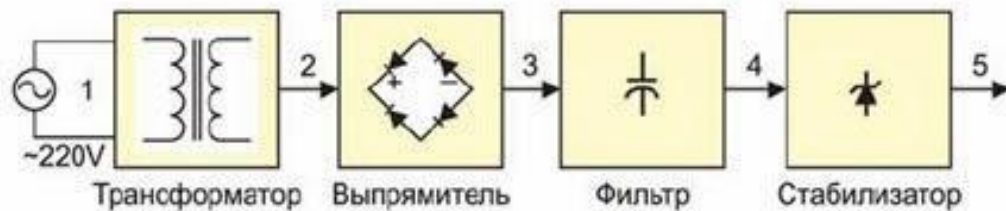
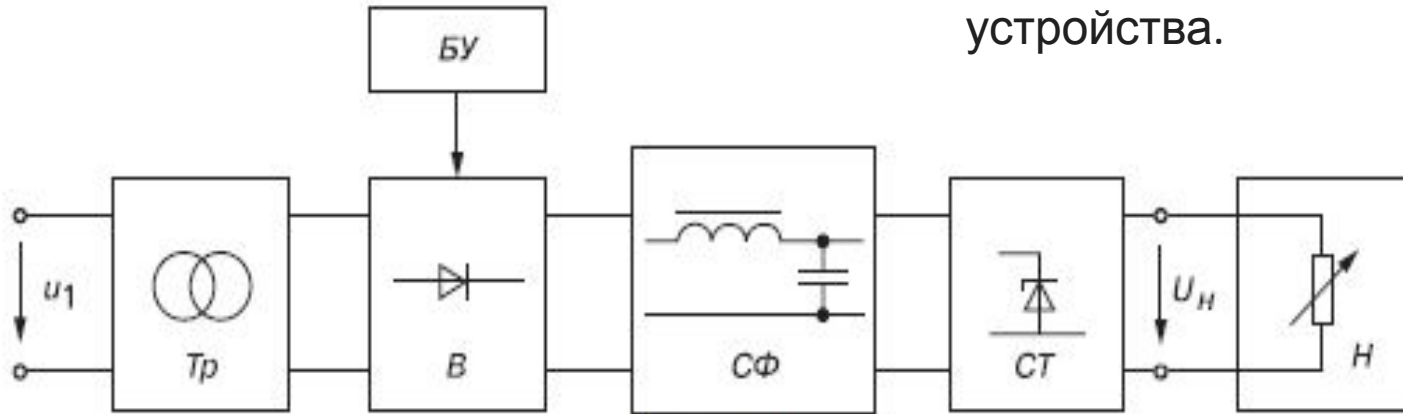


# Источники вторичного электропитания



# Общие положения

Структурная схема выпрямительного устройства.



**Силовой трансформатор  $Tr$**  предназначен для согласования входного (сетевое)  $u_1$  и выходного (выпрямленного)  $U_H$  напряжений выпрямителя, он электрически отделяет питающую сеть от цепи нагрузки  $H$ .

**Блок вентилей  $В$**  выполняет функцию выпрямления переменного тока.

**Сглаживающий фильтр  $СФ$**  применяют для уменьшения пульсаций выпрямленного тока в цепи нагрузки  $H$ .

В случае управляемого выпрямителя необходим **блок управления  $БУ$** , содержащий систему управления вентилями и систему автоматического регулирования уровня выходного напряжения.

В неуправляемые выпрямители встраивают **блок стабилизации  $СТ$** , поддерживающий номинальный уровень выходного напряжения или тока нагрузки при колебаниях напряжения сети.

# Классификационные и основные параметры выпрямителей

- неуправляемые ( $U_H = const$ ) и управляемые ( $U_H = var$ );
- однополупериодные и двухполупериодные;
- однофазные и многофазные (чаще трехфазные);
- малой (до 1 кВт), средней (до 100 кВт) и большой (свыше 100 кВт) мощности;
- низкого (до 25 В), среднего (до 1000 В) и высокого (свыше 1000 В) напряжений.

