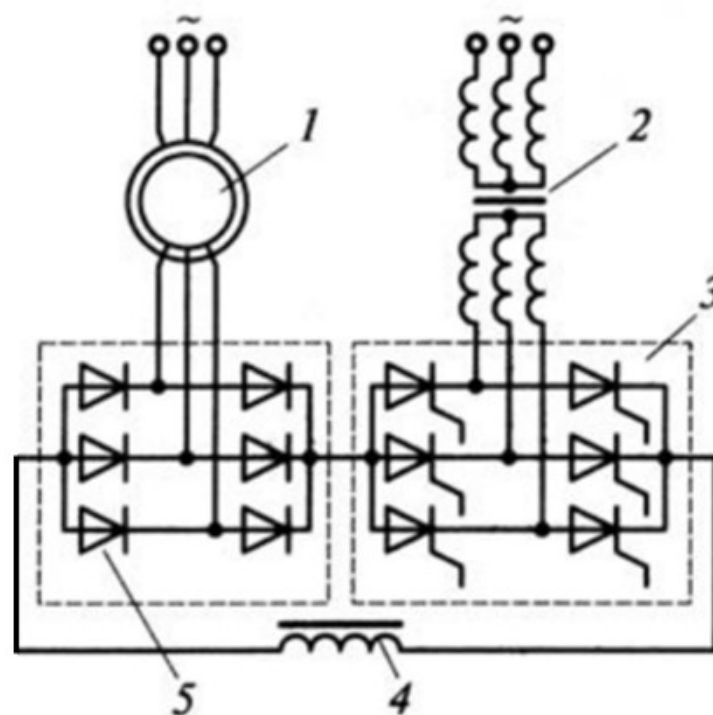
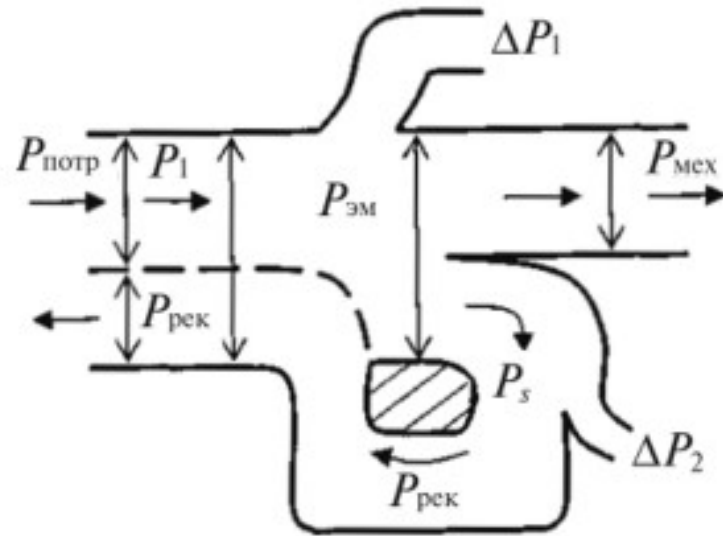


Асинхронно-вентильный каскад

Ток ротора АД с фазным ротором (1) выпрямляется неуправляемым выпрямителем 5, в цепь выпрямленного тока ротора вводят добавочную противо э.д.с. постоянного тока - э.д.с. инвертора 3, получаемую регулированием угла β опережения тиристоров инвертора. Трансформатор 2 служит для согласования напряжения сети и напряжения ротора двигателя. Энергия скольжения, индуктируется в энергию постоянного тока и инвертируется в питающую сеть.



Асинхронно-вентильный каскад



$P_{рек}$ – мощность рекуперации

Мощность P_1 , за вычетом потерь в статоре ΔP_1 преобразуется в мощность вращающегося магнитного поля - $P_{эм}$, которая разделяется на механическую $P_{мех}$, реализуемую на валу АД, и электрическую, трансформируемую в обмотки ротора - мощность скольжения P_s . P_s , за вычетом потерь ΔP_2 в роторе, выпрямителе, инверторе и трансформаторе возвращается в питающую сеть - $P_{рек}$.
Т.о., результирующая, потребляемая приводом из сети мощность $P_{потр} = P_1 - P_{рек}$. Это определяет высокий КПД каскада.

