ( $I_{\text{п}}=I_{\text{я}}=0$ ) и постоянной частоте вращения, равной номинальной ( $n=n_{\text{ном}}=\text{const}$ ).



## 4. Эксплуатационные характеристики генератора постоянного тока (продолжение)

**Внешняя характеристика** - зависимость напряжения на зажимах генератора от тока в приемнике (тока якоря) при неизменном токе возбуждения (магнитном потоке  $\Phi_B$ ) и частоте вращения  $n$ .

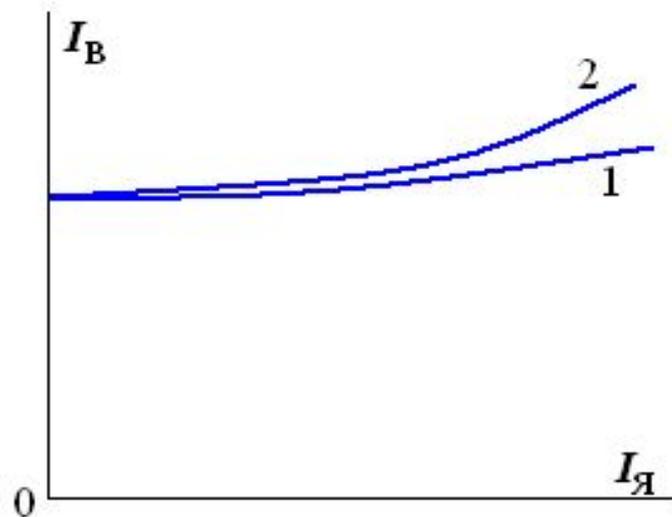


$$U = E_{\text{я}} - R_{\text{я}} I_{\text{я}}$$

- 1 – независимое возбуждение
- 2 – параллельное возбуждение
- 3, 4 – смешанное возбуждение

## 4. Эксплуатационные характеристики генератора постоянного тока (продолжение)

*Регулировочная характеристика генератора постоянного тока* - зависимость тока возбуждения от тока якоря, при неизменном напряжении на зажимах генератора и постоянной частоте вращения. Она показывает как необходимо регулировать ток возбуждения чтобы поддерживать напряжение на зажимах генератора неизменным при изменении нагрузки.



1 – с независимым возбуждением, 2 – с параллельным возбуждением

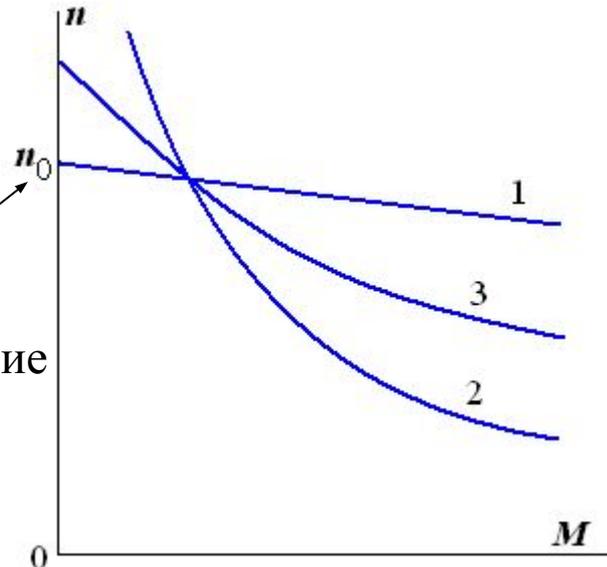
## 4. Эксплуатационные характеристики двигателей постоянного тока

Механическая характеристика двигателя постоянного тока - зависимость частоты вращения  $n$  от момента нагрузки на валу  $M$

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{я}} &= C_e \Phi_{\text{в}} n \\ M_{\text{эм}} &= C_M I_{\text{я}} \Phi_{\text{в}} \\ U &= E_{\text{я}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow n = \frac{U}{C_e \Phi_{\text{в}}} - \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M \Phi_{\text{в}}^2} M$$