## Основные параметры выпрямителей:

$U_H.cр$  ( $I_H.cр$ ) — среднее значение выпрямленного напряжения (тока) нагрузки;

$U_{m.ог}$ — амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения;

$q_n = U_{m.ог}/U_H.cр$ — коэффициент пульсации выпрямленного напряжения;

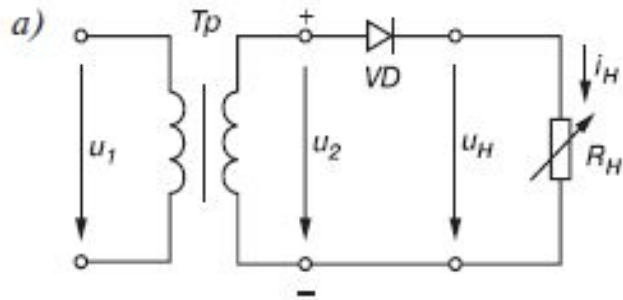
$S$  — мощность трансформатора (в вольтамперах — ВА или в киловольтамперах — кВА);

$I_{пр.cр}$ — прямой средний ток вентиля;

$U_{пр.cр}$ — среднее напряжение (меньше 2,5 В) на вентиле при токе  $I_{пр.cр}$ ;

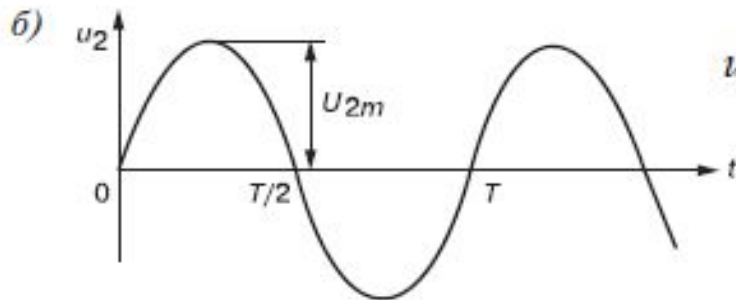
$U_{обр.тах}$  и  $I_{пр.тах}$ — максимальные допустимые обратное напряжение и прямой ток вентиля.

# Однофазные выпрямители



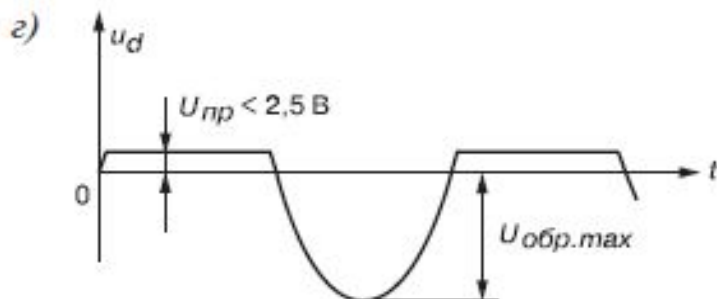
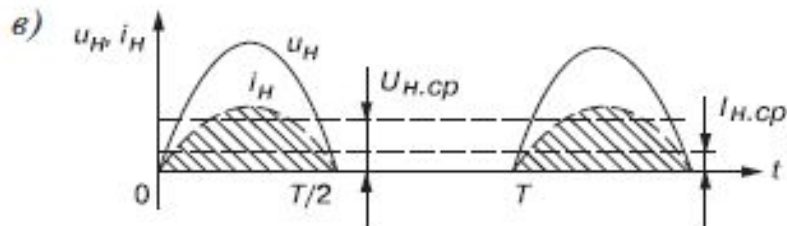
$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t = -\frac{U_{2m}}{2\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = \frac{U_{2m}}{\pi},$$

$$U_{н.ср} \approx \frac{U_{2m}}{\pi} \approx 0,318 U_{2m}; I_{н.ср} = \frac{I_{2m}}{\pi} \approx 0,318 I_{2m}$$



