

# Источники питания для сварки

- Учебный мультимедийный курс

■ Содержание

■ Выход

# Содержание курса

- Классификация источников питания
- История развития источников питания
- Свойства сварочной дуги Свойства сварочной дуги
- Сварочные свойства источников питания сварочной дуги Сварочные свойства источников питания сварочной дуги
- Требование к источникам питания сварочной дуги
- Сварочные преобразователи
- Источники питания переменного тока
- Сварочные выпрямители
- Инверторные источники питания
- Многоступенчатые выпрямительные системы
- Сварочные преобразователи, агрегаты, генераторы
- Перспективы развития источников питания сварочной дуги

■ Главная страница

■ Выход

# КЛАССИФИКАЦИЯ источников питания сварочной дуги

По напряжению питающей сети

Однофазный 220 В

Межфазный 1x380 В

Трехфазный 3x380 В

По числу питаемых постов

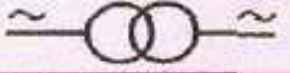
Однопостовые

Многопостовые

По роду тока

Переменный

Постоянный

Трансформатор 

Преобразователь 

Сварочный агрегат 

Выпрямитель 

Инверторный 

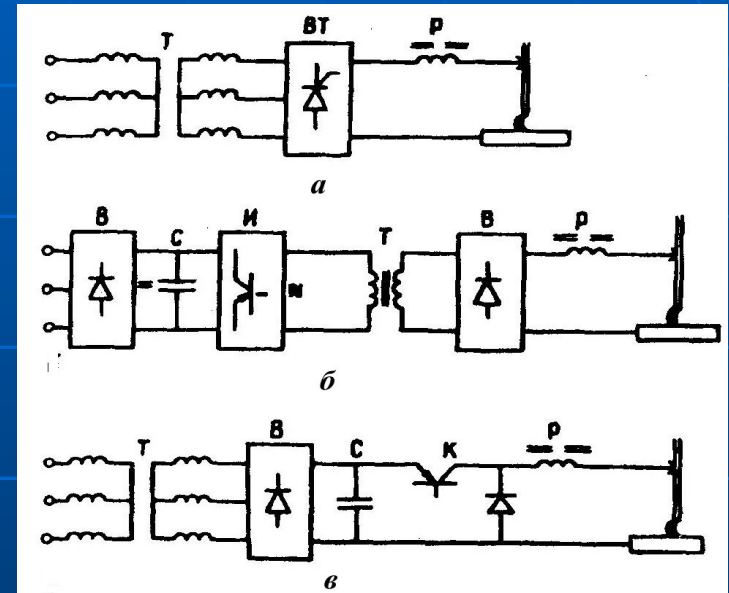
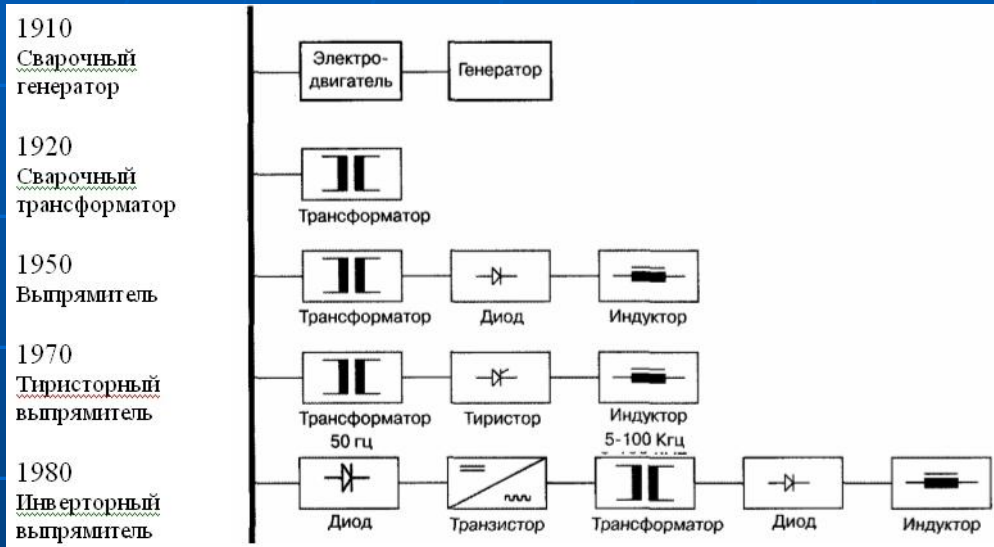
По виду внешней статической характеристики

Падающие

“Жесткие”

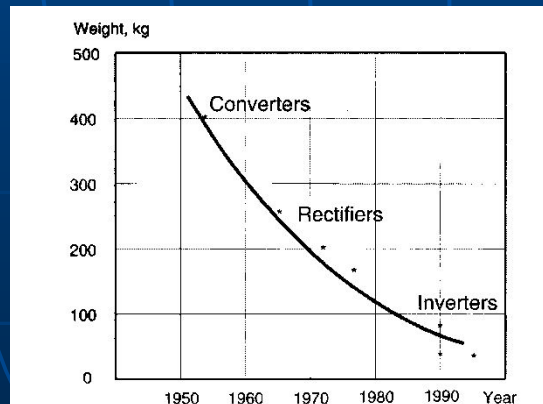
“Штыковые”

# История развития источников питания



- Ступени развития конструкций сварочных источников

Снижение массы сварочного источника



- Схема силовых цепей управляемых источников питания:

- а – тиристорного;
- б – инверторного;
- в – с высокочастотным ключом



# Свойства сварочной дуги

- Физические явления, протекающие в сварочной дуге
- Статические вольтамперные характеристики сварочной дуги
- Устойчивость горения сварочной дуги

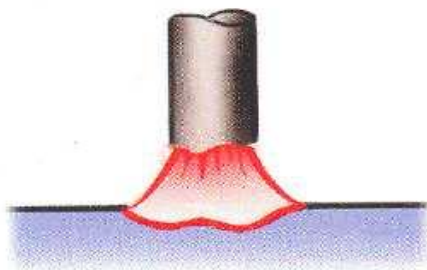
# СВАРОЧНАЯ ДУГА

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ

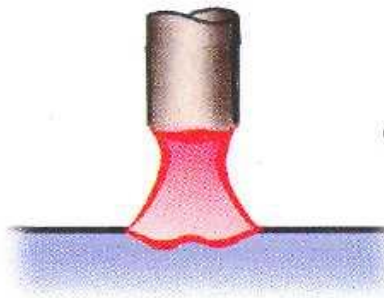
Короткое замыкание



Образование прослойки из жидкого металла



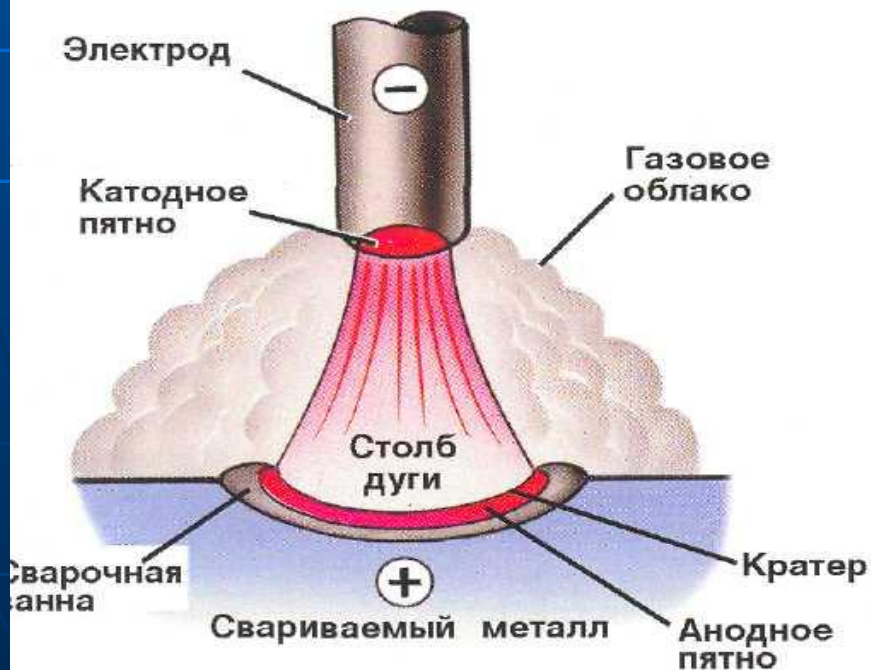
Образование шейки



Возникновение дуги



## СХЕМА ГОРЕНИЯ



## ПРОЦЕССЫ

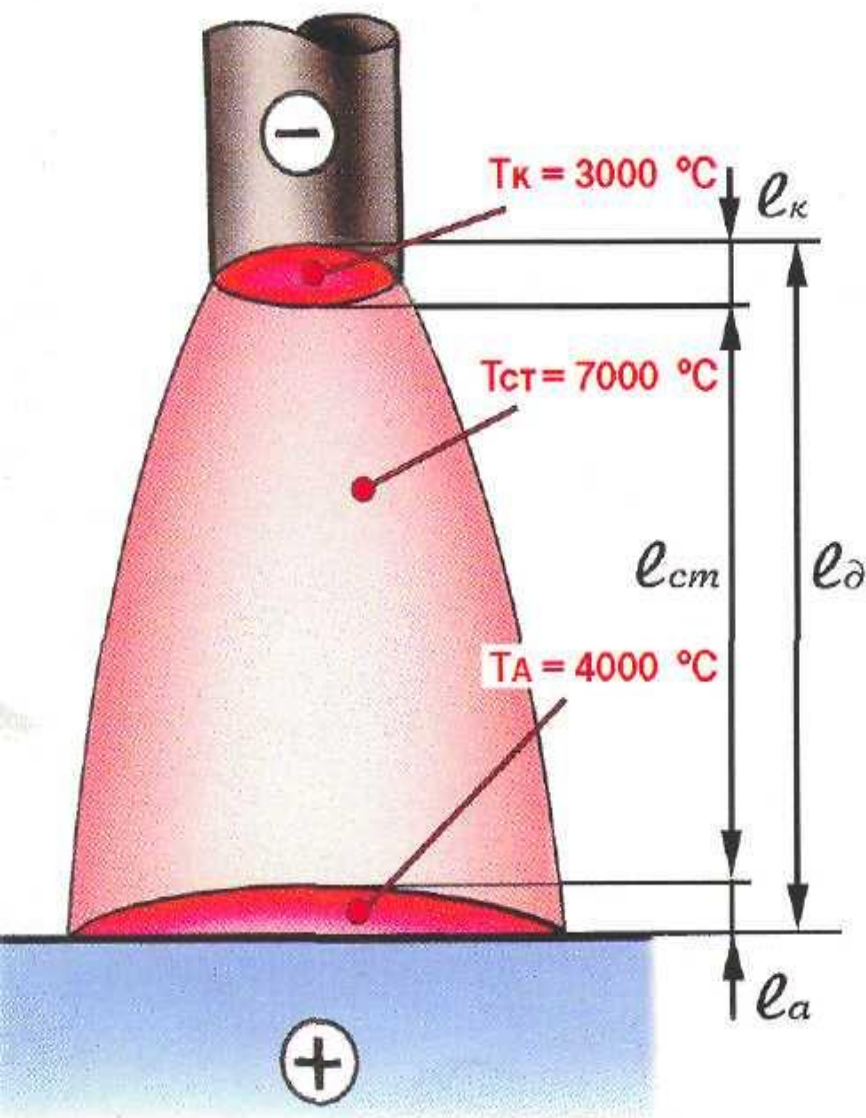
**ЭМИССИЯ** – появление электронов проводимости

**ИОНИЗАЦИЯ** – образование положительно заряженных частиц

**РЕКОМБИНАЦИЯ** – объединение отрицательных электронов и положительных ионов в нейтральные атомы



## СТРОЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ



$l_k$  - катодная область

$l_a$  - анодная область

$l_{ст}$  - столб дуги

$l_d$  - длина дуги

$l_d = l_a + l_k + l_{ст}$

$l_a \approx l_k = 10^{-5} \div 10^{-3}$  см

## ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ ДУГИ

$$Q = 0,24 k I_{св} U_d ,$$

где  $Q$  - тепловая мощность, кал/с;

0,24 - коэффициент перевода электрических величин в тепловые, кал/Вт · с;

$k$  - коэффициент снижения мощности дуги при сварке на переменном токе (0,7-0,97);

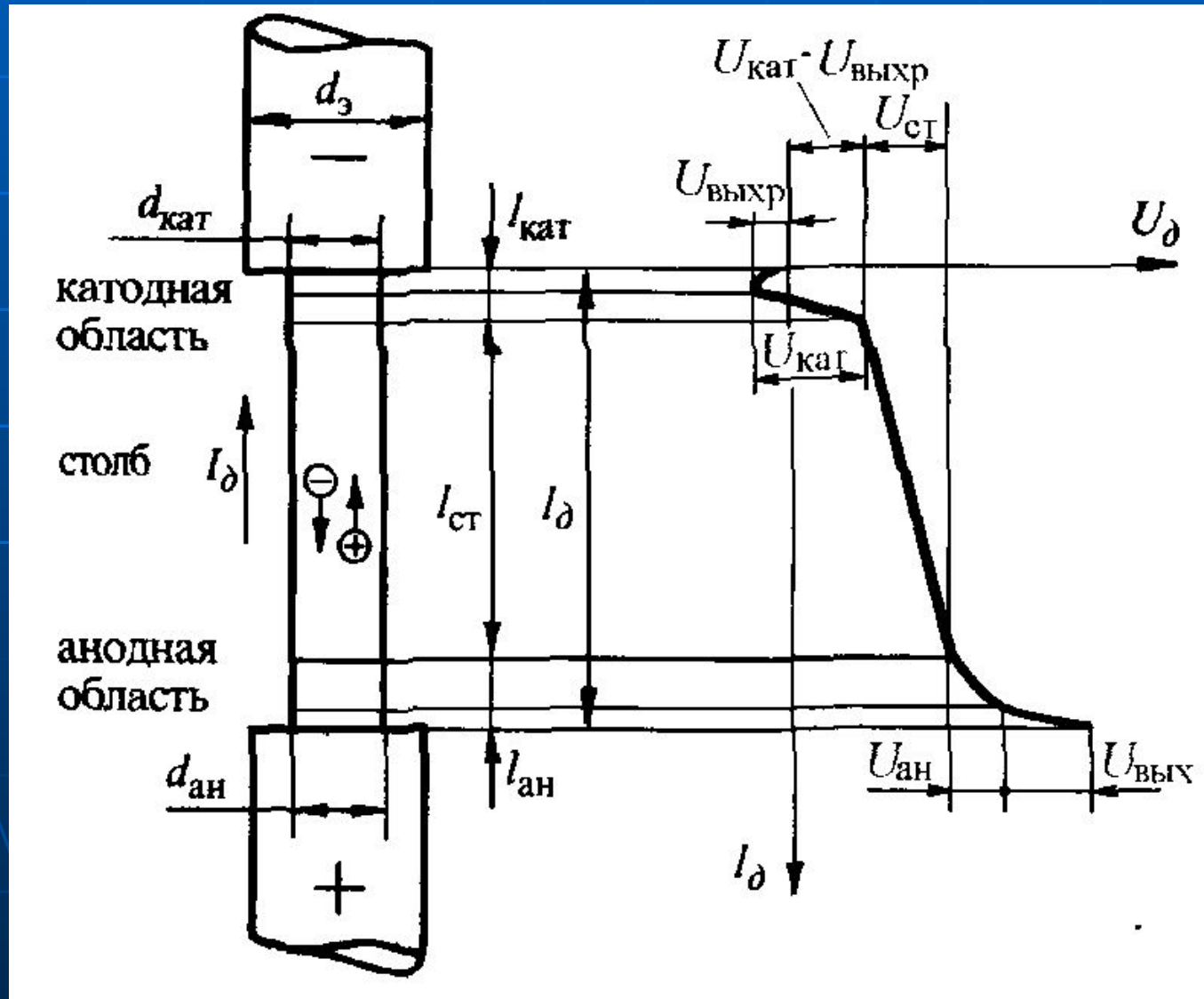
$I_{св}$  - сварочный ток, А;