Холостой ход

- 1 – независимое, параллельное возбуждение
- 2 – последовательное возбуждение
- 3 – смешанное возбуждение



**С увеличением момента  $M$  на валу двигателя частота вращения  $n$  уменьшается.**

## 4. Эксплуатационные характеристики двигателей постоянного тока (продолжение)

Пуск двигателя постоянного тока

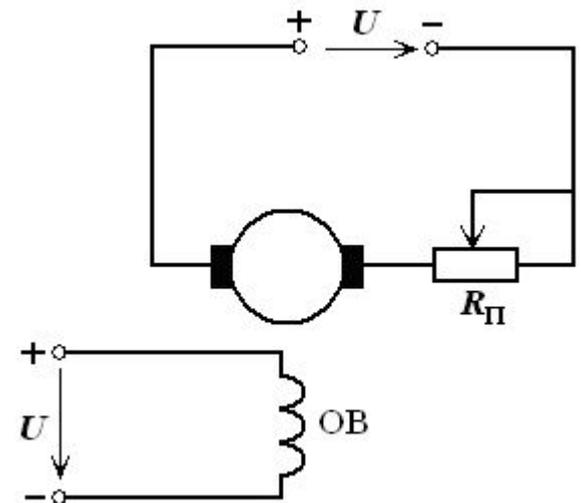
Ток якоря двигателя постоянного тока: 
$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$

Ток якоря при пуске: 
$$I_{\text{я,пуск}} = \frac{U}{R_{\text{я}}} > I_{\text{я,ном}}$$

Пусковой момент: 
$$M_{\text{пуск}} = C_M \Phi_{\text{в}} I_{\text{я,пуск}} > M_{\text{ном}}$$

Пусковой реостат ограничивает ток якоря при пуске:

