

Управление промышленными мехатронными системами

Объем занятий:

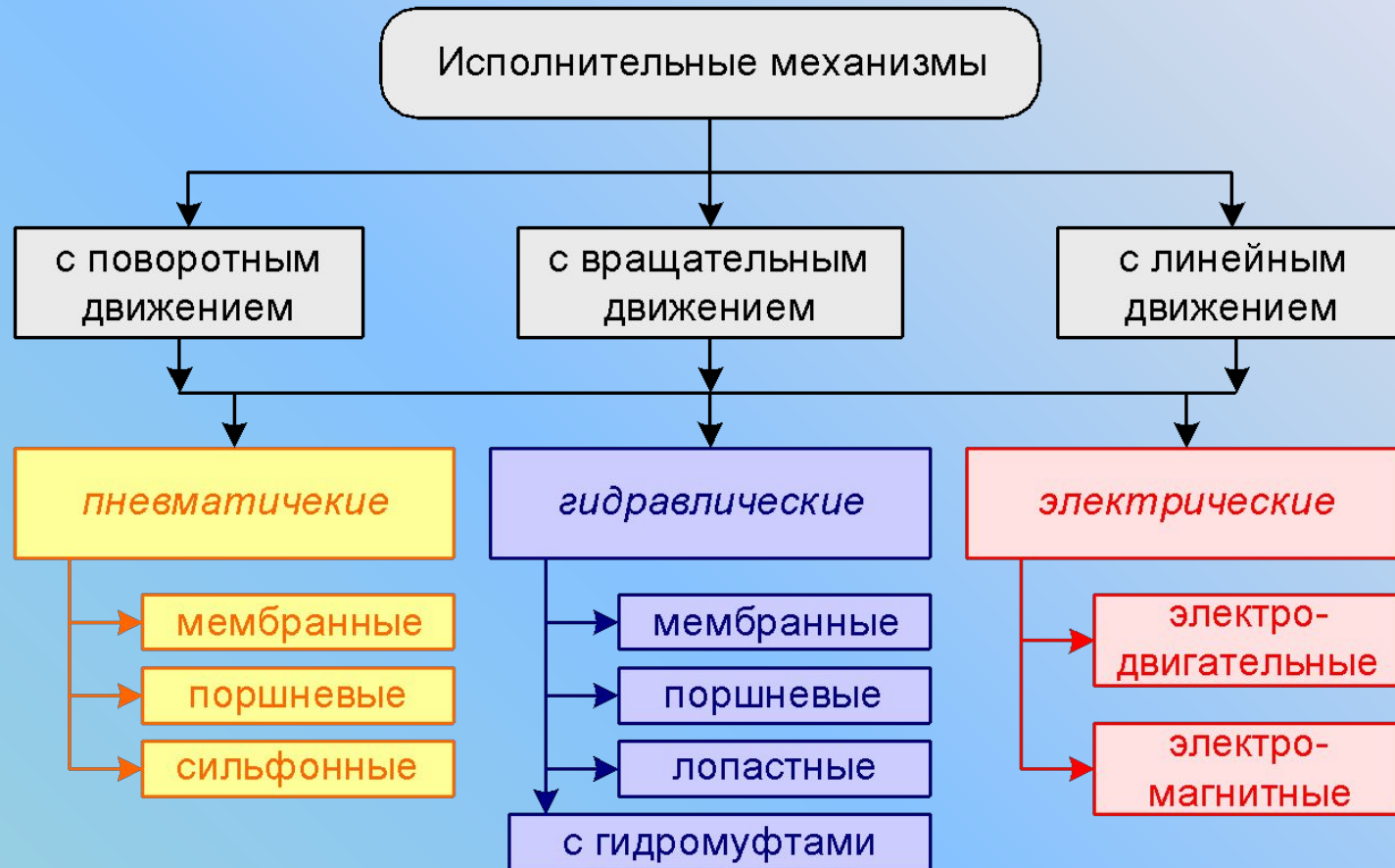
18 часов лекций,
54 часов практических занятия,
экзамен.

Храмшин Вадим Рифхатович

**7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ.
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ**

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Классификация исполнительных устройств



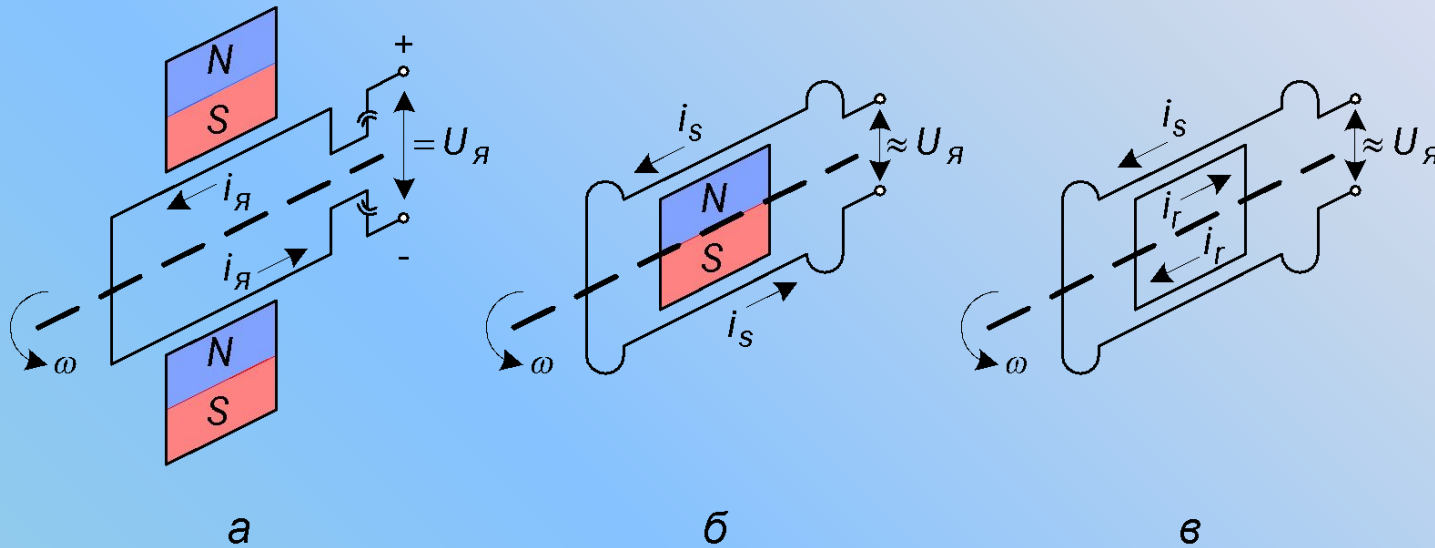
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

Классификация электрических двигателей



7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

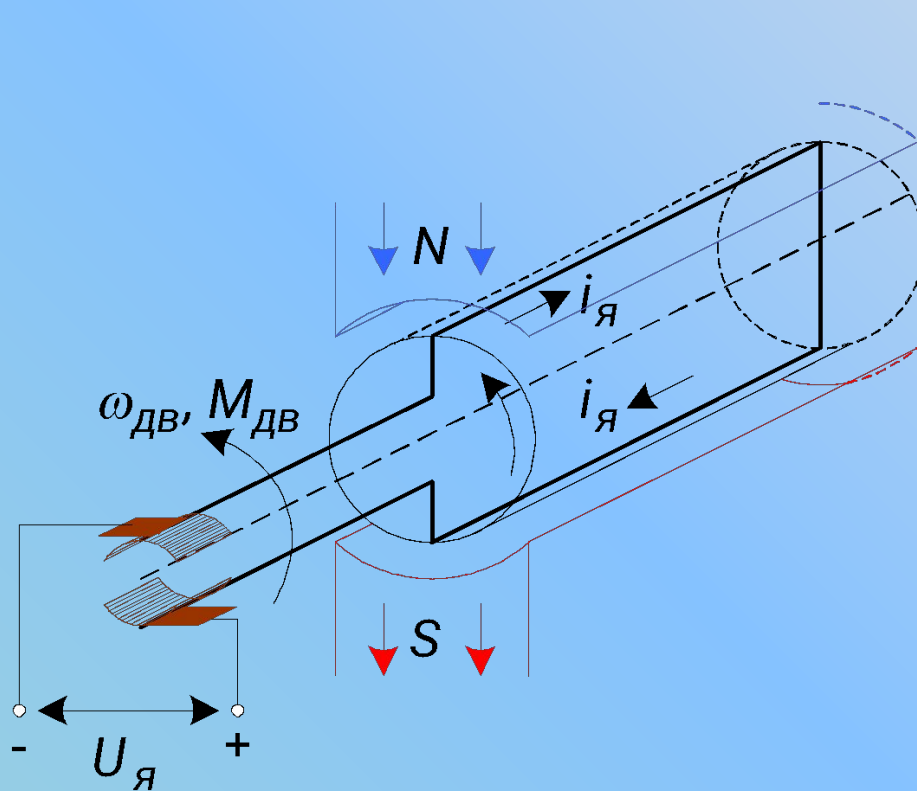


*Принцип устройства электродвигателей:
а – постоянного тока; б – синхронного; в - асинхронного*

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Практ. 2, слайд 4

Двигатели постоянного тока



Закон Ампера

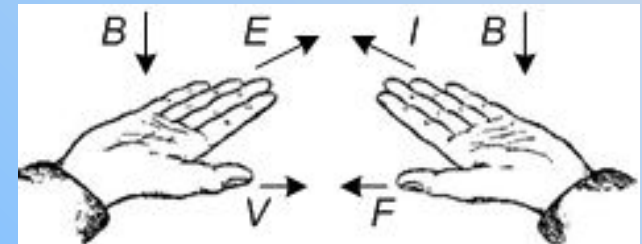
$$F = B \cdot \ell \cdot I_{\text{я}}$$

Электромагнитный момент

$$M_{\text{дв}} = F \cdot D_{\text{я}}$$

ЭДС якоря

$$E_{\text{я}} = 2 \cdot B \cdot \ell \cdot V$$



Принцип действия двигателя постоянного тока

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Основные уравнения двигателя постоянного тока

Напряжение на зажимах двигателя $U_{я} = E_{я} + I_{я} \cdot R_{я}$

Развиваемый двигателем электромагнитный момент $M_{\text{дв}} = M_{\text{xx}} + M_{\text{нагр}} + M_{\text{дин}}$

Динамический момент $M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt}$

В установившемся режиме работы $M_{\text{дв}} = M_{\text{xx}} + M_{\text{нагр}} = M_{\text{с}}$

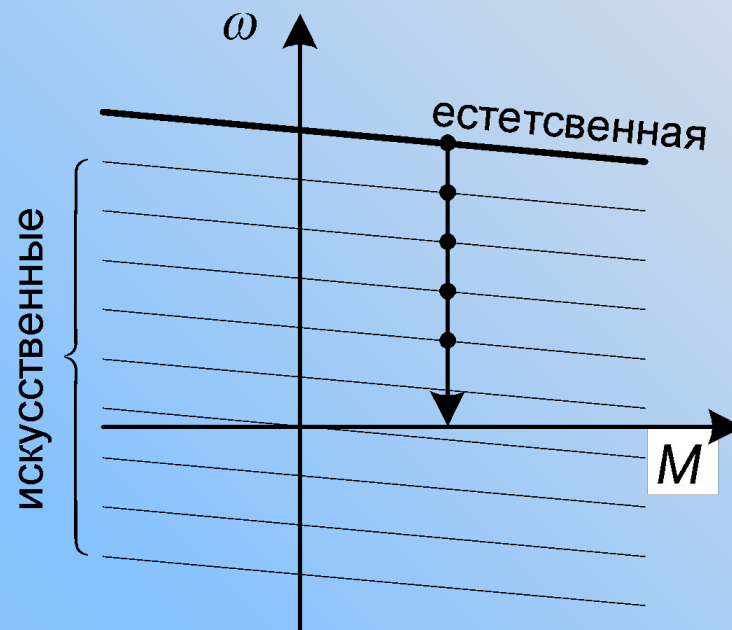
$$M_{\text{дв}} = k \cdot \Phi \cdot I_{я} \quad E_{я} = k \cdot \Phi \cdot \omega$$

