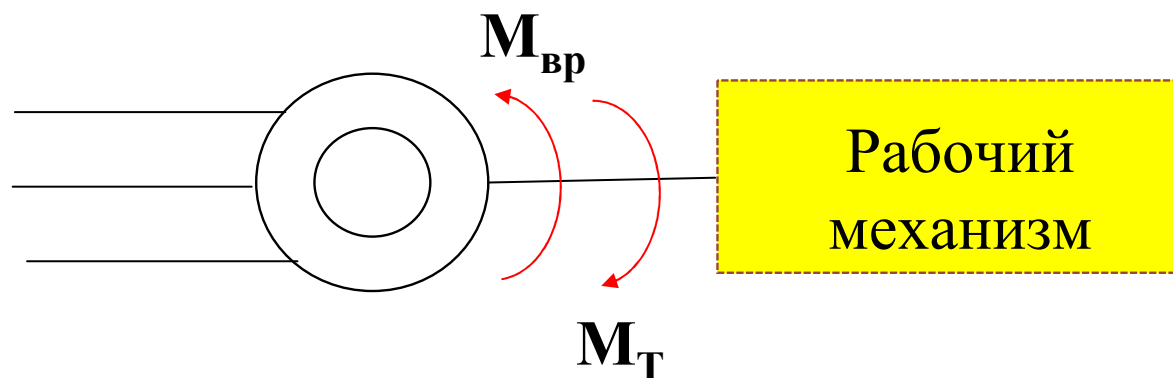


Методы регулирования частоты вращения двигателя



$$M_{\text{вр}} - M_{\text{Т}} = J \frac{d\Omega}{dt}$$

$M_{\text{вр}} = M_{\text{Т}}$ – установившийся режим

$M_{\text{вр}} > M_{\text{Т}}$ – происходит разгон

$M_{\text{вр}} < M_{\text{Т}}$ – происходит торможение

$$n_2 = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

Можем менять частоту сети, число пар полюсов или скольжение

Рассмотрим способы регулирования скорости вращения ротора общие для АД с фазным ротором и АД с короткозамкнутым ротором.

1. Метод частотного регулирования

наиболее перспективный

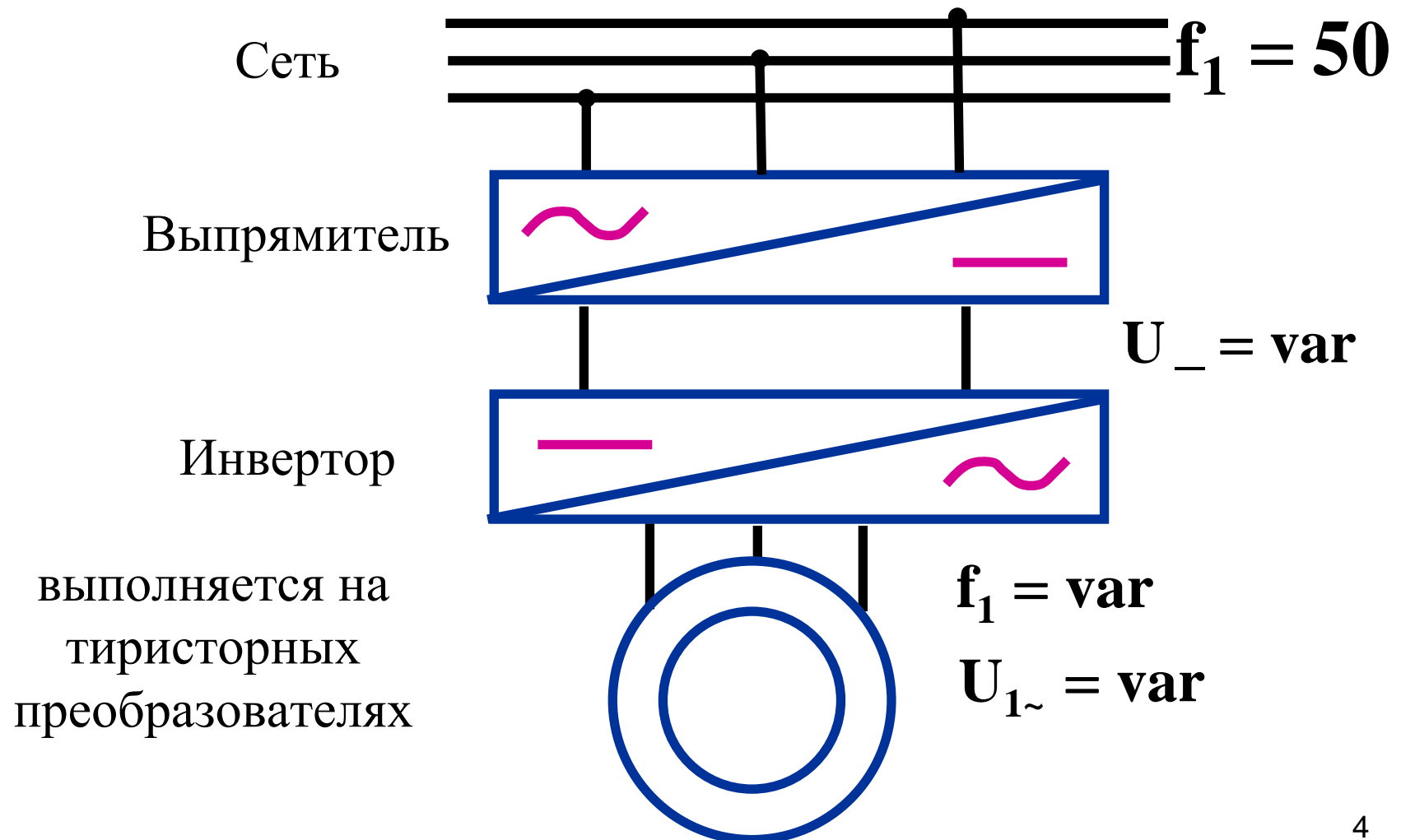
$$M_{\text{вр}} \equiv \frac{U_1^2}{f_1^2}$$

