

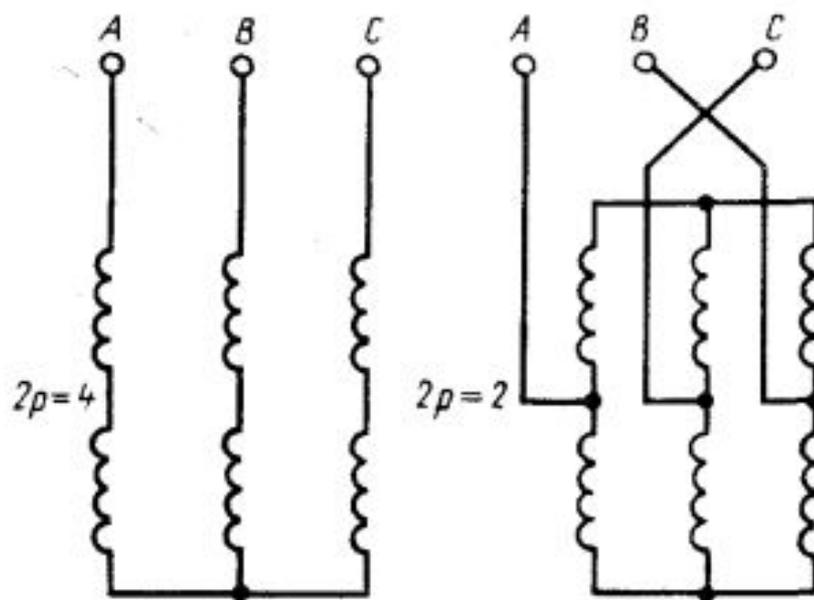
Регулирование насосов.  
Изменение частоты вращения  
регулируемым электроприводом

Преобразователи частоты

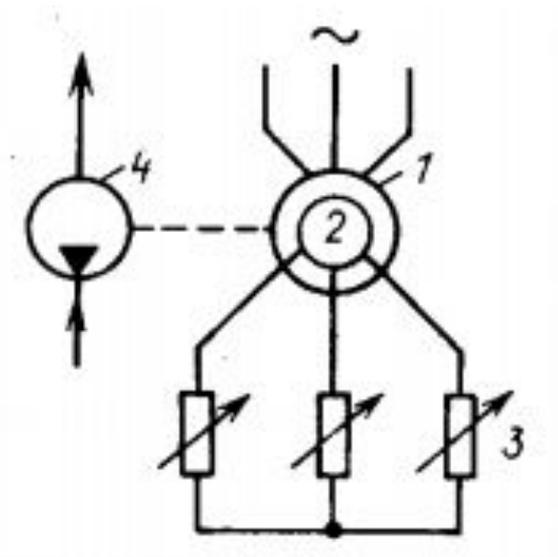
# Преобразователи частоты

- Частота вращения электродвигателя переменного тока зависит от **частоты** питающего тока, **числа пар полюсов** и **скольжения**.
- Изменение числа пар полюсов используется в многоскоростных асинхронных двигателях с **короткозамкнутым** ротором.
- Изменение коэффициента скольжения применяется в асинхронных двигателях с **фазным** ротором, где в цепь каждой обмотки ротора включают регулируемое сопротивление.