Уравнение электромеханической характеристики ДПТ

$$\omega = \frac{U_{я}}{k \cdot \Phi} - \frac{I_{я} \cdot R_{я}}{k \cdot \Phi}$$

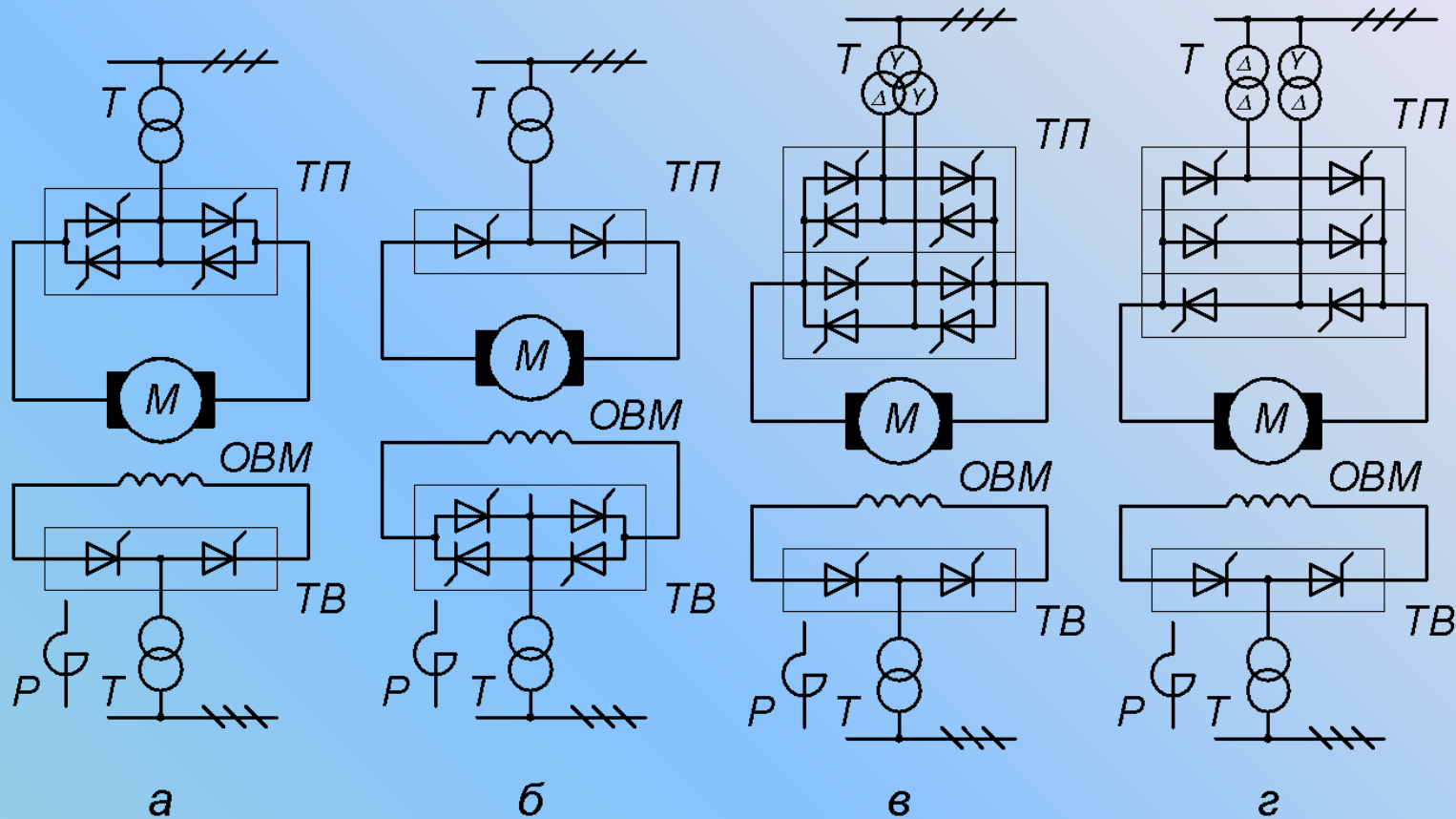
Уравнение механической характеристики

$$\omega = \frac{U_{я}}{k \cdot \Phi} - \frac{M_{\text{с}} \cdot R_{я}}{(k \cdot \Phi)^2}$$



7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Практ. 2, слайд 6

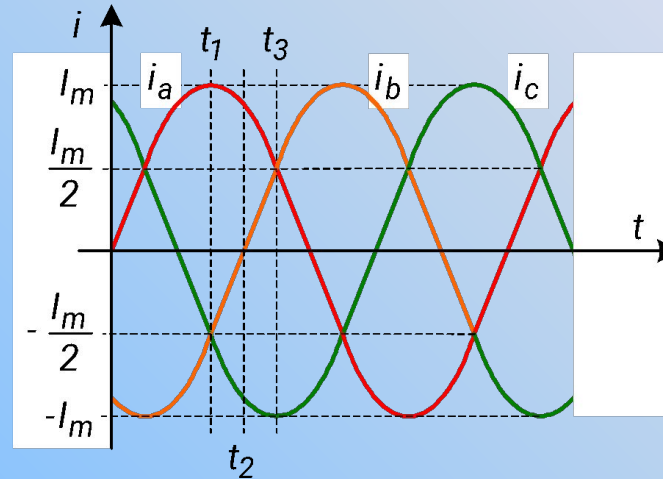


*Варианты силовых схем электроприводов, реализованных по системе
“тиристорный преобразователь - двигатель”*

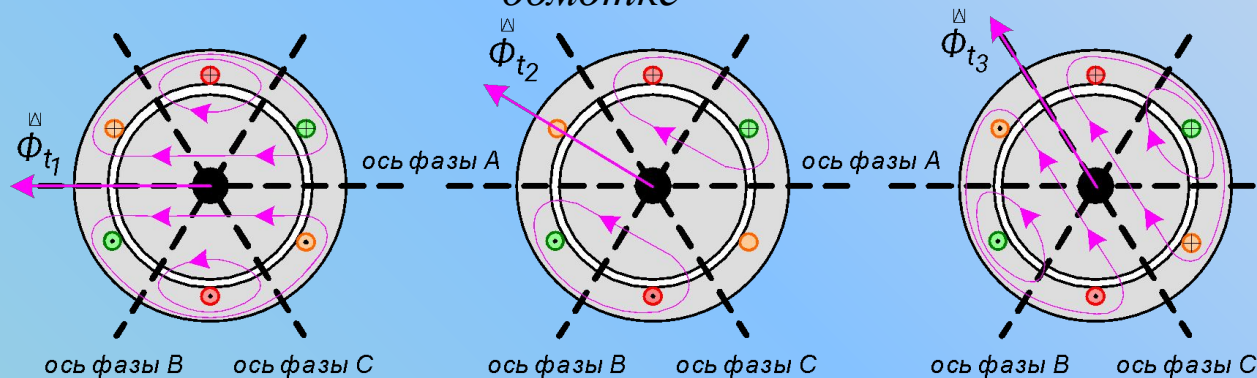
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Практ. 2, слайд 7

Асинхронные двигатели переменного тока



Устройство асинхронного двигателя и графики тока в статорной обмотке



Магнитное поле простейшей обмотки статора
асинхронного двигателя

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Основные уравнения асинхронного двигателя

Скорость вращения поля статора $n_s = \frac{f}{p} \cdot 60$

Уравнения механической и электромеханической характеристик асинхронного двигателя

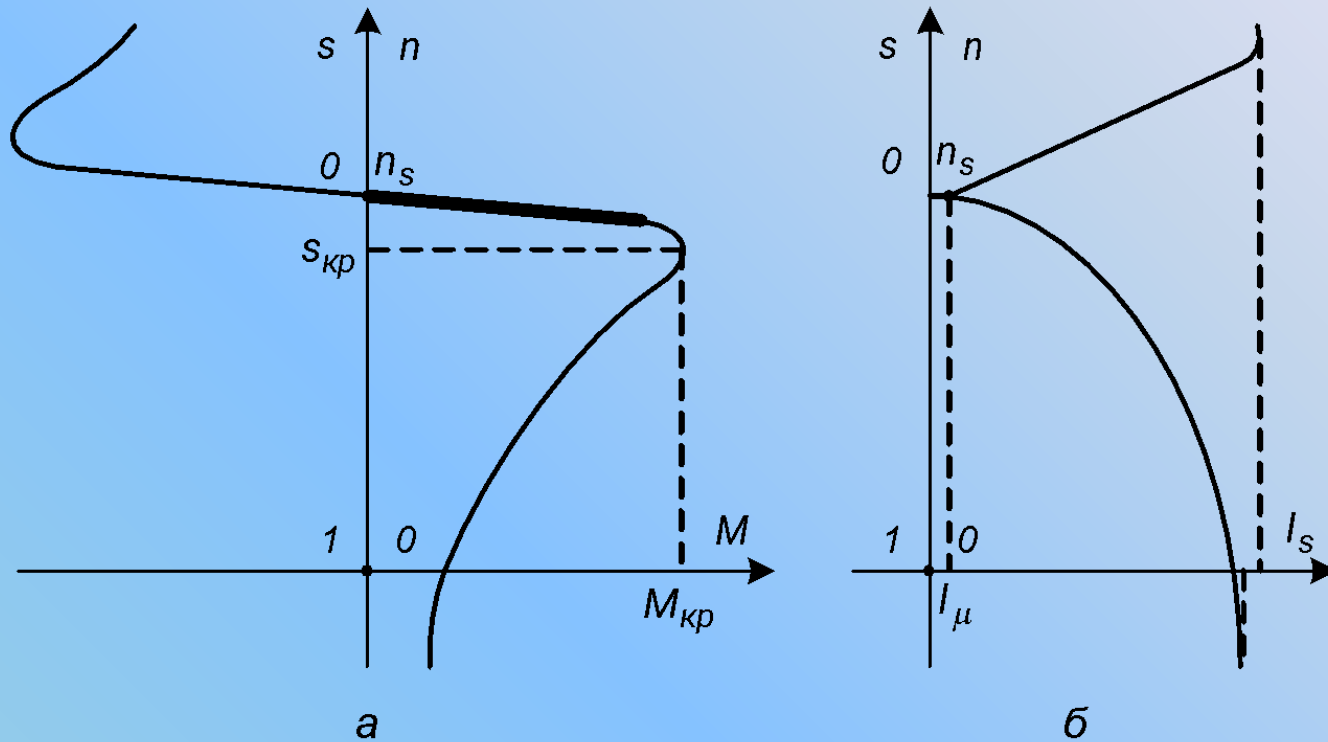
$$M = \frac{3 \cdot U_s^2 \cdot R'_r / s}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (R_s + R'_r / s)^2 + X_k^2} \quad I = \frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_r / s)^2 + X_k^2}}$$

Сопротивление обмотки ротора, приведенного к статору $R'_r \approx 0,95 \cdot \frac{U_{s_{л, ном}}}{E_{rk}}$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_k = X_s + X'_r$

