
Лекция №12

07.05.20

6. Электрические машины постоянного тока

6.8. Пуск ДПТ

6.9. Свойство саморегулирования ДПТ

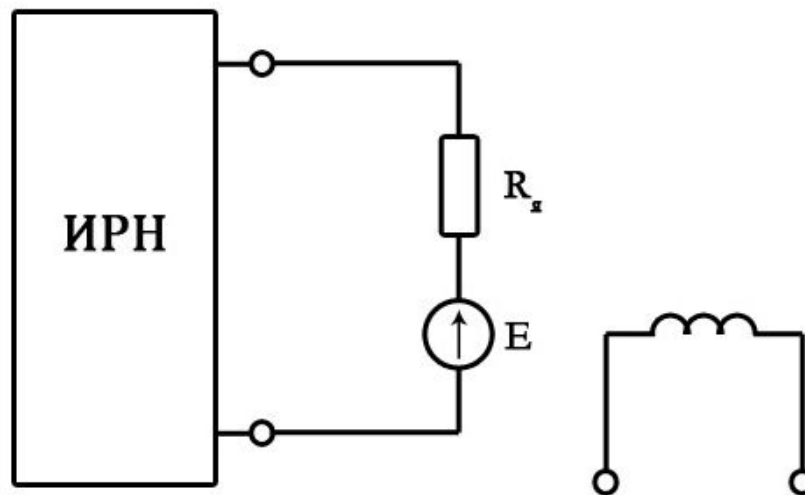
6.10. Основные характеристики ДПТ

6.11. Способы регулирования частоты в ДПТ

6.12. Баланс мощностей в МПТ

§6.8. Пуск при пониженном напряжении

- Применяется в ДПТ большой мощности.
- Для осуществления пуска при пониженном напряжении необходимо иметь источник регулируемого напряжения, подводимого к якорю двигателя.



§6.8. Пуск при пониженном напряжении

- Уменьшение подводимого к якорю напряжения приводит к уменьшению пускового тока и пускового момента.

$$I_{ЯП} = \frac{U}{R_Я} \quad M_П = c_M I_{ЯП} \Phi$$

- По мере разгона якоря двигателя напряжение плавно увеличивается до номинального значения.

§6.8. Реверс – изменение направления вращения

- Направление вращения якоря ДПТ можно изменить на противоположное, изменив направление вращающего (электромагнитного) момента.

$$M_{ЭМ} = c_M \Phi I_{Я}$$

- Это можно осуществить изменением направления тока якоря двигателя или изменением направления магнитного поля.
- Направление тока якоря можно изменить переключением концов обмотки якоря.
- Направление магнитного поля можно изменить изменением полярности источника напряжения в обмотке возбуждения.

§6.9. Свойство саморегулирования ДПТ

- Свойство саморегулирования заключается в способности двигателей постоянного тока автоматически создавать вращающий момент, равный моменту сопротивления на валу.
- В установившемся режиме работы двигателя

$$\overset{\substack{\text{электромагнитный} \\ \text{момент ДПТ}}}{M_{BP}} = M_C \overset{\substack{\text{механический} \\ \text{момент нагрузки}}}{M_C}$$

- частота вращения постоянна - n .

- Из уравнения механики известно:

$$M_{BP} - M_C = J \frac{d\Omega}{dt}$$

- Пусть дано:

$$M_{BP1} = M_{C1} \quad n = n_1 \quad \text{момент инерции}$$

- Если M_C изменился, то n тоже изменится. Момент сопротивления:

$$M_{C2} < M_{C1} \rightarrow (M_{BP1} - M_{C2}) > 0$$

$$\frac{d\Omega}{dt} > 0 \rightarrow n \uparrow$$

$$E = c_E n \Phi \uparrow$$

$$I_{Я} = \frac{U - E}{R_{Я}} \downarrow$$

$$M_{BP} = c_M I_{Я} \Phi \downarrow$$

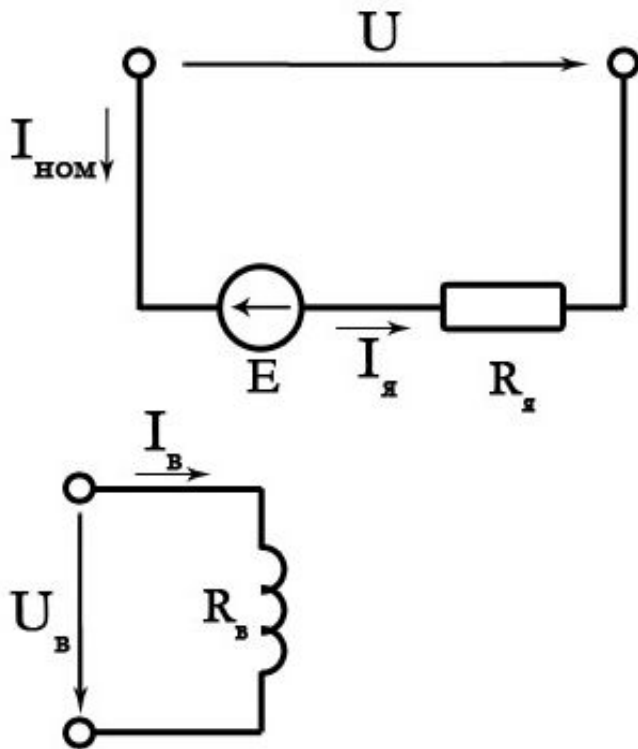
$$M_{BP2} < M_{BP1}$$

Новый установившийся режим \rightarrow
$$\begin{cases} M_{BP2} = M_{C2} \\ n = n_2 > n_1 \end{cases}$$