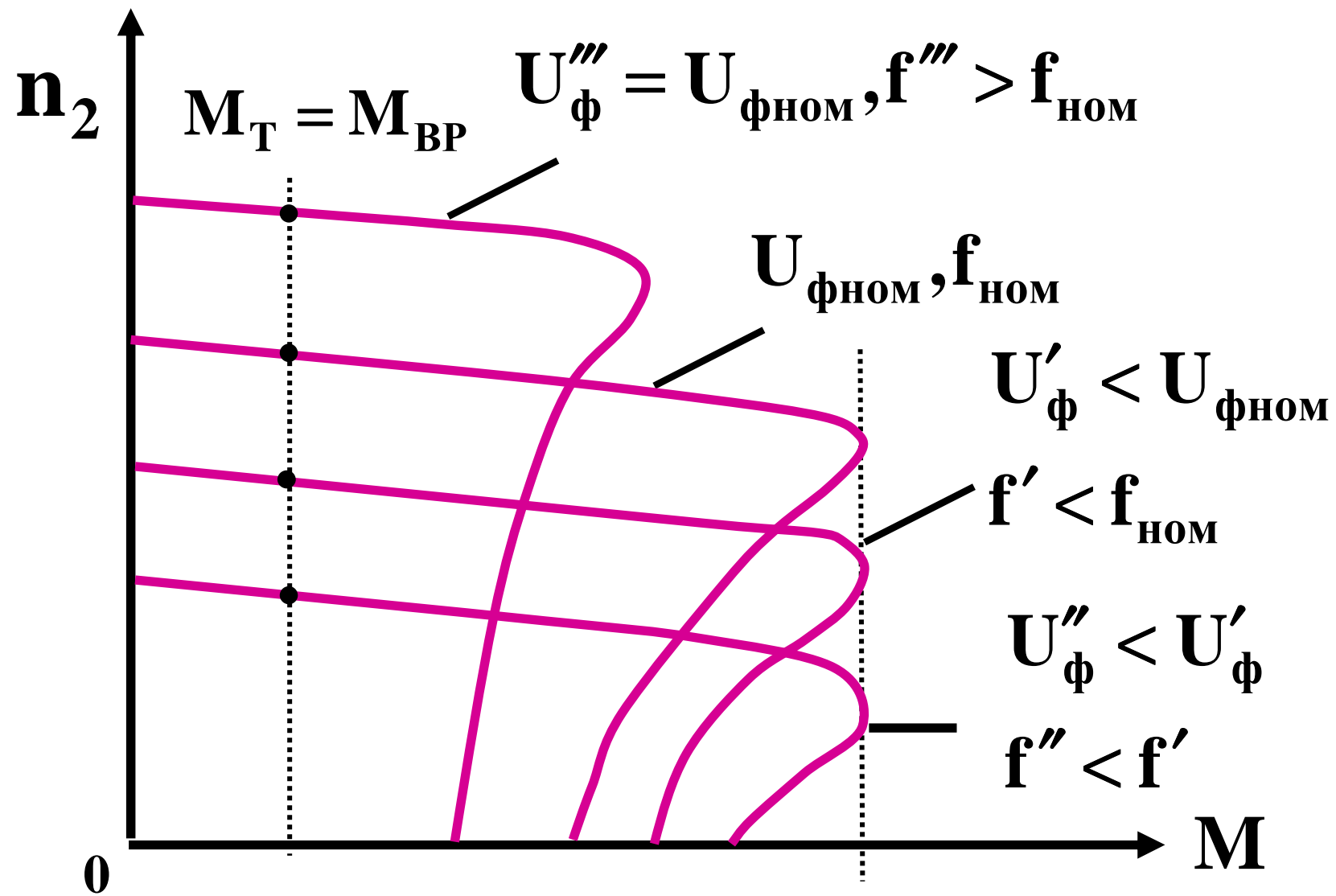
Чтобы $M_{\text{вр}}$ не изменялся, надо поддерживать

$$\frac{U_1}{f_1} = \mathbf{const}$$

Эту задачу решают с помощью современных
электронных устройств

Схема включения двигателя с частотным регулированием скорости





Жесткость характеристик не меняется, так как они идут параллельно.

$M_{\max} = \text{const}$ при $f < f_{\text{ном}}$, а $M_{\text{пуск}}$ с уменьшением частоты увеличивается.