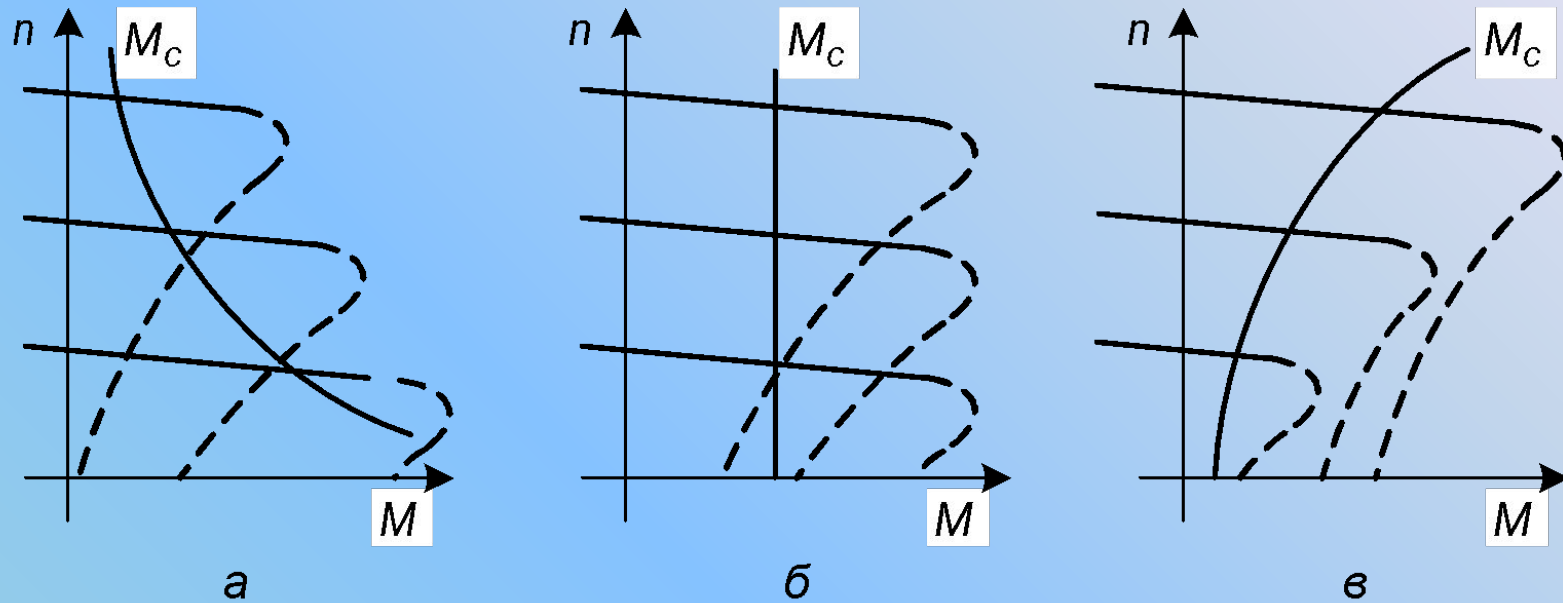
Скольжение $s = \frac{n_s - n}{n_s}$

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



*Естественные механическая (а) и электромеханическая (б)
характеристики асинхронного двигателя*

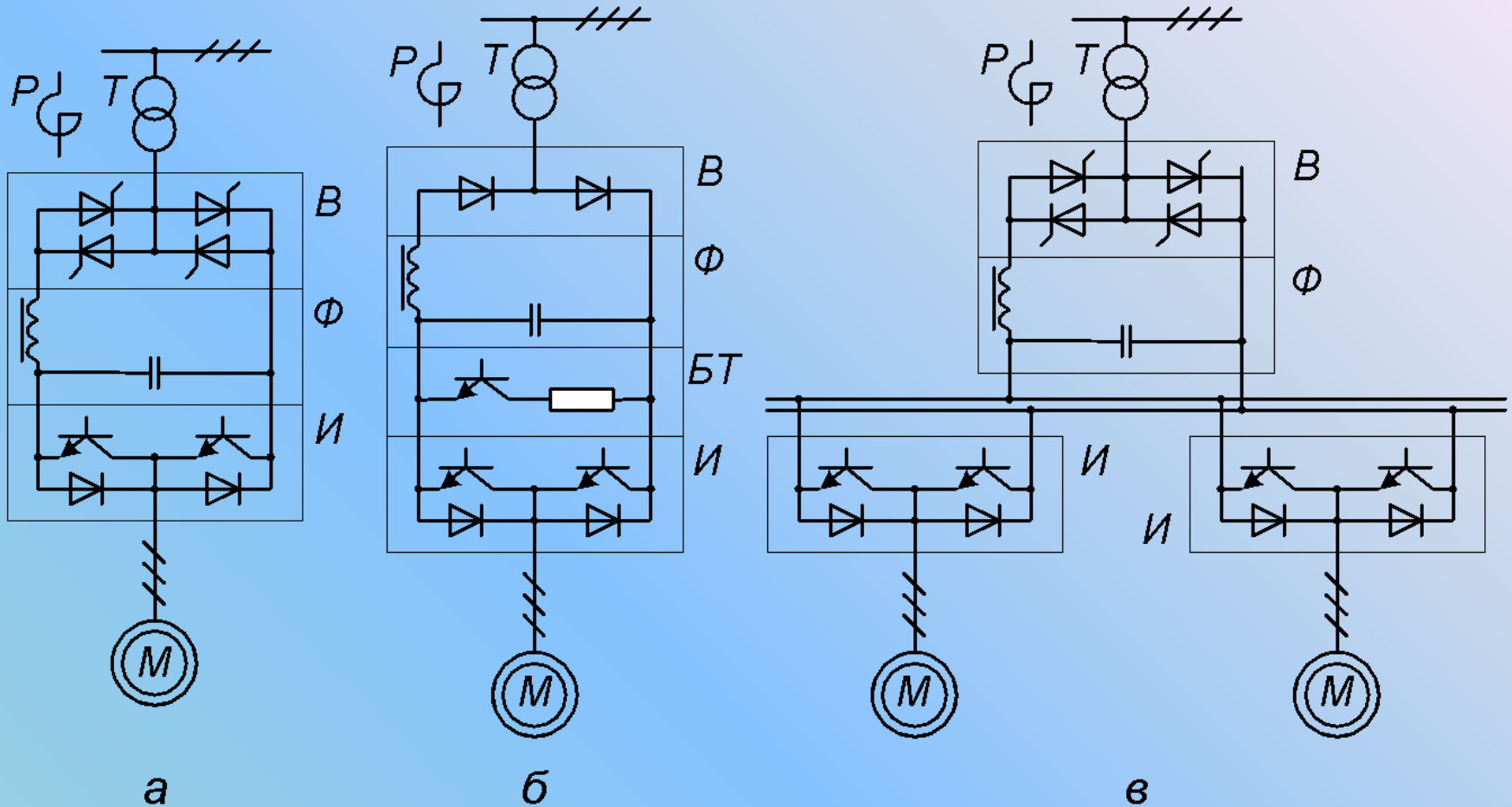
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении частоты питающего напряжения:

а — при $U_s = \text{const}$; б — при $U_s/f = \text{const}$; в — при $U_s/f^2 = \text{const}$

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

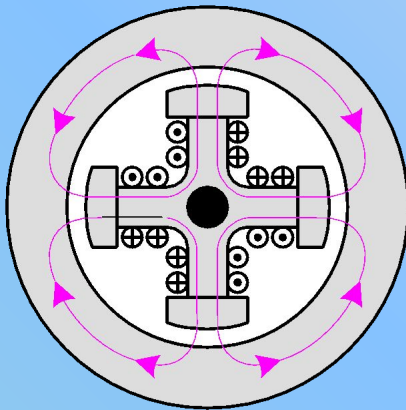


*Варианты силовых схем электроприводов, реализованных по системе
“преобразователь частоты - асинхронный двигатель” с автономным инвертором
напряжения*

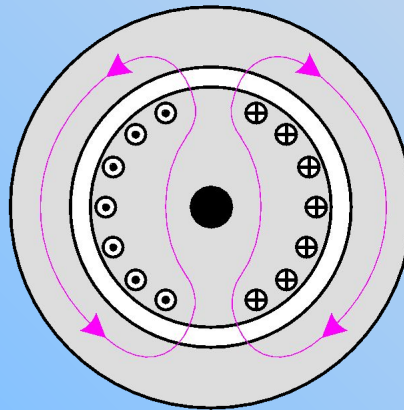
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Практ. 2, слайд 12

Синхронные двигатели

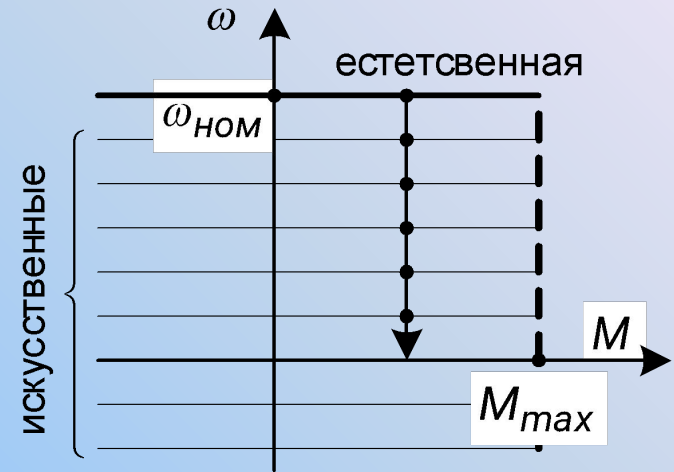


а



б

*Устройство и принцип действия
синхронного двигателя с явнополюсным
(а) и неявнополюсным (б) якорем*



Механические характеристики СД

Скоростью вращения потока статора $n = n_s = \frac{f}{p} \cdot 60$

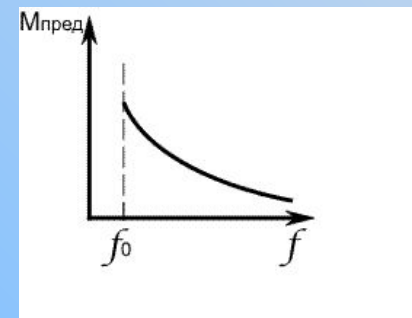
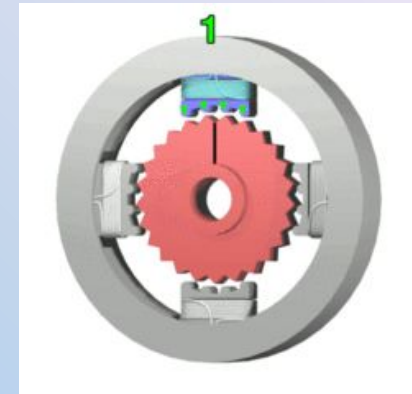
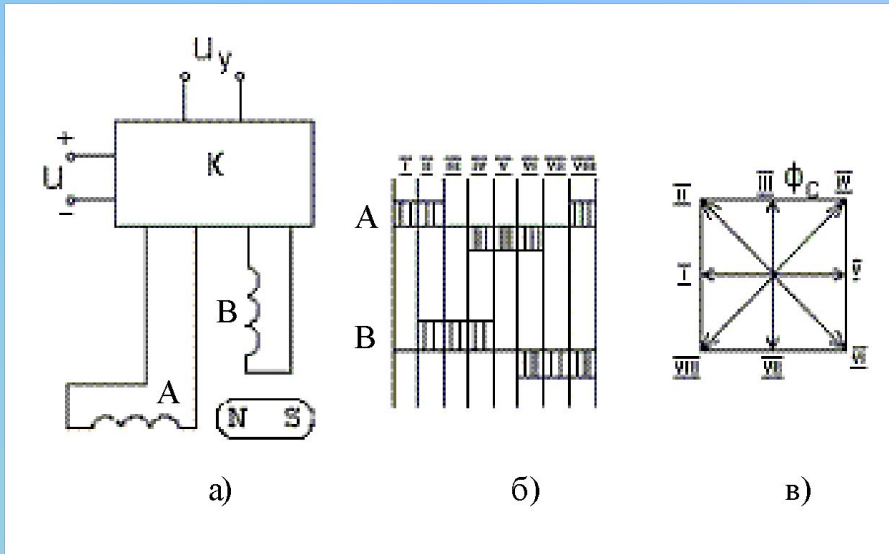
Уравнение механической характеристики синхронного двигателя