$U_d$  - напряжение на дуге, В

Следующий слайд

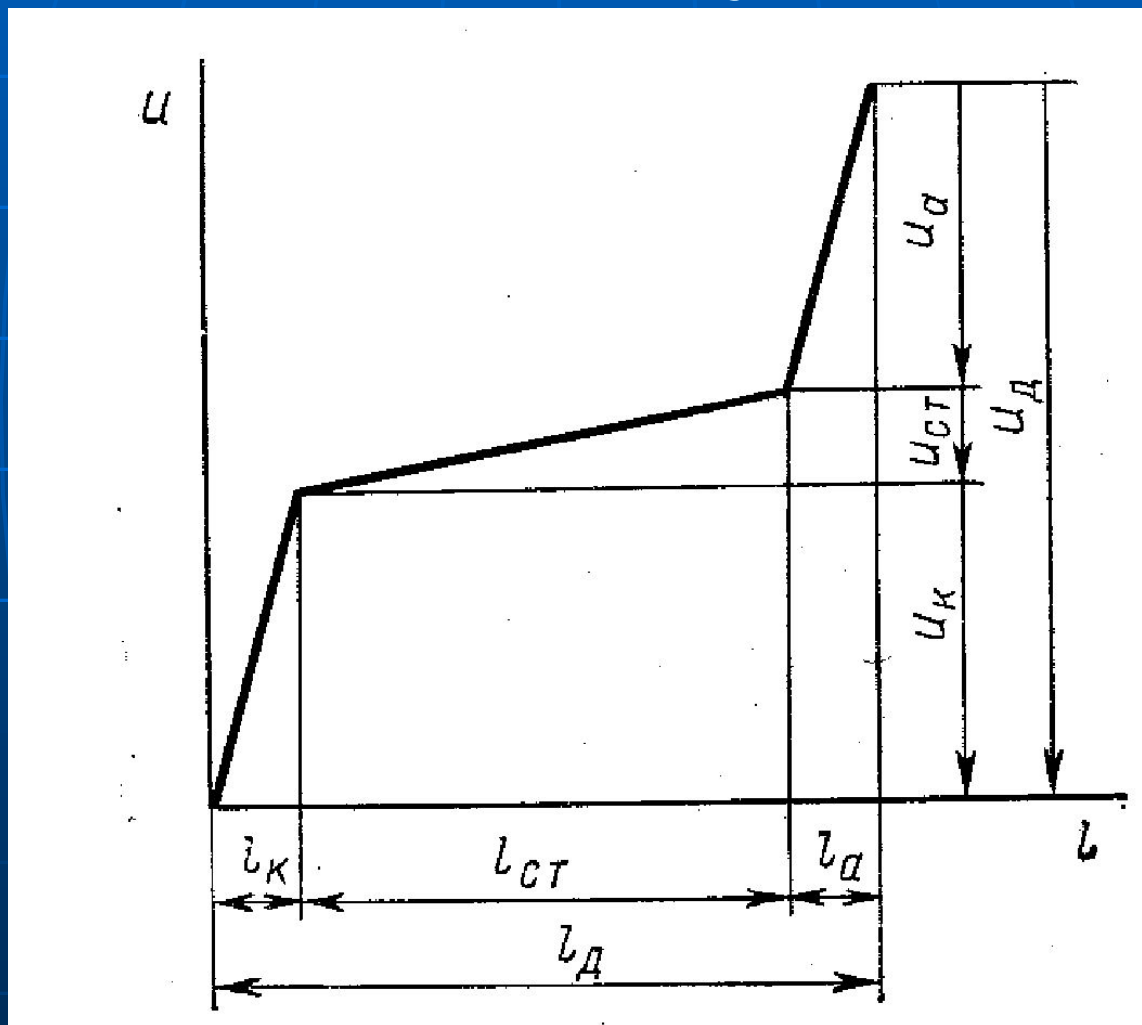
Предыдущий слайд

# Модель сварочной дуги и распределение потенциалов по ее длине





# Распределение потенциалов по длине дуги



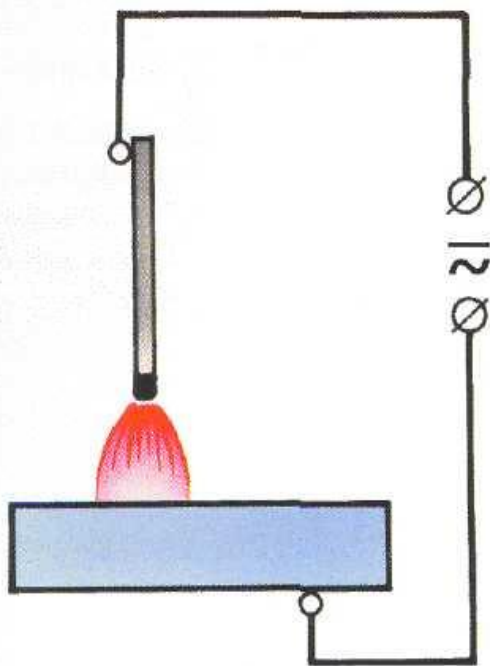
$$U_д = U_k + U_{ст} + U_a$$



# КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

ПО ПОДКЛЮЧЕНИЮ К ИСТОЧНИКУ ПИТАНИЯ

**Прямого действия**

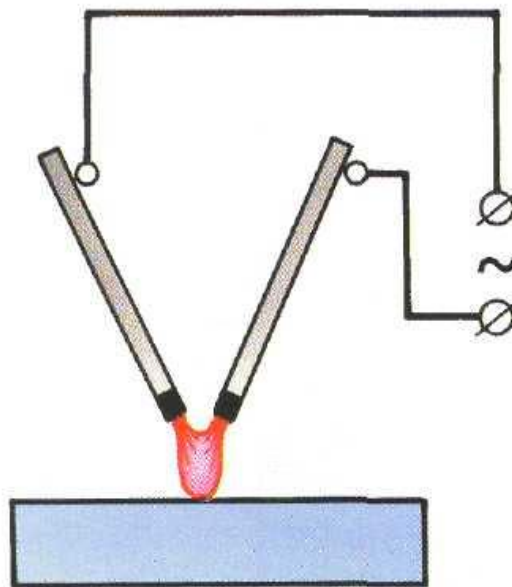


ДУГОВОЙ РАЗРЯД - МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДОМ И ИЗДЕЛИЕМ

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ:

- при дуговой сварке покрытыми электродами
- при сварке неплавящимся электродом в защитных газах
- при сварке плавящимся электродом под флюсом или в защитных газах

**Косвенного действия**

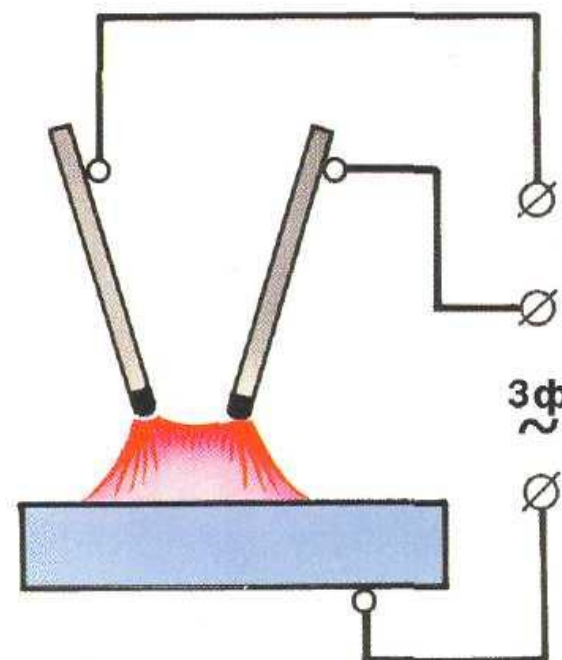


ДУГОВОЙ РАЗРЯД - МЕЖДУ ДВУМЯ ЭЛЕКТРОДАМИ

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ:

- при специальных видах сварки и атомно-водородной сварке и наплавке

**Комбинированная**

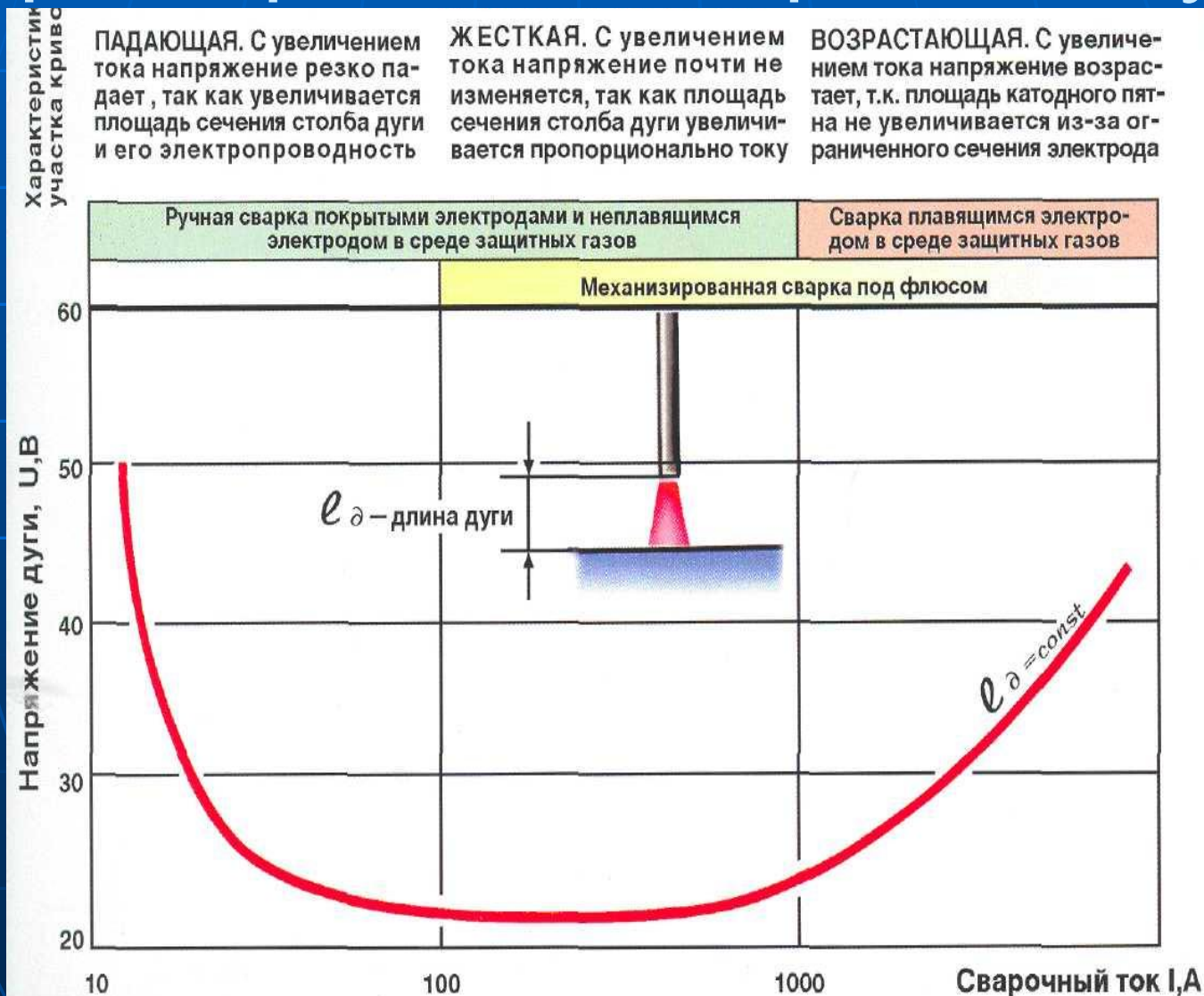


ДВА ДУГОВЫХ РАЗРЯДА - МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ И ИЗДЕЛИЕМ, А ТРЕТИЙ - МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ

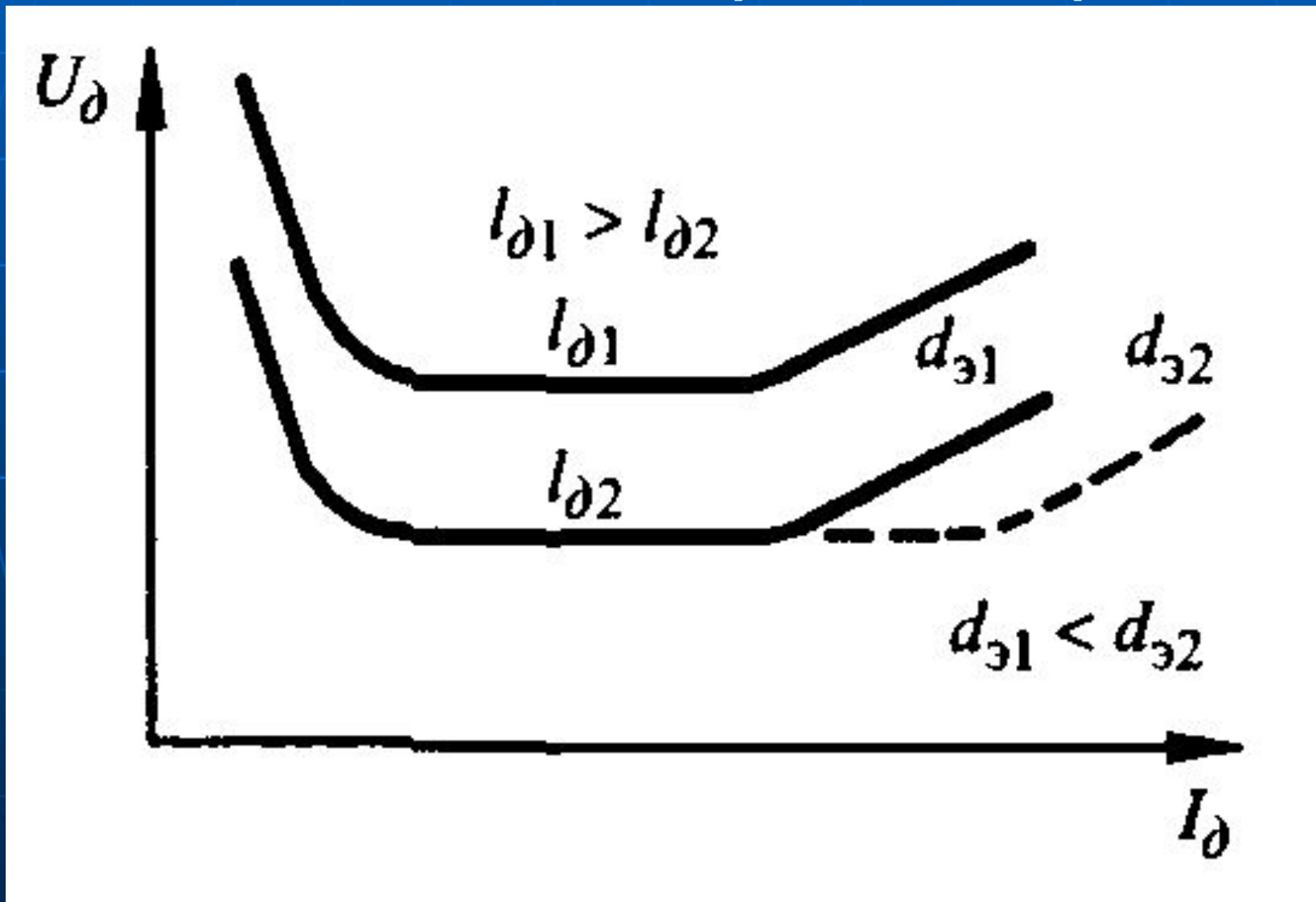
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ:

- при сварке спиралешовных труб на станках автоматической сварки под флюсом

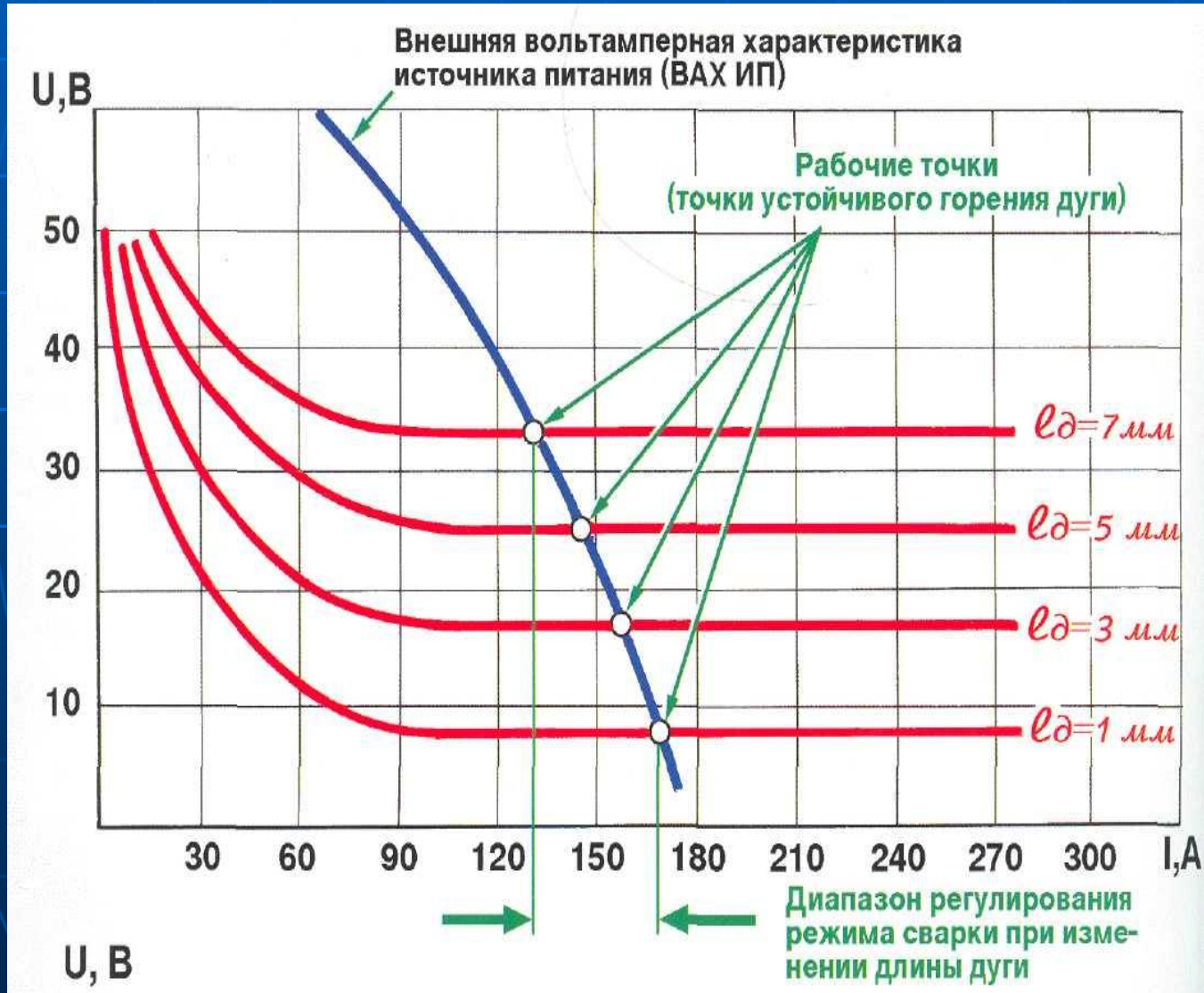
# Статические вольтамперные характеристики сварочной дуги



# Зависимость СВАХ дуги от ее длины и диаметра электрода



# Рабочие точки устойчивого горения дуги





## СООТВЕТВИЕ ВЫБРАННОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

СООТВЕТСТВУЕТ / НЕ СООТВЕТСТВУЕТ

Вольтамперная характеристика дуги	Внешняя вольтамперная характеристика источника питания			
	Кругопадающая	Пологопадающая	Жесткая	Возрастающая
Падающая	СООТВЕТСТВУЕТ	СООТВЕТСТВУЕТ	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ
Жесткая	СООТВЕТСТВУЕТ	СООТВЕТСТВУЕТ	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ
Возрастающая	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ	НЕ СООТВЕТСТВУЕТ	СООТВЕТСТВУЕТ	СООТВЕТСТВУЕТ



# Сварочные свойства источников питания сварочной дуги

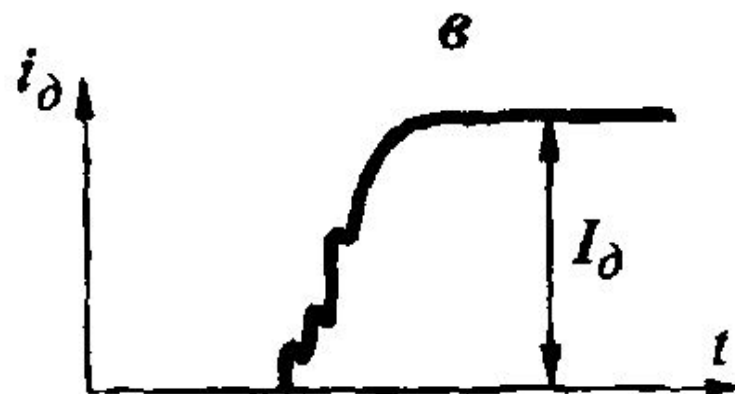
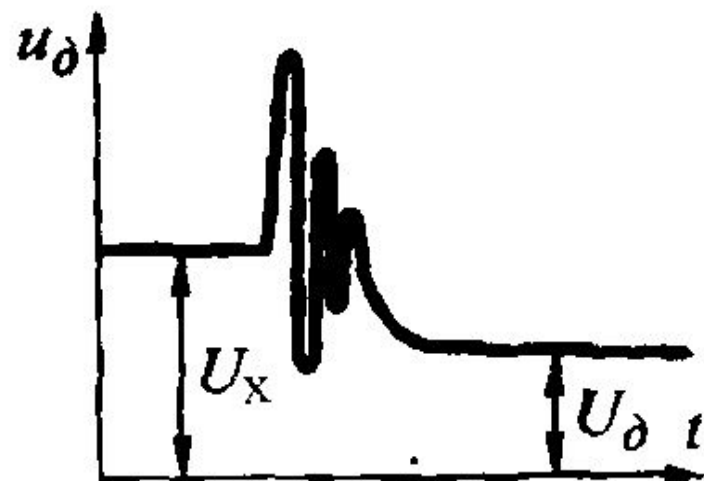
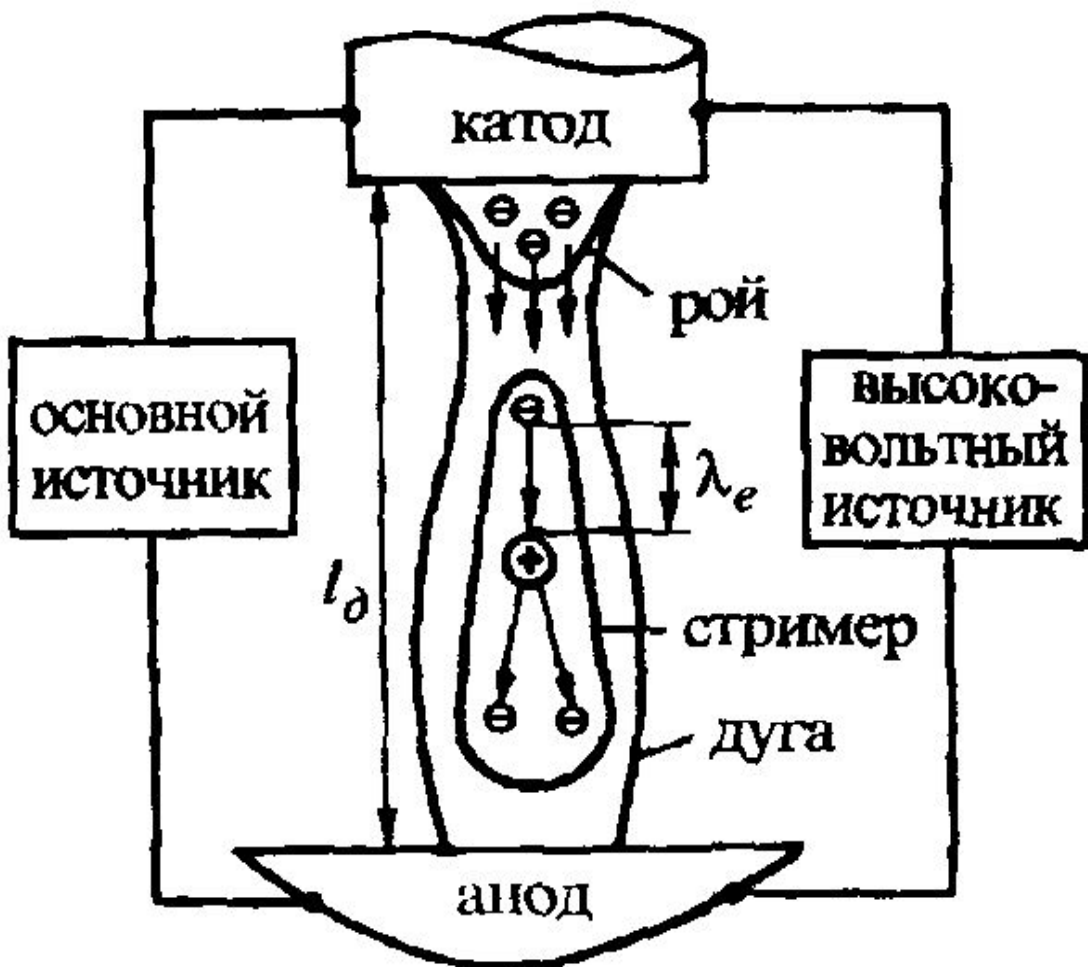
В технологическом процессе дуговой сварки источник, воздействуя на дугу, выполняет **следующие основные функции:**

- обеспечивает зажигание;
- поддерживает устойчивое горение дуги;
- используется для настройки (регулирования) режима;