Мощность скольжения

$$P_s = 1.35s \left(E_{\text{рн}} \cdot I_{\text{дп}} - \frac{I_{\text{дп}}^2 \cdot x_{\text{п}}}{\sqrt{2}} \right)$$

$E_{\text{рн}}$ — номинальная ($s=1$) линейная ЭДС ротора

$$I_{\text{дп}} = \frac{E_{\text{дп}} - E_{\text{ди}}}{R_{\text{экв}}} = \frac{1.35E_{\text{рн}}s - 1.35U_{2\text{т}} \cos\beta}{R_{\text{экв}}} \text{ — выпрямленный ток ротора}$$

$E_{\text{ди}}$ — ЭДС инвертора

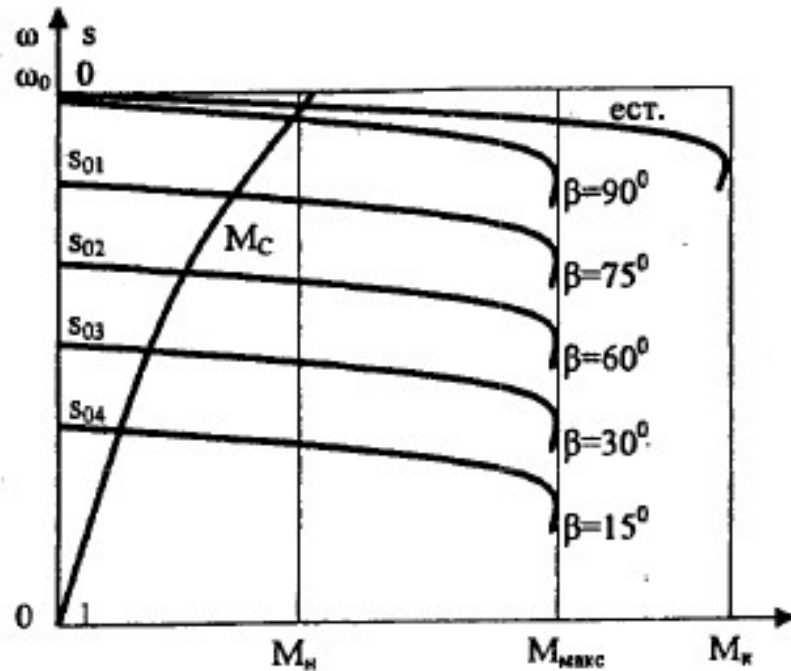
$U_{2\text{т}}$ — линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора

$x_{\text{п}} = \frac{x_{\text{к}}}{k_{\text{т}}^2}$ — индуктивное сопротивление рассеяния фазы АД

Момент АД

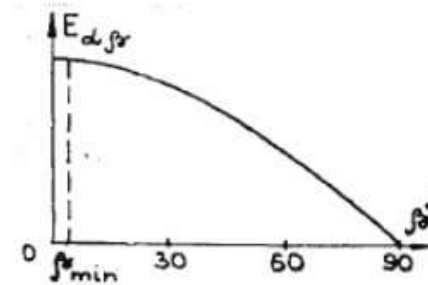
$$M = \frac{P_s}{\omega_0 s}$$

Асинхронно-вентильный каскад



МХ имеют сравнительно высокую жесткость и перемещаются параллельно друг другу вдоль оси ординат по мере увеличения противо-э.д.с. инвертора E_{di} , (по мере уменьшения угла управления β). Т.к ток ротора несинусоидален, M_K в схеме каскада не достигается и максимальный момент составляет $M_{\text{макс}} = 0,83M_K$, т.е. перегрузочная способность АД в схеме каскада снижается на 17%.