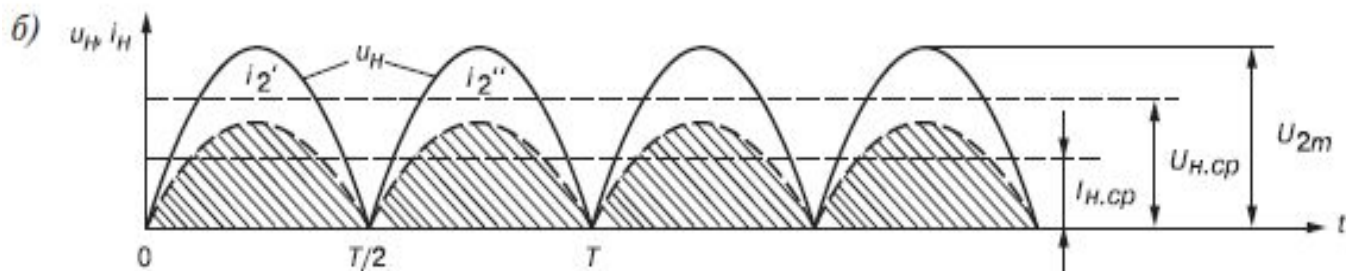
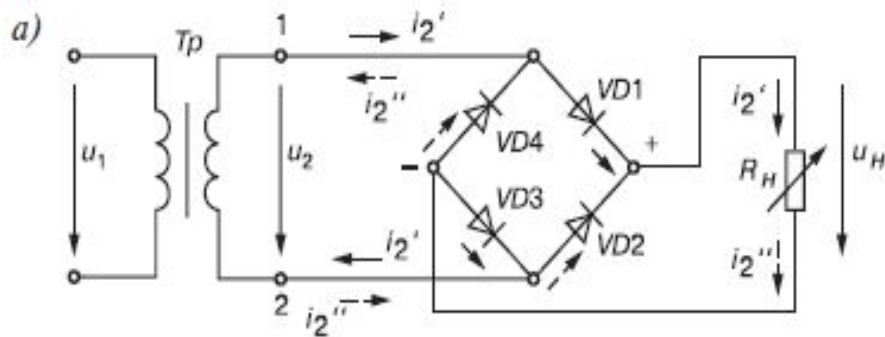
$$u_H = \frac{U_{2m}}{\pi} + \frac{1}{2} U_{2m} \sin \omega t - \frac{2U_{2m}}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{2U_{2m}}{15\pi} \cos 4\omega t - \dots,$$

$$U_{m.ог} = \frac{U_{2m}}{2}, \quad q_n = \frac{U_{m.ог}}{U_{н.ср}} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57.$$



Применение: для питания устройств, требующих малого тока и высокого напряжения, например, для питания электронно-лучевых трубок, трубок рентгеновских аппаратов и др.

# Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя



$$u_n = \frac{2U_m}{\pi} - \frac{4U_{2m}}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4U_{2m}}{15\pi} \cos 4\omega t - \frac{4U_{2m}}{35\pi} \cos 6\omega t - \dots,$$