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \text{const}, \quad \text{при } 0 < M_c < M_{\max}$$

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

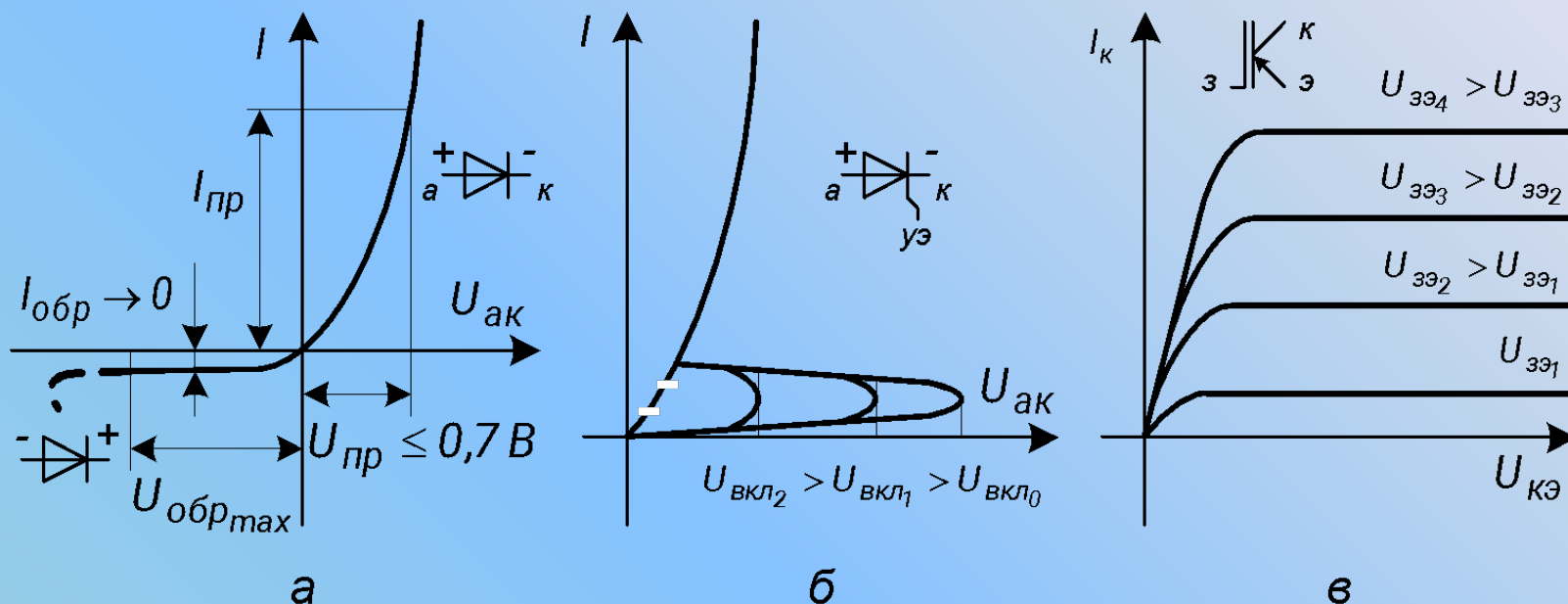
Шаговые двигатели

Шаговый электродвигатель – это синхронный бесщеточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные фиксированные угловые перемещения (шаги) ротора без датчиков обратной связи.



7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Элементная база преобразователей

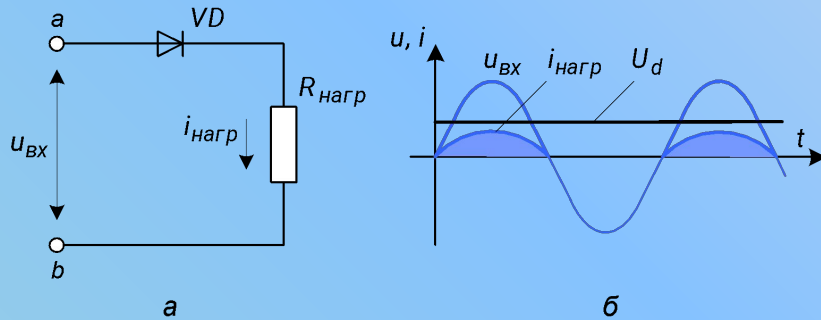


Вольт-амперные характеристики диода (а),
 тиристора (б) и силового транзистора (в)

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Практ. 2, слайд 15

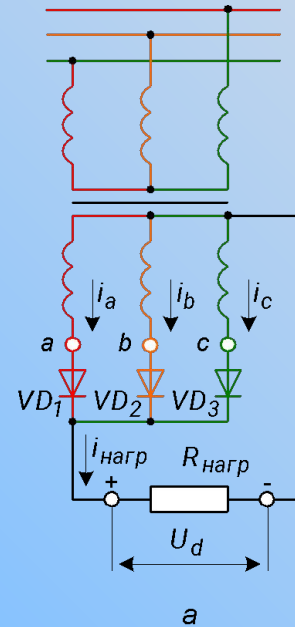
Преобразователи переменного тока в постоянный



Однофазный однополупериодный
выпрямитель:

а – принципиальная схема;

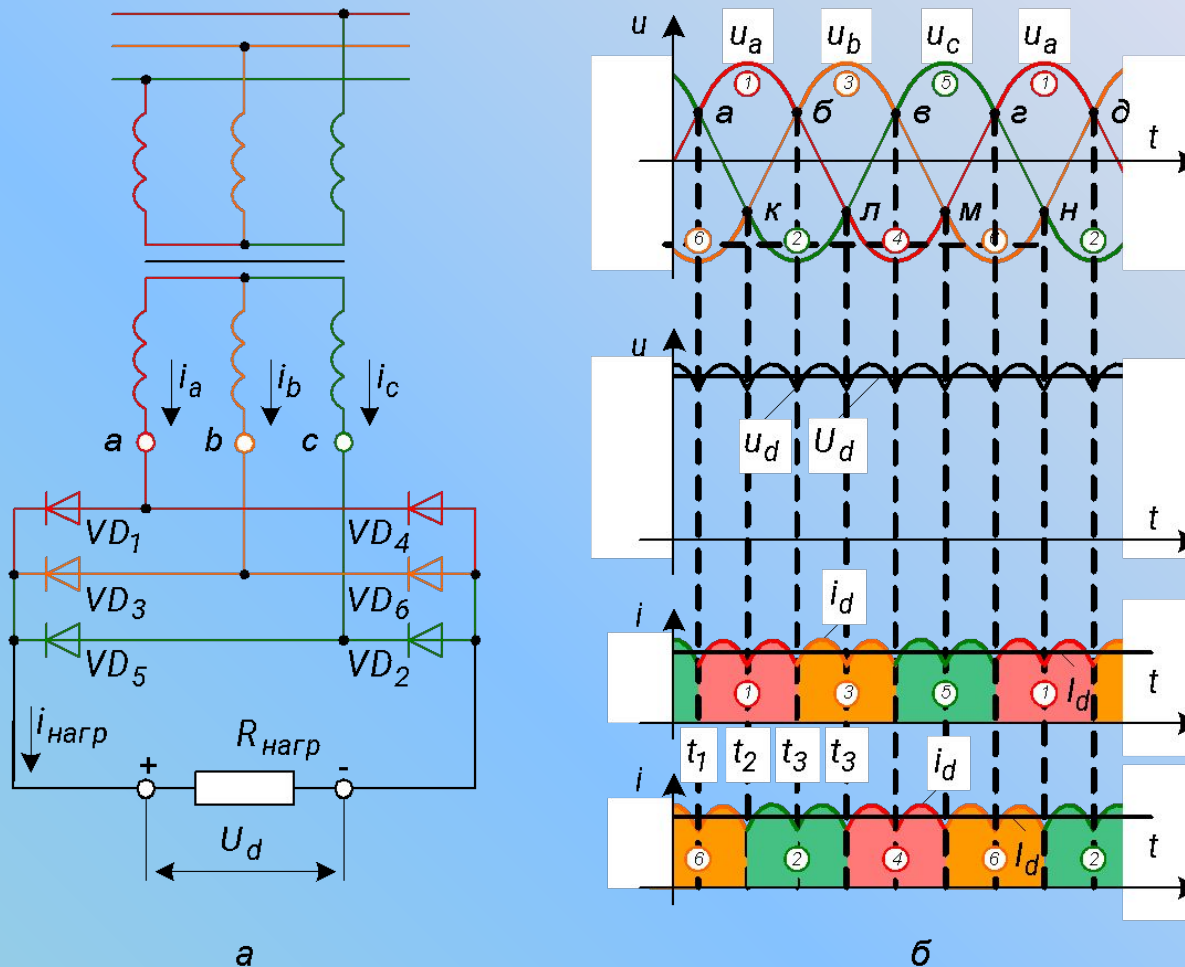
б – временные диаграммы напряжений
и токов



Трехфазный выпрямитель с нулевой
точкой:

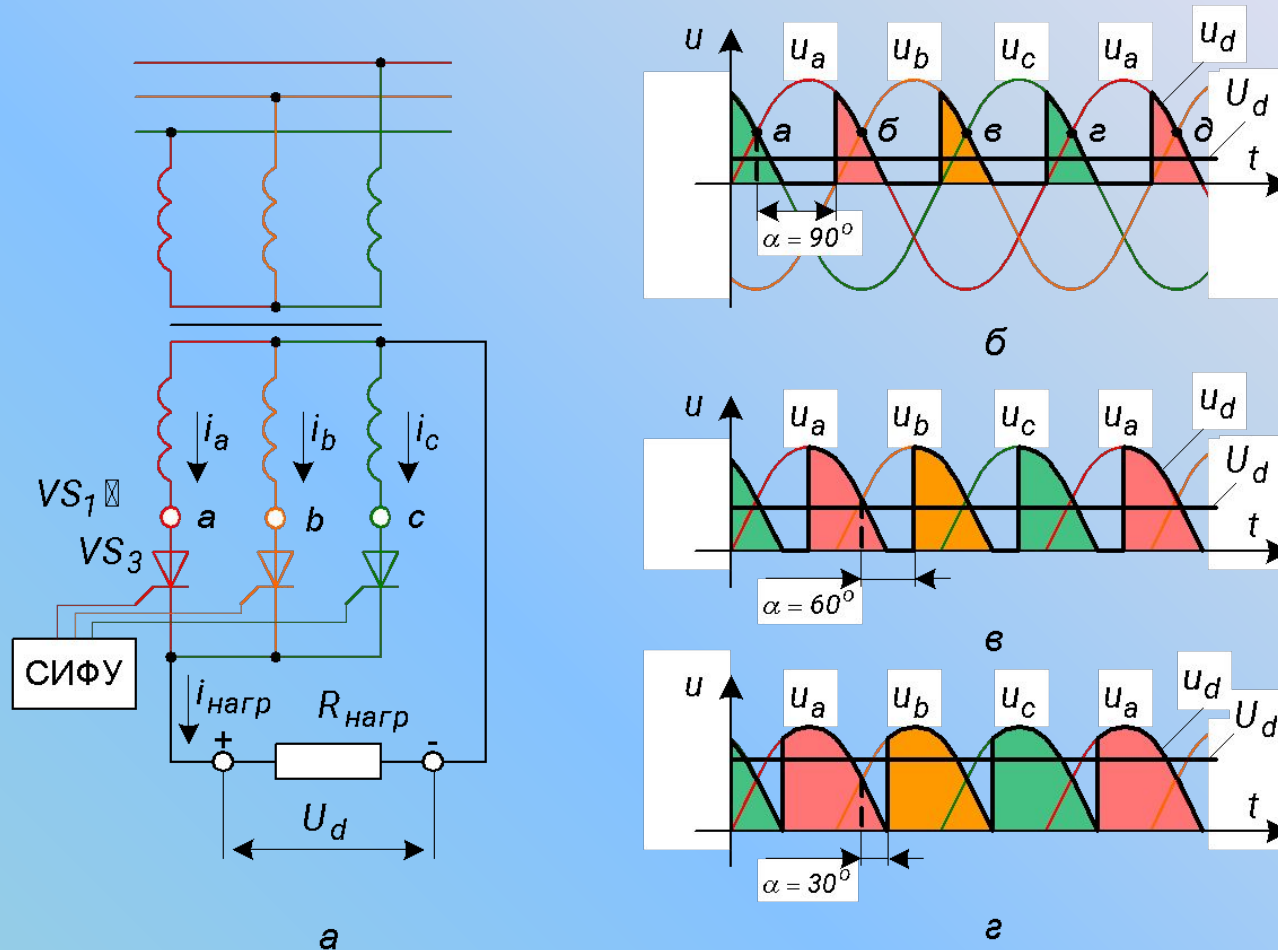
а – принципиальная схема; б – временные
диаграммы напряжений и токов