Достоинства способа

1. Большой диапазон регулирования
2. Плавность регулирования

Недостатки

1. Сложность регулировочной аппаратуры
2. П/п элементы дороже самого двигателя

При $f > f_{\text{ном}}$ соблюдение постоянства M_{max} не выполняется т.к. требует регулирования напряжения выше номинального. Во избежание перегрузки двигателя по мощности такой режим допустим только при снижении нагрузки на валу.

2. Метод регулирования изменением числа пар полюсов.

Если на статоре поместить две отдельные обмотки числом пар полюсов p и p'

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad n'_1 = \frac{60f}{p'} \quad \frac{n_1}{n'_1} = \frac{p'}{p}$$

$$p=1$$

$$n_1=3000$$

$$p=2$$

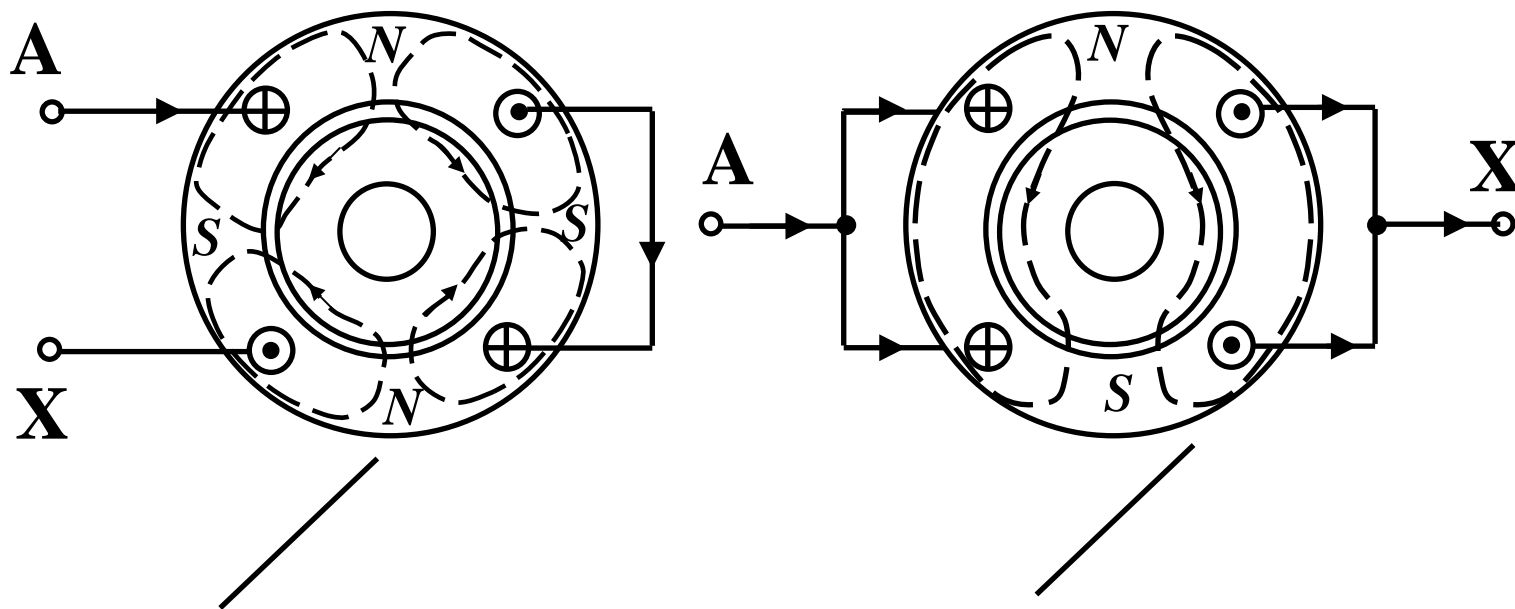
$$n_1 = 1500$$