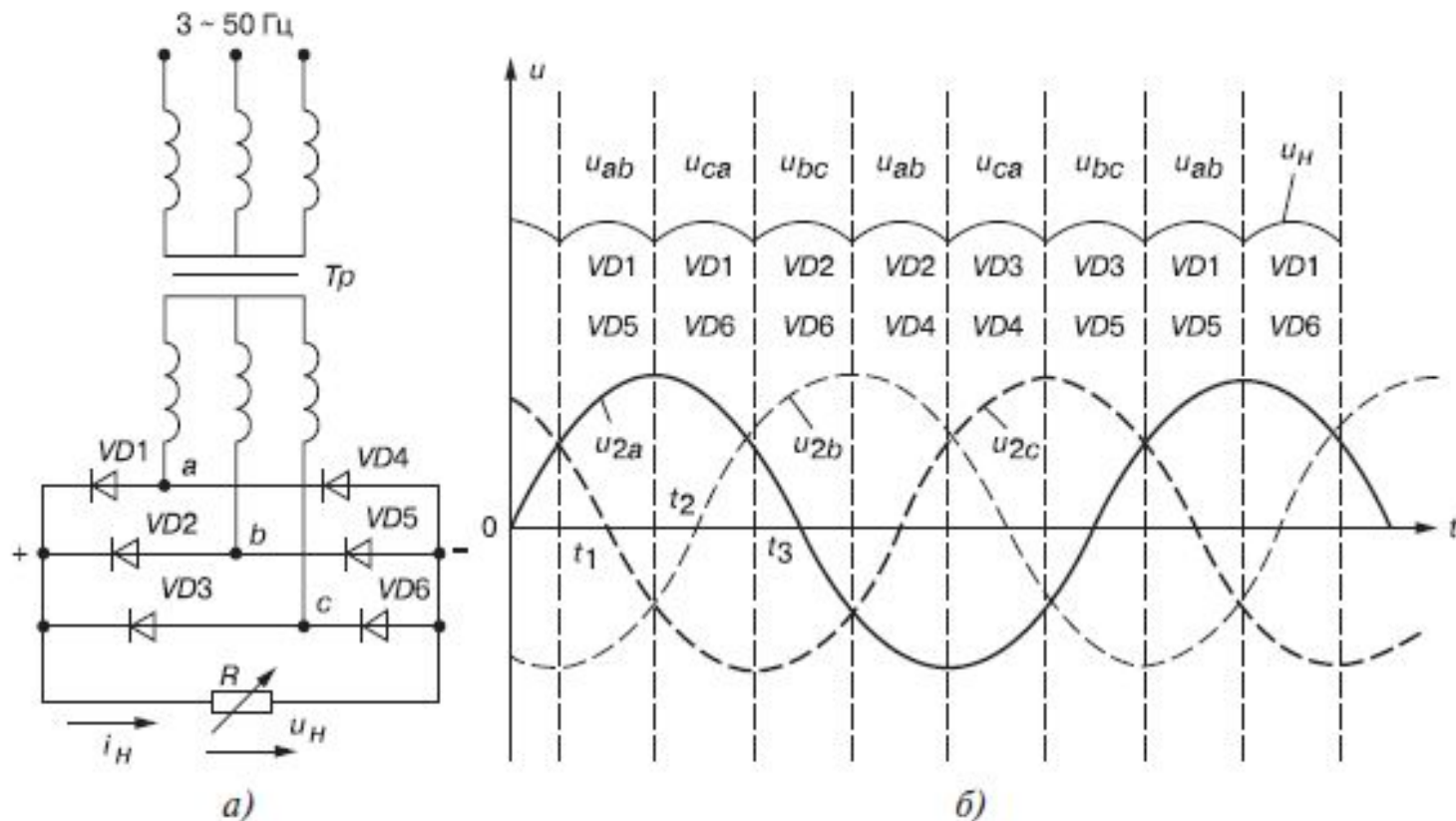
$$U_{н.ср} = 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} U_{2m} \approx 0,636 U_{2m}.$$

$$U_{m.ср} = \frac{4}{3\pi} U_{2m}.$$

$$I_{н.ср} = \frac{2}{\pi} I_{2m} \approx 0,636 I_{2m}, \text{ где } I_{2m} = \frac{U_{2m}}{R_n}.$$

$$q_n = \frac{U_{m.ср}}{U_{н.ср}} = \frac{(4/3\pi)U_{2m}}{(2/\pi)U_{2m}} = \frac{2}{3} \approx 0,667.$$

# Трехфазные выпрямители



На нагрузке формируется напряжение  $u_H$ , равное сумме выпрямленных напряжений катодной и анодной групп, а именно, отрезками чередующихся линейных напряжений  $u_{ab}$ ,  $u_{bc}$  и  $u_{ca}$  с частотой, в шесть раз большей частоты напряжения сети.

$$U_{H.cp} = (3/\pi)U_{2m.l} \text{ и } I_{H.cp} = (3/\pi)I_{2m.l}.$$

$$q_n = \frac{U_{m.ог}}{U_{H.cp}} = \frac{(6/35\pi)U_{2m}}{(3/\pi)U_{2m}} \approx 0,057.$$

# Сглаживающие фильтры

**Сглаживающие фильтры** предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на нагрузке до значений, при которых не сказывается их отрицательное влияние (пульсаций) на работу электронной аппаратуры. Они должны пропускать постоянную составляющую выпрямленного напряжения и заметно ослаблять его гармонические составляющие.