Принцип регулирования скорости:
 при $\beta=90^\circ$ противоз.д.с. инвертора $E_{di}=0$.
 Если при наличии M_c



$$\beta = 60^\circ \Rightarrow E_{di} \uparrow \Rightarrow E_{di} > E_{dp} \Rightarrow I_{dp}, M = 0 \Rightarrow \omega \downarrow \Rightarrow s \uparrow$$

$$\Rightarrow E_{dp} \uparrow \Rightarrow s > s_{02} \Rightarrow I_{dp}, M \Rightarrow$$

двигатель перейдет на работу на МХ, соответствующей s_{02} . Для дальнейшего снижения скорости нужно еще более увеличить противоз.д.с. инвертора (уменьшить угол β).

Для увеличения скорости $E_{di} \downarrow \Rightarrow I_{dp}, M \uparrow \Rightarrow \omega \uparrow$

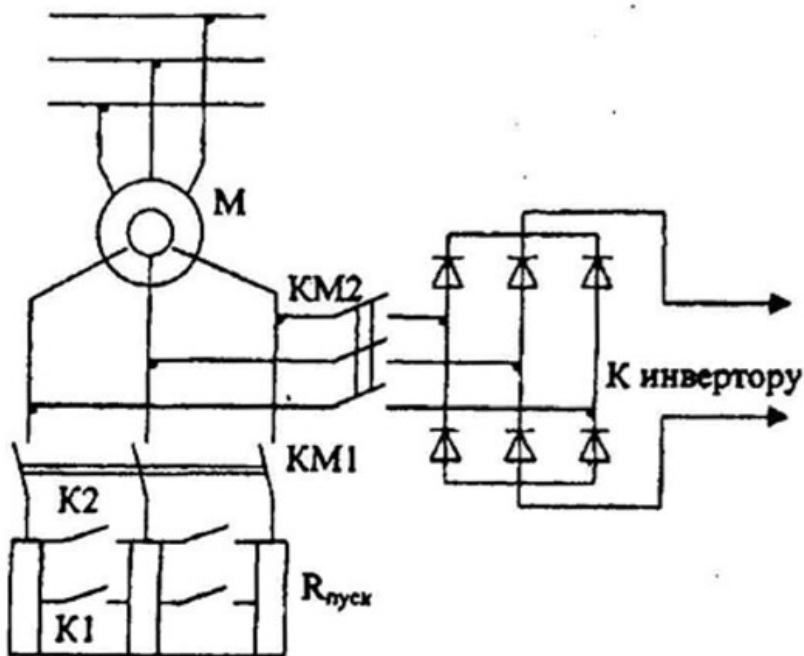
разгон происходит, пока момент двигателя не уменьшится до значения, соответствующего M_c .

Глубина возможного регулирования скорости определяется напряжением трансформатора. Это определяет целесообразность применения вентильных каскадов для привода механизмов с вентиляторным характером нагрузки (насосов, вентиляторов и др.), для которых не требуется снижение скорости ниже 50% от номинальной. Тогда трансформатор и инвертор могут иметь мощность в 2 раза меньше, чем мощность АД, что уменьшает стоимость электропривода.

Требуемая мощность трансформатора инвертора

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot s_{\text{max}}}{0,965 \cdot \eta_{\text{дв.н}}}$$

т.е. составляет часть мощности двигателя, пропорциональную максимальному скольжению.