$$p=5$$

$$n_1 = 600$$

**В пазы укладываем две обмотки с разным числом полюсов
(двигатели небольшой мощности).**

**У мощных двигателей обмотка переключается с одной пары
полюсов на другую.**



Катушки соединены
последовательно

Катушки соединены
параллельно

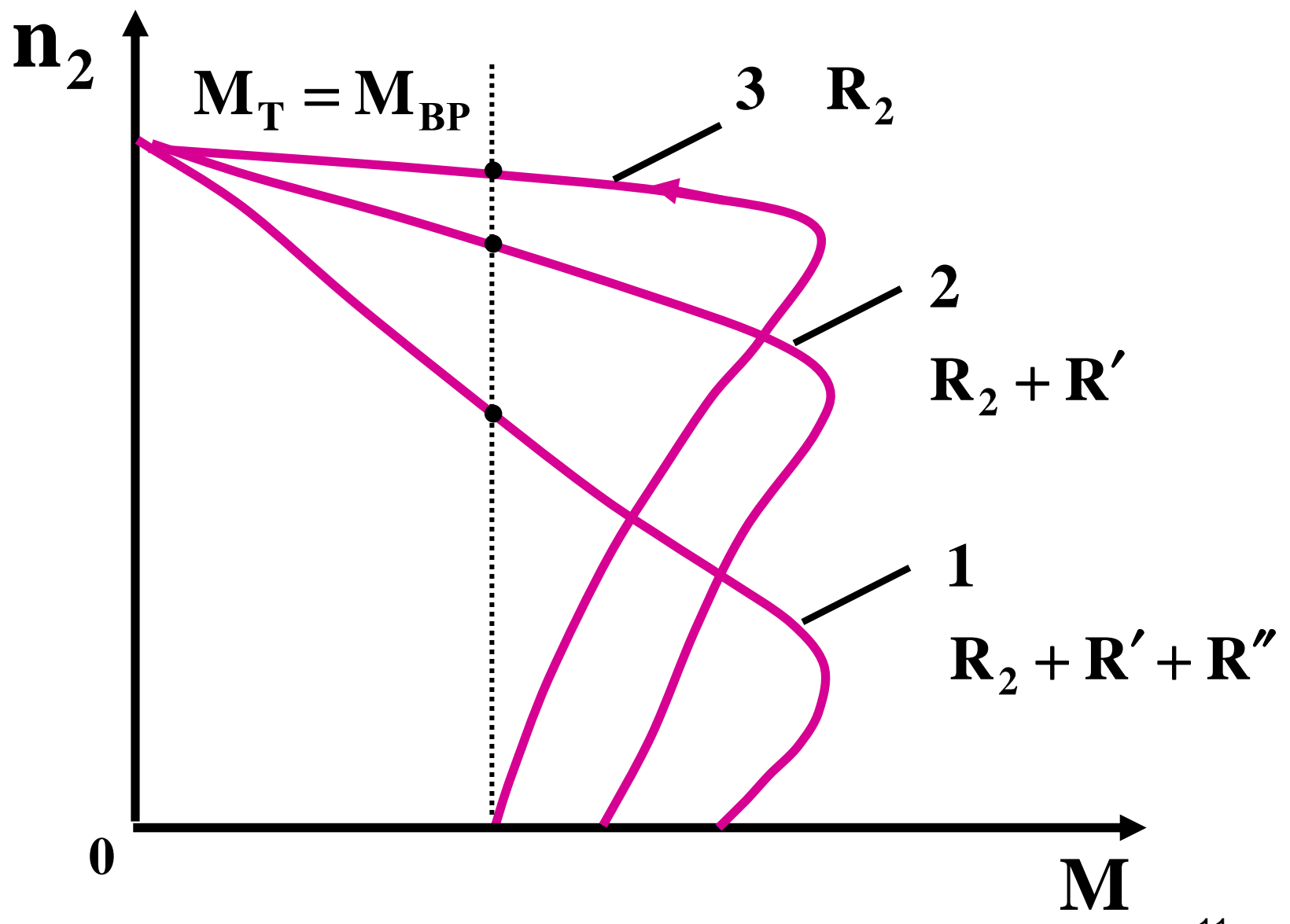
Достоинства: экономичность и большой диапазон регулирования.

Недостатки: большая дискретность изменения частоты и усложнение конструкции обмотки.

3. Реостатное регулирование

применяется для двигателя с фазным ротором

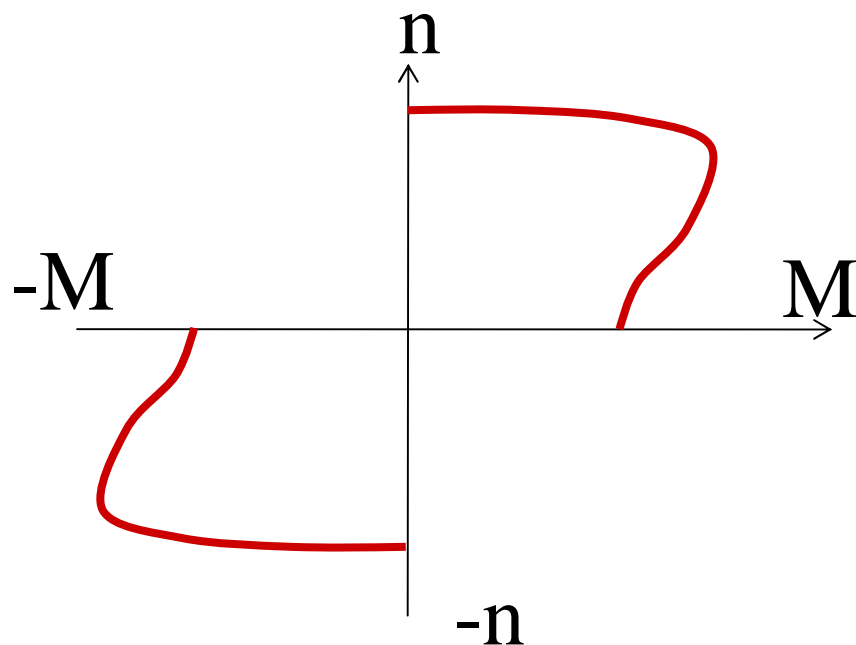
Недостатки: большие потери энергии в реостате, неэффективно при малых нагрузках, механическая характеристика мягче, следовательно, уменьшается устойчивость работы двигателя.