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



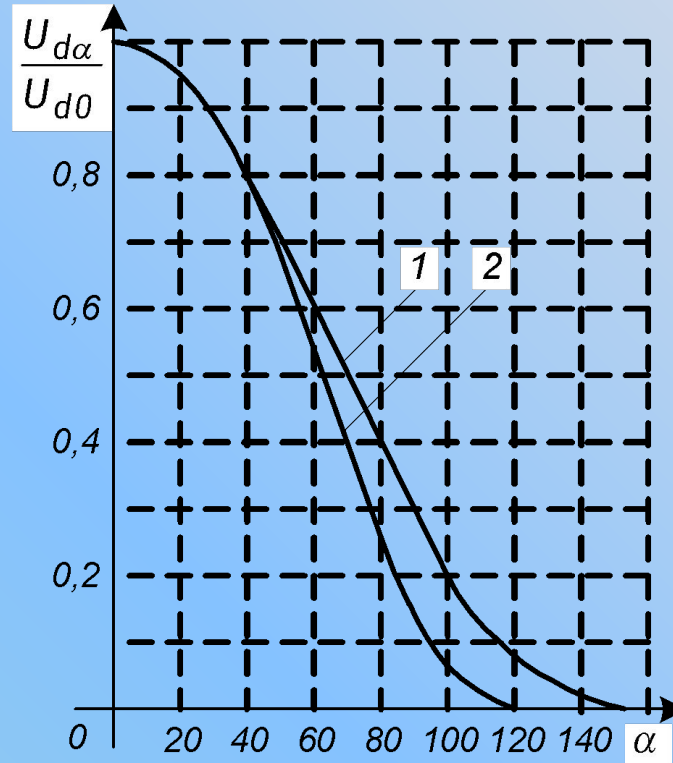
Трехфазный мостовой выпрямитель:
а – принципиальная схема; б – временные диаграммы
напряжений и токов

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



Трехфазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой:
а – принципиальная схема; б, в, г – диаграммы напряжений
при различных углах управления α

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

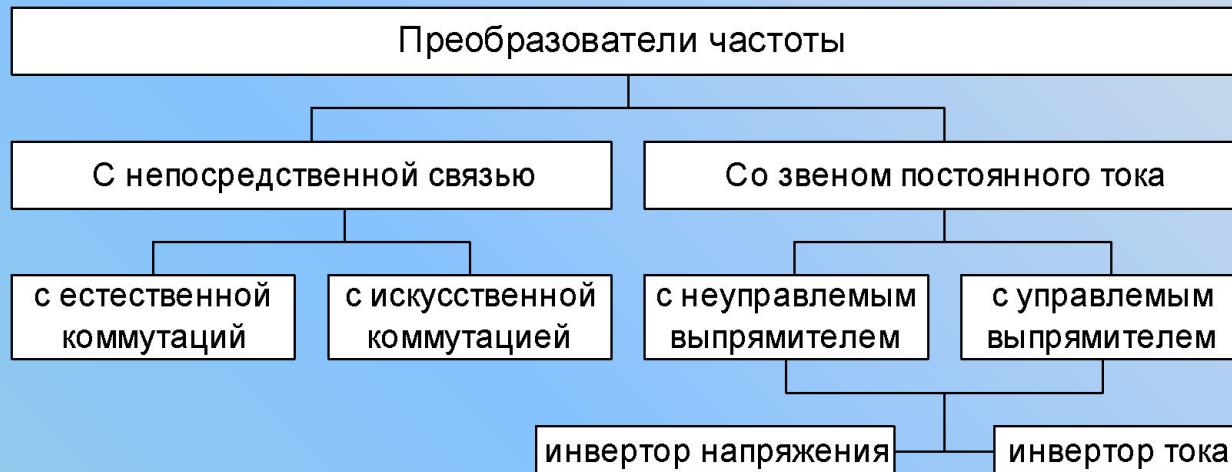


Регулировочная характеристика тиристорных выпрямителей для трехфазной нулевой (кривая 1) и трехфазной мостовой (кривая 2) схем выпрямления

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Преобразователи переменного тока

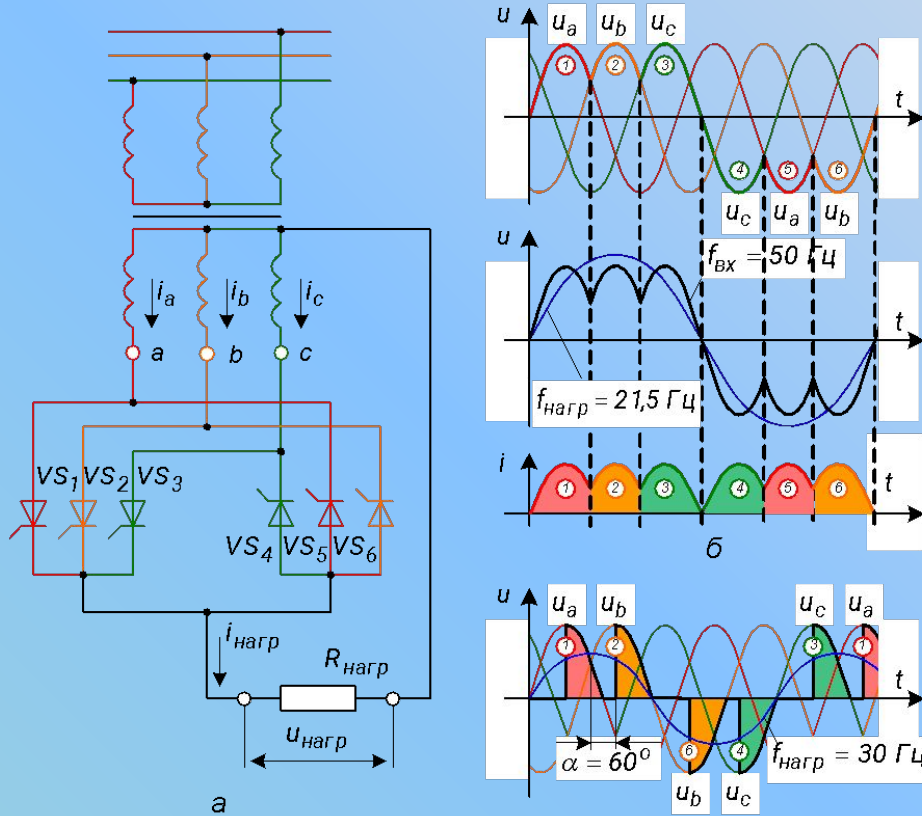
Основные типы силовых преобразователей частоты



7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Практ. 2, слайд 20

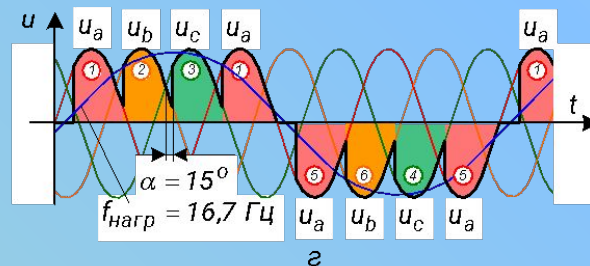
Преобразователь частоты с непосредственной связью



Принципиальная схема (а)
и временные диаграммы
напряжений (б-г) одной
фазы преобразователя
частоты
с непосредственной связью

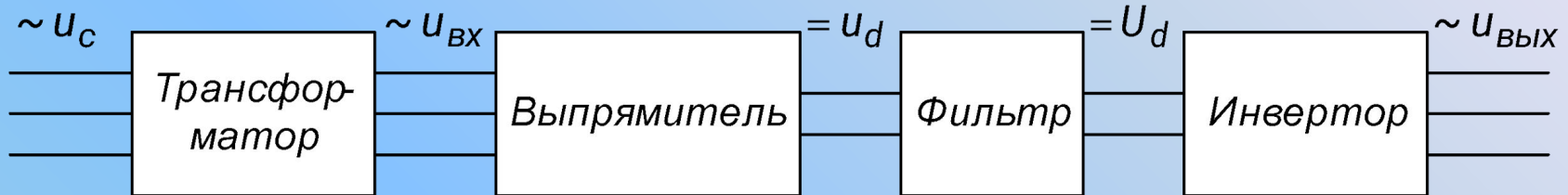
Частота выходного напряжения

$$f_{нагр} = \frac{3 \cdot f_{вх}}{2 \cdot n + 3}$$

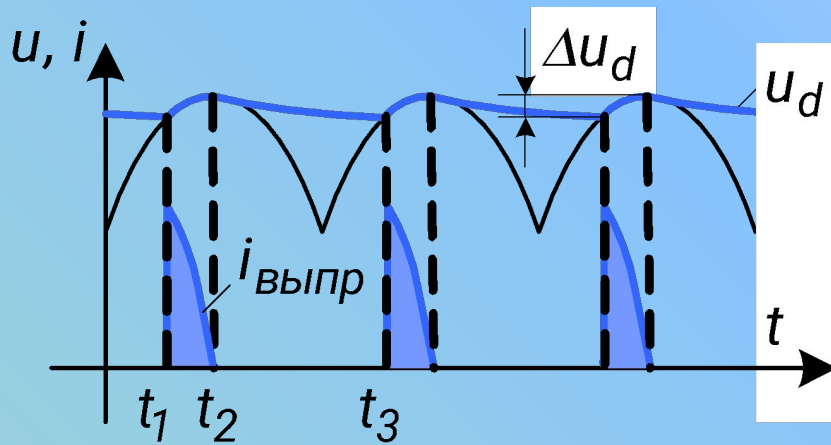


7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Преобразователь частоты со звеном постоянного тока



*Структурная схема преобразователя частоты
с промежуточным звеном постоянного тока*