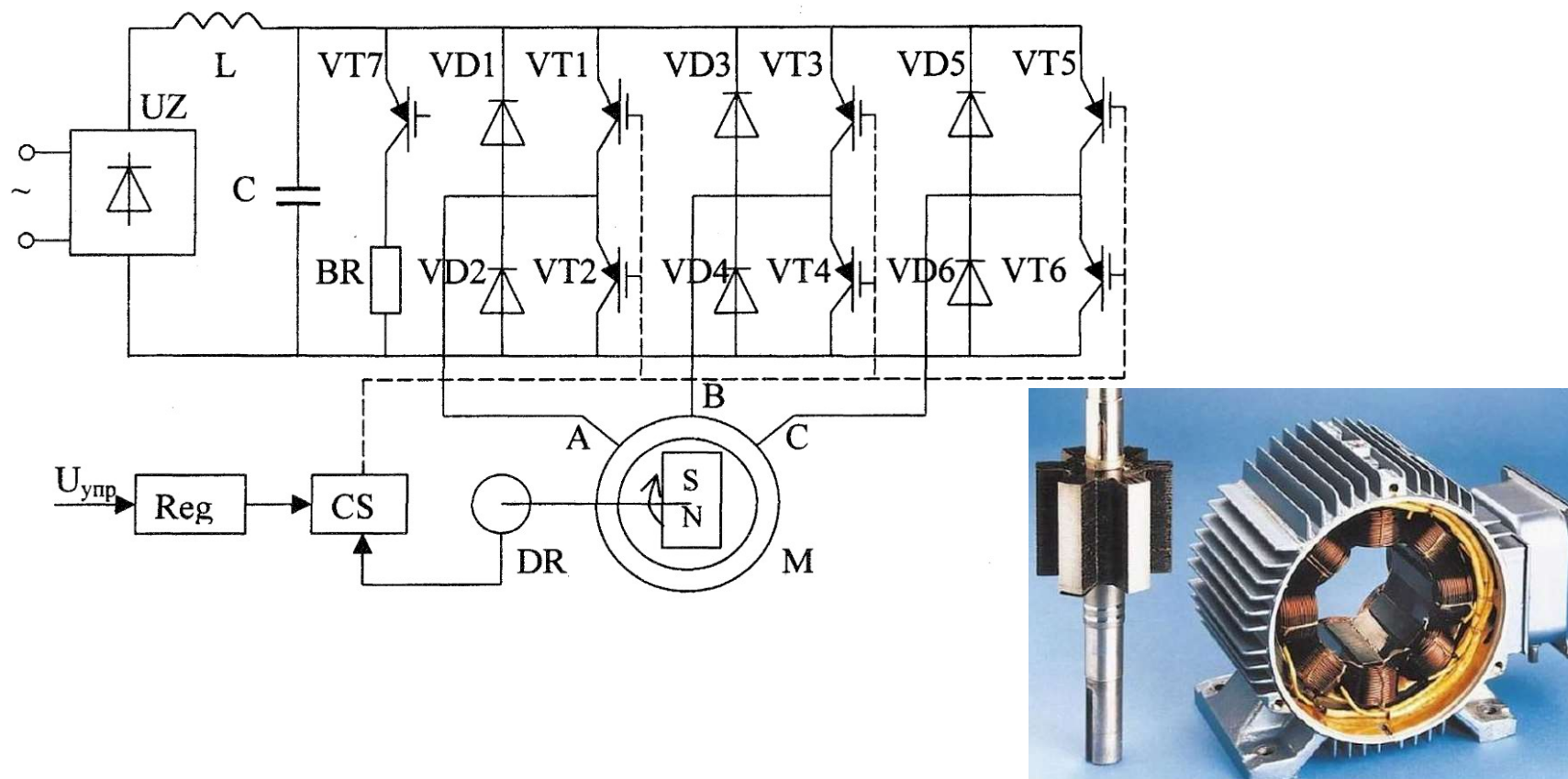
В случае регулирования в неполном диапазоне скорости используется схема реостатного пуска.

Двигатель разгоняется при включенном контакторе КМ1 и отключенном КМ2. По достижении скорости выше, чем $\omega_0(1-s_{0\text{макс}})$ включается КМ2 и затем отключается КМ1, и двигатель переходит на работу по схеме вентильного каскада.