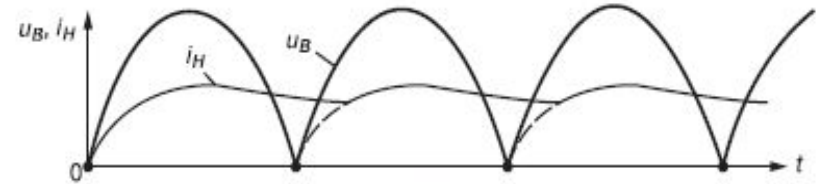
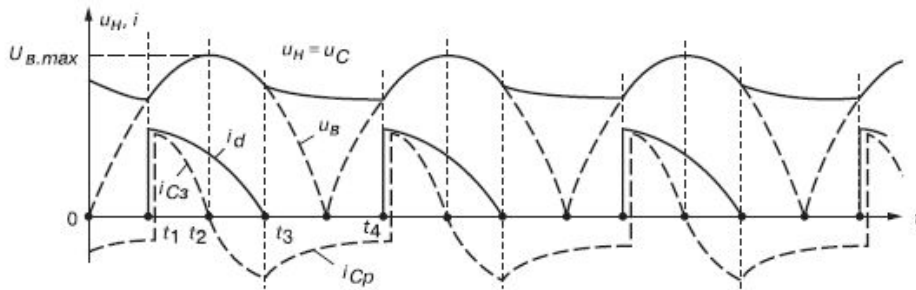
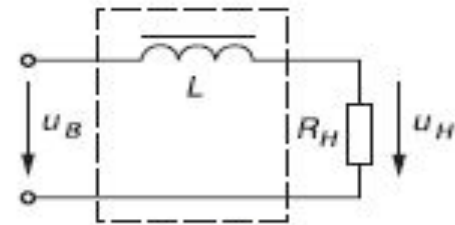
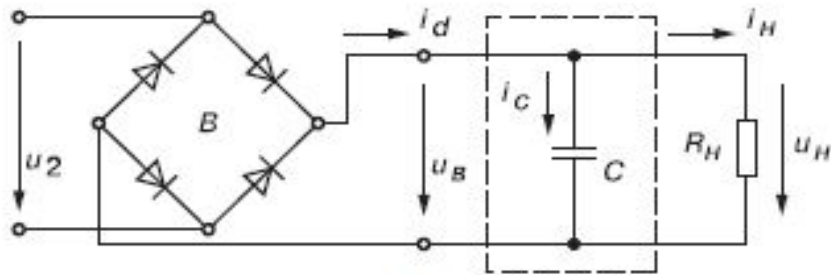
**коэффициент сглаживания  $k_c$**  - отношение коэффициента пульсации на выходе выпрямителя  $q_{n1}$  (до фильтра) к коэффициенту пульсации на нагрузке  $q_{n2}$  (после фильтра)

$$k_c = q_{n1} / q_{n2}.$$

## **Разновидности фильтров:**

- Ёмкостный
- Индуктивный
- LC-фильтр
- Двухзвенные фильтры: одноэлементное C1\_звено и Г-образное RC-звено
- П-образный CLC- фильтр: C-фильтр и Г-образное LC-звено
- активные фильтры (транзисторные)

# С- и L- фильтры



$$X_C = 1 / n\omega C \ll R_H$$

$$k_C = R_H / X_C = n\omega C R_H$$

С-фильтр используют при высокоомной нагрузке  $R_H$ .

