

ЛЕКЦИЯ 3

3 Электропривод с двигателем постоянного тока

В ЭП используются ДПТ независимого возбуждения (НВ), последовательного возбуждения (ПВ) и смешанного (СВ).

Такой ЭП широко применяют при необходимости в регулировке скорости и в больших пусковых моментах.

Статические характеристики:

- электромеханическая характеристика ЭД $\omega = f(I_a)$ – зависимость скорости вращения от тока якоря .
- механическая характеристика ЭД $\omega = f(M)$ – зависимость скорости вращения от момента нагрузки.

Различают естественную и искусственную характеристики ЭД.

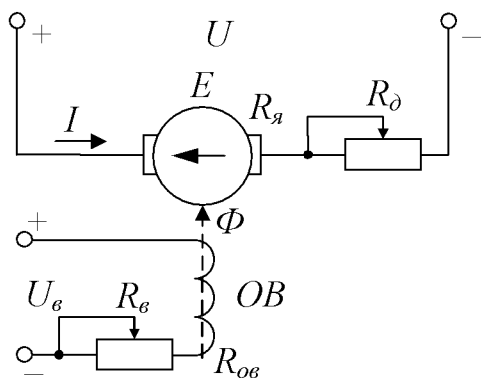
Естественная – соответствует основной (паспортной) схеме включения и номинальному напряжению.

На ней располагается точка номинального режима (ω_n, I_n) или (ω_n, M_n) .

Искусственная – соответствует включению ЭД не на основной схеме, включению в его цепи добавочных элементов (R,C,L) или $U_{пит} \neq U_n$.

3.1 Статические характеристики двигателей постоянного тока независимого возбуждения

На рисунке 3.1:



$$R_{я} = r_{оя} + r_{ко} + r_{дп} + r_{щ},$$

где $r_{оя}$ – обмотки якоря;

$r_{ко}$ – компенсационной обмотки;

$r_{дп}$ – добавочных полюсов;

$r_{щ}$ – щеточного контакта;

$R = R_{я} + R_{д}$ – сопротивление якорной цепи

Рисунок 3.1 – Электрическая схема ДПТ НВ

Принимаем следующие допущения:

- 1) реакцией якоря пренебрегаем;
- 2) момент на валу двигателя равен электромагнитному моменту.

Для вывода формул воспользуемся основными формулами:

$$U = E + IR \quad (1),$$

$$E = k\Phi\omega \quad (2),$$

$$M = k\Phi I \quad (3),$$

где Φ – магнитный поток;

k – конструктивный коэффициент машины, $k = pN / (2\pi a)$

Подставим формулу (2) в (1):

$$U = k\Phi\omega + IR,$$

Получаем уравнение электромеханической характеристики $\omega = f(I)$,

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi} \quad (4)$$

Выведем уравнение механической характеристики $\omega = f(M)$. Из формулы (3) выразим ток $I = \frac{M}{k\Phi}$, а затем подставим в формулу (4):

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR}{(k\Phi)^2} \quad (5)$$

Характеристики линейны, их можно совместить, т.к. $M \sim I$

Характерные точки:

- 1) точка А – точка идеального холостого хода;

$$I = 0, M = 0, U = E; \omega_0 = \frac{U}{k\Phi}$$

- 2) точка В – точка короткого замыкания;

$$\omega = 0, E = 0, I_{к.з.} = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_{я} + R_{\delta}}$$

Режим к.з. машины соответствует неподвижному состоянию якоря при поданном напряжении якоря, а не замыканию его цепей друг с другом или на корпус (пример – момент пуска).

3.2 Энергетические режимы работы двигателей постоянного тока независимого возбуждения

ЭМ обладает свойством обратимости. При этом переход одного режима в другой может происходить без изменения схемы включения. Энергетический режим работы ЭМ можно определить исходя из двух переменных:

- 1) электрических (Э.Д.С. и ток)
- 2) механические (момент и угловая скорость)

Если ω и M имеют одинаковое направление, а ток и Э.Д.С. направлены встречно – двигательный режим. Если ток и Э.Д.С. сонаправлены, а ω и M направлены встречно – генераторный режим.