# Регулирование переключением обмоток двухскоростного двигателя



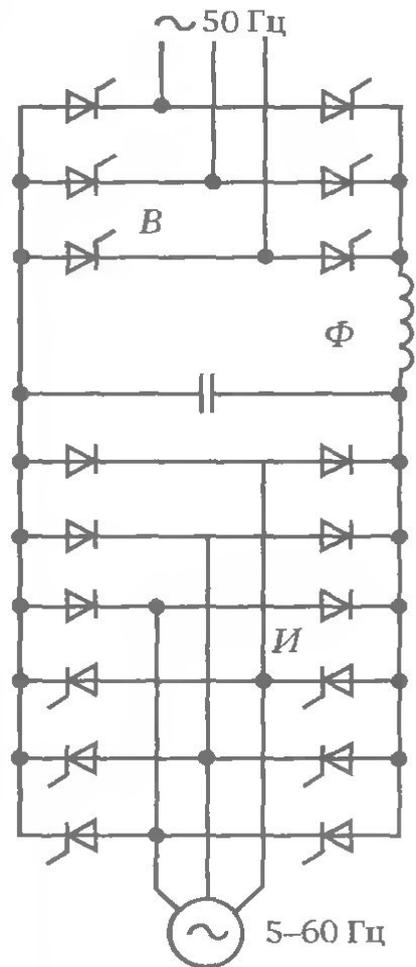
# Регулирование частоты введением добавочного сопротивления в цепь ротора



# Частотное регулирование

- Частотные преобразователи для насосов и ТДМ содержат промежуточное звено постоянного тока. Преобразователь состоит из выпрямителя  $B$ , фильтра  $\Phi$  и инвертора напряжения  $I$ .
- Посредством частотного преобразователя практически неизменные сетевые параметры напряжение преобразуются в изменяемые параметры, требуемые для системы управления.
- Для устойчивой работы электродвигателя в частотном преобразователе поддерживается определенное соотношение между его входными и выходными параметрами:  $U_1/f_1 = U_2/f_2 = \text{const.}$