*Временные диаграммы фильтра звена
постоянного тока ПЧ*

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

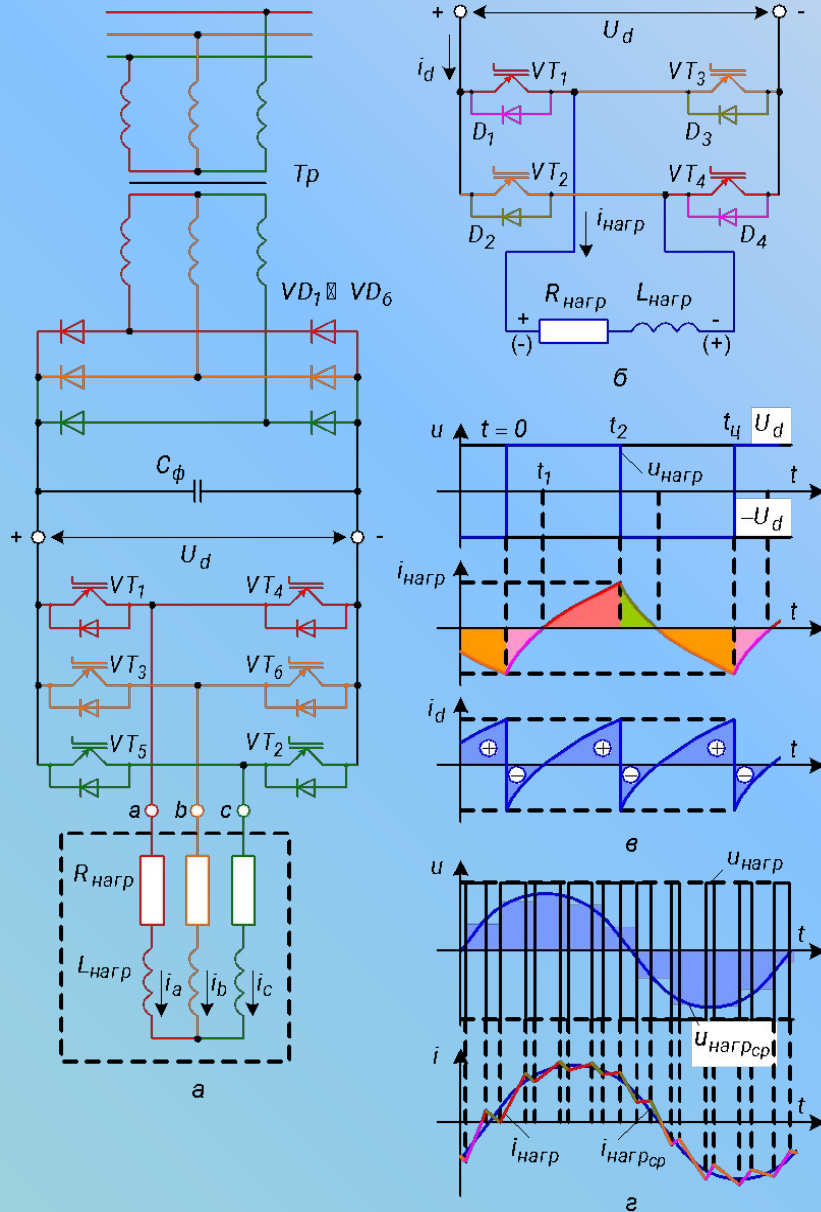
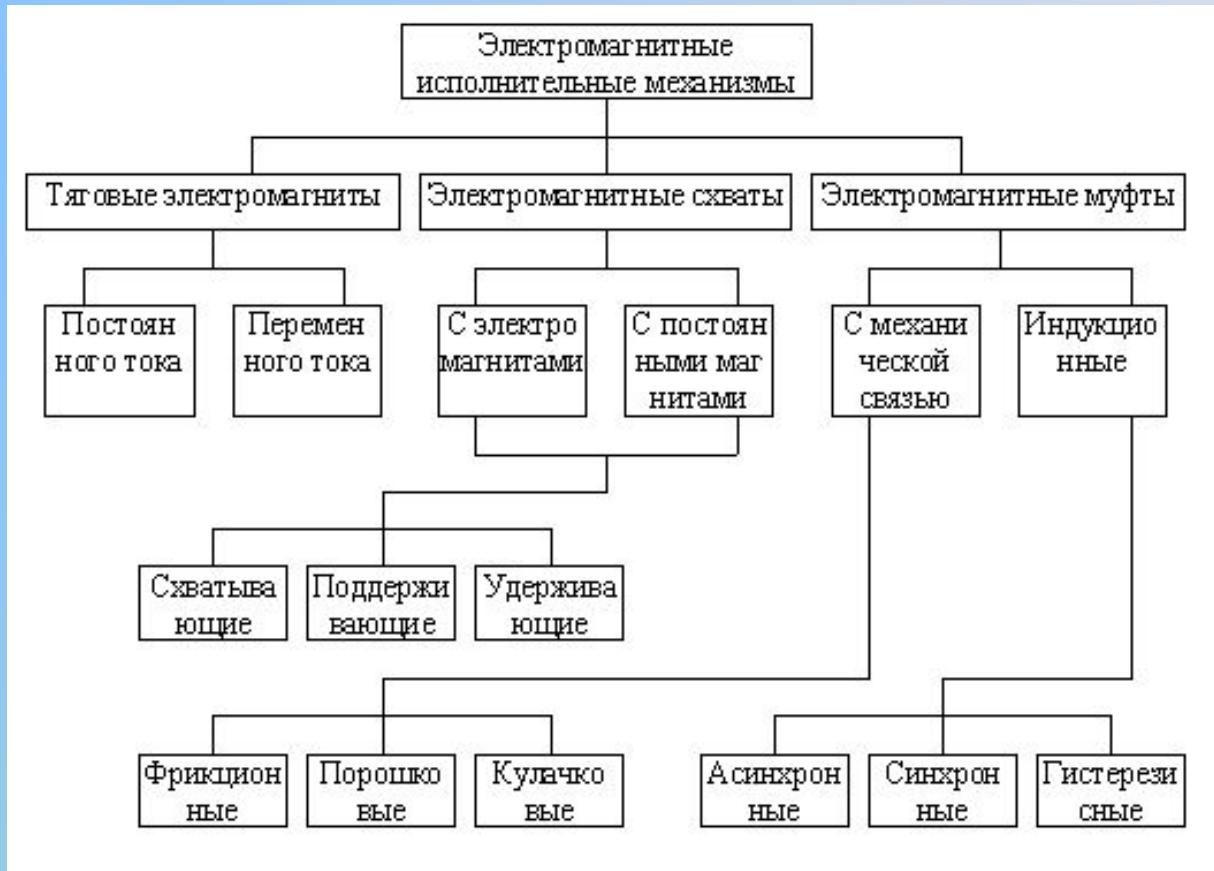


Схема преобразователя частоты с инвертором на IGBT транзисторах, включенных в трехфазную мостовую схему

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

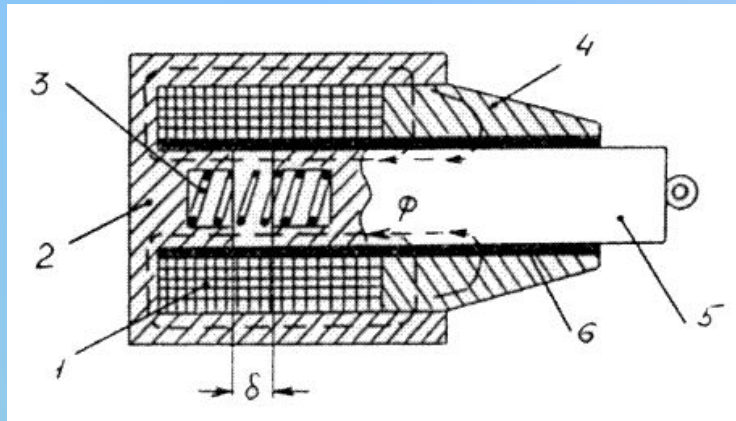


Классификация основных типов электромагнитных исполнительных механизмов

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Тяговые электромагниты

Применяются в электромеханических устройствах автоматики типа клапанов, золотников, защелок, выключателей, совершая возвратно-поступательные перемещения на расстояние в несколько миллиметров с усилием до нескольких десятков ньютонов.

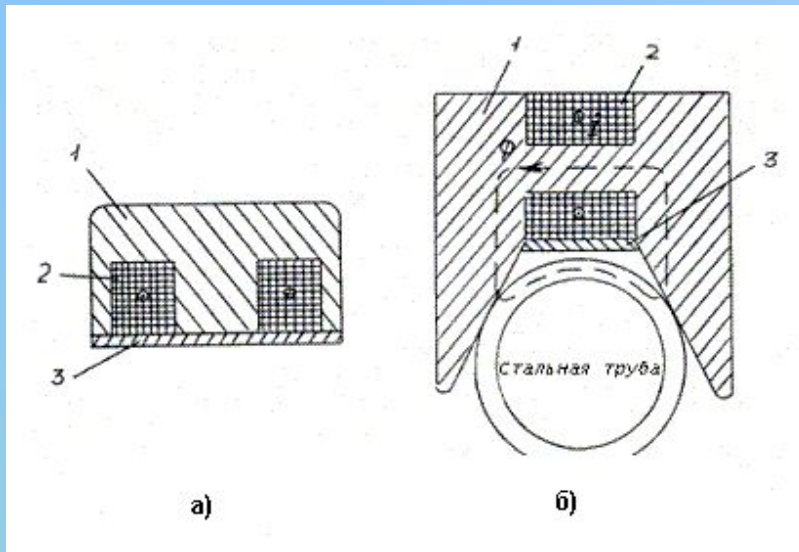


1 - обмотка возбуждения, выполнена из медного изолированного провода в виде соленоида; 2 - стальной корпус, служит одновременно внешним магнитопроводом; 3 - возвратная пружина; 4 - магнитопровод типа «воротничок»; 5 - подвижный якорь; 6 - тонкостенная латунная трубка, служит для уменьшения трения и предотвращения залипания якоря.

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Электромагнитные схваты

Служат для захвата и удержания в определенном положении объектов мехатронных систем. По способу удержания объекта они разделяются на схватывающие, поддерживающие и удерживающие.



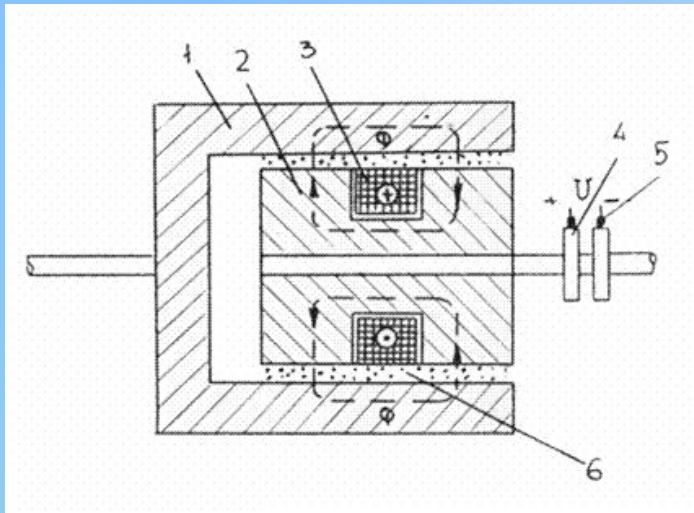
- 1 - стальной корпус;
- 2 - катушка электромагнита;
- 3 - лист из немагнитного металла (латунь)



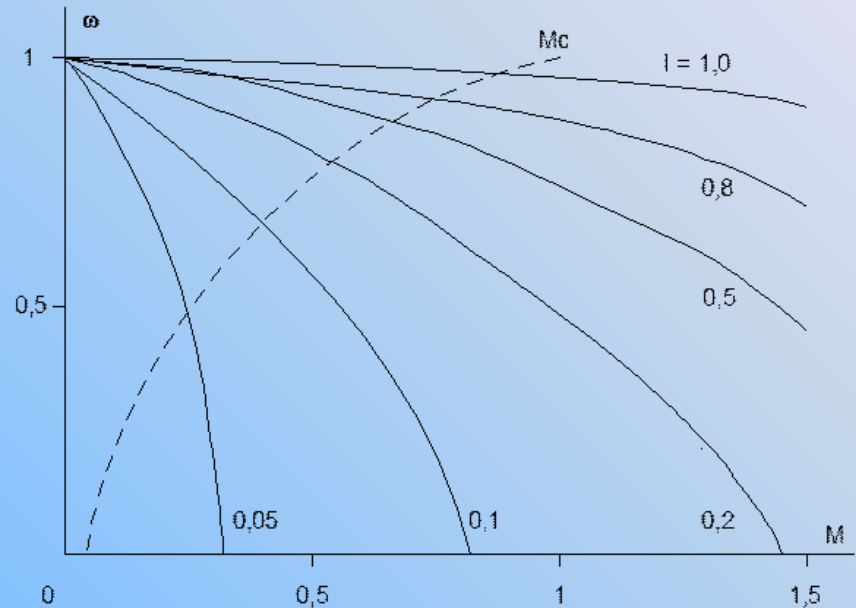
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Электромагнитные муфты

обеспечивают соединение ведущей и ведомой частей привода механически не жестко, а за счет упругих сил электромагнитного поля.