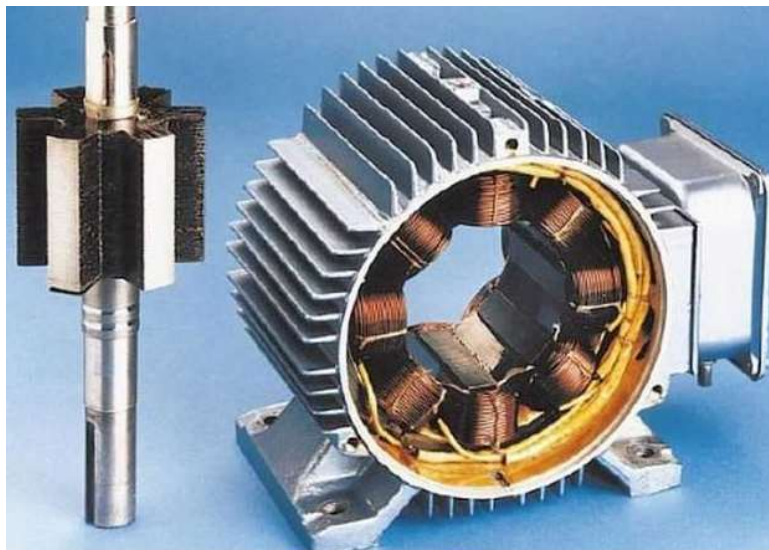
Вентильный двигатель

ВД – система регулируемого электропривода, состоящая из электродвигателя переменного тока, конструктивно подобного синхронной машине, силового преобразователя и устройств управления, обеспечивающих коммутацию цепей обмоток электродвигателя в зависимости от положения ротора двигателя. Ротор может быть выполнен с постоянными магнитами или с обмоткой возбуждения, питаемой через контактные кольца постоянным током.

Электропривод по системе «транзисторный коммутатор - вентильный двигатель с постоянными магнитами»



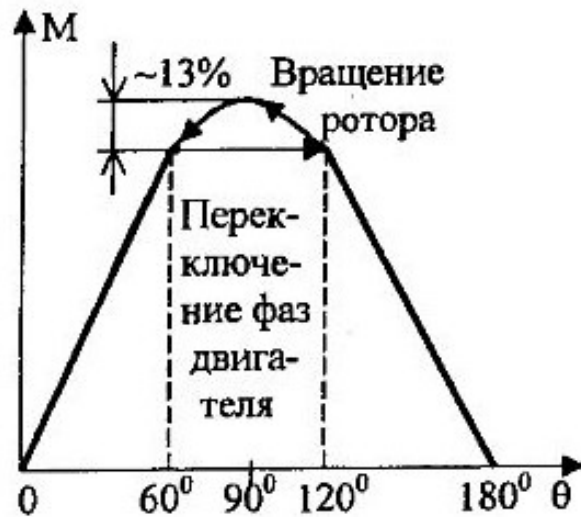
Трехфазные обмотки статора питаются постоянным током, подаваемым поочередно в две последовательно соединенные фазные обмотки. Переключение обмоток производится транзисторным коммутатором. Транзисторные ключи открываются и закрываются в зависимости от положения ротора двигателя.



Момент, создаваемый двигателем, определяется потоками статора Φ_1 и ротора Φ_2

$$M = k\Phi_1\Phi_2 \sin\left(\frac{\theta}{p}\right)$$

θ — пространственный угол между векторами потоков статора и ротора.



Электронная часть ВД коммутирует фазы статора так, чтобы вектор магнитного потока статора был ортогонален вектору магнитного потока ротора (векторное управление). При соблюдении ортогональности потоков статора и ротора обеспечивается поддержание максимального вращающего момента ВД в условиях изменения частоты вращения, что предотвращает выпадение ротора из синхронизма и обеспечивает работу синхронной машины с максимально возможным для неё КПД. Для определения текущего положения потока ротора используется датчик положения ротора.

При отключении ключей ток в обмотках статора мгновенно не исчезает, а замыкается через обратные диоды и фильтровый конденсатор С.