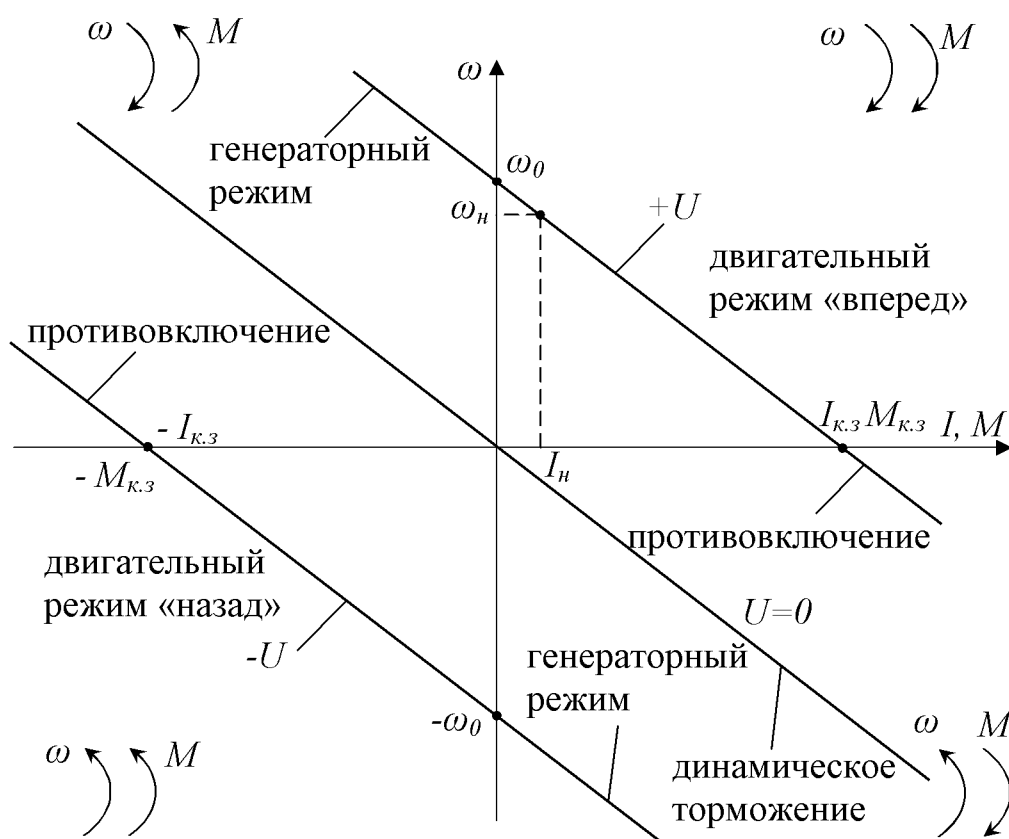


Рисунок 3.2 – Графики статических характеристик ДПТ НВ.

Холостой ход и короткое замыкание являются граничными точками. На статических характеристиках (рисунок 3.2) обозначены участки режимов ДПТ НВ

Режим холостого хода (точка ω_0) – ЭД не получает энергии ни из сети (за исключением обмотки возбуждения), ни с вала. $I=0$, $E=U=k\Phi\omega_0$, $M=0$, $\omega=\omega_0$

Двигательный режим – в диапазоне $0 < \omega < \omega_0$. В этом режиме: $E < U$, ток $I=(U-E)/R$ совпадает с напряжением по направлению и не совпадает с Э.Д.С. Электрическая энергия поступает из сети, а механическая энергия с вала ЭД передается на ИО.

Генераторный режим работы параллельно с сетью (торможение с рекуперацией энергии в сеть) – отдача энергии в сеть, $\omega > \omega_0$, $E > U$, ток и момент меняют свои направления на противоположные. ЭД получает механическую энергию от рабочей машины и отдает электрическую в сеть (торможение).

Режим короткого замыкания – при $\omega=0$, $E=0$, $I_{к.з.}=U/R$. Электрическая энергия, поступающая из сети, рассеивается в виде тепла. Механическая энергия с вала не отдается.

Режим генератора при его последовательном соединении с сетью – торможение с противовключением, $\omega < 0$. Э.Д.С. меняет свою полярность за счет изменения направления скорости. $I \uparrow \uparrow E$, U , т.е. $I=(U+E)/R$. Электрическая энергия, поступающая из сети вырабатываемая самим ЭД за счет механической энергии работающей машины, рассеивается в виде тепла.

Режим автономного генератора (динамическое торможение) – $I \uparrow \uparrow E$. Электрическая энергия вырабатывается за счет поступающей с вала механической энергии работающей машины и рассеивается в виде тепла.

$$\left. \begin{array}{l} \text{КПД: } P_{\text{мех}} = M\omega \\ P_{\text{эл}} = UI + I_{\text{в}} U_{\text{в}} \end{array} \right\} \rightarrow \eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{эл}}} = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{мех}} + \Delta P}$$