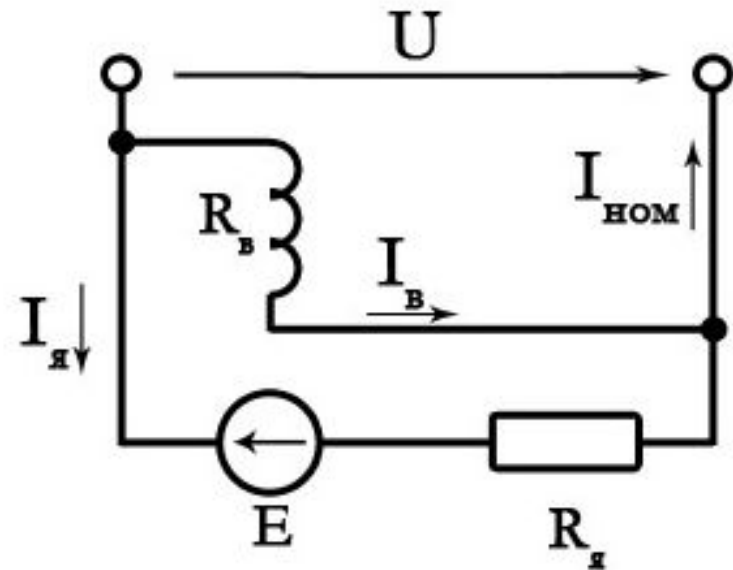
§6.10. Основные характеристики ДПТ

- Основной характеристикой ДПТ является механическая характеристика – зависимость частоты вращения от величины электромагнитного момента при постоянном напряжении, сопротивлениях цепи якоря и цепи возбуждения.
- $U = const, R_{\text{я}} = const, R_{\text{в}} = const.$
- Различают *естественную* и *искусственные* характеристики.
- Естественной называют характеристику, которая получена при номинальном напряжении и номинальном магнитном потоке, при отсутствии пусковых и регулировочных реостатов.
 $U = U_{\text{ном}}, \Phi = \Phi_{\text{ном}}, R_{\text{п.я.}} = 0, R_{\text{р.в.}} = 0, R_{\text{р.я.}} = 0.$
- Механическая характеристика зависит от типа возбуждения двигателя.

§6.10. ДПТ с независимым и параллельным возбуждением



ДПТ с независимым возбуждением



ДПТ с параллельным возбуждением

§6.10. ДПТ с независимым и параллельным возбуждением

$$E = c_E n \Phi \quad U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}} \quad M = c_M I_{\text{я}} \Phi$$

$$n = \frac{E}{c_E \Phi} = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c_E \Phi} = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{U} \right) =$$

$$\frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\text{п}}} \right) = n_0 - \Delta n$$

n_0 – частота вращения при идеальном холостом ходе, когда нет нагрузки на валу.

$$n_0 = \frac{U}{c_E \Phi}$$

$M_{\text{п}}$ – начальный пусковой момент

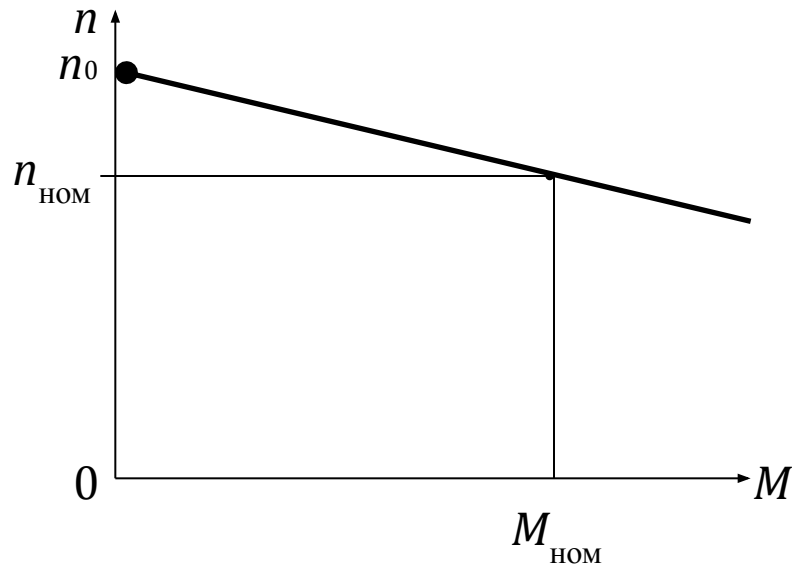
$$M_{\text{п}} = c_M \Phi I_{\text{яп}}$$

при пусковом токе якоря

$$I_{\text{яп}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}$$

§6.10. ДПТ с независимым и параллельным возбуждением

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\text{п}}} \right) = n_0 - \Delta n$$



- Такую характеристику называют жесткой, так как изменение момента нагрузки приводит к незначительным изменениям частоты вращения якоря.