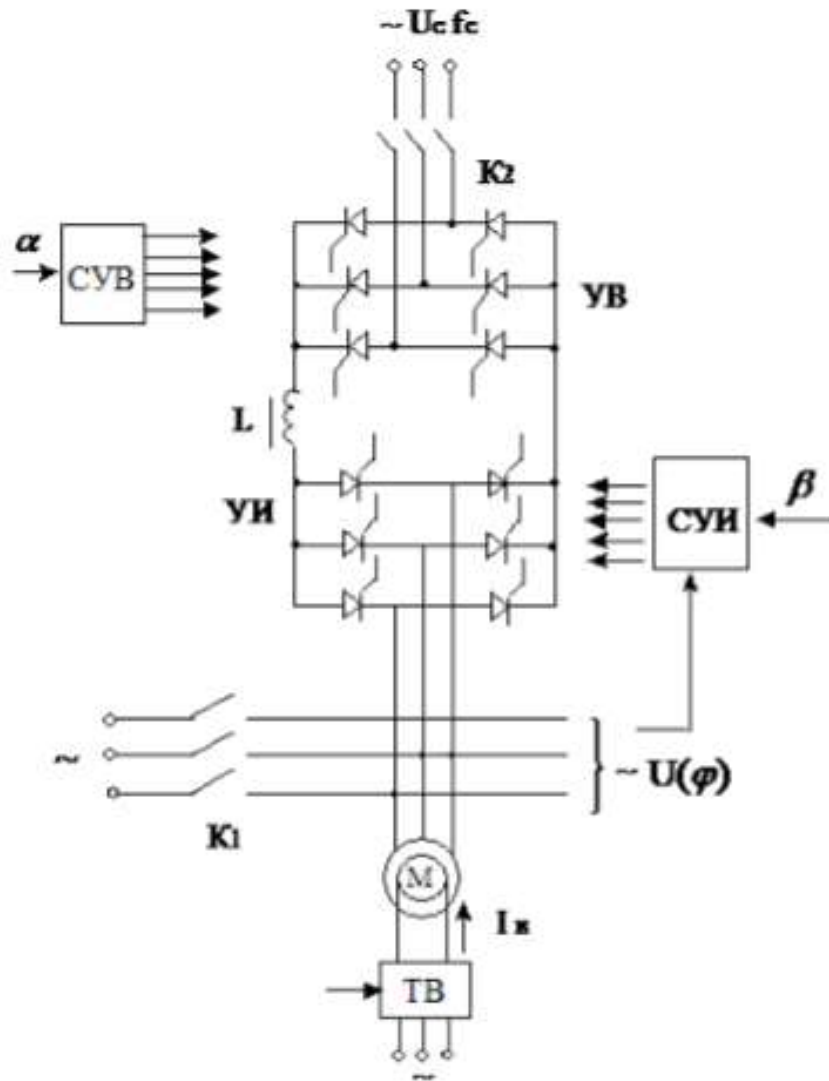
Регулируя напряжение питания двигателя U_1 , можно регулировать величину тока статора и момента двигателя

$$M = kI_1\Phi_2$$

Изменение напряжения питания производится методом широтно-импульсного регулирования. Изменяя скважность импульсов транзисторов в периоды их включенного состояния, регулируют среднюю величину напряжения, подаваемого на обмотки статора двигателя.

Для осуществления режима торможения алгоритм работы транзисторного коммутатора должен быть изменен так, чтобы вектор м.д.с. статора отставал от вектора потока ротора. Тогда момент двигателя станет отрицательным. Поскольку на входе преобразователя установлен неуправляемый выпрямитель, то рекуперация энергии торможения в данной схеме невозможна. При торможении происходит подзаряд конденсатора фильтра С. Ограничение напряжения на конденсаторе осуществляется путем подключения разрядного сопротивления через транзистор VT7 - энергия торможения рассеивается в разрядном сопротивлении BR.

Электропривод по системе «тиристорный коммутатор - синхронный двигатель»



Регулирование скорости производится изменением выпрямленного напряжения на выходе УВ или тока возбуждения посредством ТВ (тиристорного возбудителя). Благодаря дросселю преобразователь (УВ-УИ) работает как источник тока, соответственно изменяя значение тока, можно менять момент двигателя.