$$I_{\text{я,пуск}} = \frac{U}{R_{\text{я}} + R_{\text{п}}}$$

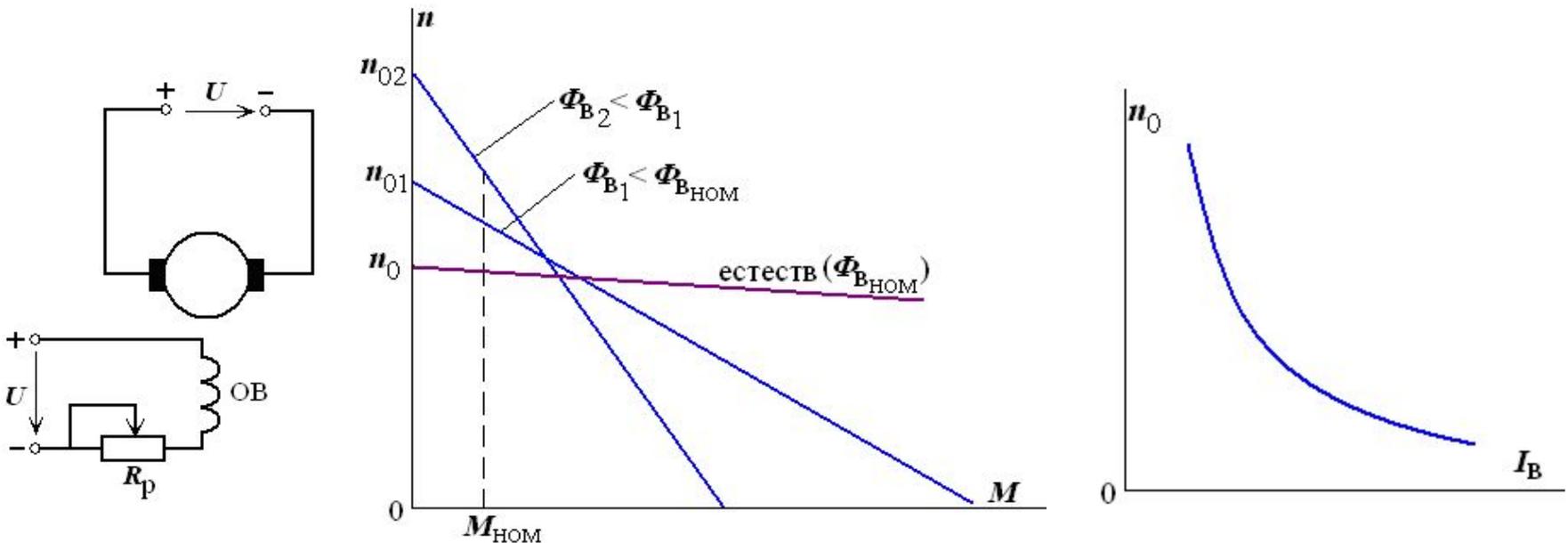


## 4. Эксплуатационные характеристики двигателей постоянного тока (продолжение)

Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_B} - \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M \Phi_B^2} M$$

**Полюсное регулирование** - способ регулирования изменением магнитного потока  $\Phi_B$



Естественная и искусственные механические характеристики

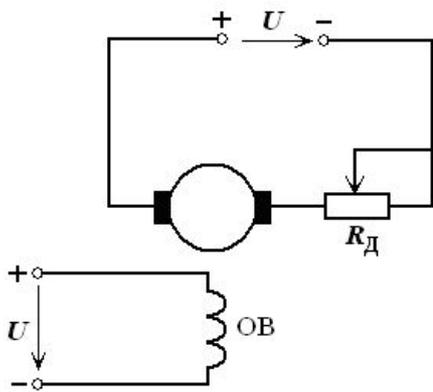
Регулировочная характеристика

## 4. Эксплуатационные характеристики двигателей постоянного тока (продолжение)

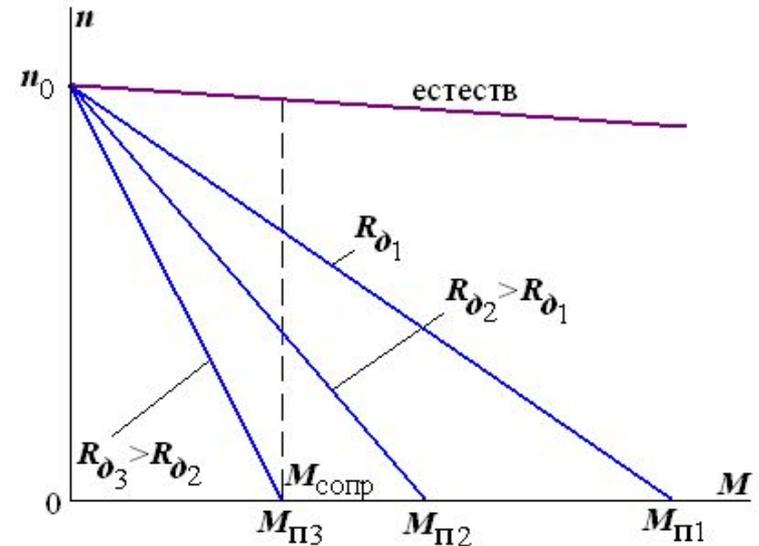
*Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока*

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_B} - \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M \Phi_B^2} M$$

*Реостатное регулирование* - способ регулирования изменением сопротивления в цепи якоря.