§6.10. ДПТ с независимым и параллельным возбуждением

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\text{п}}} \right) = n_0 - \Delta n$$

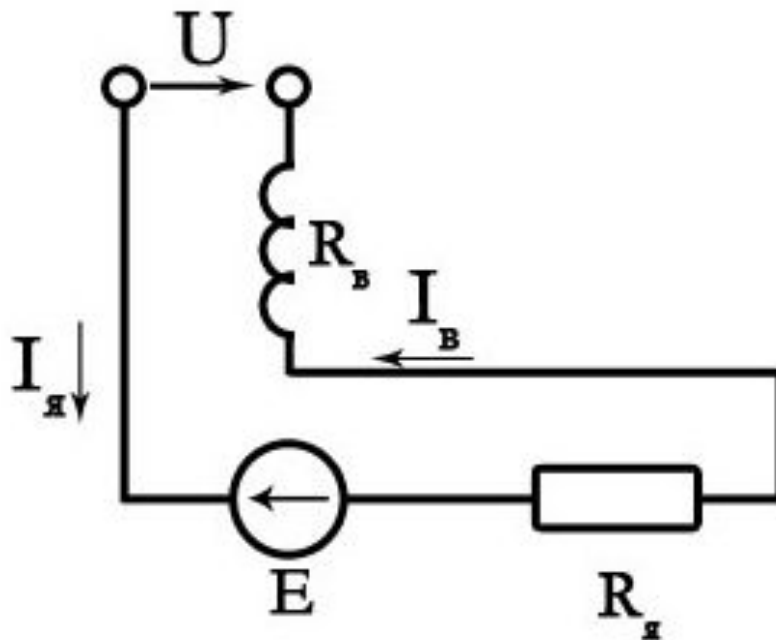
Частота вращения якоря зависит:

- от напряжения питающей сети U ,
- от величины магнитного потока Φ ,
- от величины сопротивления в обмотке якоря $R_{\text{я}}$.

Выделяют три способа регулирования частоты вращения ДПТ:

- якорное,
- полюсное,
- реостатное.

§6.10. ДПТ с последовательным возбуждением



§6.10. ДПТ с последовательным возбуждением

$$E = c_E n \Phi \quad U = E + I_{\text{я}} (R_{\text{я}} + R_{\text{в}}) \quad M = c_M I_{\text{я}} \Phi$$

- Ток якоря равен току возбуждения $I_{\text{я}} = I_{\text{в}}$
- Магнитный поток $\Phi = k_{\phi} I_{\text{в}} = k_{\phi} I_{\text{я}}$
- Тогда электромагнитный момент

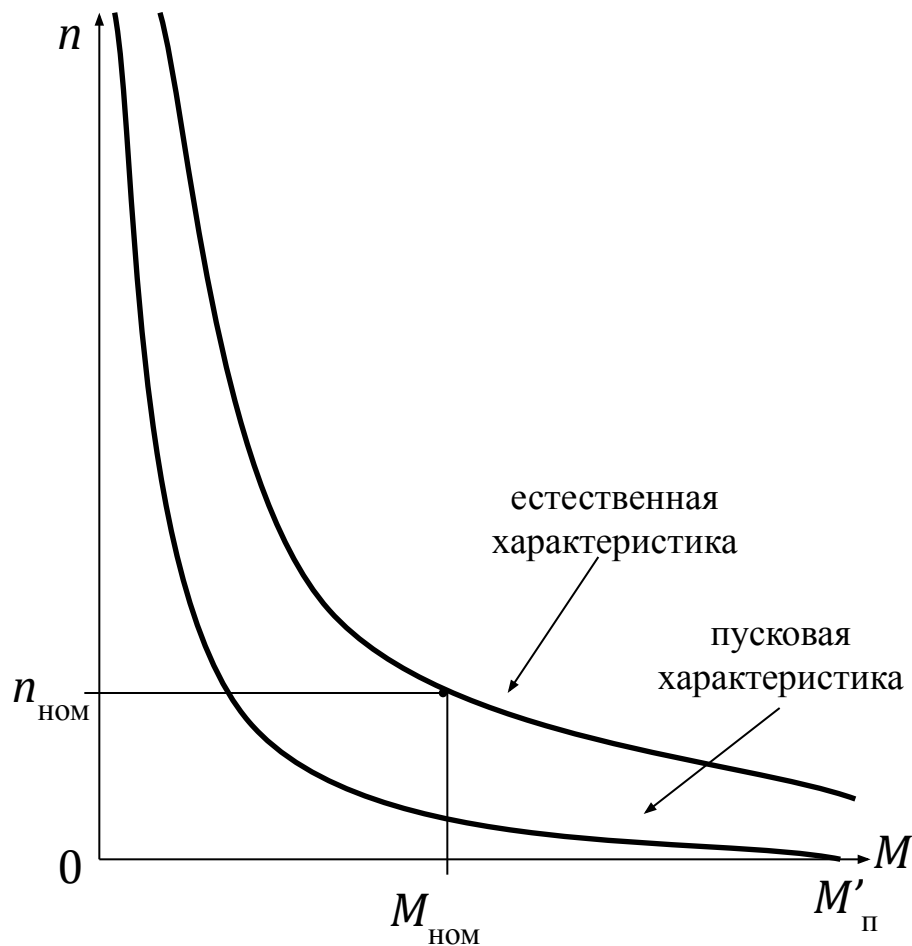
$$M = c_M I_{\text{я}} \Phi = c_M k_{\phi} I_{\text{я}}^2$$