Естественная коммутация вентилей может быть осуществлена только при большой ЭДС двигателя, которая возникает при скорости не ниже 10% от номинальной. Поэтому при пуске вначале производят асинхронный пуск контактором K_1 непосредственно от сети, а затем отключают K_1 и включают K_2 для работы в вентильном или инверторном режиме.

Схема ВД с естественной коммутацией

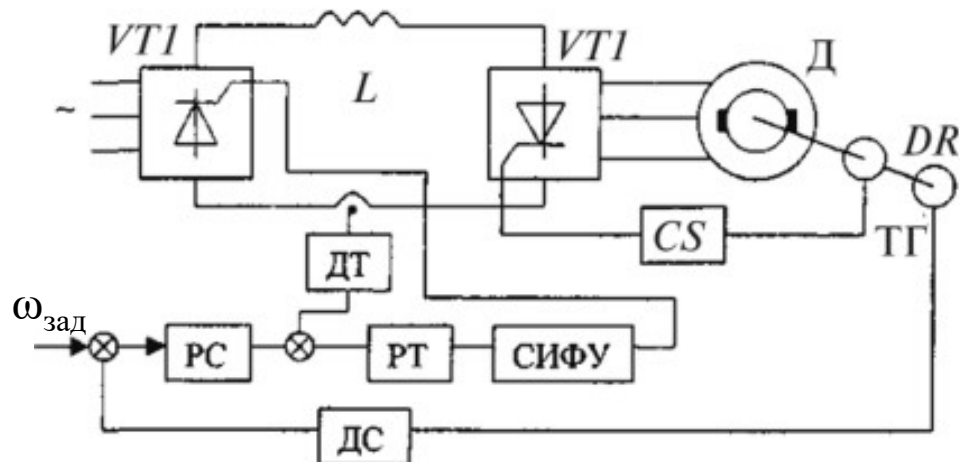
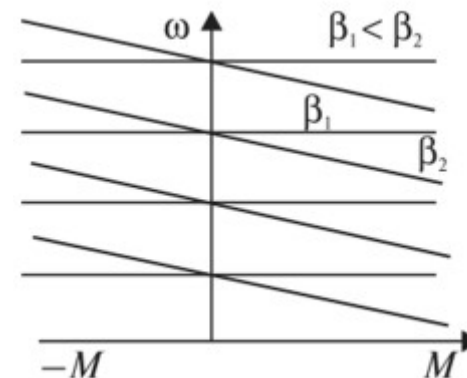


Схема регулируемого ЭП с ВД
 РС, РТ – регуляторы скорости, тока;
 ДС, ДТ – датчики скорости, тока;
 DR – датчик положения ротора;
 ТГ – тахогенератор.



При увеличении угла опережения ($\beta_2 > \beta_1$) жесткость характеристик уменьшается

ВД применяются во всех сферах, где требуется регулировать скорость вращения рабочего элемента:

- компьютерная техника (устройство привода, винчестера, куллеров обдува и т.д.);
- робототехника, строительство спутников, летательные аппараты;
- бытовая техника, устройства автомобилестроения, медицина;
- станочное оборудование, горнодобывающие машины, компрессорные установки и насосные станции.

Преимущества ВД:

- относительно небольшая величина магнитных потерь;
- безопасное вращение даже с максимальной нагрузкой;
- широкий спектр скоростей вращения, плавное регулирование;
- хорошая динамика работы и точность позиционирования;
- относительно большая степень надежности и длительный срок эксплуатации;
- может применяться во взрывоопасной среде.

Недостатки;

- высокая себестоимость;
- наличие дополнительных элементов, усложняющих эксплуатацию;
- сложность управления и задания логики перемещения рабочих органов двигателя в соответствии с меняющимися факторами производственного процесса.