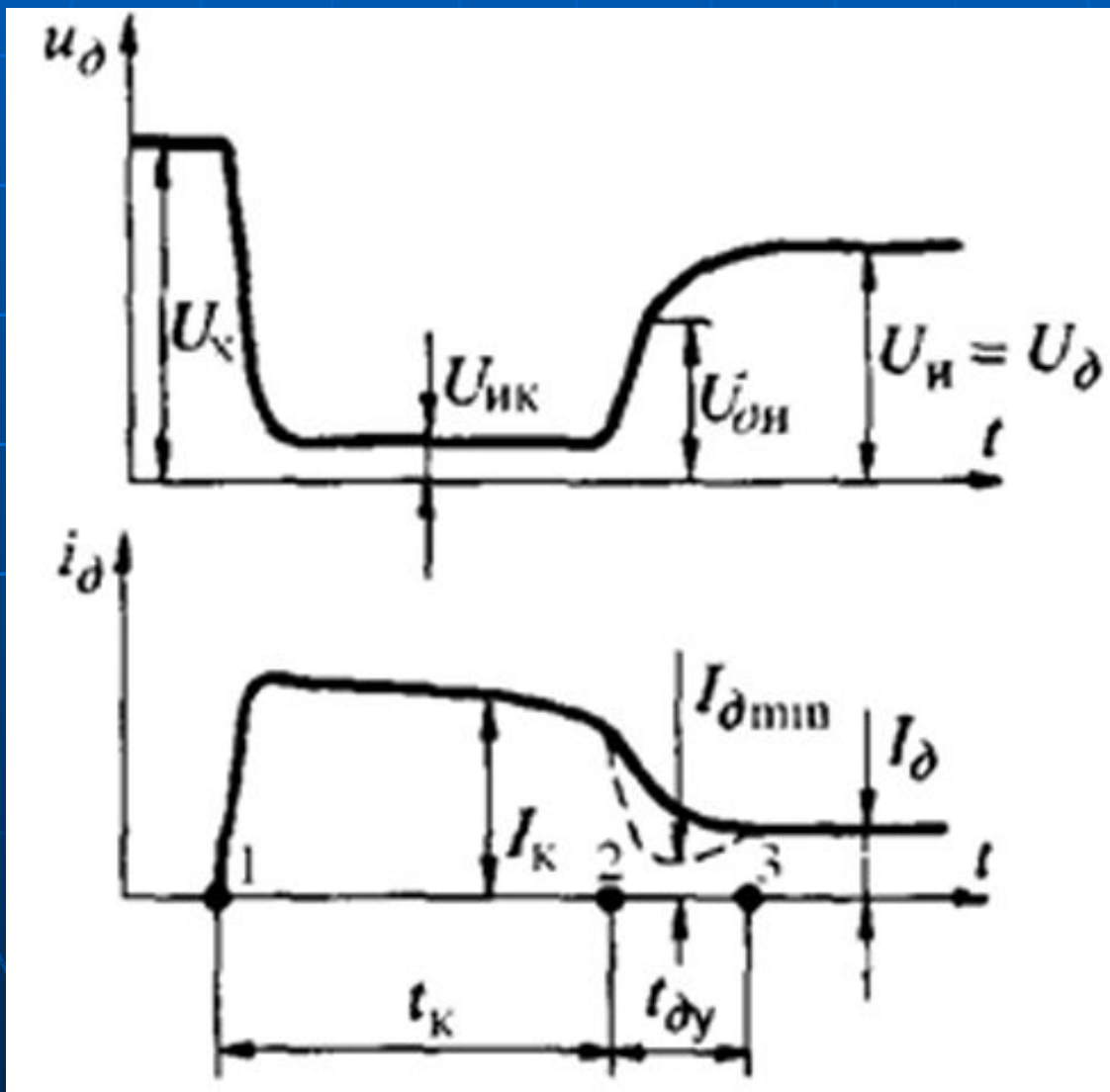
# Начальное зажигание дуги

Функция источника	Сварочное свойство	Непосредственный критерий	Косвенный критерий
Зажигание дуги	Надежность начального зажигания	Доля успешных попыток; количество попыток до первой успешной; предельная начальная длина дуги $l_{дн}$ , мм	Напряжение холостого хода $U_x$ , В; Ток $I_{гп}$ , А и время $t_{гп}$ , с горячего пуска

# Схема процесса и осциллограммы напряжения и тока при зажигании дуги ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ РАЗРЯДОМ



# Осциллограммы напряжения и тока при зажигании дуги разрывом цепи короткого замыкания

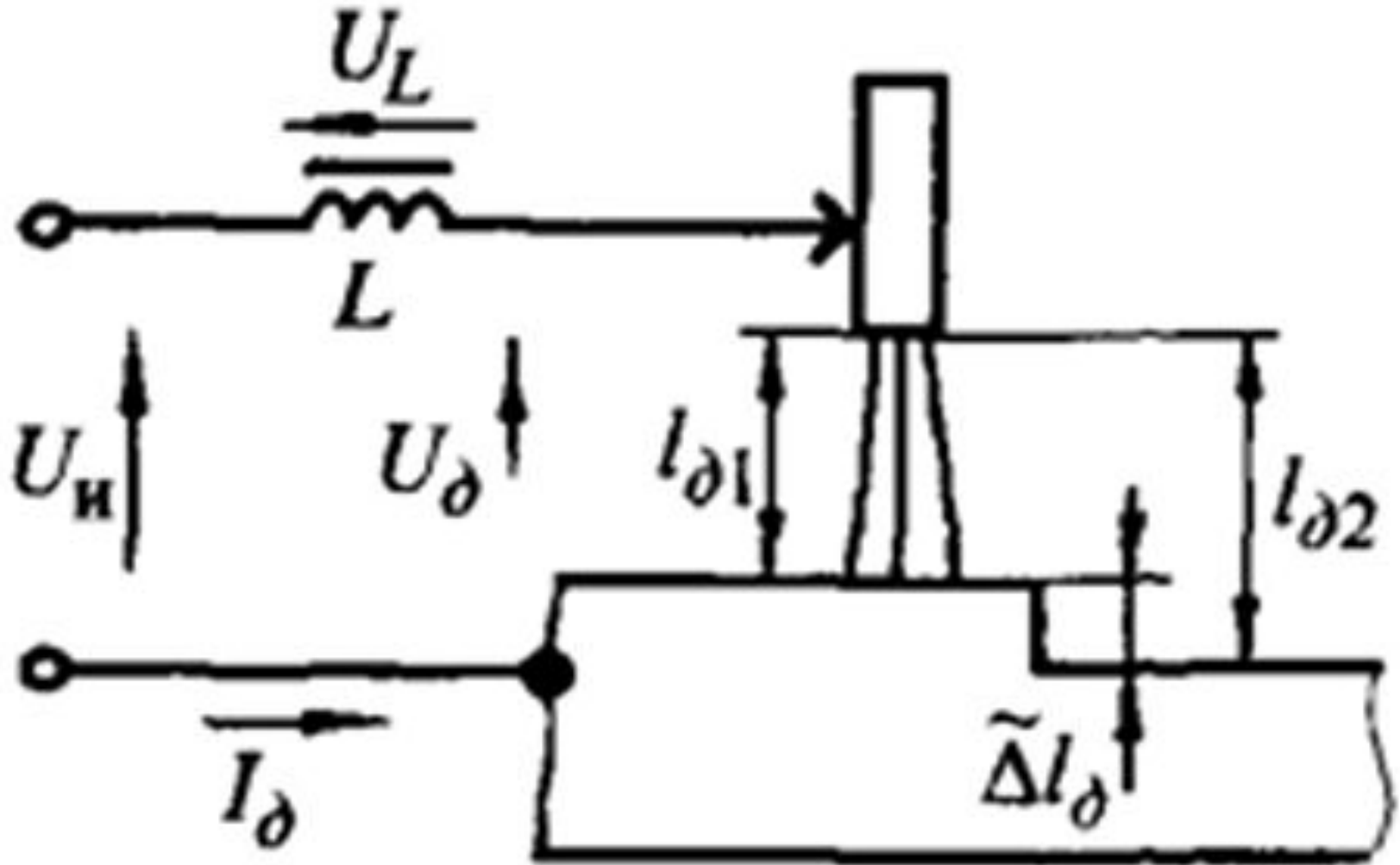


# Поддержание горения дуги

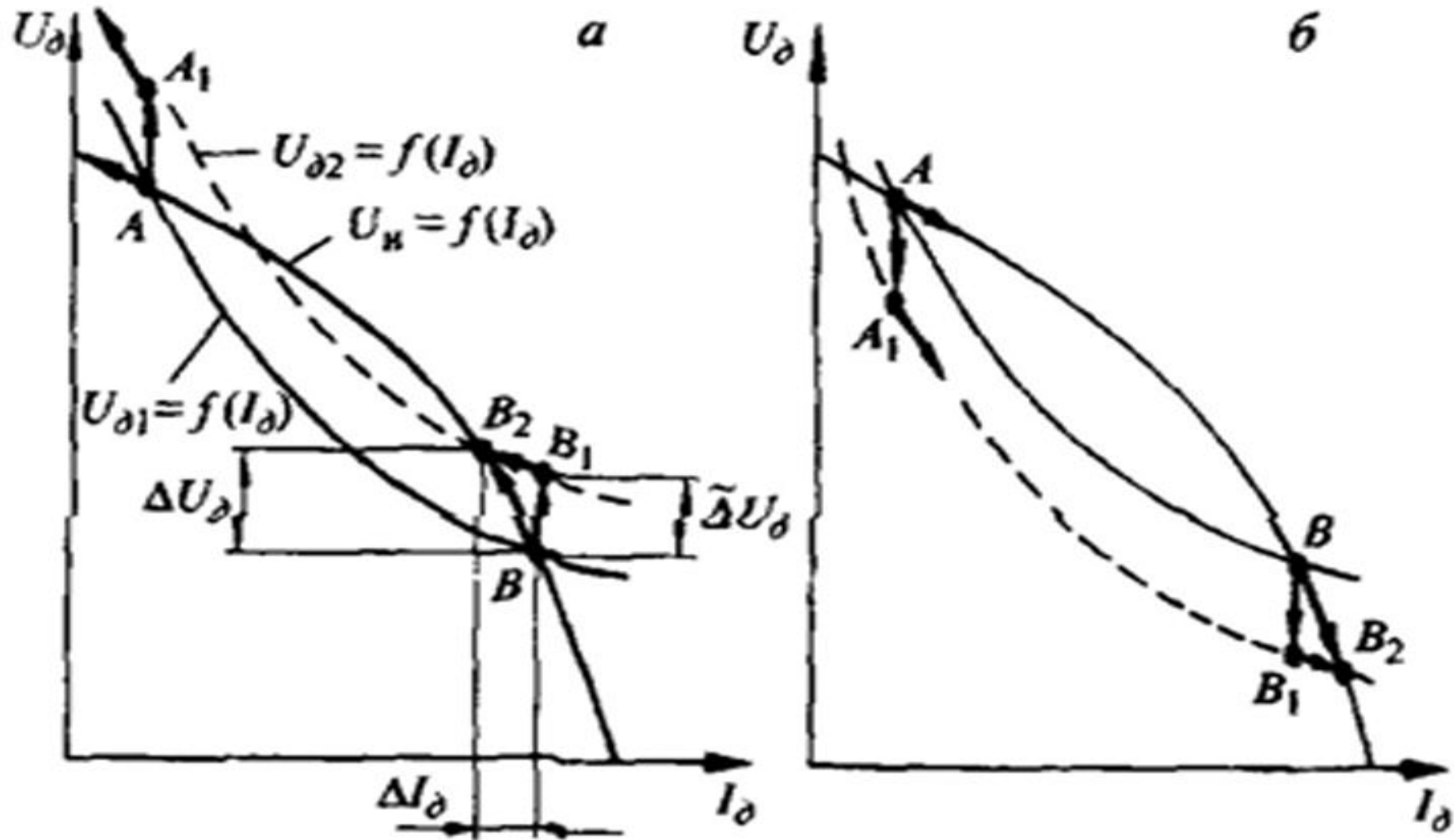
Функция источника	Сварочное свойство	Непосредственный критерий	Косвенный критерий
Поддержание горения дуги	Принципиальная устойчивость системы «источник-дуга»	Частота обрывов дуги, раз/электрод	Коэффициент устойчивости $k_y > 0$
	Устойчивость при значительном удлинении дуги	Разрывная длина дуги $l_{др}, \text{мм}$	Напряжение холостого хода $U_x, \text{В}$



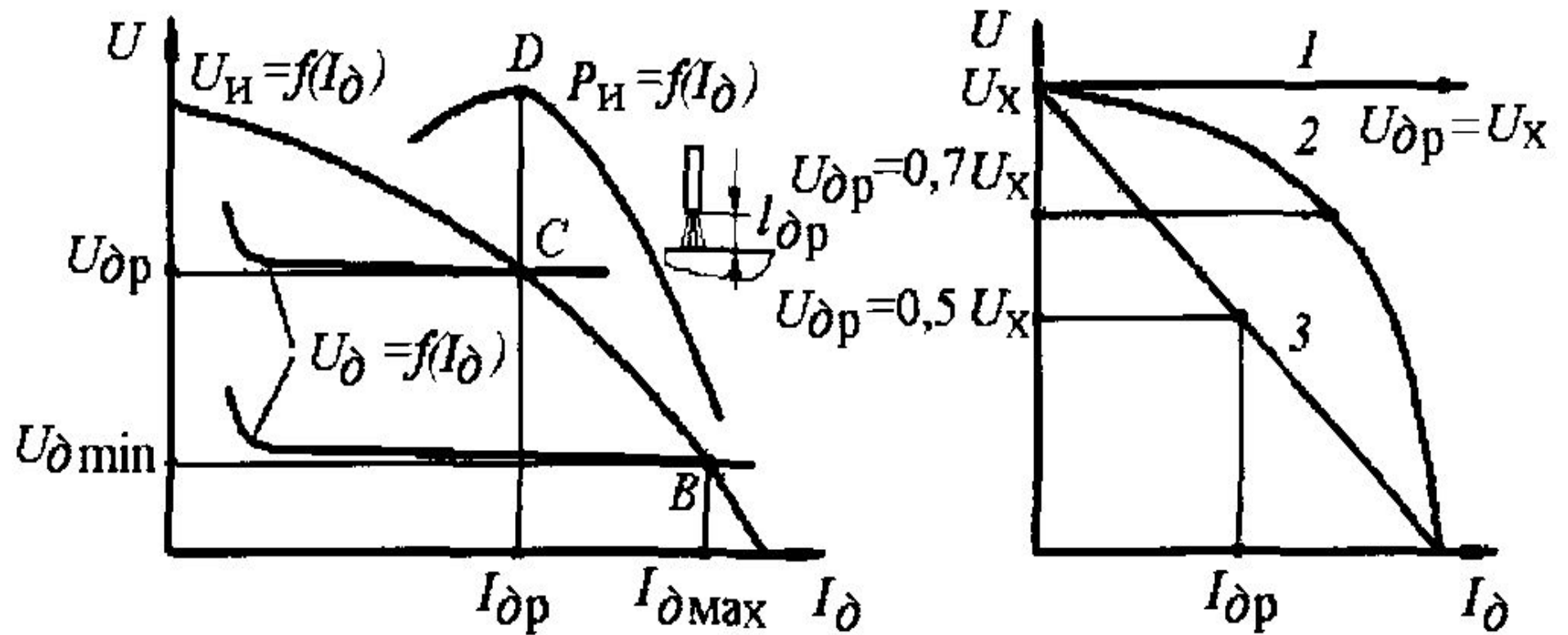
# Система «источник- дуга» при малом возмущении по длине дуги