- Уравнение механической характеристики

$$n = \frac{R_{\text{я}} + R_{\text{в}}}{c_E k_{\phi}} \left(\sqrt{\frac{M_{\text{п}}}{M}} - 1 \right)$$

- Такая характеристика называется мягкой, так как частота вращения сильно зависит от момента.

§6.11. ДПТ с последовательным возбуждением

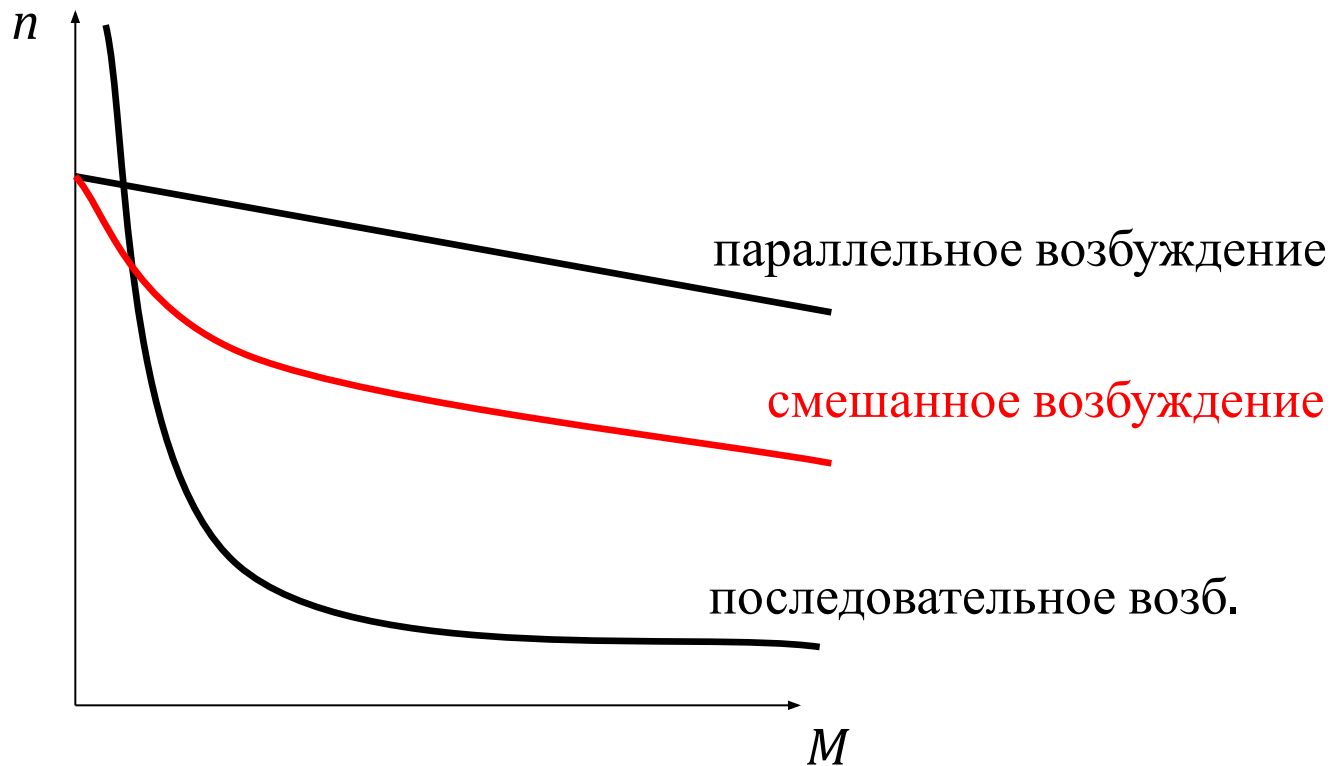


- Ток якоря в таких двигателях меньше зависит от нагрузки. При нагрузках, близких к номинальным, магнитная система машины приходит в насыщение, поток больше почти не изменяется.
- При прямом пуске пусковой момент очень велик, поэтому вводят пусковой реостат для ограничения тока и момента до допустимых значений.
- Особенности: невозможен пуск двигателя без нагрузки, потому что может произойти механическая поломка из-за увеличения частоты вращения.
- Регулирование частоты вращения осуществляется тремя способами:
 - реостатное регулирование;
 - изменение напряжения;
 - полюсное регулирование.