$$n = \frac{U}{C_e \Phi_B} - \frac{R_{\text{я}} + R_D}{C_e C_M \Phi_B^2} M$$



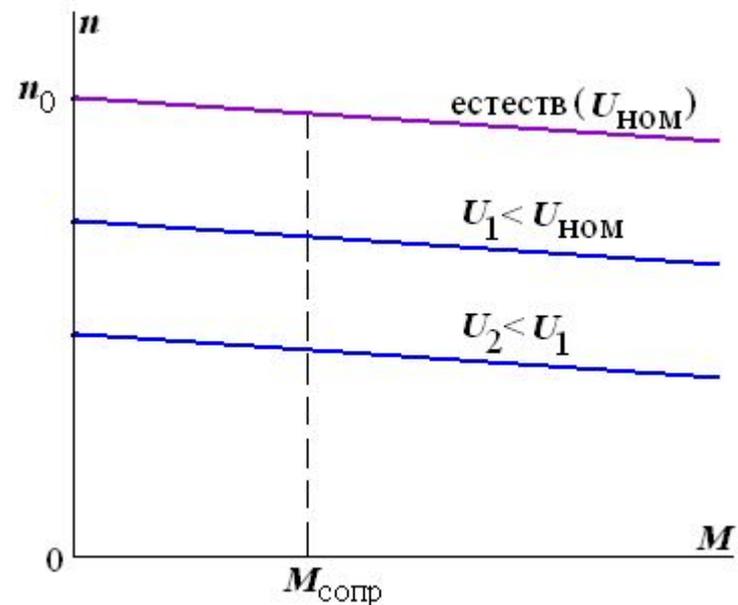
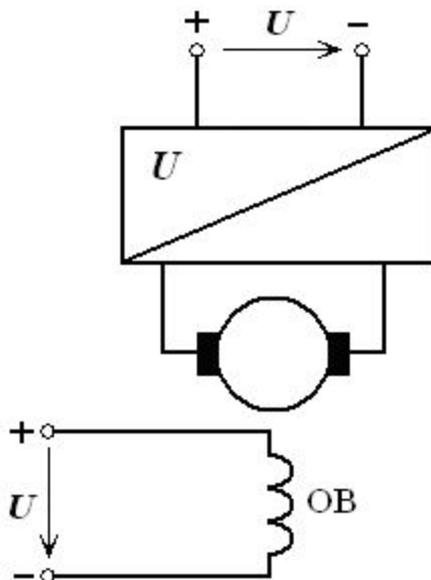
Реостатные механические характеристики ДПТ

## 4. Эксплуатационные характеристики двигателей постоянного тока (продолжение)

*Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока*

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_B} - \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M \Phi_B^2} M$$

*Якорное регулирование* - регулирование напряжением на обмотке якоря



Механические характеристики ДПТ при якорном регулировании

## Заключен

1. На проводники с током обмотки якоря действует *электромагнитная сила*, которая создает *электромагнитный вращающий момент*. Таким образом, электромагнитный момент машины постоянного тока пропорционален току в обмотке якоря  $I_{\text{я}}$  и магнитному потоку возбуждения  $\Phi_{\text{в}}$ .

$$M_{\text{эм}} = C_M I_{\text{я}} \Phi_{\text{в}}$$

*В двигателе* постоянного тока электромагнитный момент определяет механическую мощность на его валу. *В генераторе* постоянного тока электромагнитный момент уравнивает момент приводного двигателя.

2. При вращении якоря машины постоянного тока в магнитном поле возбуждения в его обмотке *индуцируется ЭДС*. ЭДС обмотки якоря машины постоянного тока пропорциональна магнитному потоку возбуждения и частоте вращения якоря.

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi_{\text{в}} n$$

*В двигателе* постоянного тока ЭДС якоря уравнивает напряжение, приложенное к его обмотке. *В генераторе* постоянного тока ЭДС якоря определяет напряжение на его зажимах.

## Заключе ние

3. Преобразование энергии в машинах постоянного тока сопровождается *потерями энергии*. В МПТ можно выделить четыре составляющих потерь: *потери в обмотке возбуждения*, определяемые ее сопротивлением и током возбуждения; *потери в обмотке якоря*, определяемые ее сопротивлением и током якоря; *магнитные потери* в магнитопроводе, определяемы перемагничиванием магнитопровода якоря; *механические потери*, определяемые трением вращающихся частей. К.п.д. машины постоянного тока в зависимости от мощности может быть 60÷96%.