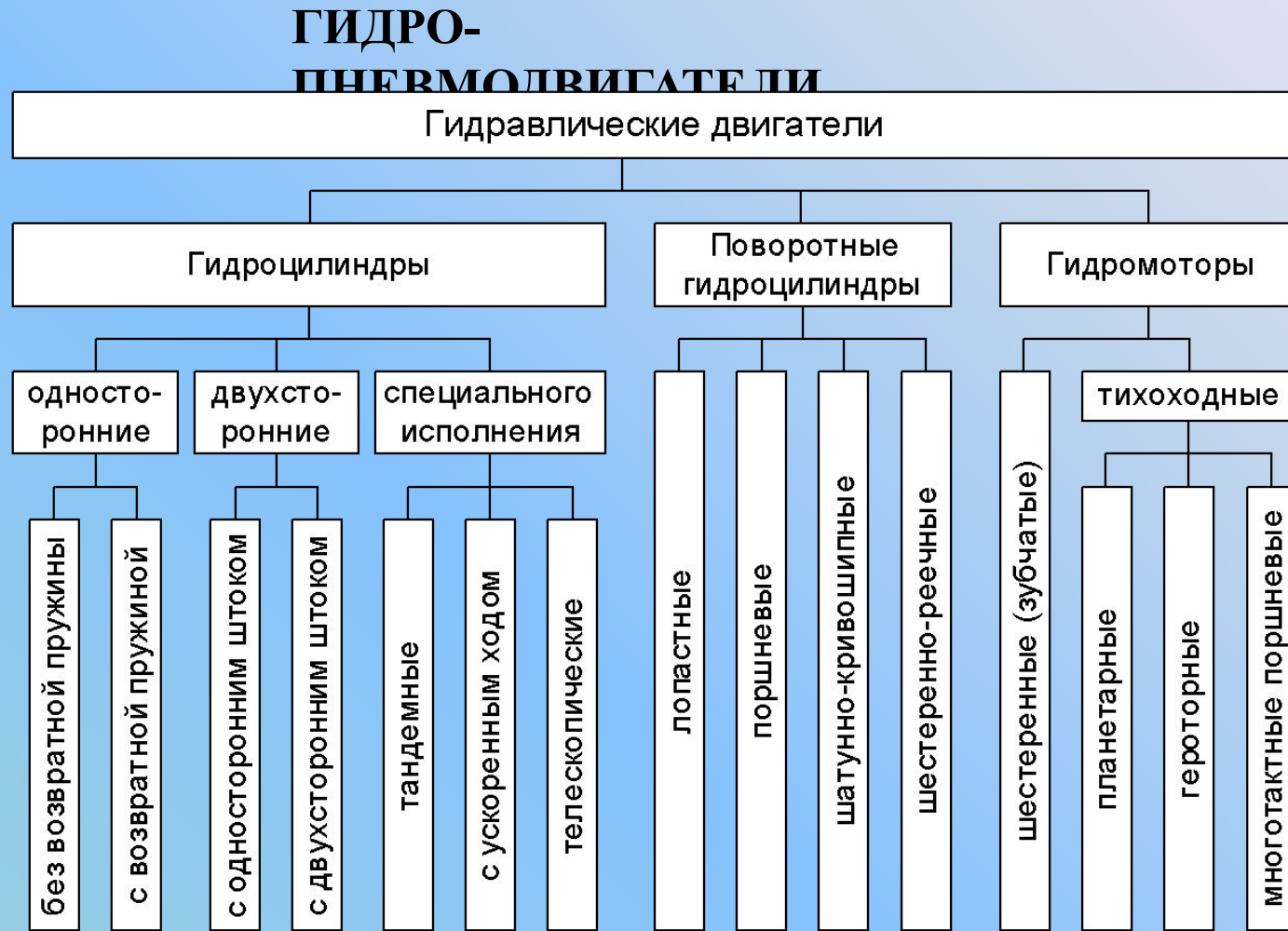


1, 2 - ведущая и ведомая части муфты, служат магнитопроводами;
3 - обмотка возбуждения;
4 - контактные кольца и 5 – щетки;
6 – наполнитель (ферромагнитная смесь)



*Статические характеристики
электромагнитных муфт скольжения*

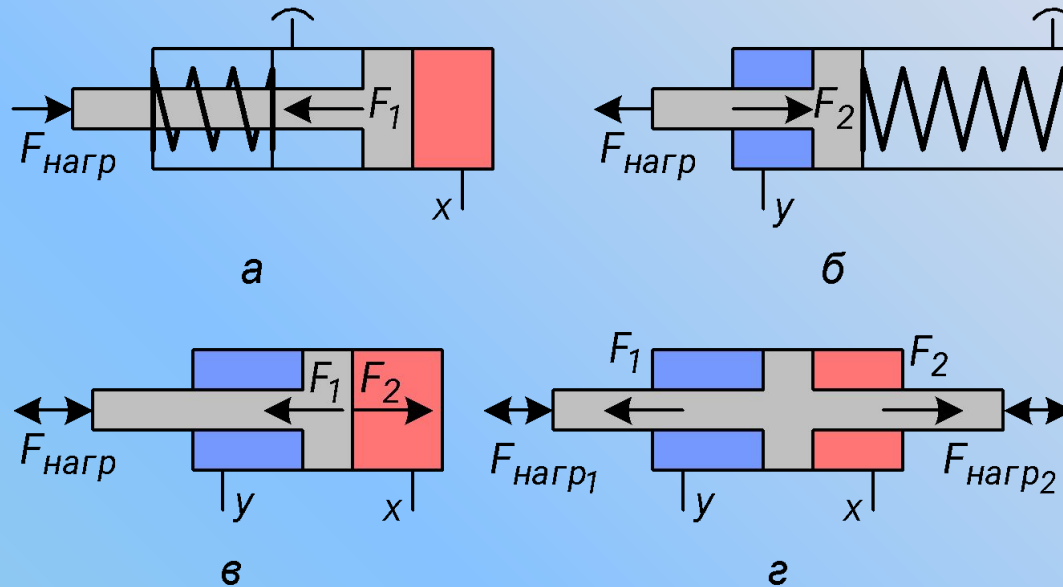
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



Классификация гидро- пневмодвигателей по принципу действия

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Гидро- пневмоцилиндры



*Гидроцилиндры одностороннего (а, б)
и двухстороннего (в, г) действия*

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

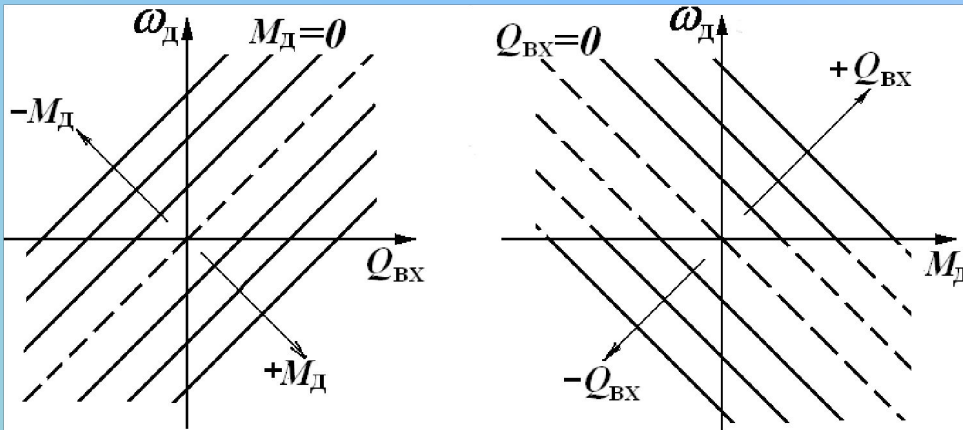
Усилия, развиваемые штоком гидроцилиндра $F_1 = p_1 \cdot A_1$ $F_2 = p_2 \cdot A_2$

Уравнение статической механической характеристики гидро- пневмопривода с линейным перемещением

$$v = \frac{Q}{A} - \frac{F_c}{A^2 \cdot R_y}$$

где $Q = \frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{dS}{dt} + Q_y = A \cdot v + Q_y$ - расход жидкости или газа

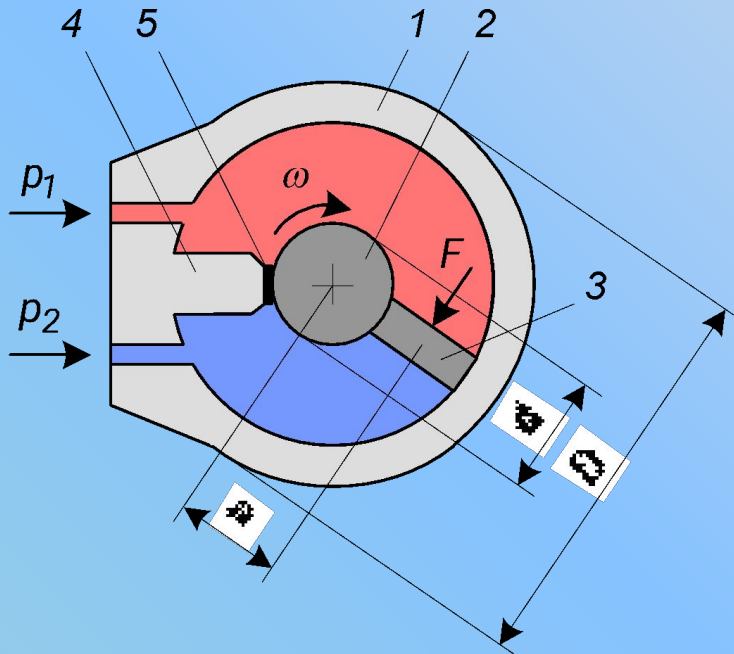
$R_y = \frac{p_1 - p_2}{Q_y}$ - гидравлическое сопротивление путей потока утечки Q_y двигателя



*Статические механические
характеристики гидро-
пневмодвигателей*

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Поворотные гидро- пневмоцилиндры



Принцип работы поворотного гидроцилиндра

1 – корпус; 2 - поворотный ротор (втулка); 3 - несущая пластина (лопасть); 4 - уплотнительная перемычка с пружинящим поджимом; 5 - уплотнительный элемент