§6.11. ДПТ со смешанным возбуждением

- В двигателях смешанного возбуждения магнитный поток создается действием двух обмоток возбуждения – параллельной и последовательной. Обычно их включают согласно.
- За счет последовательной обмотки магнитный поток увеличивается с ростом тока якоря.
- Двигатель со смешанным возбуждением имеет более жесткую механическую характеристику по сравнению с двигателем последовательного возбуждения, но более мягкую по сравнению с двигателем параллельного возбуждения.
- При слабом влиянии потока последовательной обмотки она будет приближаться к характеристике двигателя параллельного возбуждения, а при сильном – к характеристике двигателя последовательного возбуждения.
- Частота вращения в таких двигателях регулируется так же, как и в двигателях параллельного возбуждения.
- Достоинство этих двигателей – наличие большого пускового момента и возможность работать при холостом ходе.

§6.11. ДПТ со смешанным возбуждением



§6.11. Регулирование частоты вращения в ДПТ с независимым и параллельным возбуждением

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\text{п}}} \right) = n_0 - \Delta n$$

Частота вращения якоря зависит:

- от напряжения питающей сети,
- от величины магнитного потока,
- от величины сопротивления в обмотке якоря.

Выделяют три способа регулирования частоты вращения ДПТ:

- якорное,
- полюсное,
- реостатное.

§6.11 Реостатное регулирование

- Заключается в добавлении добавочного регулировочного реостата в цепь якоря.
- Частный случай – реостатный пуск двигателя.

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{я}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\Pi}} \right) = n_0 - \Delta n$$

- При этом меняется общее сопротивление в цепи якоря, и меняется угол наклона характеристики (уменьшается M_{Π}).
- Достоинство – простой способ регулирования.
- Недостаток – неэкономичный: КПД двигателя уменьшается за счет увеличения потерь в якоре.

§6.11 Реостатное регулирование

$$n = \frac{E}{c_E \Phi} = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 - \Delta n$$

$$R_{\text{р.я.}} \uparrow \rightarrow I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \downarrow \rightarrow$$

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

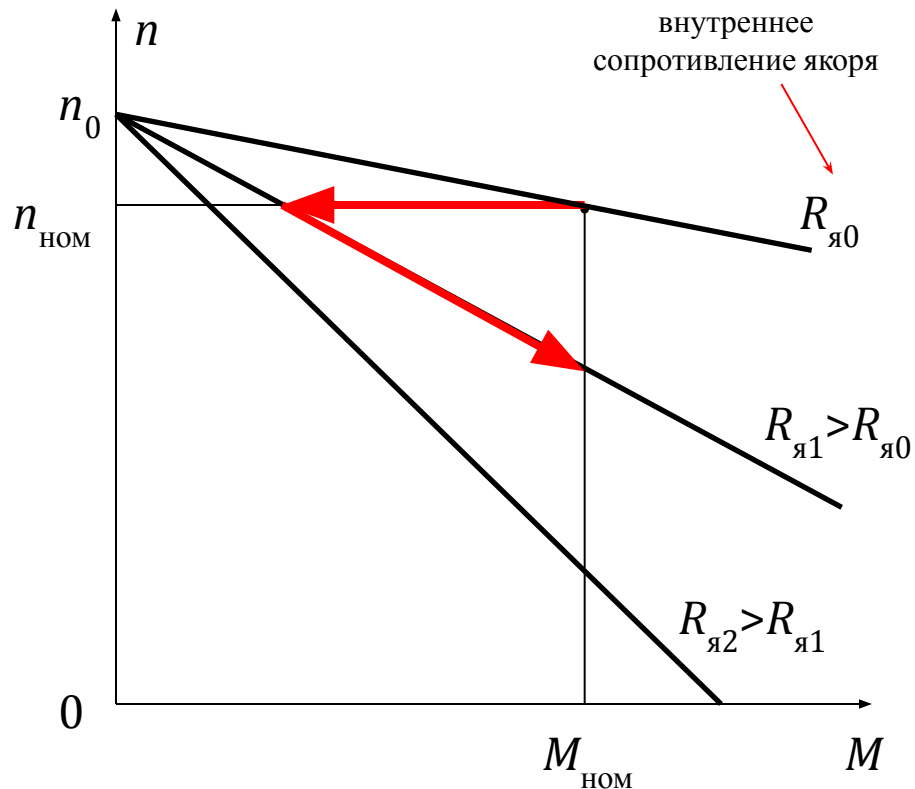
свойство
саморегулирования

$$n \downarrow \rightarrow E = c_E n \Phi \downarrow \rightarrow$$

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \uparrow \rightarrow M = c_M I_{\text{я}} \Phi \uparrow$$

Новый
установившийся
режим

$$\begin{cases} M_{\text{эм}} = M_{\text{н}} \\ n_2 < n_1 \end{cases}$$



§6.11 Полюсное регулирование

- Осуществляется за счет добавления регулировочного реостата в цепь возбуждения для регулирования величины магнитного потока.

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\text{п}}} \right) = n_0 - \Delta n$$

- При этом меняется частота холостого хода n_0 и пусковой момент $M_{\text{п}}$.
- Такой способ нельзя применять при номинальной нагрузке, так как с уменьшением магнитного потока ток якоря превысит номинальный, а это аварийный режим. Также при этом возрастает частота вращения ненагруженного двигателя, что может привести к поломке.
- Достоинство – экономичность.
- Недостаток – малый диапазон регулирования частоты.