## Заключе ние

4. Основными характеристиками генератора постоянного тока являются: характеристика холостого хода, внешняя характеристика и регулировочная характеристика.

*Характеристика холостого хода (х.х.х.)* – это зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения при отсутствии нагрузки ( $I_{\Pi}=I_{\text{я}}=0$ ) и постоянной частоте вращения, равной номинальной ( $n=n_{\text{НОМ}}=\text{const}$ ). х.х.х. определяется нелинейными свойствами стального магнитопровода и соответствует виду кривой намагничивания стали.

*Внешняя характеристика* - это зависимость напряжения на зажимах генератора от тока в приемнике (тока якоря) при неизменном токе возбуждения (магнитном потоке  $\Phi_{\text{в}}$ ) и частоте вращения  $n$ .

*Регулировочная характеристика* – это зависимость тока возбуждения от тока якоря, при неизменном напряжении на зажимах генератора и постоянной частоте вращения. Она показывает как необходимо регулировать ток возбуждения при изменении нагрузки, чтобы поддерживать напряжение на зажимах генератора неизменным.

Внешняя и регулировочная характеристики генератора зависят от способа возбуждения.

## Заключен

5. Характеристики двигателя постоянного тока определяются его механической характеристикой, пусковыми и регулировочными свойствами.

*Механическая характеристика* – это зависимость частоты вращения  $n$  от момента нагрузки на валу  $M$  ( $n=f(M)$ ). С увеличением момента  $M$  на валу двигателя частота вращения  $n$  уменьшается.

*Пуск двигателя постоянного тока* сопровождается большим пусковым током якоря. Пусковой ток может быть ограничен включением в цепь якоря пускового реостата, либо регулированием напряжения на обмотке якоря.

*Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока* может осуществляться тремя способами: изменением магнитного потока  $\Phi$ в (*полюсное регулирование*), изменением сопротивления в цепи якоря  $Rя$  (*реостатное регулирование*) и изменением напряжения  $U$ , приложенного к обмотке якоря (*якорное регулирование*).

Механическая характеристика при номинальном токе возбуждения и номинальном напряжении якоря называется естественной механической характеристикой. Искусственные механические характеристики зависят от способа регулирования. Вид механической характеристики, пусковые и регулировочные свойства существенно зависят от способа возбуждения машины.

# Контрольные

## вопросы

### **От чего зависит электромагнитный момент МПТ?**

- 1) Электромагнитный момент машины постоянного тока пропорционален току в обмотке якоря и магнитному потоку возбуждения;
- 2) Электромагнитный момент машины постоянного тока пропорционален частоте вращения и обратно пропорционален магнитному потоку возбуждения;
- 3) Электромагнитный момент машины постоянного тока обратно пропорционален току в обмотке якоря и магнитному потоку возбуждения.

### **От чего зависит ЭДС в обмотке якоря МПТ?**

- 1) ЭДС обмотки якоря машины постоянного тока пропорциональна магнитному потоку возбуждения и частоте вращения якоря;
- 2) ЭДС обмотки якоря машины постоянного тока пропорциональна току якоря;
- 3) ЭДС обмотки якоря машины постоянного тока обратно пропорциональна магнитному потоку возбуждения и частоте вращения якоря.

### **Основные составляющие потерь энергии в машине постоянного тока:**

- 1) Потери в обмотке возбуждения, потери в обмотке якоря, магнитные потери механические потери.
- 2) Электрические потери в обмотках, магнитные потери в магнитопроводе, потери в приемнике
- 3) Электрические потери в обмотках и механические потери