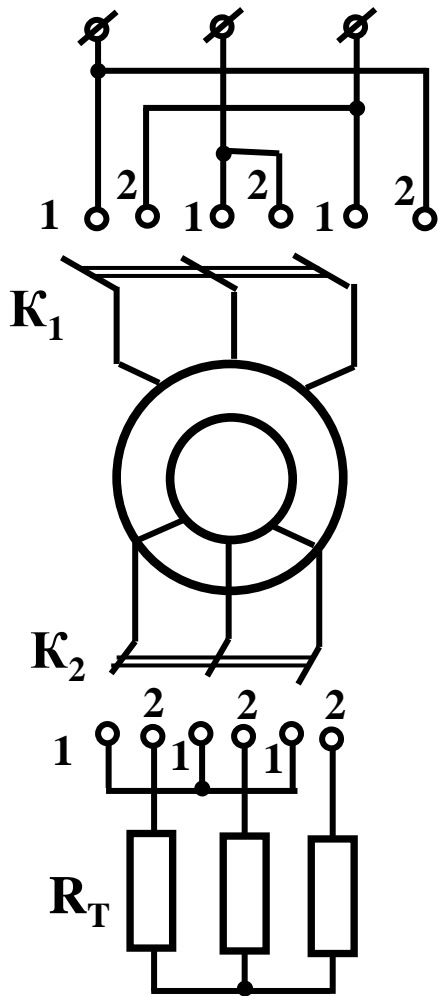
Способы электрического торможения

1. Торможение противовключением

Осуществляется переключением двух фаз статора, т.е. изменением направления вращения магнитного поля машины.



В момент, когда ротор остановится, обмотку статора отключают от сети, т.к. двигатель может начать разгон в обратном направлении.

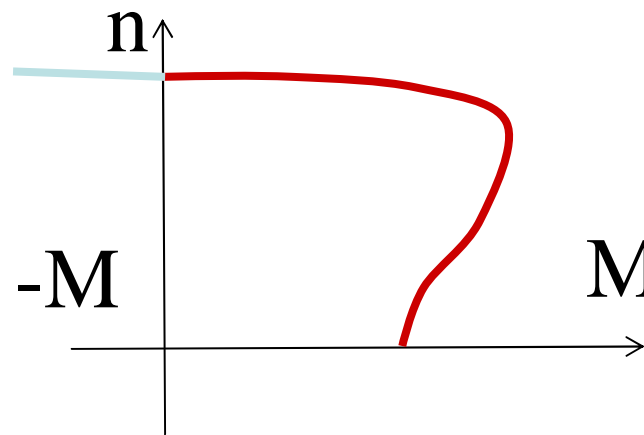


$s > 1$, частота токов в роторе возрастает, что приводит к росту ЭДС и токов в роторе. Для ограничения вводится R_T .

K_1 из положения 1 в 2; K_2 из 1 в 2

2. Рекуперативное торможение (т.е. торможение с отдачей энергии в сеть)

- перевод машины из режима двигателя в режим генератора. Для этого необходимо, чтобы $n_2 > n_1$

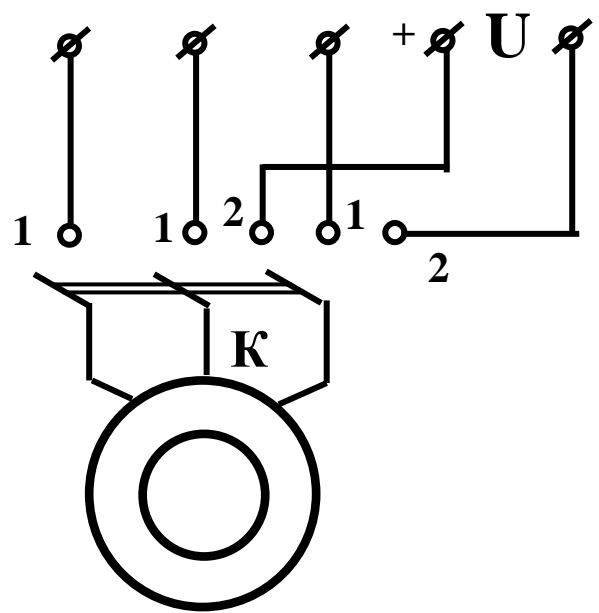


Такие условия могут возникнуть при спуске груза, когда момент от веса груза M действует в сторону вращения ротора.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0$$

Момент меняет знак и двигатель тормозится до скорости х.х..

3. Подключение двух обмоток к постоянному напряжению



Ротор вращается в постоянном в пространстве и времени магнитном поле, что приводит к быстрой остановке

К из положения 1 в 2

По паспортным данным двигателя определить потребляемые из сети активную и реактивную мощности, мощность потерь и номинальный вращающий момент, обмотка статора соединена звездой.