§6.11 Полюсное регулирование

$$n = \frac{E}{c_E \Phi} = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 - \Delta n$$

$$R_{\text{р.в.}} \uparrow \rightarrow I_{\text{в}} = \frac{U}{R_{\text{в}} + R_{\text{врег}}} \downarrow \rightarrow \Phi \downarrow \rightarrow$$

$$E = c_E n \Phi \downarrow \rightarrow I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \uparrow \rightarrow$$

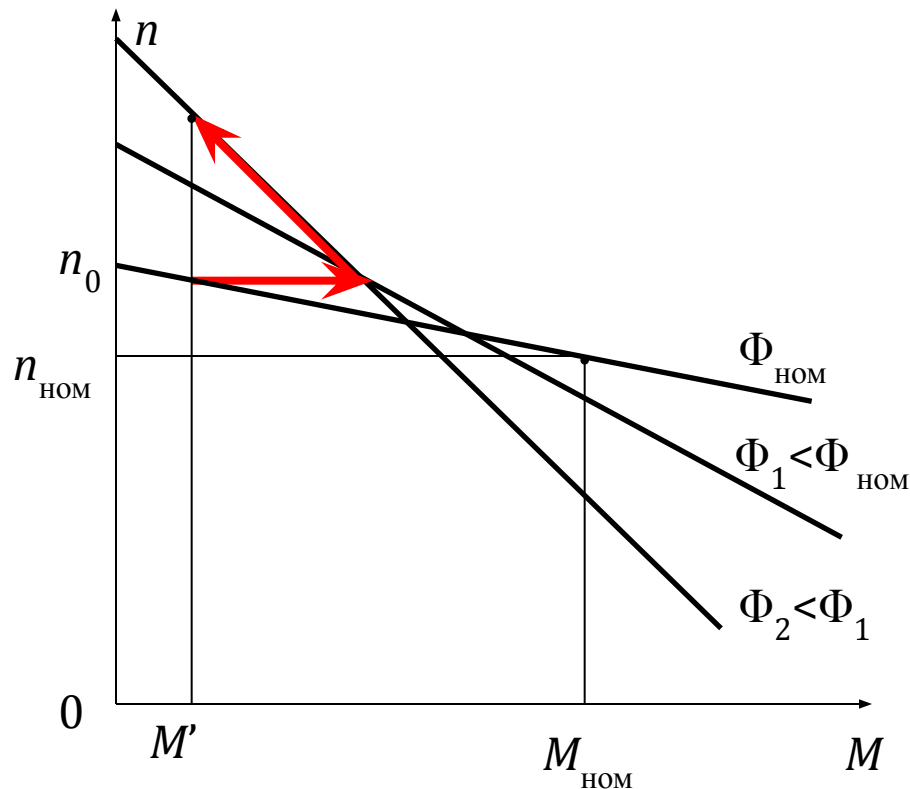
$$M = c_M I_{\text{я}} \Phi \uparrow$$

свойство
саморегулирования

$$n \uparrow \rightarrow E = c_E n \Phi \uparrow \rightarrow$$

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \downarrow \rightarrow M = c_M I_{\text{я}} \Phi \downarrow$$

Новый установившийся
режим



§6.11 Якорное регулирование

- Заключается в изменении напряжения, подводимого к якорю двигателя.
- Возможно только для ДПТ независимого возбуждения, так как только в них возможно изменение напряжения без изменения магнитного потока полюсов
- Обратная последовательность – это пуск двигателя при пониженном напряжении.

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 \cdot \left(1 - \frac{M}{M_{\text{п}}} \right) = n_0 - \Delta n$$

- Изменяется частота холостого хода n_0 и пусковой момент $M_{\text{п}}$.
- Достоинство – сохраняется наклон (жесткость) характеристики.
- Недостаток – требуется дорогой отдельный источник регулируемого напряжения.

§6.11 Якорное регулирование

$$n = \frac{E}{c_E \Phi} = \frac{U}{c_E \Phi} \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{я}}}{U} \cdot \frac{M}{c_M \Phi} \right) = n_0 - \Delta n$$

$$U \downarrow \rightarrow I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \downarrow \rightarrow$$