# Схема частотного электропривода с инвертором напряжения

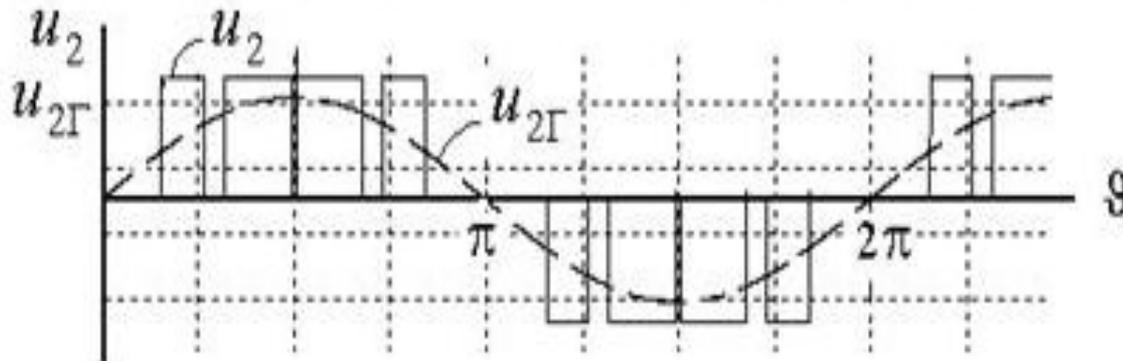


# Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

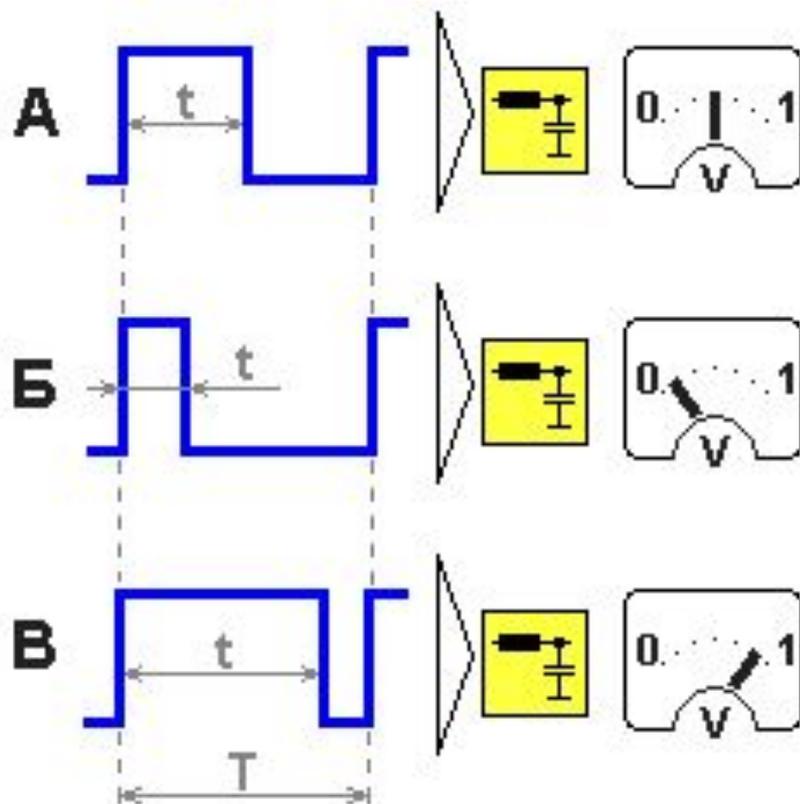
- ШИМ использует транзисторную схему в пограничных состояниях вкл/выкл (ключевой режим), а выход сглаживается LC-цепочкой (фильтром). Фильтр не пропускает несущую частоту ШИМ.
- Уровень постоянного напряжения на выходе фильтра определяется скважностью импульсов ШИМ.
- Имея в распоряжении два логических уровня, "единицу" и "ноль", можно получить любое промежуточное значение аналогового сигнала. Такой подход весьма энергоэффективен, поскольку транзисторы греются больше всего в полуоткрытом состоянии (50 %).

# Инверторы напряжения с ШИМ

- Наибольшая ширина импульсов обеспечивается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода уменьшается. Таким образом, система управления обеспечивает широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Амплитуда и частота напряжения определяются параметрами модулирующей синусоидальной функции.



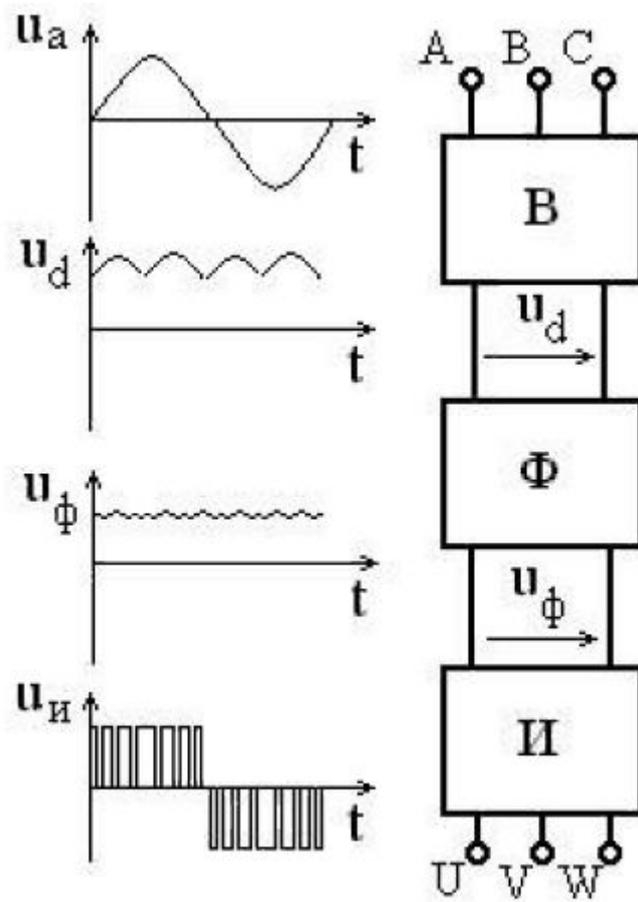
# Зависимость напряжения от скважности ШИМ