# Контрольные вопросы

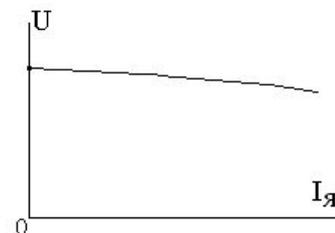
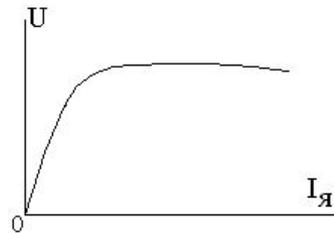
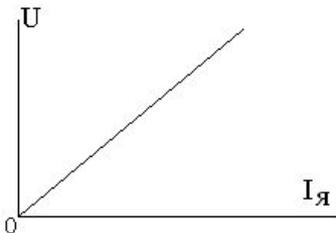
## Характеристика холостого хода ГПТ - это

- Зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения
- Зависимость напряжения на зажимах генератора от тока в приемнике (тока якоря)
- Зависимость тока возбуждения от тока якоря, при неизменном напряжении на зажимах генератора

## Зависит ли напряжение генератора постоянного тока от величины нагрузки?

- С увеличением нагрузки напряжение ГПТ уменьшается.
- С увеличением нагрузки напряжение ГПТ увеличивается.
- Напряжение ГПТ не зависит от величины нагрузки.

## Указать график внешней характеристики ГПТ независимого возбуждения



## **Контрольные вопросы**

### **Что такое холостой ход ГПТ ?**

- Режим работы ГПТ при разомкнутой обмотке якоря (отключенном приемнике).
- Режим работы ГПТ при замкнутых между собой выводах обмотки якоря.
- Режим работы, при котором обмотка возбуждения отключена

### **Чем объясняется уменьшение напряжения ГПТ с увеличением тока якоря?**

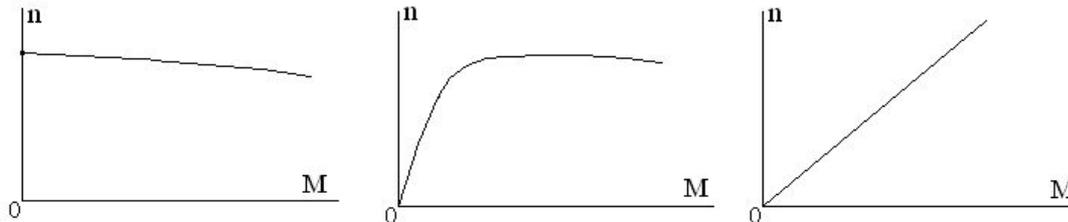
- Падением напряжения в обмотке якоря;
- Уменьшением сопротивления приемника;
- Уменьшением частоты вращения.

### **Как необходимо изменять ток возбуждения ГПТ при увеличении тока нагрузки, чтобы поддержать напряжение неизменным?**

- Увеличивать
- Уменьшать
- Ток возбуждения не влияет

## Контрольные

Указать графы механической характеристики ДПТ.



Что такое холостой ход ДПТ?

- Режим работы ДПТ при отсутствии механической нагрузки на валу.
- Режим работы ДПТ при отключенной обмотке якоря.
- Режим работы ДПТ при отключенной обмотке возбуждения.
- Аварийный режим, возникающий при обрыве цепи обмотки якоря.

Как соотносятся частота вращения холостого хода ( $n_0$ ) и номинальная частота вращения ( $n_{ном}$ ) ДПТ?

- $n_{ном} = n_0$
- $n_{ном} > n_0$
- $n_{ном} < n_0$

## Контрольные вопросы

**Как изменится частота вращения ДПТ, если в цепь якоря ввести добавочное сопротивление?**

Уменьшится      Увеличится      Не изменится

**Как изменится частота вращения ДПТ при введении добавочного сопротивления в цепь возбуждения?**

Уменьшится      Увеличится      Не изменится

**Для чего в цепь якоря ДПТ на время пуска включается пусковой реостат?**

- Для ограничения пускового тока якоря ДПТ;
- Для увеличения пускового момента;
- Для уменьшения электрических потерь.

**Указать механическую характеристику ДПТ с параллельным и последовательным возбуждением**