Асинхронный электропривод с тиристорными регуляторами напряжения (ТРН)

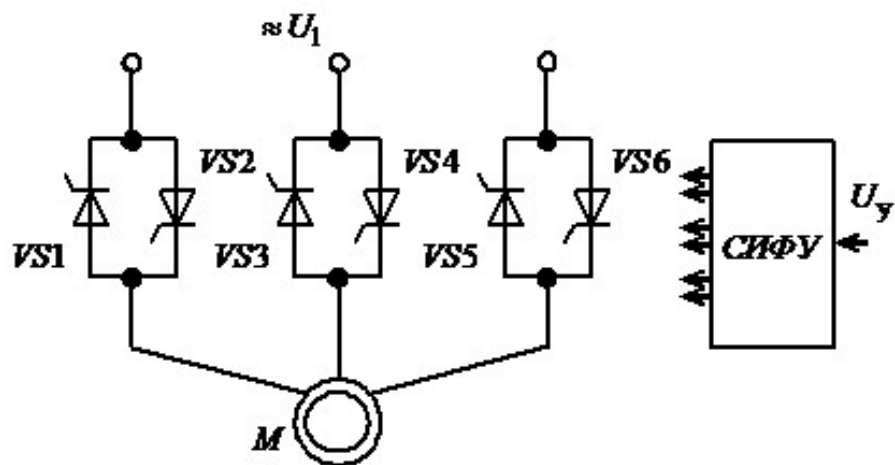
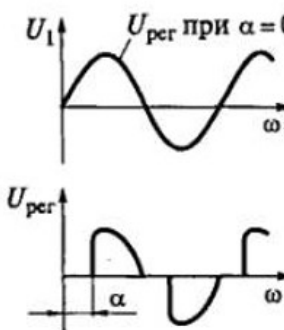
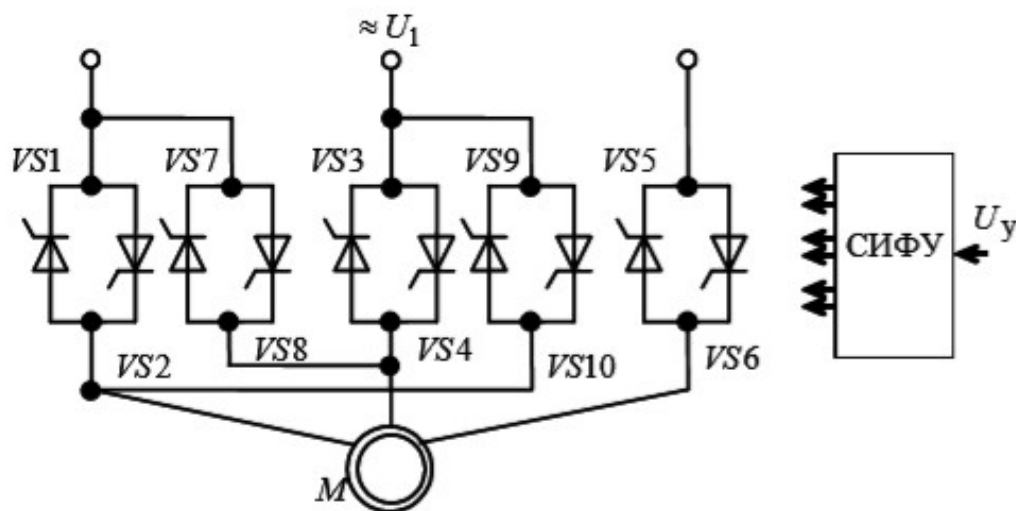


Схема нереверсивного ТРН



Изменяя U_y , можно плавно менять действующее значение напряжения на обмотках статора двигателя (управление пуском).



Добавление в схему еще двух пар тиристоров позволяет получить реверсивную схему, обеспечивающую возможность вращения двигателя в двух направлениях.

Регулирование скорости АД путем изменения напряжения обмотки статора сопряжено с возможностью перегрева его ротора и может производиться лишь при условиях:

- при малом диапазоне снижения скорости относительно номинальной;
- при снижении, относительно номинального, момента сопротивления на валу двигателя;
- при использовании двигателя с повышенным скольжением.

Регулирование скорости АД возможно, когда момент сопротивления при снижении скорости существенно меньше номинального момента (вентиляторные нагрузки).