Дано:

$$f = 50 \text{ Гц}$$

$$P_{2H} = 4 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi_{1H} = 0.84$$

$$\eta_H = 84\%$$

$$s_H = 5.1\%$$

$$\Delta/Y = 220/380$$

$$p = 2$$

Решение: $U_{л1} = 380$

$$P_{1H} = \frac{P_{2H}}{\eta_H} = \frac{4000}{0.84} = 4.76 \text{ кВт}$$

$$P_{1H} = \sqrt{3} U_{л1} \cdot I_{1H} \cdot \cos \varphi_{1H}$$

$$I_{1H} = \frac{P_{1H}}{\sqrt{3} U_{л1} \cos \varphi_{1H}} = \frac{4760}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.84} = 8.61 \text{ А}$$

$$\varphi_{1H} = \arccos \cos \varphi_{1H} = 32.8^\circ$$

$$Q_{1H} = \sqrt{3}U_{Л1} \cdot I_{1H} \cdot \sin \varphi_{1H} = \sqrt{3}380 \cdot 8.61 \cdot 0.54 = 3.06 \text{кВар}$$

$$M_{\text{врн}} = \frac{P_{2H}}{\Omega_2} = \frac{60P_{2H}}{2\pi n_{2H}} = 9.55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_{2H}}$$

$$\Omega_2 = \frac{2\pi n_{2H}}{60} \quad n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{об/мин}$$

$$n_{2H} = n_1(1 - s_H) = 1500(1 - 0.051) = 1423 \text{об/мин}$$

$$M_{\text{врн}} = 9.55 \cdot \frac{4000}{1423} = 26.8 \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$\sum \Delta P = P_{1H} - P_{2H} = 4.76 - 4 = 0.76 \text{кВт}$$

Асинхронный двигатель работает от сети с линейным напряжением 660 В при соединении фаз звездой.
 Определить КПД.

Дано:

Решение:

$$U_{\text{л1}} = 660 \text{ В}$$

$$P_1 = 16.7 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi_1 = 0.87$$

$$n_{2\text{H}} = 1470 \text{ об/мин}$$

$$P_{\text{ст}} = 265 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{м.п.}} = 123 \text{ Вт}$$

$$R_{1(t=20^\circ)} = 0.8 \text{ Ом}$$

$$I_{1\text{H}} = \frac{P_{1\text{H}}}{\sqrt{3} U_{\text{л1}} \cos \varphi_{1\text{H}}} = \frac{16700}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0.87} = 16.8 \text{ А}$$

$$R_{1(t=115)} = R_{1(t=20)} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (Q_{\text{раб}} - 20^\circ) \right] =$$

$$= 0.8 \cdot \left[1 + 0.004 \cdot (115^\circ - 20^\circ) \right] = 1.1 \text{ Ом}$$

α – температурный коэффициент

0.004 для меди

$Q_{\text{раб}} = 115^\circ \text{ С}$ – рабочая температура

$$P_{\text{пр1}} = 3 \cdot I_{1\text{H}}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 16.8^2 \cdot 1.1 = 931 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{ст}} - P_{\text{пр1}} = 16700 - 265 - 931 = 15504 \text{ Вт}$$

$$s_{\text{H}} = \frac{n_1 - n_{2\text{H}}}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.02$$

$$P_{\text{пр2}} = s_{\text{H}} \cdot P_{\text{эм}} = 0.02 \cdot 15504 = 310 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{доб}} = 0.5\% \text{ от } P_1 = 0.0005 \cdot 16700 = 83.5 \text{ Вт}$$

$$\begin{aligned} \sum \Delta P &= P_{\text{пр1}} + P_{\text{ст}} + P_{\text{пр2}} + P_{\text{доб}} + P_{\text{м.п.}} = \\ &= 931 + 265 + 310 + 83.5 + 123 = 1712.5 \text{ Вт} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1} = \frac{16700 - 1712}{16700} = 0.898$$

Двигатель с короткозамкнутым ротором. Найти номинальные мощность, момент, скольжение, максимальный момент, критическое скольжение, пусковой ток.

Дано:

$$P_{2H} = 10 \text{ кВт}$$

$$U_{1H} = 380 \text{ В}$$

$$n_{2H} = 1420 \text{ об/мин}$$

$$\eta_H = 84\%$$

$$\cos \varphi_{1H} = 0.85$$

$$i_{II} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1H}} = 6.5$$

$$m_K = \frac{M_{\text{max}}}{M_H} = 1.8$$

Решение:

$$P_{1H} = \frac{P_{2H}}{\eta_H} = \frac{10000}{0.84} = 11.9 \text{ кВт}$$

$$M_H = 9.55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_{2H}} = 9.55 \cdot \frac{10000}{1420} = 67.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{max}} = M_H \cdot m_K = 67.3 \cdot 1.8 = 121 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{1H} = \frac{P_{1H}}{\sqrt{3} U_{л1} \cos \varphi_{1H}} = \frac{11900}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85} = 21.3 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = I_{1\text{H}} \cdot i_{\text{II}} = 21.3 \cdot 6.5 = 138.4 \text{ A}$$

$$s_{\text{H}} = \frac{n_1 - n_{2\text{H}}}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0.053$$

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{H}} (m_{\text{к}} + \sqrt{m_{\text{к}}^2 - 1}) = 0.053(1.8 + \sqrt{1.8^2 - 1}) = 0.175$$

Найти пусковой и номинальный токи при соединении обмотки статора треугольником и звездой.