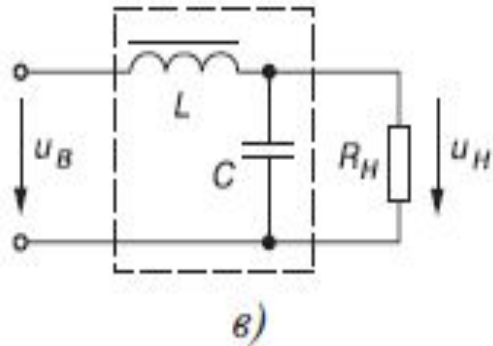
$$X_L = n\omega L \gg R_H$$

$$k_C = X_L / R_H$$

L-фильтр используют в мощных выпрямителях при малом сопротивлении  $R_H$



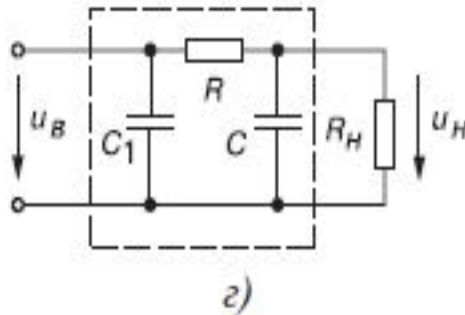
# LC-фильтр и двухзвенные фильтры



$$X_L \gg (R_H \parallel X_C)$$

$$k_c = X_L / X_C = (n\omega)^2 LC$$

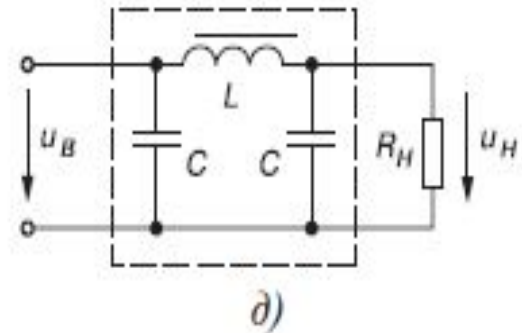
$$\omega_\phi = 1/\sqrt{LC} = 0,5n\omega$$



$$k_c = k_{c1} k_{c2}$$

$$R = (0,15 \dots 0,25) R_H;$$

$$k_c = \frac{n\omega R C R_H}{R + R_H}; \quad C = \frac{k_c (R + R_H)}{n\omega R R_H}.$$



$$k_c = k_{c1} k_{c2};$$

$$LC_2 \approx k_{c2} / (n\omega)^2$$

# Активные фильтры

Активные фильтры обеспечивают независимость коэффициента сглаживания  $k_{\text{сг}}$  от тока нагрузки и имеют меньшие габариты по сравнению с LC-фильтрами. **Основным недостатком активных транзисторных фильтров** является значительное влияние изменения температуры на режим работы транзисторов.

Принцип работы активного фильтра основан на том, что сопротивление транзистора переменному току при определенных режимах работы может быть во много раз больше его сопротивления постоянному току.

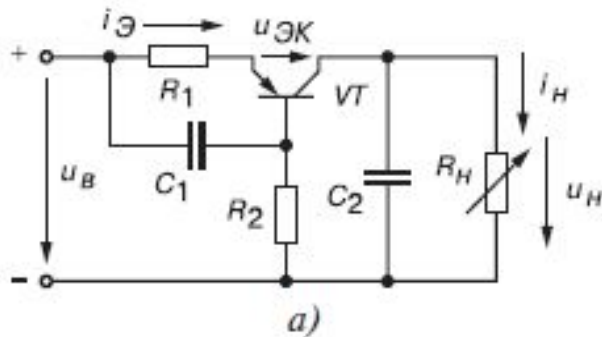
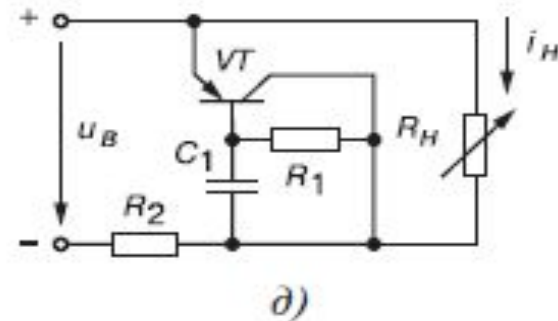


схема последовательного активного фильтра с фиксированным смещением



с параллельным включением нагрузки

# Стабилизаторы напряжения

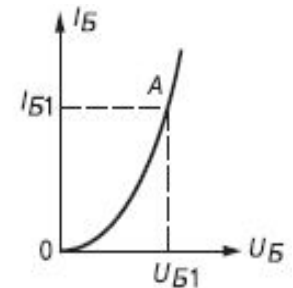
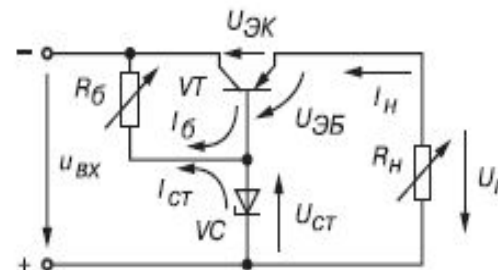
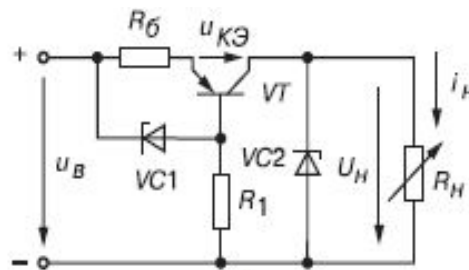
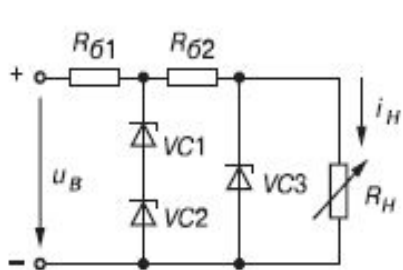
## Стабилизаторы