# Оценка устойчивости при малом возмущении по длине дуги



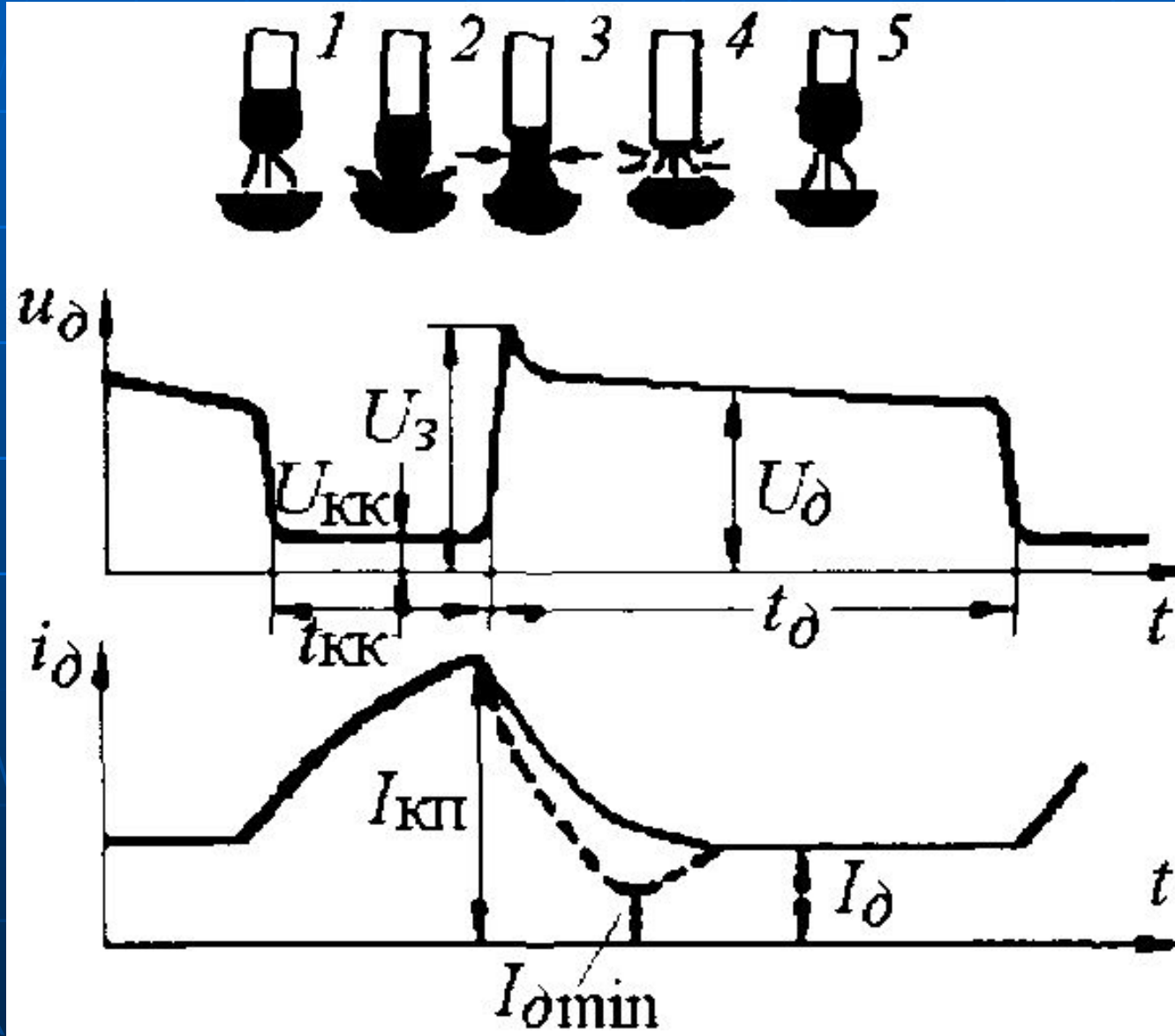
# Оценка устойчивости при значительном удлинении дуги



# Устойчивость и стабильность горения дуги

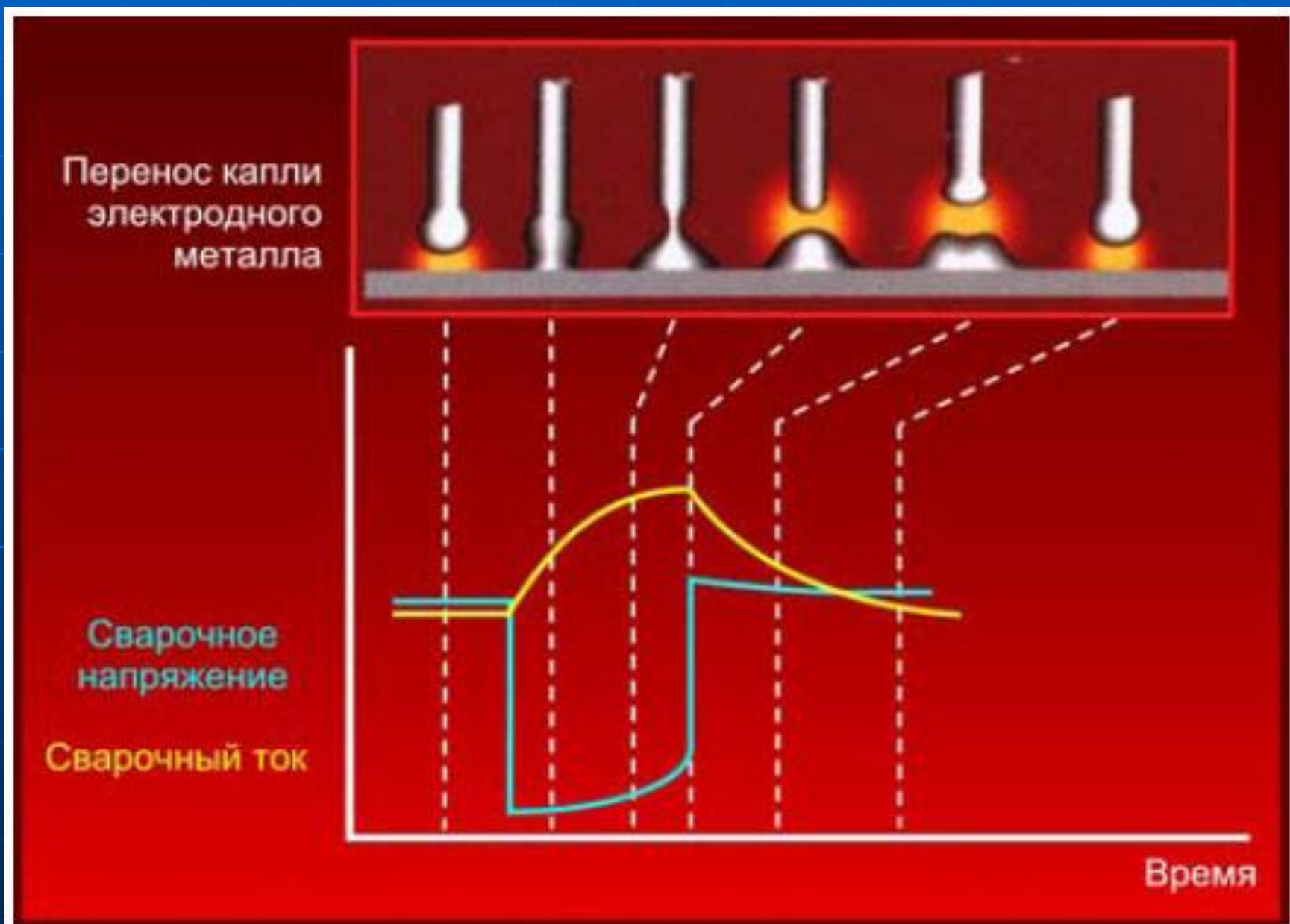
Функция источника	Сварочное свойство	Непосредственный критерий	Косвенный критерий
Поддержание горения дуги	Устойчивость при частых коротких замыканиях	Частота $f_{кк}$ и длительность $t_{кк}$ коротких замыканий капель; скорость нарастания тока короткого замыкания капель $di_K/dt$ , кА/с	Напряжение холостого хода $U_x$ , В; индуктивность дросселя $L$ , мГн
	Стабильность параметров режима	Относительные отклонения тока и напряжения, %; коэффициенты вариации тока $k_{vI}$ % и напряжения $k_{vU}$ %	Наклон внешней характеристики источника $\rho_i$ , В/А; коэффициент пульсации выпрямленного тока $\beta_I$ и напряжения $\beta_U$