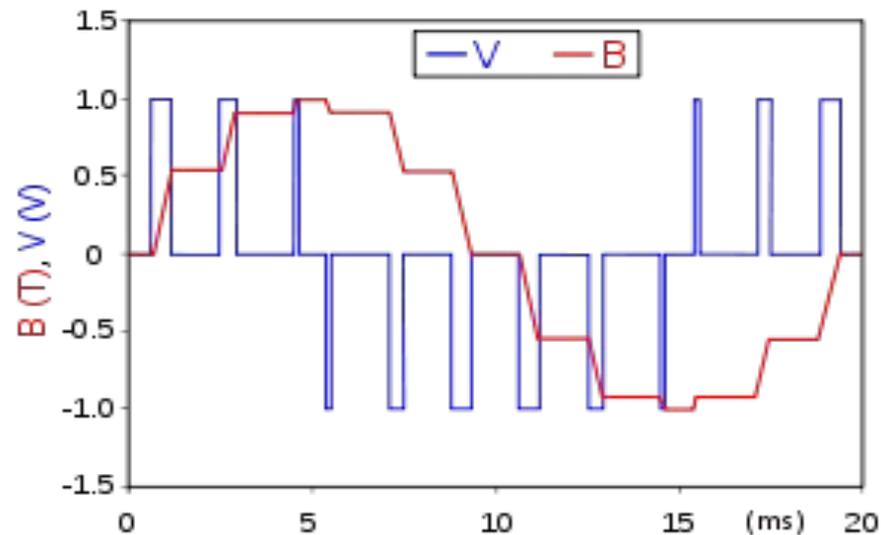
# Инверторы напряжения с ШИМ

- Частотные преобразователи на базе АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) имеют высокие **энергетические характеристики** за счет того, что на выходе преобразователя обеспечивается форма кривых тока и напряжения, приближающаяся к синусоидальной.
- В **инверторе** осуществляется преобразование постоянного напряжения в **трехфазное** (или однофазное) импульсное напряжение изменяемой амплитуды и частоты. По сигналам системы управления каждая обмотка электрического двигателя подсоединяется через соответствующие **силовые** транзисторы инвертора к положительному и отрицательному полюсам звена постоянного тока. Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону.

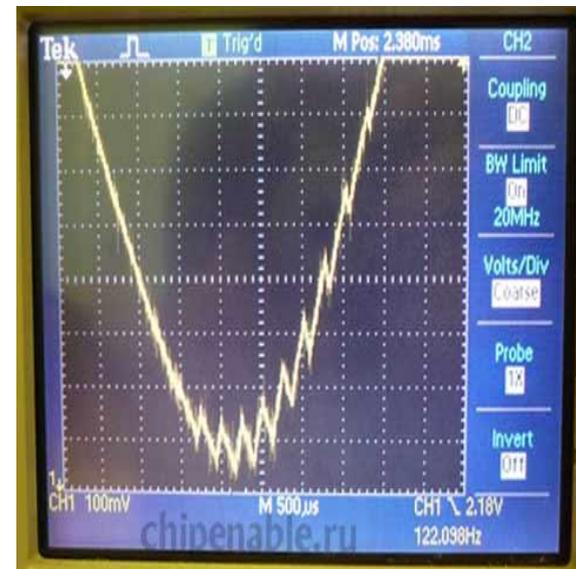
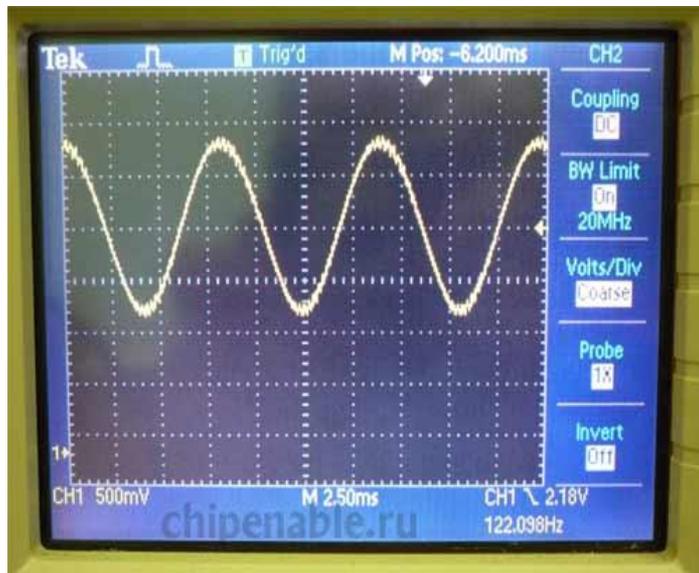
# Схема работы АИН