3.3 Статические характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения

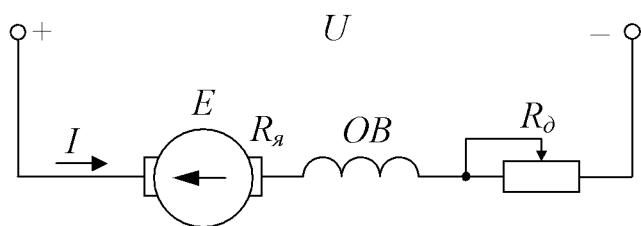


Рисунок 3.3 – Электрическая схема ДПТ ПВ

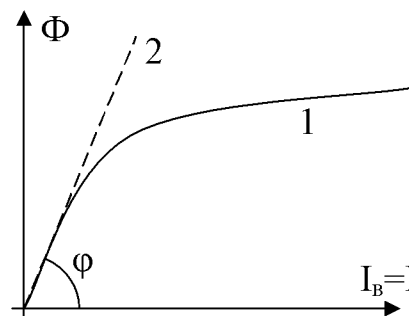


Рисунок 3.4 – Кривая намагничивания ДПТ ПВ

Можно применить формулы (4) и (5), но магнитный поток зависит от тока (см. рисунок 3.4), т.е.

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi(I)} \quad (1); \quad \omega = \frac{U}{k\Phi(I)} - \frac{MR}{[k\Phi(I)]^2} \quad (2);$$

где $R = R_{я} + R_{об} + R_{д}$

$\Phi = f(I)$ не имеет точного аналитического выражения, поэтому вводим допущение: кривую 1 заменяем прямой 2.

$$\Phi = \alpha I \quad (3), \text{ где } \alpha = \text{tg}\varphi = \text{const},$$

$$\text{Следовательно, } M = k\Phi I = k\alpha I^2 \quad (4) \rightarrow I = \sqrt{\frac{M}{k\alpha}}$$

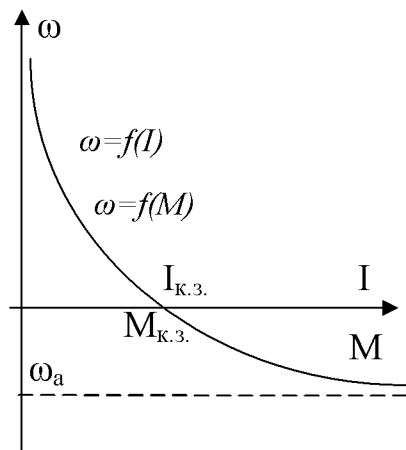
Тогда формулы для характеристик будут иметь вид:

$$\omega = \frac{U}{k\alpha I} - \frac{R}{k\alpha} \quad (5) - \text{электромеханическая характеристика } \omega = f(I)$$

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{k\alpha M}} - \frac{R}{k\alpha} \quad (6) - \text{механическая характеристика } \omega = f(M)$$

Для построения графиков найдем асимптоты этих характеристик при токе и моменте, стремящимся к нулю и к бесконечности

При $I \rightarrow 0$ и $M \rightarrow 0$ скорость, как это следует из формул (5) и (6) $\omega \rightarrow \infty$.



Асимптота – ось ω .

При $I \rightarrow \infty$ и $M \rightarrow \infty$ скорость $\omega \rightarrow -R/k\alpha$, т.е. прямая с ординатой $\omega_a = -R/k\alpha$ является горизонтальной асимптотой.

Зависимости $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$ (см. рисунок 3.5) имеют гиперболический характер.

Рисунок 3.5 – Графики статических характеристик ДПТ ПВ

При небольших I и M нагрузка идет «вразнос», поэтому нет режима х.х. и генераторного с рекуперацией.

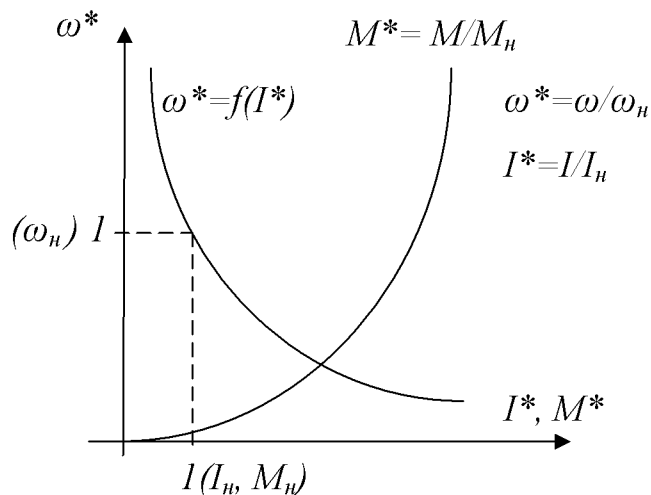


Рисунок 3.6 – Универсальные характеристики ДПТ ПВ

На практике используются универсальные характеристики ДПТ ПВ (приведены в справочниках), построенные в относительных единицах (см. рисунок 3.6).