### Параметрические

используют нелинейные сопротивления, в которых ток является нелинейной функцией напряжения

(кремниевые стабилитроны)

Недостатки: невозможность плавной регулировки выходного напряжения, малый КПД, большое внутреннее сопротивление и малая выходная мощность; зависимость выходного напряжения от температуры окружающей среды и частоты тока питающей сети

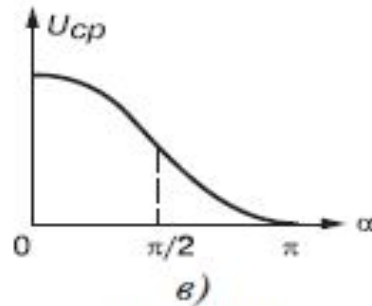
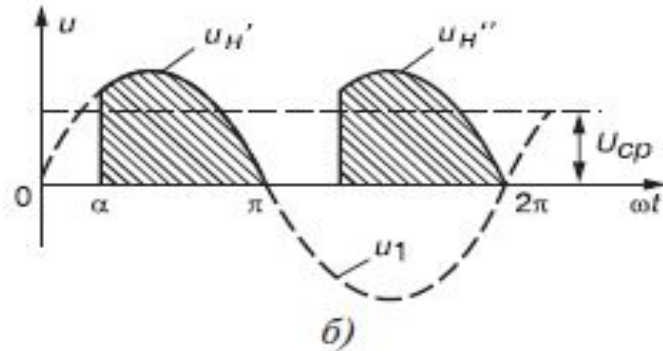
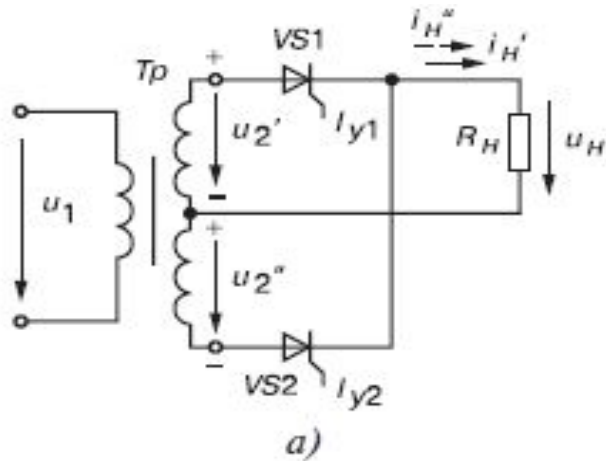


### Основные параметры стабилизаторов напряжения :

- коэффициент стабилизации по входному напряжению
- внутреннее сопротивление стабилизатора  $R_{вх} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{н}$ ;
- температурный коэффициент стабилизации  $TKC \% = \Delta U_{вых} / \Delta T$ , при  $U_{вх} = const$  и  $I_{н} = const$ .

$$k_{ст} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вых} / U_{вых}} \Big|_{I_{н} = const}$$

# Управляемые выпрямители



регулирующая  
характеристика выпрямителя

Среднее значение напряжения  
нагрузки

$$U_{cp} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t \approx \frac{U_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha).$$

# Внешние характеристики выпрямителей

Под *внешней характеристикой* выпрямителя понимают зависимость среднего значения выпрямленного напряжения от среднего значения тока нагрузки

$$U_{н.ср} = f(I_{н.ср})$$



$$U_{н.ср} = E_{2.ср} - \Delta U_{тр} - \Delta U_{в} - \Delta U_{ф} = E_{2.ср} - (R_{тр} + R_{с} + R_{ф})I_{н.ср},$$

где  $E_{2.ср}$  — среднее значение ЭДС вторичной обмотки трансформатора;  $\Delta U_{тр}$ ,  $\Delta U_{в}$  и  $\Delta U_{ф}$  — активные падения напряжений на вторичной обмотке трансформатора, на одновременно открытых вентилях и на активном сопротивлении дросселя фильтра.