$$\text{Дано: } P_{1H} = 43715 \text{ Вт, } \cos \varphi_{1H} = 0.91, \quad i_{\Pi} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1H}} = 5$$
$$U = 220/380 \text{ (на щитке),}$$

Решение: Фазные токи – токи в обмотках статора; линейные токи – токи в проводящих проводах. Пусть обмотки статора соединены **треугольником** на напряжение – 220 В. Тогда фазный ток в обмотке статора:

$$I_{1\phi} = \frac{P_{1H}}{3U_{\phi 1} \cos \varphi_{1H}} = \frac{43715}{3 \cdot 220 \cdot 0.91} = 72.8 \text{ А}$$

$$I_{1л} = \sqrt{3}I_{1ф} = 125.9 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}\Delta} = I_{1л} \cdot i_{\text{п}} = 125.9 \cdot 5 = 629.5 \text{ А}$$

Если обмотки статора соединены **звездой** на напряжение – 380 В.

$$I_{1л} = \frac{P_{1н}}{\sqrt{3}U_{л1} \cos \varphi_{1н}} = \frac{43715}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.91} = 73 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}Y} = I_{1л} \cdot i_{\text{п}} = 73 \cdot 5 = 365 \text{ А}$$

Т.о., при различных соединениях обмоток фазные токи практически одинаковы (73 и 72.8), а линейные и пусковые разные.

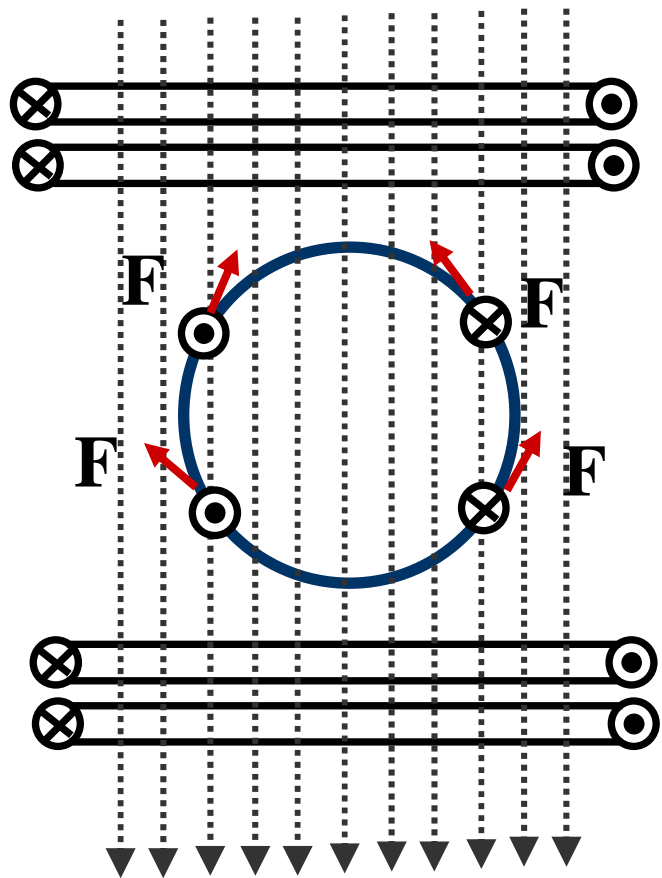
Двухфазные и однофазные двигатели

Двигатели переменного тока, питаемые от одной фазы трехфазной системы (два провода). Обмотка ротора таких двигателей всегда короткозамкнутая.



Электропитание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220В. двигатели поставляются укомплектованными конденсаторами (потребителю остается только подключить двигатель к однофазной сети согласно схемы подключения).





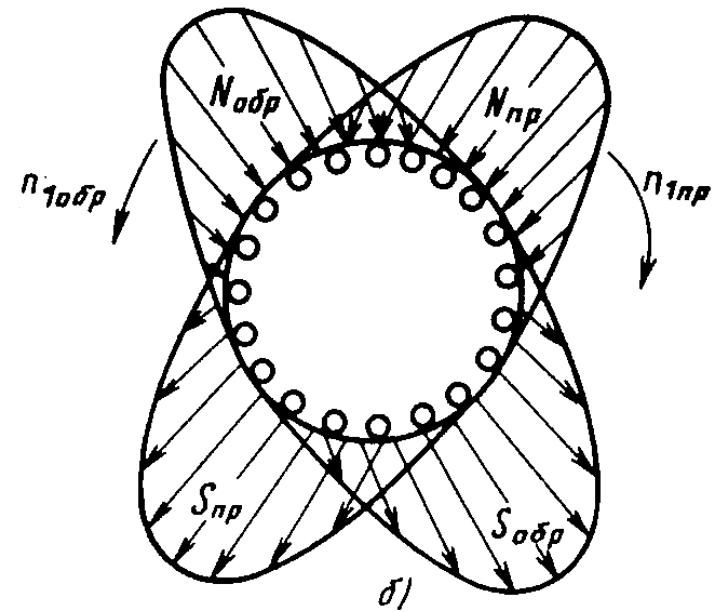
Если у статора одна обмотка, то ее ток, возбуждит в машине ~ магнитное поле, ось которого неподвижна. Это поле будет индуцировать в обмотке ротора токи, которые взаимодействуя с магнитным полем, создадут электромагнитные силы, противоположно направленные в правой и левой половинках ротора.