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

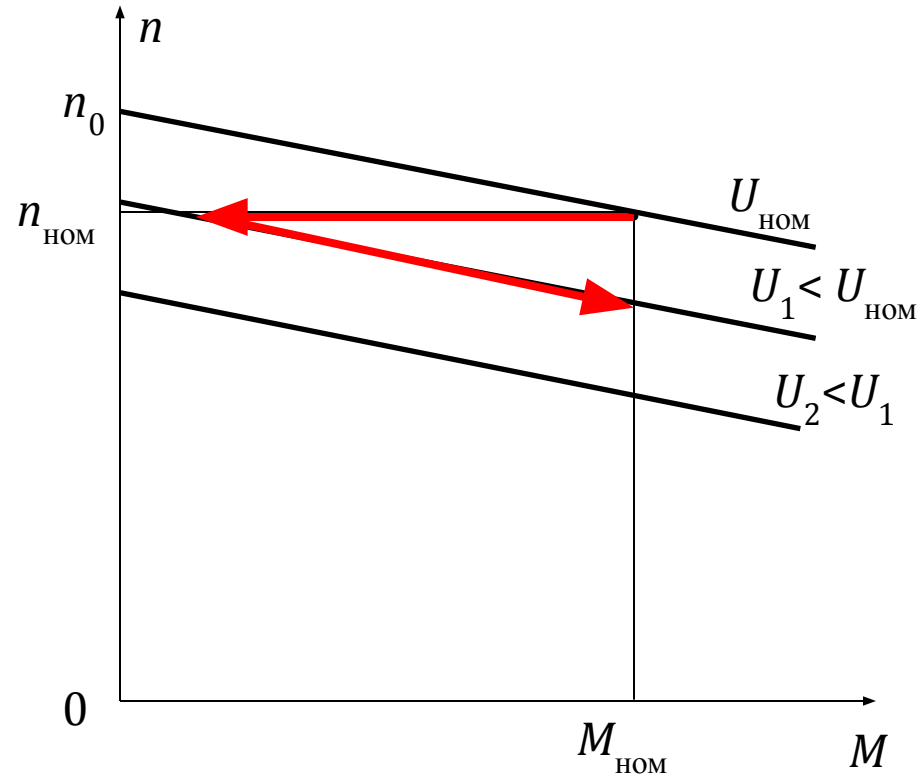
свойство
саморегулирования

$$n \downarrow \rightarrow E = c_E n \Phi \downarrow \rightarrow$$

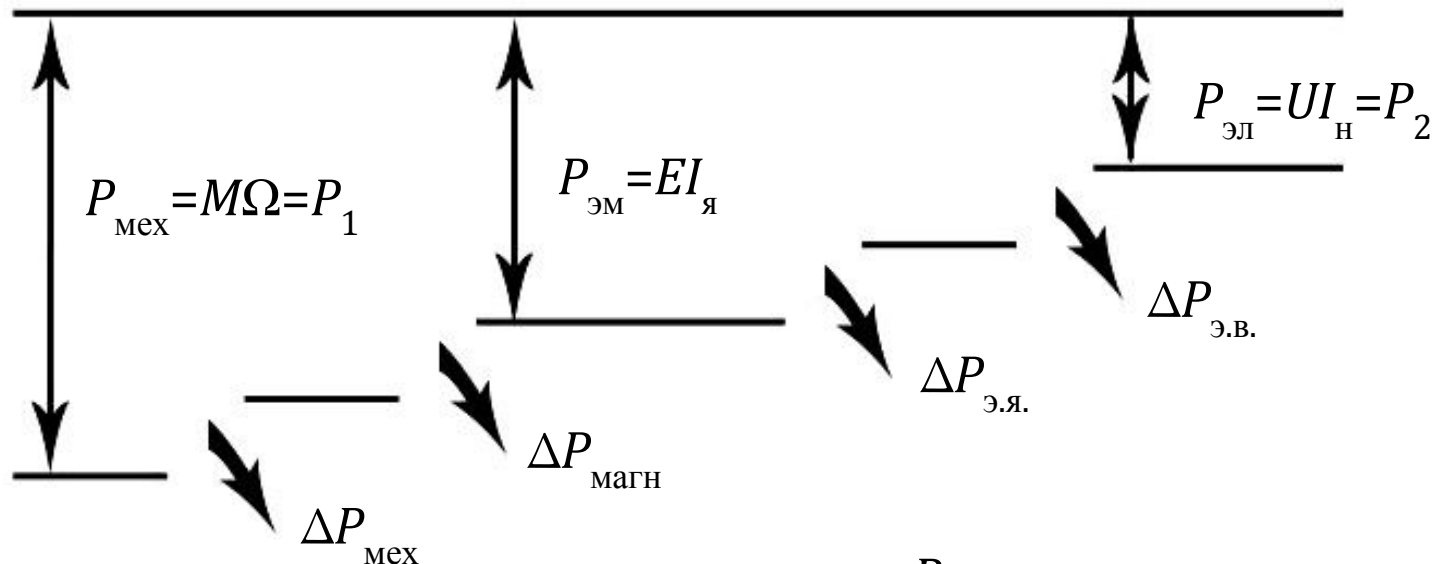
$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} \uparrow \rightarrow M = c_M I_{\text{я}} \Phi \uparrow$$