# График изменения напряжения и плотности магнитного потока



# Осциллограммы напряжения на обмотках двигателя



# Инверторы напряжения с ШИМ

- Несинусоидальность кривых выходного напряжения и тока частотных преобразователей должна учитываться при выборе электродвигателя для частотного электропривода.
- На выходе частотного преобразователя формируется кривая напряжения (тока), отличающаяся от синусоиды, содержащая **высшие гармонические составляющие**. Их наличие влечет за собой **увеличение потерь** в электродвигателе. По этой причине при работе электропривода на частотах вращения, **близких номинальной**, происходит **перегрузка электродвигателя**.
- При работе на пониженных частотах вращения ухудшаются **условия охлаждения** самовентилируемых электродвигателей, применяемых в приводе насосов. Критическая ситуация соответствует нагрузкам **менее 30%**. В обычном диапазоне регулирования насосных агрегатов это ухудшение условий вентиляции отчасти компенсируется **существенным снижением нагрузки** за

# Выбор оборудования для частотного электропривода

- При работе на частотах, близких к номинальному значению (50 Гц), **ухудшение условий охлаждения** в сочетании с появлением гармоник высших порядков требует **снижения** допустимой механической **мощности** на **8-15%**. Из-за этого максимальный **момент** электродвигателя снижается на **1-2%**, его **КПД** — на **1-4%**, **cos φ** — на **5-7%**.
- Порядок выбора:
- - определяется **мощность на валу насоса** при работе с номинальной подачей и соответствующим ей напором;
- - из каталога подбирается короткозамкнутый **электродвигатель**, номинальная **мощность** которого должна быть **на 10-15% больше** потребляемой насосом мощности. Номинальная частота вращения электродвигателя должна соответствовать номинальной частоте вращения насоса.

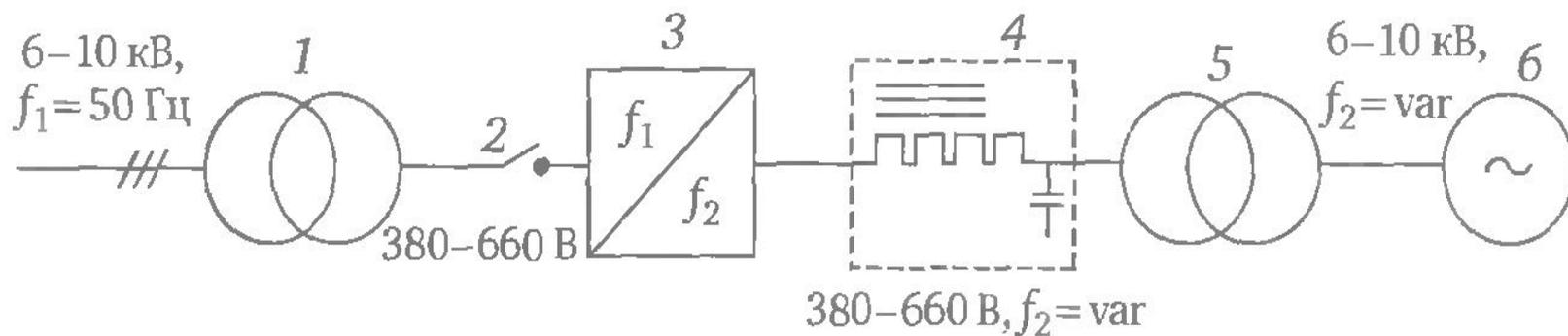
# Выбор оборудования для частотного электропривода