# Перенос капли с коротким замыканием

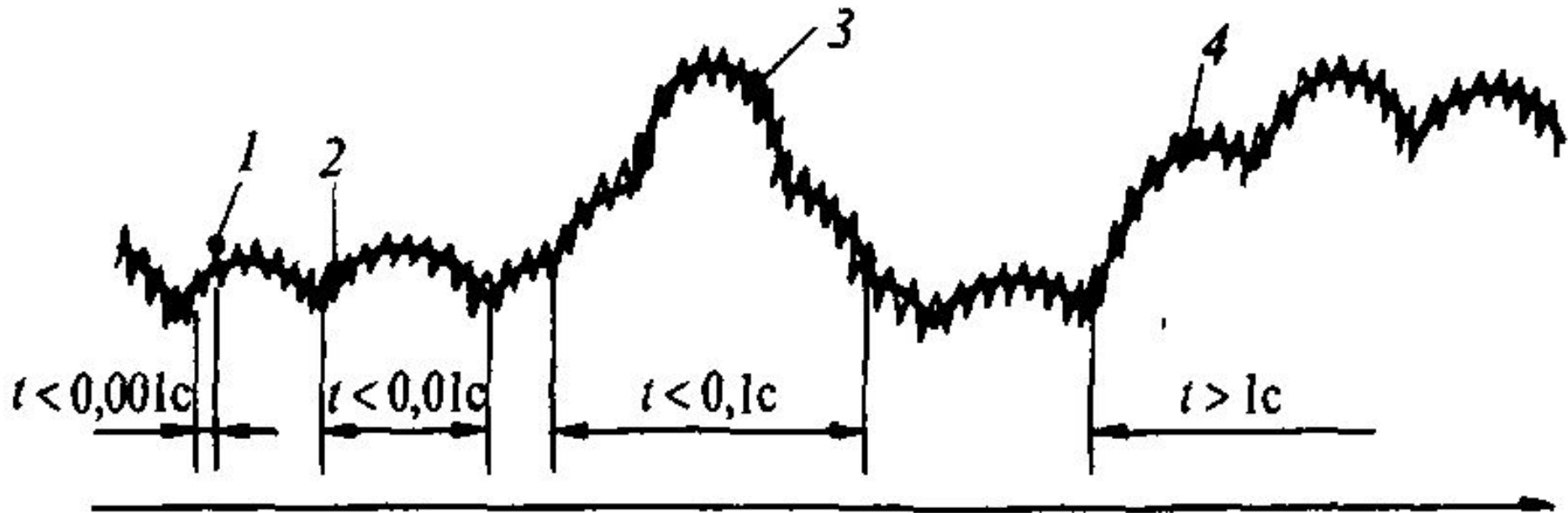




# Формы кривых сварочного тока и напряжения при переносе короткими замыканиями

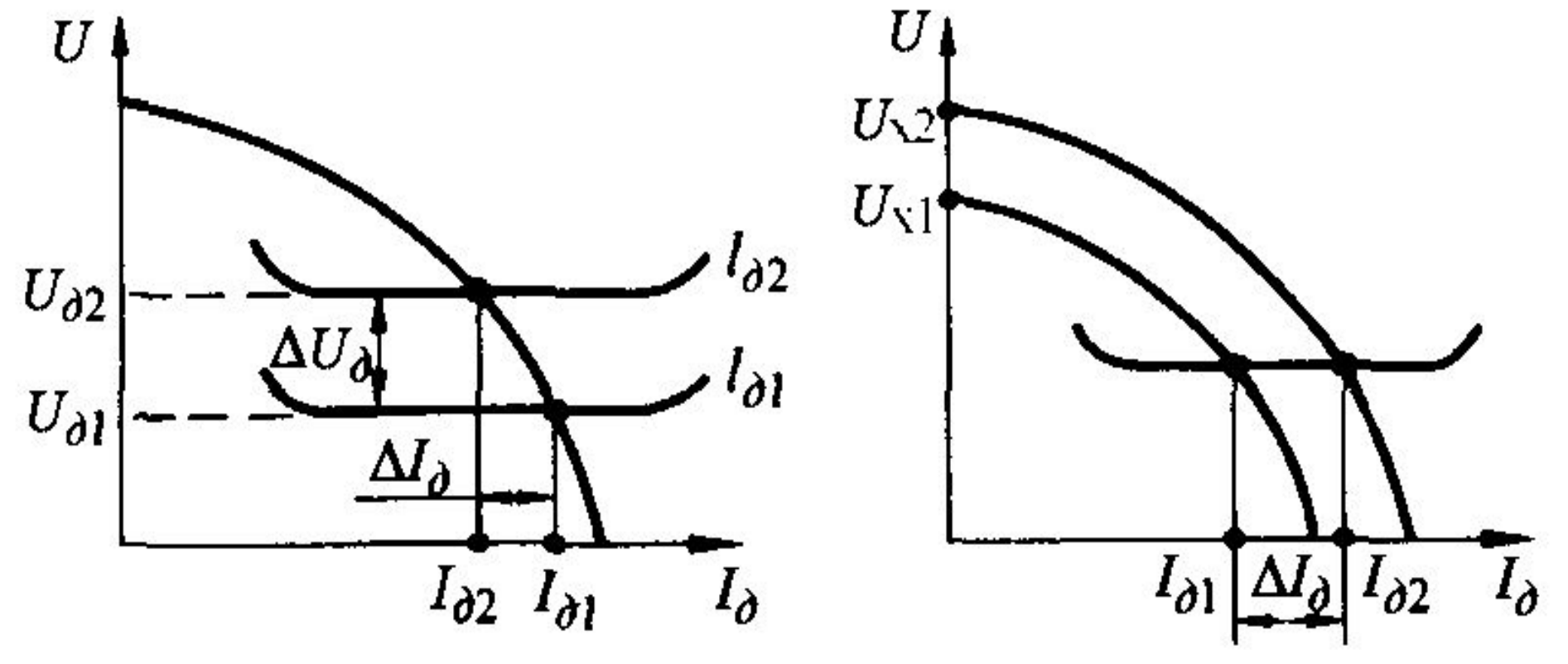


# Типичные возмущения, нарушающие стабильность параметров режима



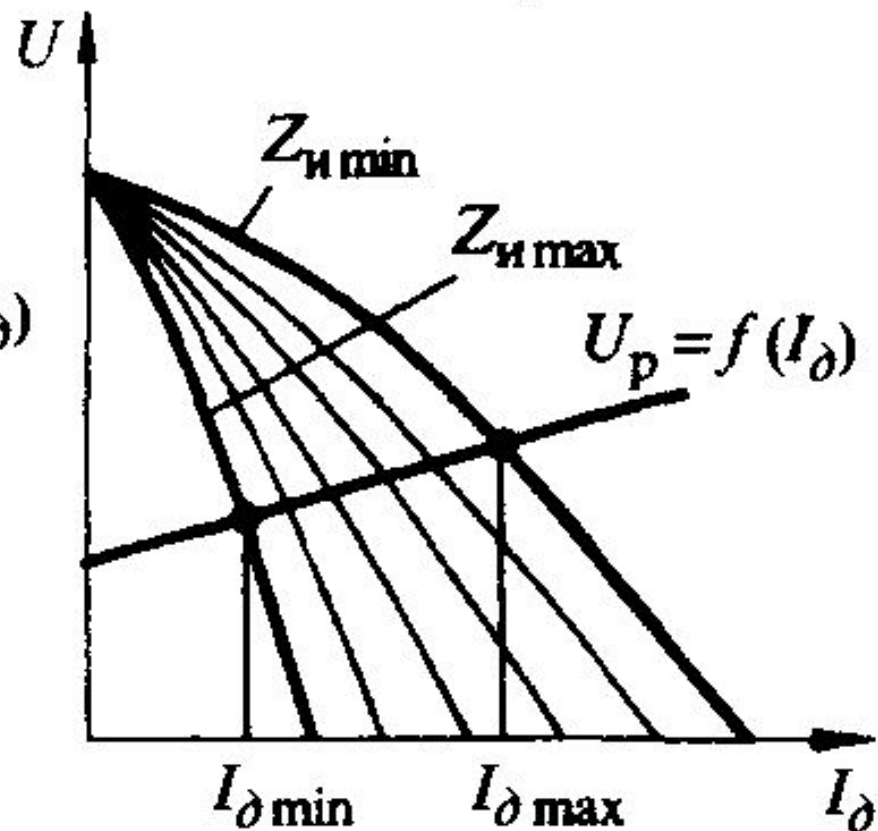
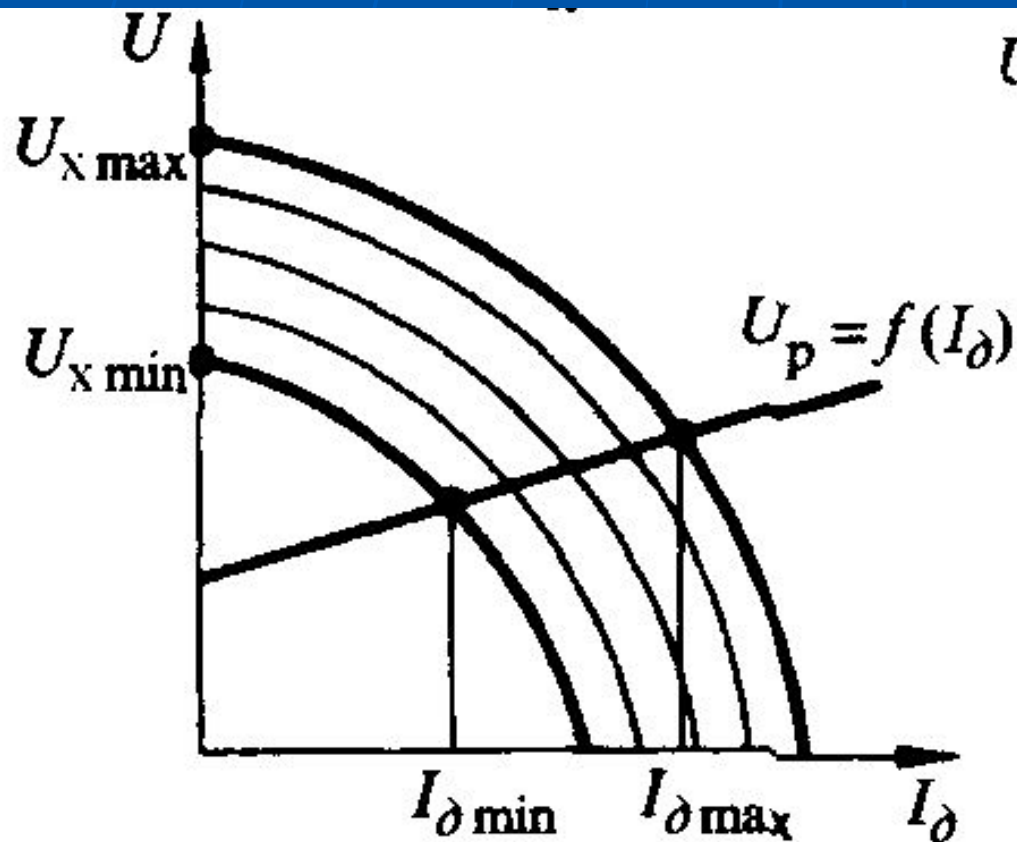
- 1 – периодические флуктуации проводимости дуги вызывают высокочастотные колебания тока (200 – 2000 Гц);
- 2 - периодические колебания напряжения источника вызывают колебания тока с частотой 50, 100, 150, 300 Гц;
- 3 – импульсные всплески тока с частотой 10 – 150 Гц при технологических коротких замыканиях;
- 4 – скачкообразное отклонение тока, имеющее длительный характер.

# Оценка стабильности режима при колебаниях длины дуги и напряжения сети



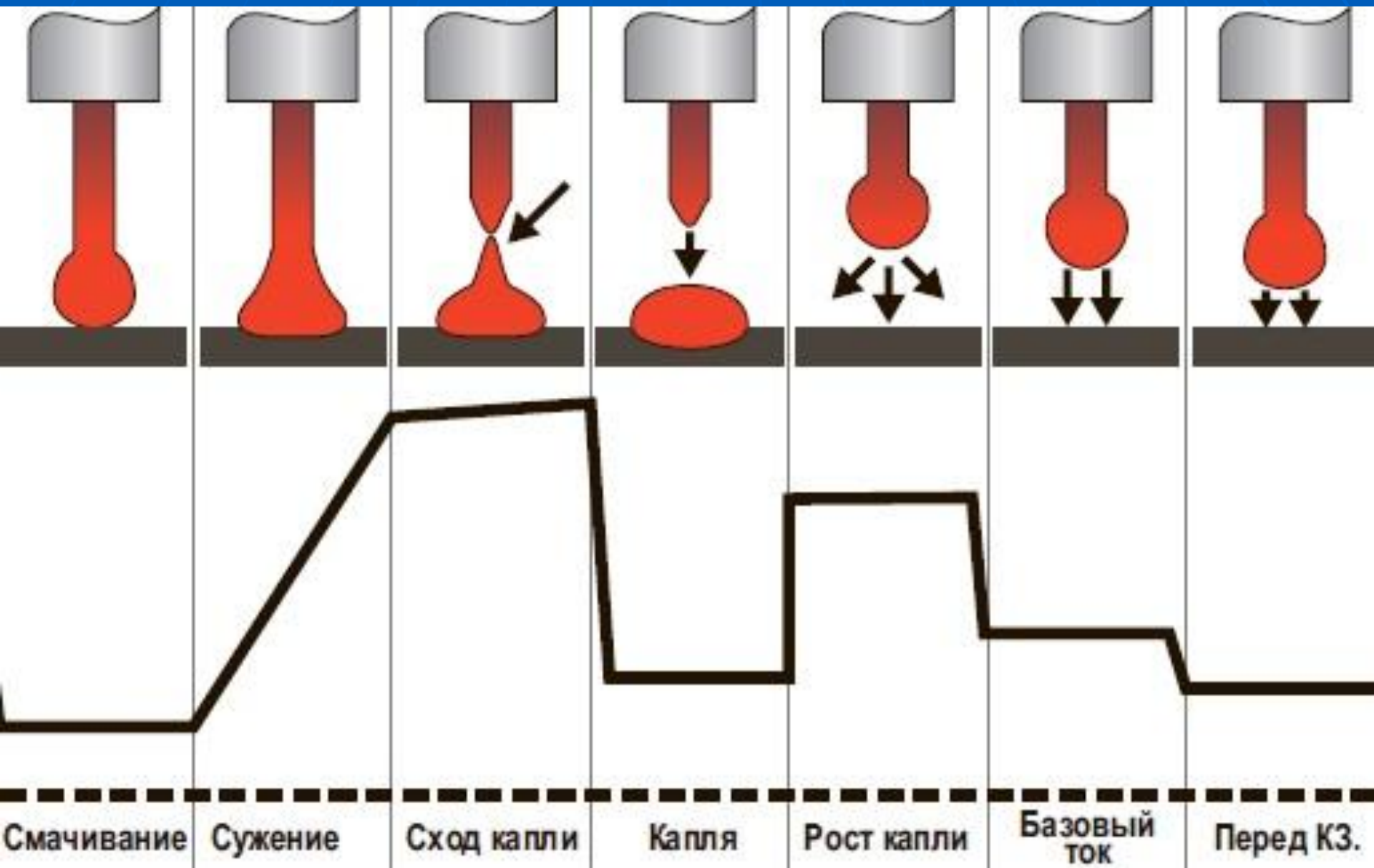
Функция источника	Сварочное свойство	Непосредственный критерий	Косвенный критерий
Регулирование режима	Эффективность регулирования тока и напряжения	Диапазон настройки тока $I_{dmin} - I_{dmax}$ и напряжения $U_{dmin} - U_{dmax}$ ; кратность регулирования тока $k_I$ и напряжения $k_U$	Количество ступеней; интервал изменения напряжения холостого хода $U_x$ , В и сопротивления источника $Z_i$ , Ом
Воздействие на перенос	Характер переноса электродного металла	Коэффициент потерь на разбрызгивание $k_p$ , %; скорость нарастания тока короткого замыкания капель $di_K/dt$ , кА/с	Индуктивность дросселя $L$ , мГн; частота $f_i$ , Гц и амплитуда $I_i$ , А пиковых импульсов тока
Воздействие на шов	Качество формирования шва	Глубина проплавления, ширина шва и высота усиления, мм	Ток $I_i$ , $I_p$ , А и длительность $t_i$ , $t_p$ , с импульсов и пауз