Новый
установившийся
режим

$$\begin{cases} M_{\text{эм}} = M_{\text{н}} \\ n_2 < n_1 \end{cases}$$

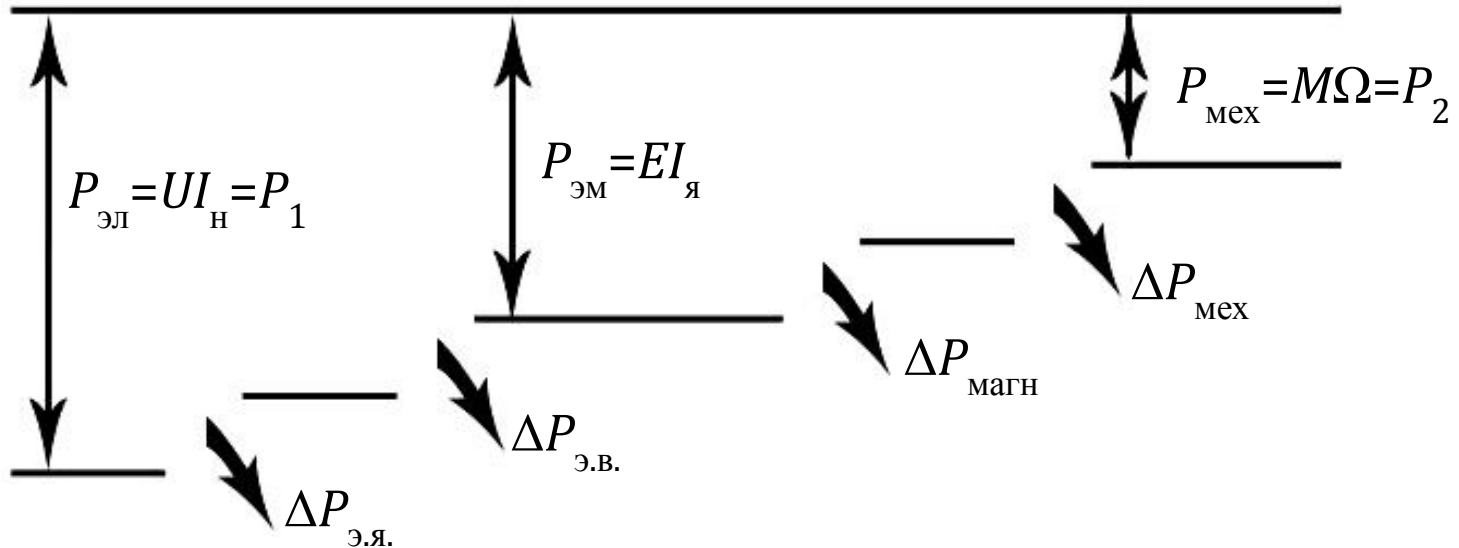


§6.12. Баланс мощностей в ГПТ



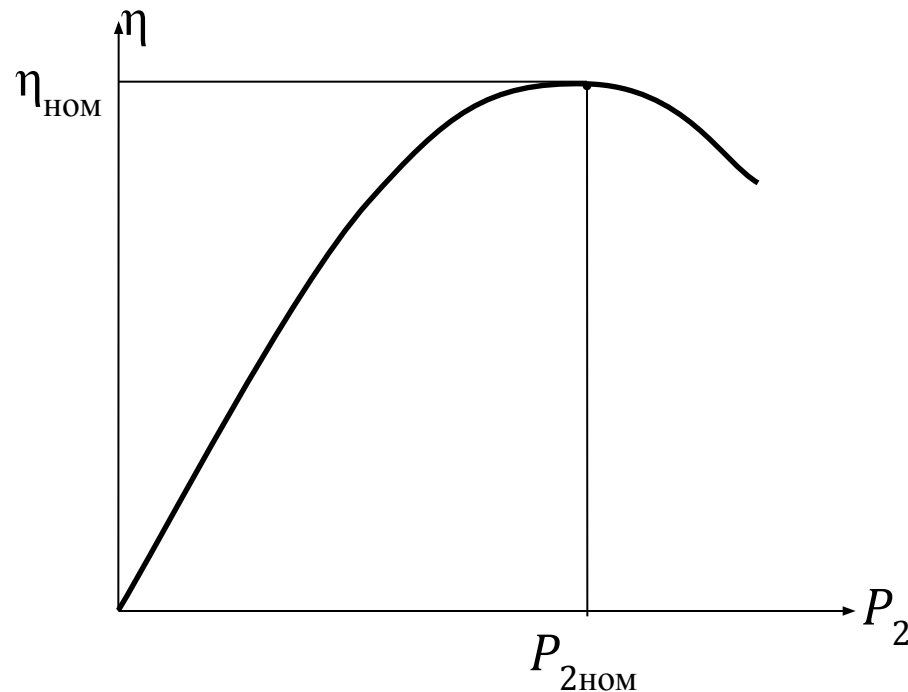
- Затраченная мощность – механическая $P_{\text{мех}}$, полезная мощность – электрическая $P_{\text{эл}}$.
- Магнитные потери – потери в магнитопроводе якоря вследствие его перемагничивания. Это постоянные потери, они не зависят от режима работы ГПТ. Их можно уменьшить, выполняя сердечник якоря из отдельных листов (шихтованным).
- Механические потери (постоянные) – потери на трение.
- Электрические потери – связаны с нагревом обмоток якоря и возбуждения. Потери переменные, зависят от режима работы.

§6.12. Баланс мощностей в ДПТ



- Затраченная мощность – электрическая $P_{эл}$, полезная мощность – механическая $P_{мех}$.
- Электрические потери в якоре и в обмотке возбуждения – переменные, это потери на нагрев обмотки якоря и обмотки возбуждения.
- Магнитные потери (постоянные) – потери в магнитопроводе якоря вследствие его перемагничивания.
- Механические потери (постоянные) – потери на трение.

§6.12. Баланс мощностей в ДПТ



- Рабочая характеристика – зависимость КПД машины от полезной мощности.
- Наибольший КПД достигается при работе в номинальном режиме.