Сила F определяется перепадом давления и рабочей площадью пластины

$$F = (p_1 - p_2) \cdot A$$

Рабочая площадь пластины может быть определена как

$$A = \frac{D - d}{2} \cdot b$$

Крутящий момент может быть рассчитан по зависимости

$$M = (p_1 - p_2) \cdot \frac{D^2 - d^2}{8} \cdot b \cdot \eta$$

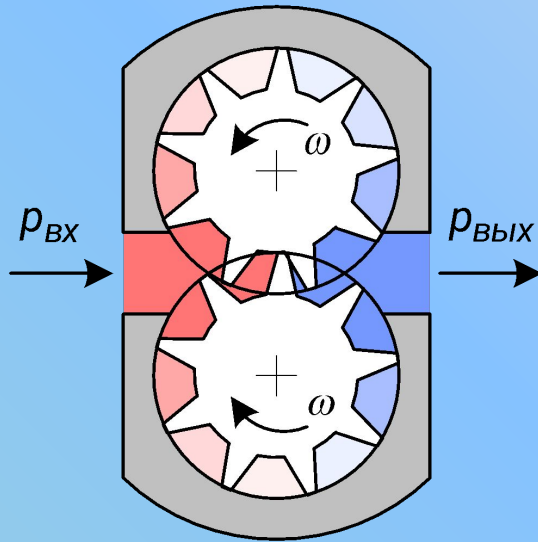
Для поворотного гидроцилиндра выражение для потока

$$Q = A \cdot \omega \cdot a$$

Угловая скорость вращения вала

$$\omega = \frac{Q \cdot \eta}{A \cdot a} = \frac{8 \cdot Q}{(D^2 - d^2) \cdot b} \cdot \eta$$

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



*Принцип работы
шестеренного
гидромотора*

Гидро- пневмомоторы

При повороте шестерен на один радиан через машину будет перемещен объем жидкости

$$q = 2 \cdot V_0 \cdot \frac{z}{2 \cdot \pi} = V_0 \cdot \frac{z}{\pi}$$

Расход жидкости в режиме идеального холостого хода

$$Q_{xx} = q \cdot \omega = V_0 \cdot \frac{z}{\pi} \cdot \omega = k \cdot \omega$$

Полный поток через гидромотор $Q = Q_{xx} + Q_y$

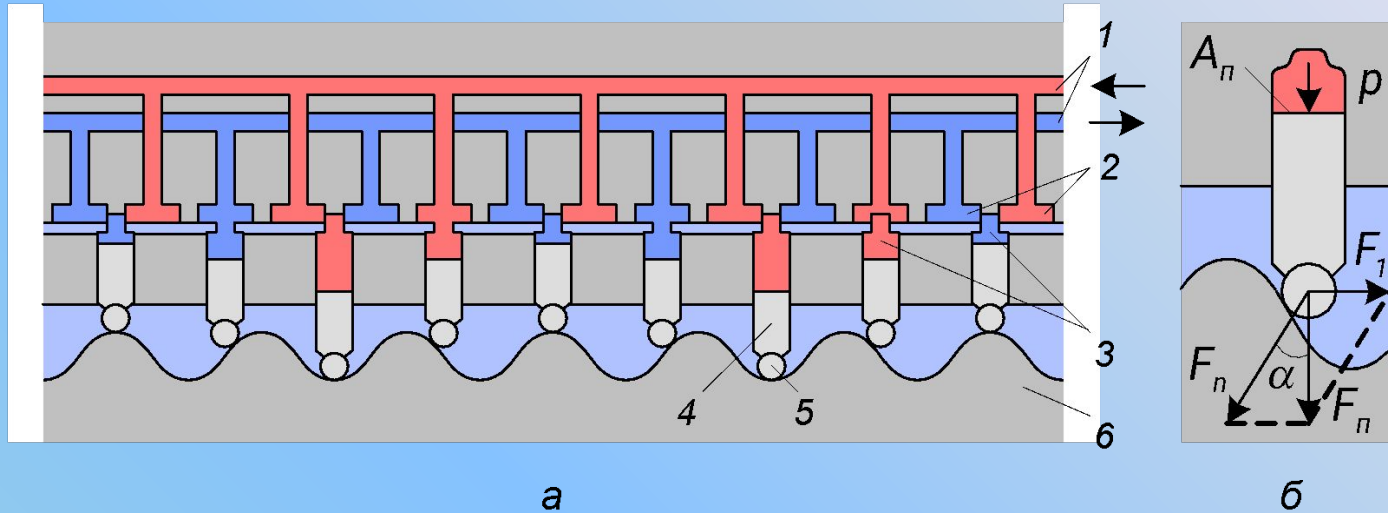
Поток утечки $Q_y = \frac{p_{вх} - p_{вых}}{R_y} = \frac{M_c}{k \cdot R_y}$

Уравнение статической механической характеристики

$$\omega = \frac{Q}{k} - \frac{M_c}{k^2 \cdot R_y}$$

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Принцип работы многотактного поршневого гидромотора



Усилие F_t , которое преобразуется в крутящий момент, зависит от усилия на поршне, равном

$$F_n = p \cdot A_n$$

где A_n – площадь поршня, и угла подъема α профильной поверхности

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Гидравлические и пневматические управляющие устройства

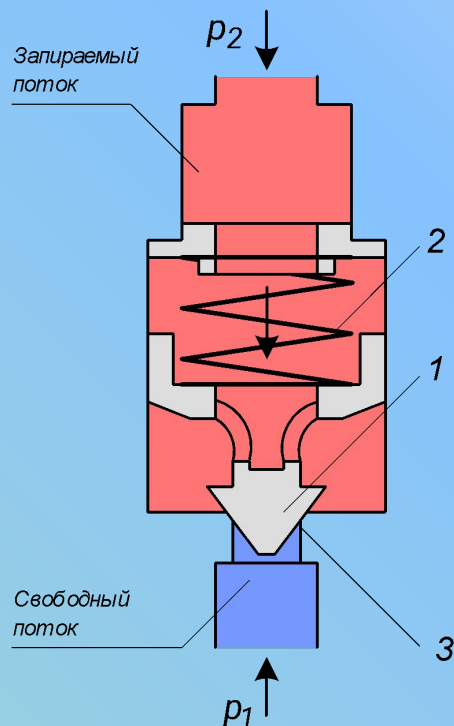
Классификация

1. Гидроаппаратура распределения потоков жидкости:
 - гидравлические распределители;
 - обратные клапаны и гидрозамки.
2. Гидроаппаратура управления величиной потока жидкости:
 - дроссели;
 - регуляторы расхода;
 - делители потока.
3. Гидроаппаратура (гидроклапаны) управления давлением:
 - предохранительные клапана прямого и непрямого действия;
 - переливные клапана прямого и непрямого действия;
 - редукционные и напорные клапана, клапана соотношения давлений;
 - разгрузочный гидроклапан;
 - гидроклапаны последовательности;
 - гидроклапаны выдержки времени.
4. Вспомогательная гидроаппаратура:
 - средства кондиционирования жидкости;
 - гидробаки;
 - теплообменники;
 - гидроаккумуляторы и др.

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Устройства распределения потоков

Принцип работы обратного клапана



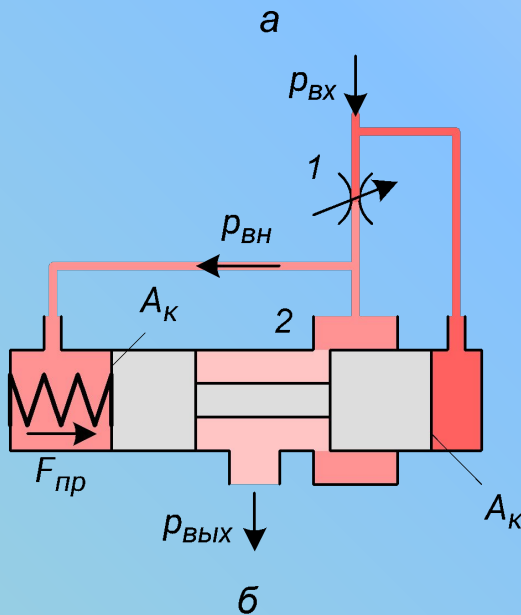
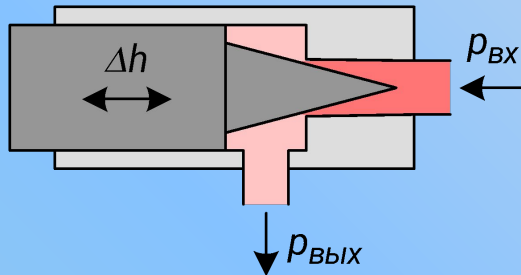
Предназначены для перераспределения потока жидкости (газа), а также его пропуска или остановки при достижении параметрами потока (давления, разности давлений и др.) заданных настройкам клапана значений.

В системах управления гидро- пневмоприводами применяют:

- гиддораспределители,
- обратные клапаны и гидрозамки,
- клапаны выдержки времени.

- 1 – клапан;
- 2 - прижимаемая пружина;
- 3 – уплотняющее седло

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



Принцип работы
игольчатого дросселя (а) и
двухлинейного регулятора
расхода с компенсатором
давления на выходе (б)

Устройства управления величиной потока

Управление величиной потока осуществляется:

- гидравлическими дросселями;
- регуляторами расхода;
- делителями потока.

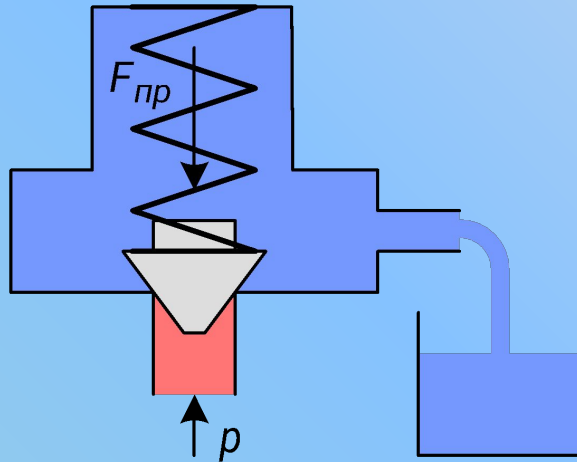
Гидравлический дроссель – это регулирующий гидроаппарат, предназначенный для создания гидравлического сопротивления потоку жидкости.

В регуляторах расхода в дополнение к настраиваемому (дозировочному) дросселю 1 устанавливается управляющий дроссель (компенсатор давления) 2, действующий одновременно и как элемент сравнения в системе с обратной связью.

Делитель потока – дроссельный гидроаппарат, делящий поток на две части в заданном соотношении. Применяются в том случае, если необходимо обеспечить заданное соотношение скоростей движения выходных звеньев гидродвигателей.

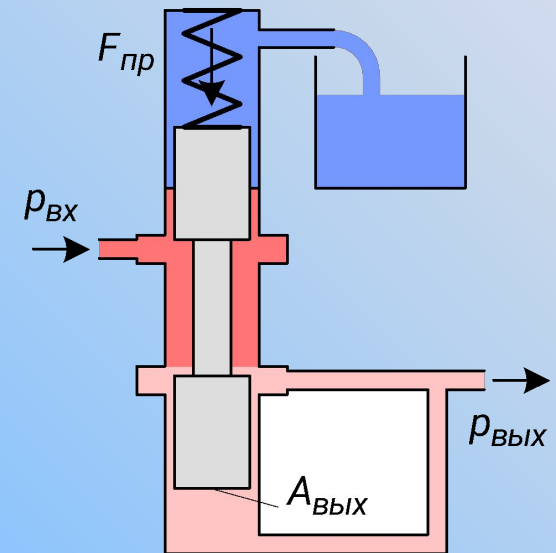
7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Устройства управления давлением (клапаны)



*Принцип работы
предохранительного клапана*

Различают предохранительные, редукционные клапаны, клапаны последовательности (известные также как переспускные, предварительно-нагружающие или тормозные), а также клапаны разности и соотношения давлений.



*Принцип работы
редукционного клапана*