- В соответствии с выбранной мощностью приводного электродвигателя подбирается серийный преобразователь частоты, номинальная мощность которого **равна** или **больше** номинальной мощности электродвигателя насосного агрегата, а напряжение преобразователя соответствует номинальному напряжению электродвигателя.
- Один частотный преобразователь достаточно большой мощности может быть использован для привода **нескольких** одноступенчатых агрегатов.
- Возможно **поочередное подключение** к одному частотному преобразователю агрегатов, соизмеримых по мощности.

# Частотно-регулируемый высоковольтный привод

- Поскольку отсутствуют силовые управляемые полупроводниковые приборы на напряжение свыше 1100 В, высоковольтные частотные преобразователи выполняются в двух вариантах.
- *Вариант 1. Двухтрансформаторный частотный преобразователь.*
- Напряжение к преобразователю со стороны питания подается через **понижающий** трансформатор. Напряжение преобразованной частоты подается к высоковольтному электродвигателю через **повышающий** трансформатор.

# Схема двухтрансформаторного частотного преобразователя

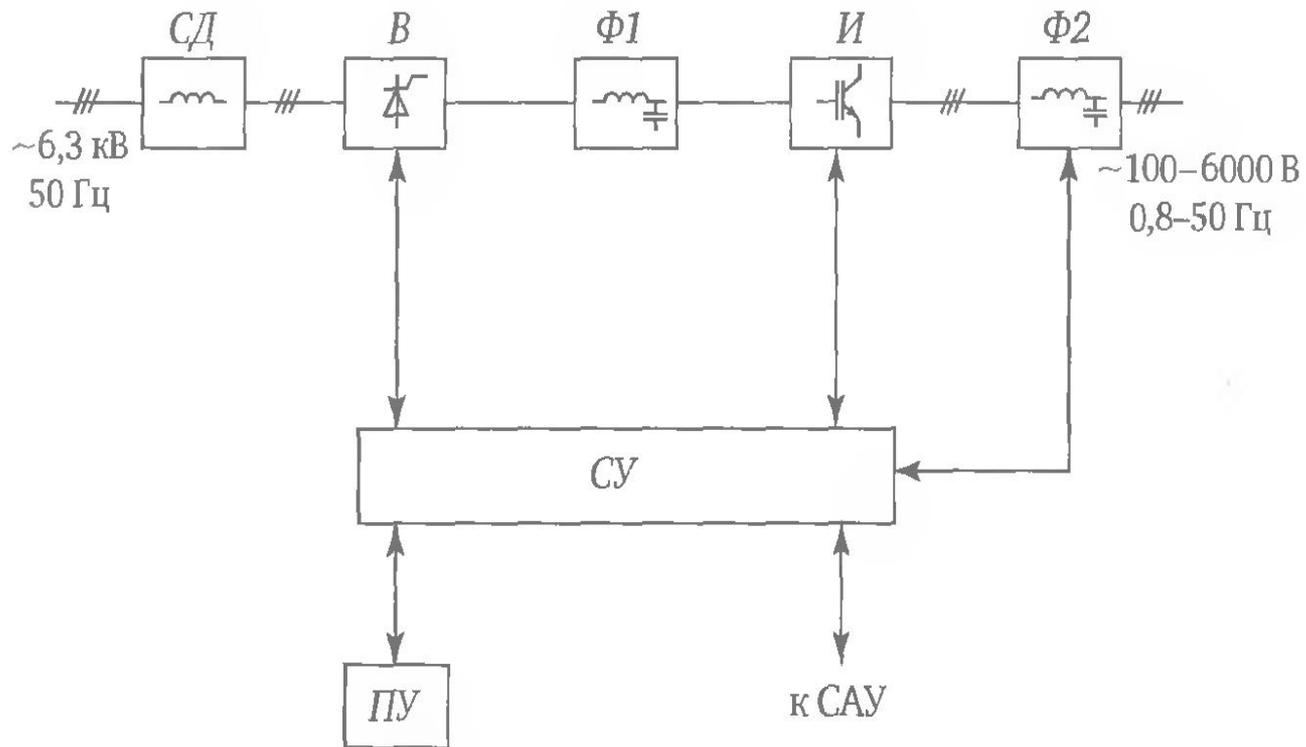


1 — понижающий трансформатор; 2 — низковольтное коммутационное устройство; 3 — низковольтный частотный преобразователь; 4 — синусоидальный фильтр; 5 — повышающий трансформатор; 6 — высоковольтный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель

# Частотно-регулируемый высоковольтный привод

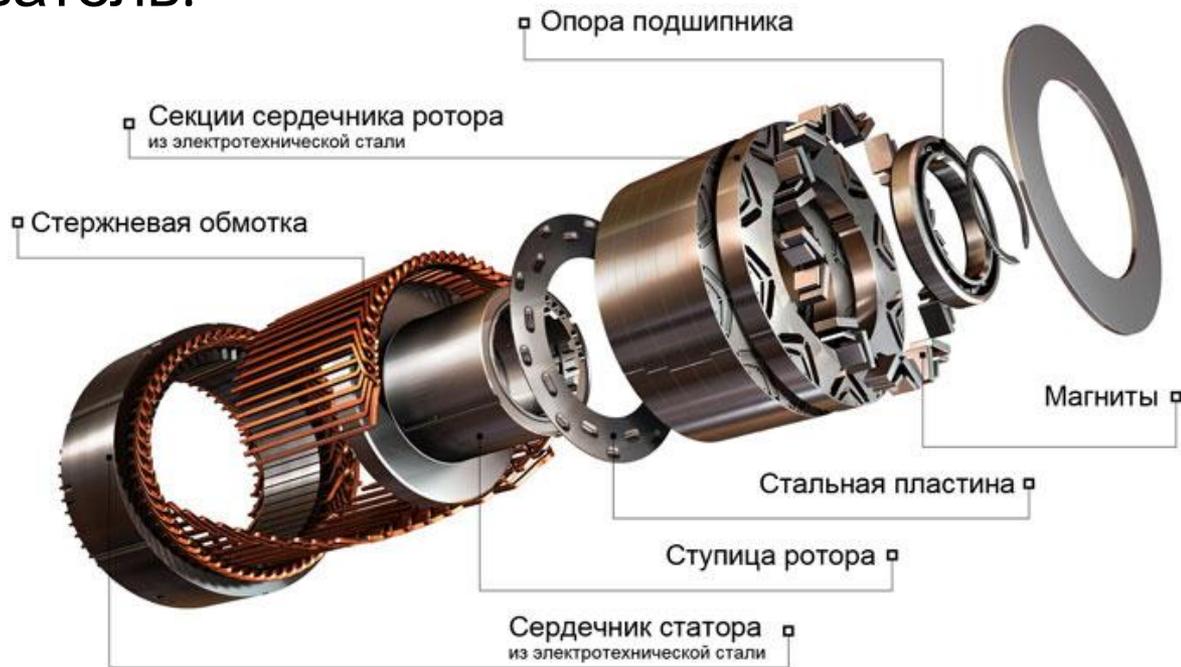
- *Вариант 2. **Бестрансформаторный частотный преобразователь.***
- Преобразовательная часть состоит из управляемого выпрямителя и управляемого инвертора, состоящих из **цепочки последовательно соединенных** низковольтных полупроводниковых **приборов**. Их количество выбирается соответствующим напряжению 6 - 10 кВ, подаваемому на выпрямительный (инверторный) мост.