Результирующий момент = 0

$M_{\text{пуск}} = 0$ - двигатель сам с места тронуться не сможет

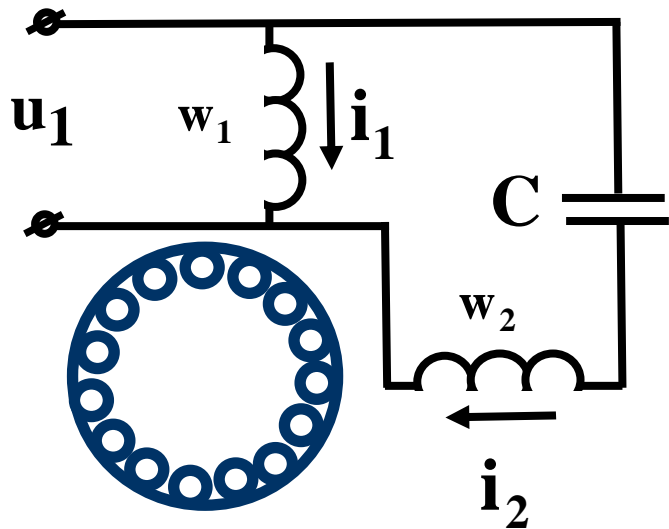
Если ротор привести во вращение, то при том же неподвижном, но переменном магнитном поле в зазоре машины, ротор самостоятельно может вращаться, причем даже под нагрузкой.

Если привести ротор во вращение, то M_{BR} , создаваемый прямо вращающимся полем становится больше M_{BR} , развиваемого обратнo вращающимся полем. В результате ротор начинает вращаться.



Двухфазный двигатель

Обмотка статора подключена к однофазной сети и состоит из двух катушек с числом витков w_1 и w_2 , оси которых смещены в пространстве на 90° . Токи этих катушек за счет конденсатора сдвинуты по фазе.



Смещение катушек в пространстве и временной сдвиг токов обеспечивают условия создания вращающегося магнитного поля.

В качестве двухфазного можно использовать малый трехфазный асинхронный двигатель (две фазные обмотки соединяются последовательно и включаются под напряжение, а третья соединяется последовательно с конденсатором (10мкФ на 1 кВт) и включается под то же напряжение)

Если у трехфазного двигателя перегорит предохранитель в одной фазе, то он будет работать, но во избежание перегрева обмоток, нагрузка двигателя должна составлять 50-60% от номинальной.

Однофазный двигатель

Имеет пусковую обмотку, последовательно с которой включается емкость. По окончании пуска пусковая обмотка отключается.

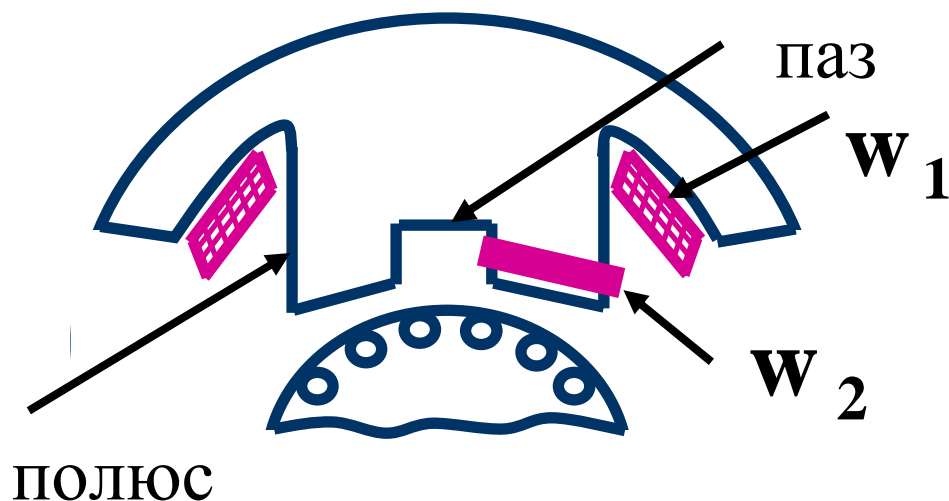
Отличается от двухфазного только тем, что обмотка с емкостью включается только при пуске



Двигатель с расщепленными полюсами

$P = 0,5 \div 30 \text{ Вт}$

Является наиболее дешевым и широко применяется в бытовых приборах (магнитофоны, проигрыватели, вентиляторы).



Первая катушка (w_1) расположена на полюсах, подключена к однофазной сети и создает пульсирующий магнитный поток Φ_1 . Полюс статора разделен пазом на две части, одну из которых охватывает замкнутая накоротко вторая катушка (w_2).

$$\mathbf{I}_1 \Rightarrow \Phi_1 \Rightarrow \mathbf{E}_2 \Rightarrow \mathbf{I}_2 \Rightarrow \Phi_2 \Rightarrow$$

имеем 2 переменных магнитных потока, сдвинутых по фазе и в пространстве. Возникает вращающееся магнитное поле, которое воздействуя на обмотку ротора создает $M_{вр}$.