3.4 Свойства и характеристики двигателей постоянного тока смешанного возбуждения

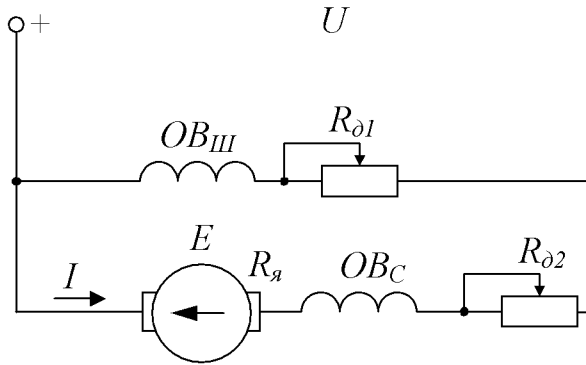
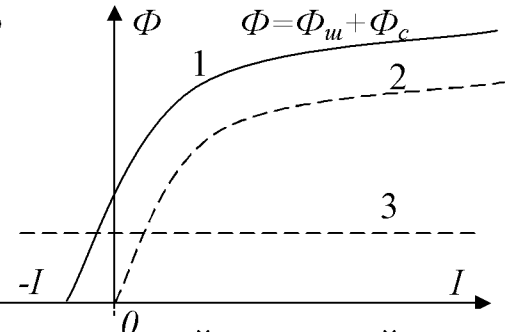


Рисунок 3.7 – Электрическая схема ДПТ СВ



1 – суммарный магнитный поток Φ ;
2 – магнитный поток шунтовой обмотки
3 – магнитный поток серийной обмотки
Рисунок 3.8 – Кривая намагничивания ДПТ СВ

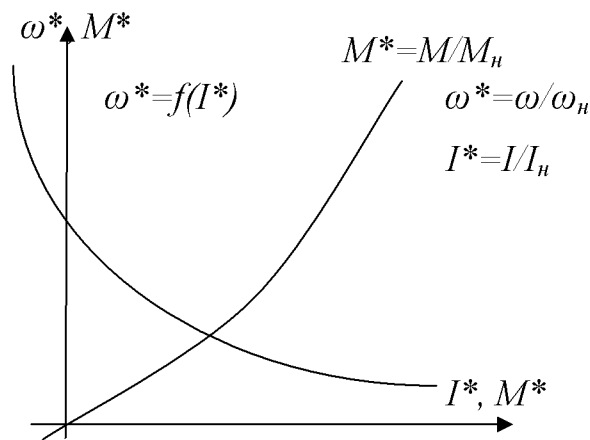


Рисунок 3.9 – Универсальные кривые ДПТ СВ

Электромеханическая и механическая характеристики ДПТ СВ выражаются формулами:

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi(I)}; \omega = \frac{U}{k\Phi(I)} - \frac{MR}{[k\Phi(I)]^2}$$

Универсальные характеристики ДПТ СВ схожи с характеристиками ДПТ

ПВ, но имеется одно отличие:

имеется определенная скорость идеального холостого хода.

ДПТ СВ может работать во всех энергетических режимах.

Статические характеристики двигателей постоянного тока

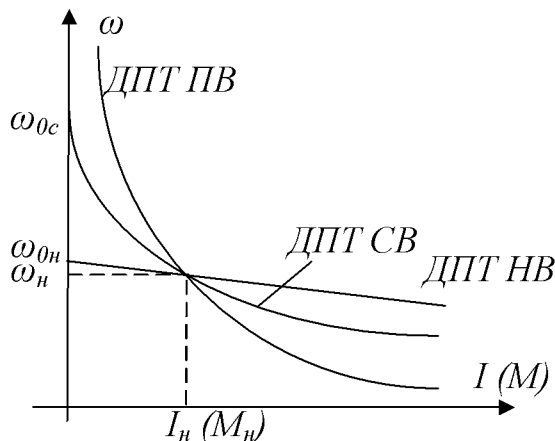


Рисунок 3.10 – Характеристики ДПТ

Задание:

Письменно ответить на следующие вопросы (сделать фотоотчет и выслать по эл. почте):

1. Дать понятия следующим видам характеристик:
 - электромеханической;
 - механической;
 - естественной;
 - искусственной.
2. Привести схему ДПТ НВ, записать формулы для его электромеханической и механической характеристик, привести их график.
3. Перечислить режимы работы ДПТ НВ.
4. Привести схему ДПТ ПВ, записать формулы для его электромеханической и механической характеристик, привести их график.
5. Привести схему ДПТ СВ, записать формулы для его электромеханической и механической характеристик, привести их график.