# Схема бестрансформаторного частотного преобразователя

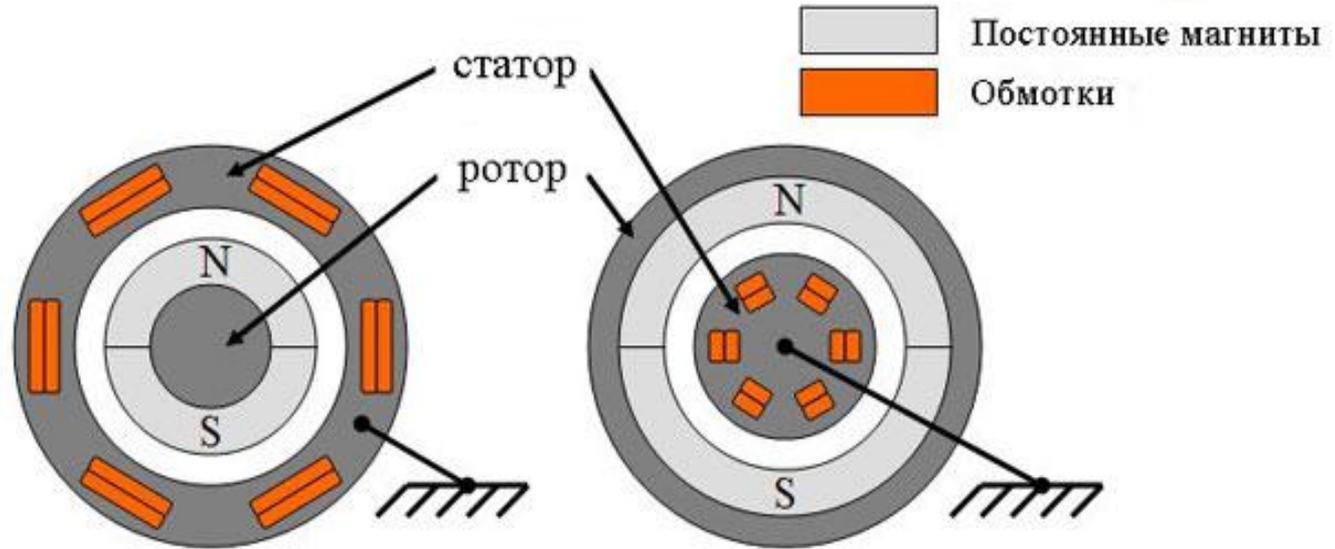


# Синхронный двигатель на постоянных магнитах (СПДМ)

**СПДМ** имеет КПД примерно на 2% больше, чем высокоэффективный (IE3) асинхронный электродвигатель, при условии, что статор имеет одинаковую конструкцию, а для управления используется один и тот же частотный преобразователь.

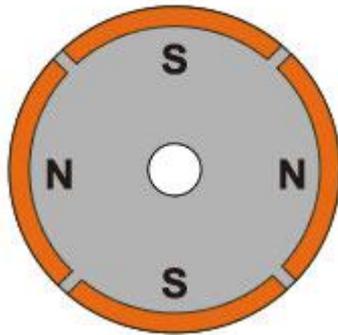


# Схема СПДМ



Конструкции синхронного двигателя с постоянными магнитами: слева - стандартная, справа обратная.

# Схема ротора СПДМ



Ротор синхронного двигателя с  
поверхностной установкой  
постоянных магнитов

Постоянные магниты



Ротор синхронного двигателя со  
встроенными магнитами

# Статор СПДМ



Статор электродвигателя с  
распределенной обмоткой



Статор электродвигателя с  
сосредоточенной обмоткой