# Настройка сварочного тока изменением напряжения холостого хода и сопротивления источника

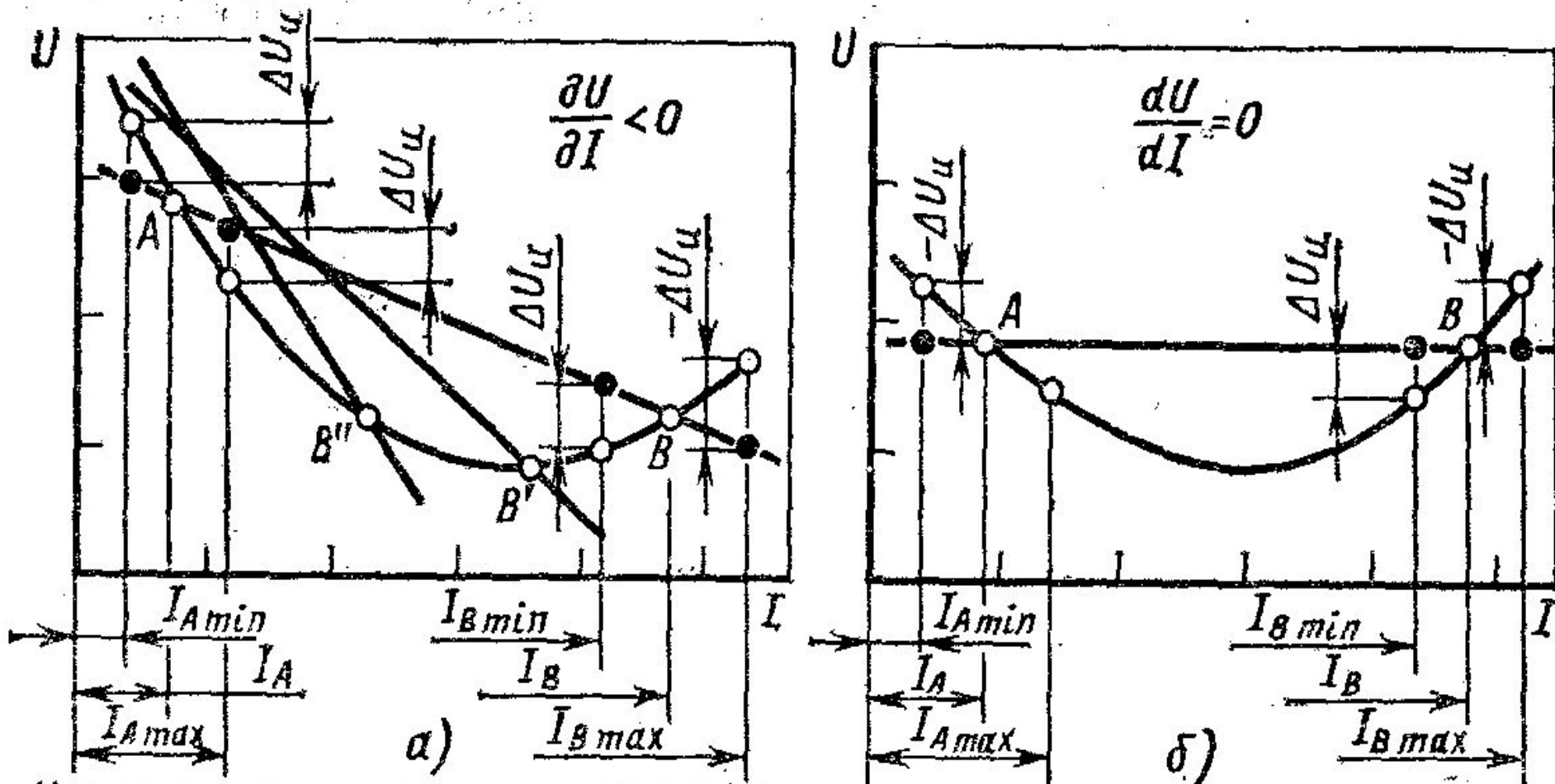




# Управляемый перенос наплавленного металла

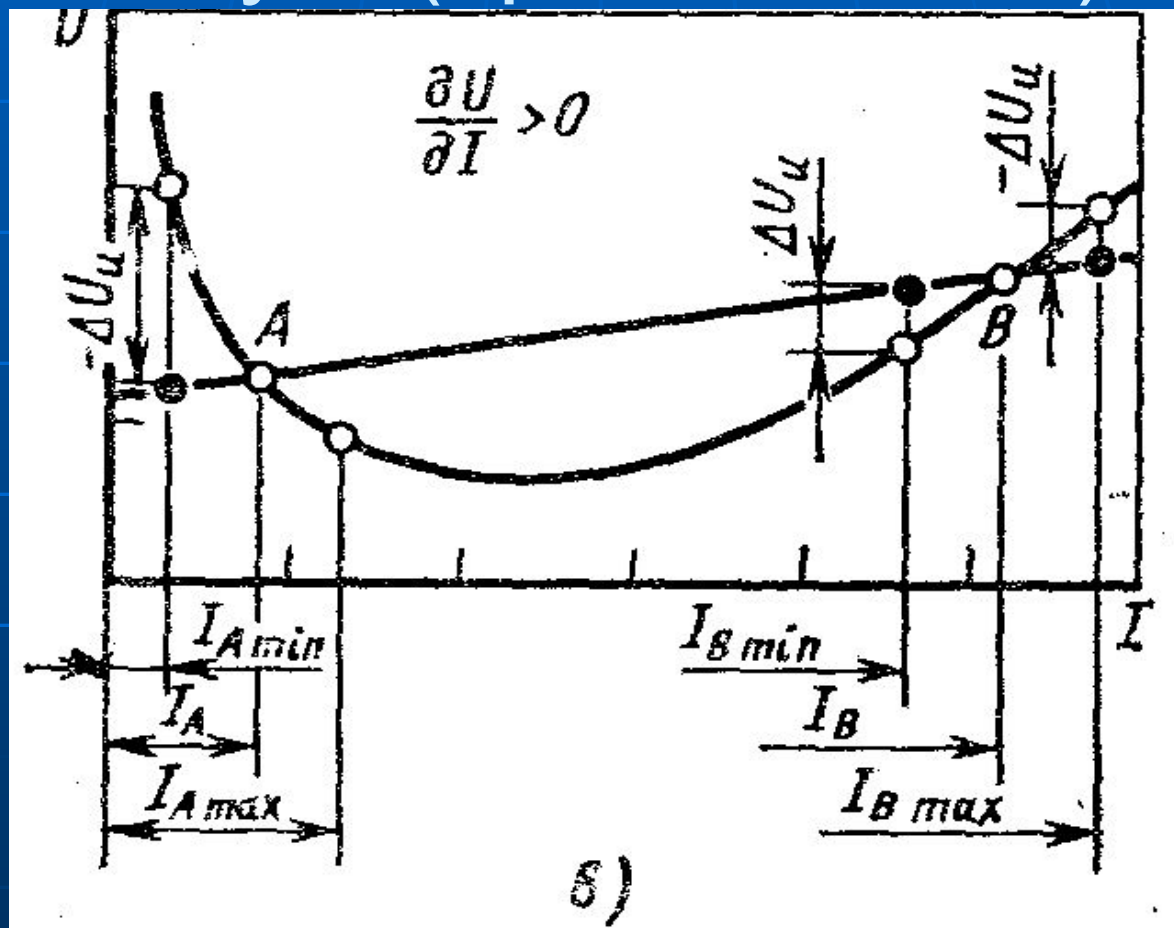


# Устойчивость горения сварочной дуги



падающие и жесткие  
характеристики сварочной дуги

# Устойчивость горения сварочной дуги (продолжение)



возрастающие  
характеристики сварочной дуги

# Условия устойчивого горения сварочной дуги

■  $I_D = I_I = I_P;$

■  $U_D = U_I = U_P$

■  $K_y = R_{\text{диф.с}} =$

$= R_{\text{диф.д}} - R_{\text{диф}} =$

$= (\partial U_D / \partial I - \partial U_I / \partial I)_p > 0$

Падающая ВАХ дуги

$(\partial U_D / \partial I < 0),$   
 $|\partial U_I / \partial I|_p > |\partial U_D / \partial I|_p$

Жесткая ВАХ дуги

$(\partial U_D / \partial I = 0)$   
 $\partial U_I / \partial I < 0$

Возрастающая ВАХ дуги

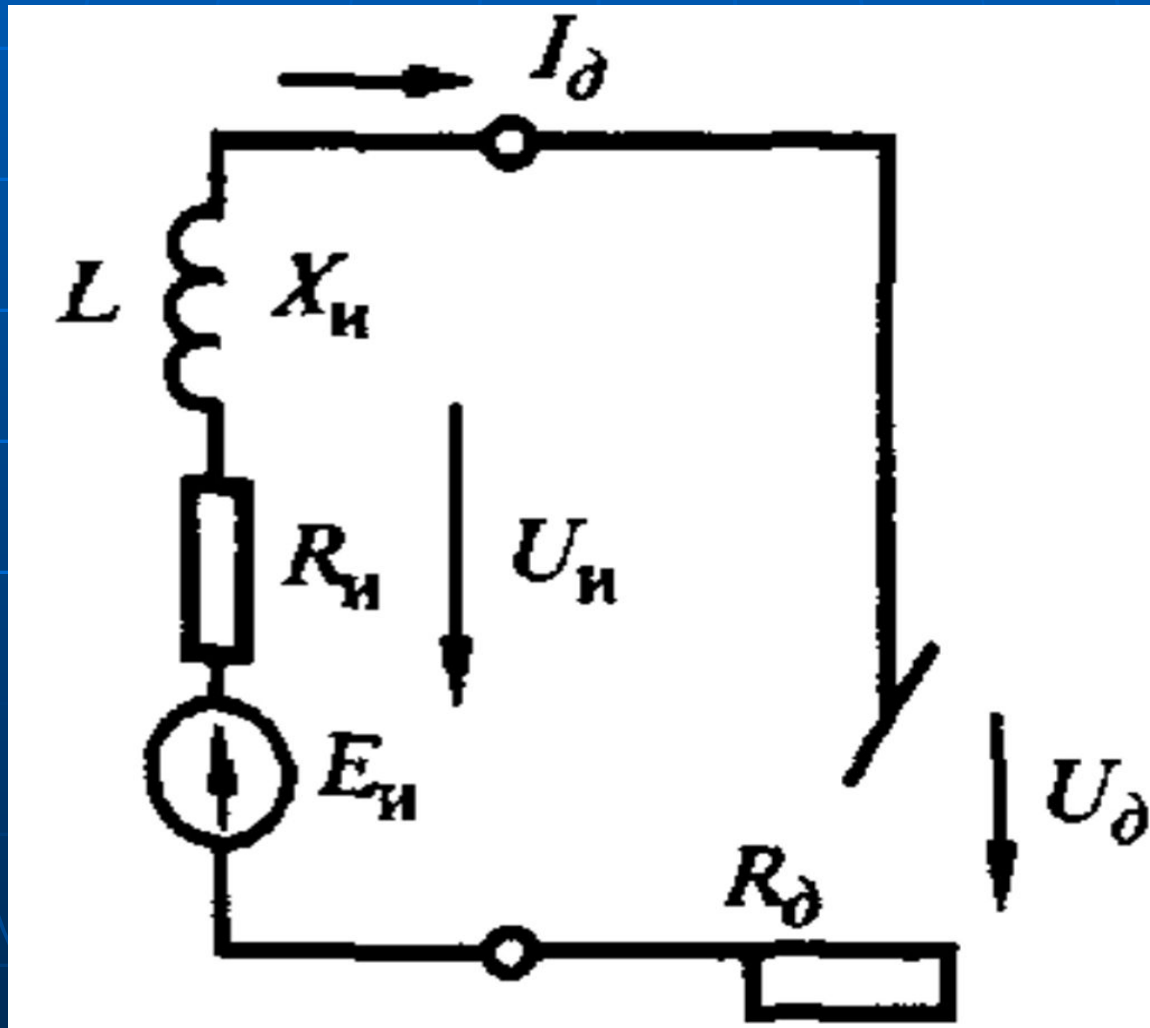
$(\partial U_D / \partial I > 0)$   
 $|\partial U_I / \partial I|_p < |\partial U_D / \partial I|_p$

# Требования к источникам питания сварочной дуги

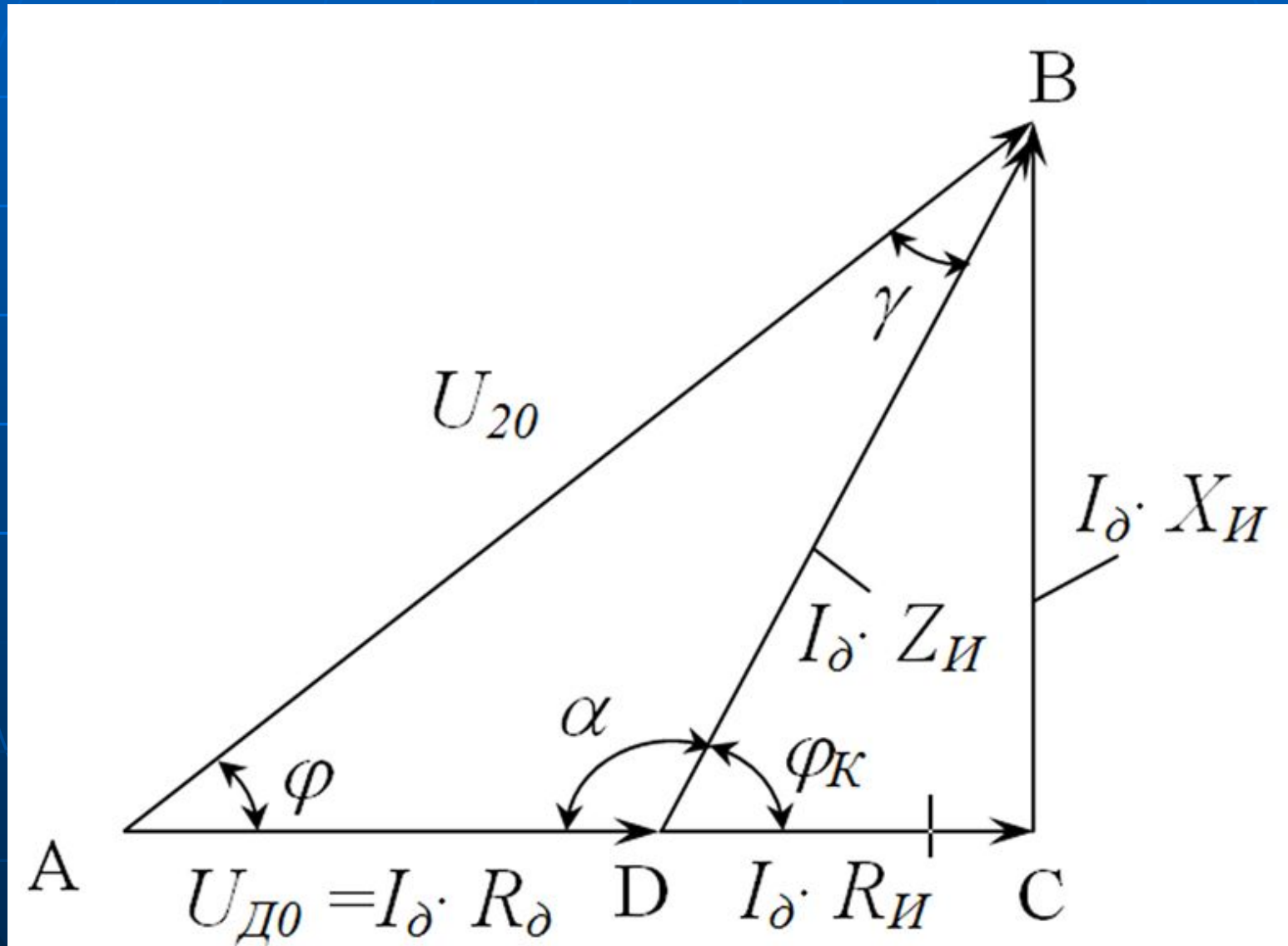
- Внешние вольтамперные характеристики источников питания сварочной дуги
- Влияние формы внешней характеристики источника на изменение тока при колебаниях длины дуги Явление саморегулирования длины дуги
- Технико-экономические требования к источникам питания
- Режимы работы источников питания



# Схема замещения системы ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ – ДУГА



# Векторная диаграмма системы источник питания – дуга



# Расчет внешней статической характеристики источника

В соответствии со вторым правилом Кирхгофа

$$\dot{E}_{\text{и}} = \dot{I}_{\partial} R_{\text{и}} + j \dot{I}_{\partial} X_{\text{и}} + \dot{I}_{\partial} R_{\partial}$$

Энергия, забираемая с внешних зажимов источника, полностью отдается дуге,

$$U_{\text{и}} = U_{\partial} = I_{\partial} R_{\partial}$$

Напряжение на внешних зажимах источника

$$\dot{U}_{\text{и}} = \dot{E}_{\text{и}} - \dot{I}_{\partial} (R_{\text{и}} + j X_{\text{и}}) = \dot{E}_{\text{и}} - \dot{I}_{\partial} Z_{\text{и}}$$

# Расчет внешней статической характеристики источника

Источник может работать в одном из трех режимов:

Холостой ход

Нагрузка  
замыкание

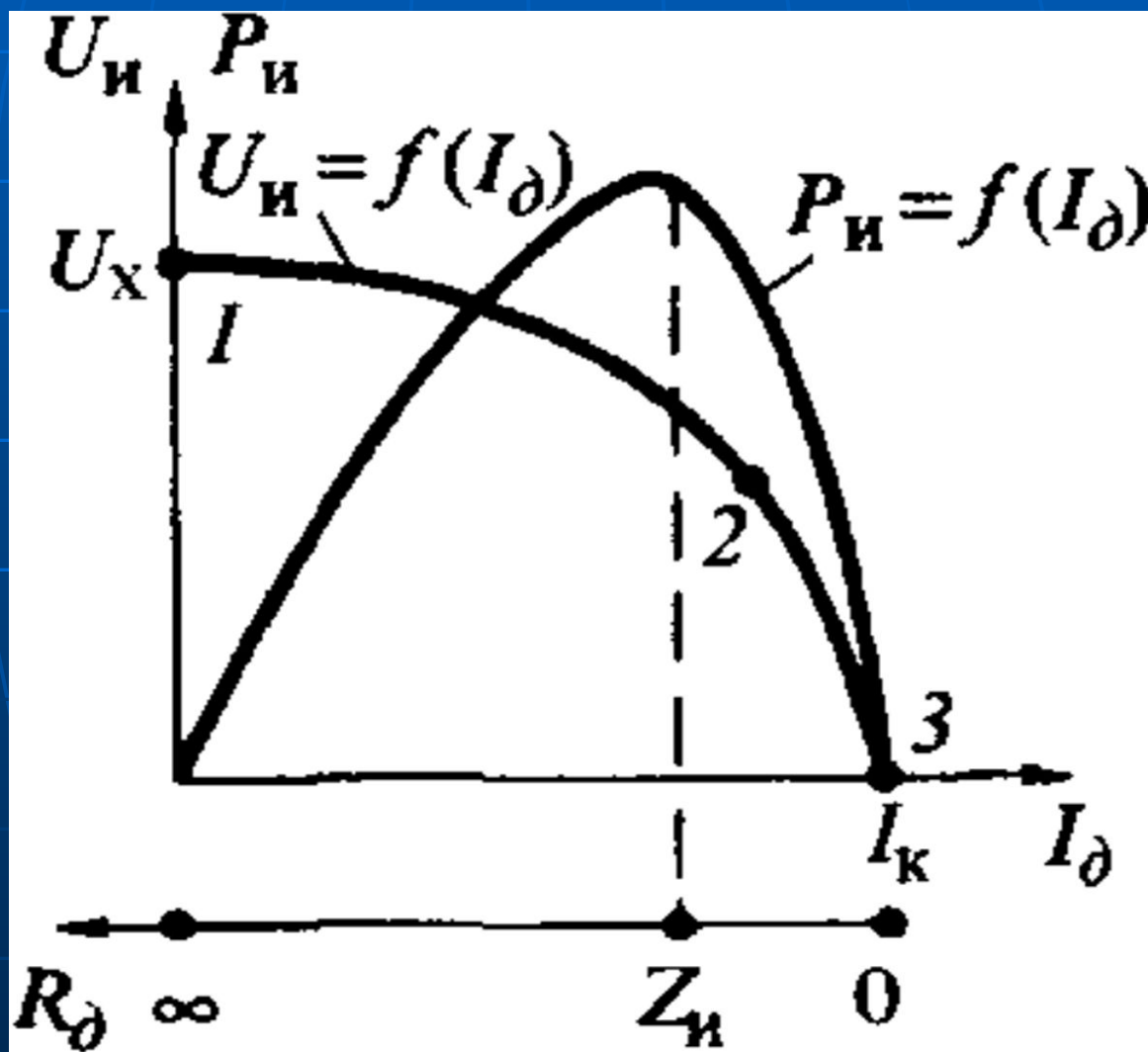
Короткое

$$U_{\text{н}} = U_{\text{х}} = E_{\text{н}} \quad \dot{U}_{\text{н}} = \dot{U}_{\text{х}} - \dot{I}_{\partial} Z_{\text{н}} \quad I_{\text{к}} = U_{\text{х}} / Z_{\text{н}}$$

Внешняя статическая характеристика источника

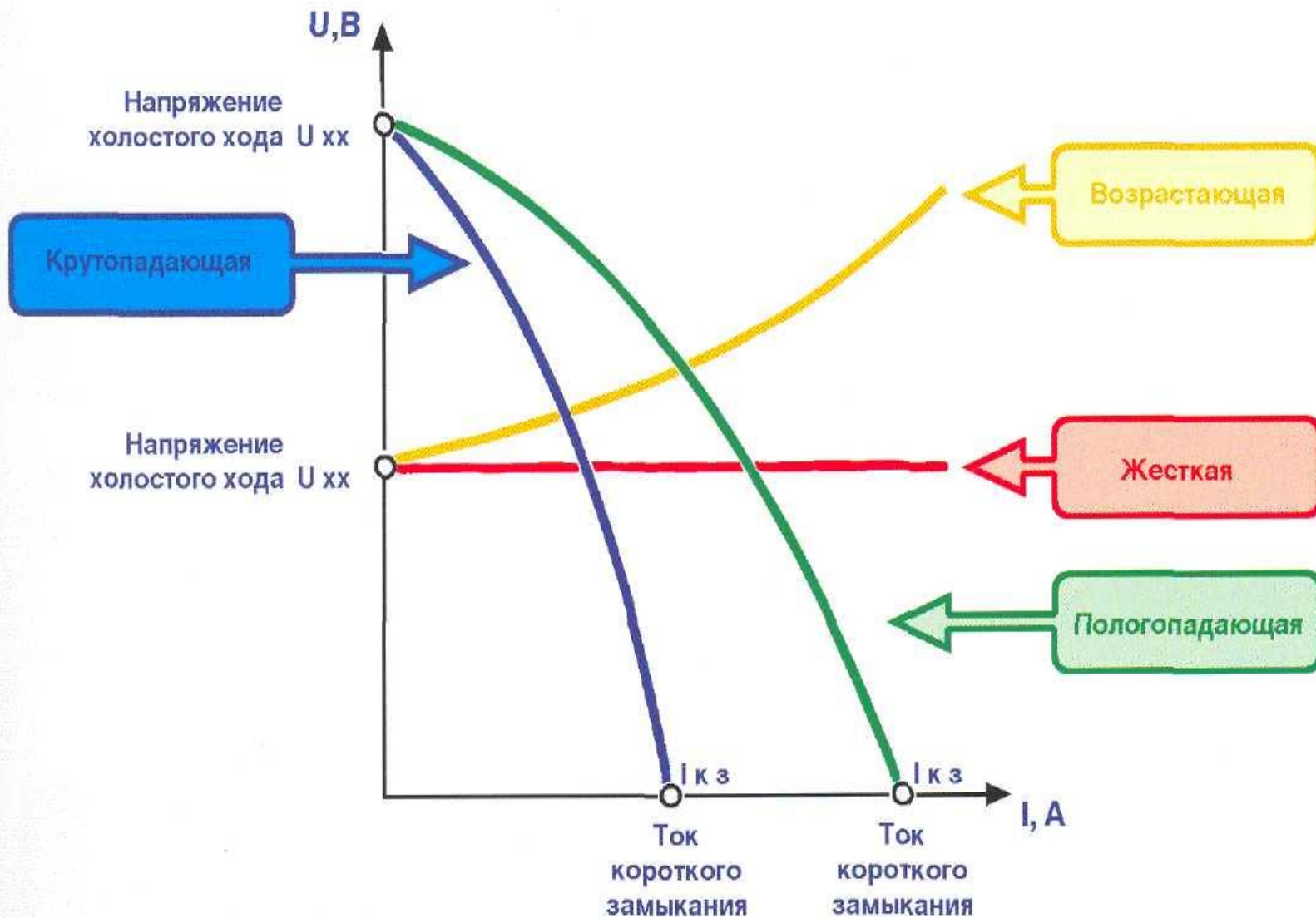
$$U_{\text{н}} = U_{\partial} = I_{\partial} R_{\partial} = \frac{U_{\text{х}} R_{\partial}}{\sqrt{(R_{\partial} + R_{\text{н}})^2 + X_{\text{н}}^2}}$$

# Внешние вольт-амперная и ватт-амперная характеристики источника

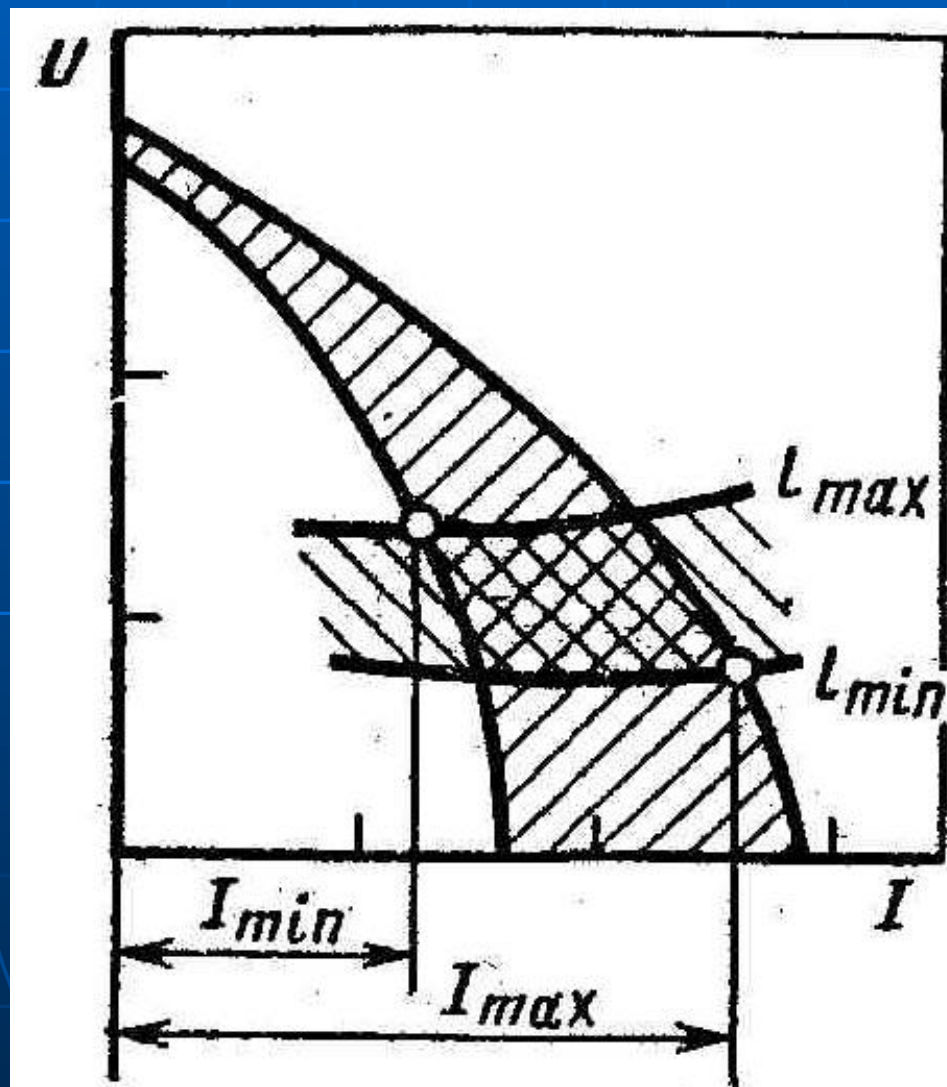




# ВНЕШНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДУГИ



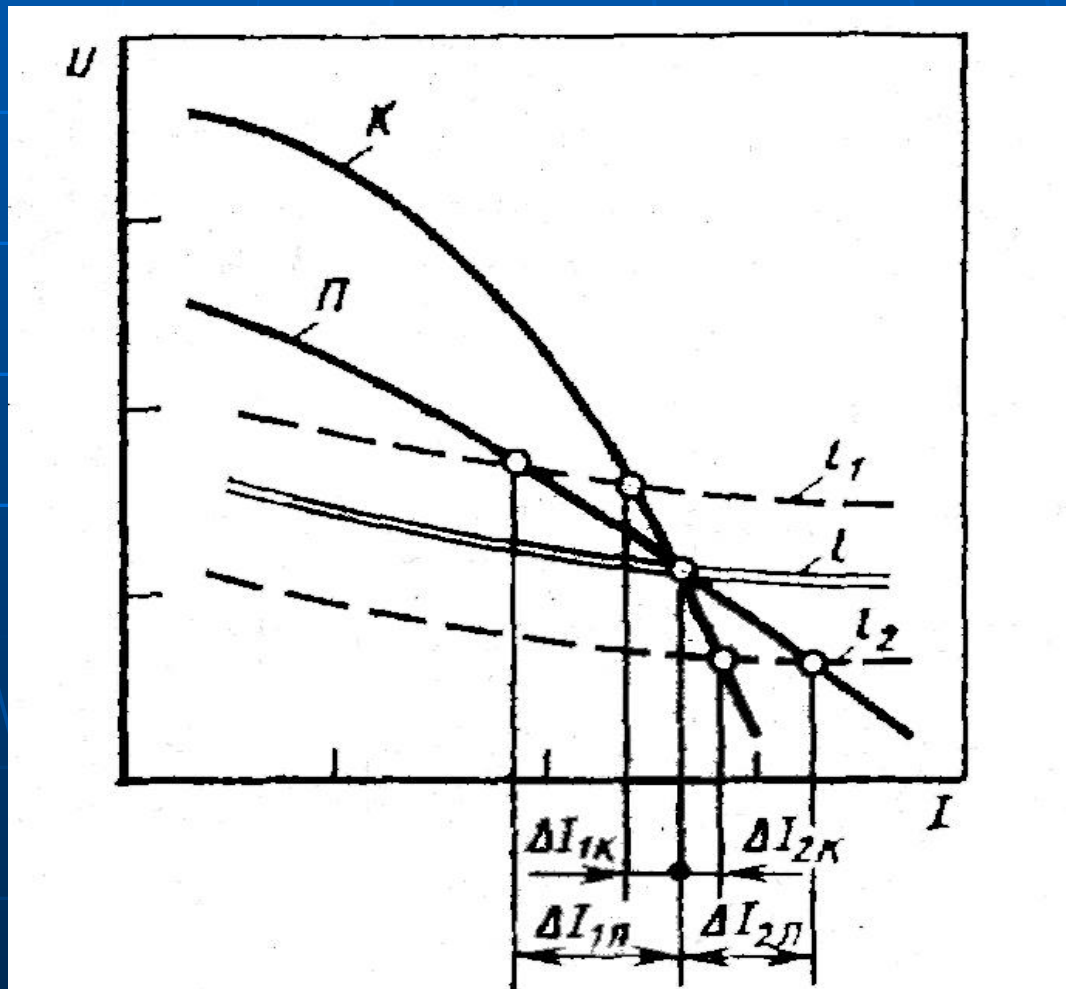
# Семейство ВАХ источника питания



■ Следующий слайд

■ К заглавию раздела

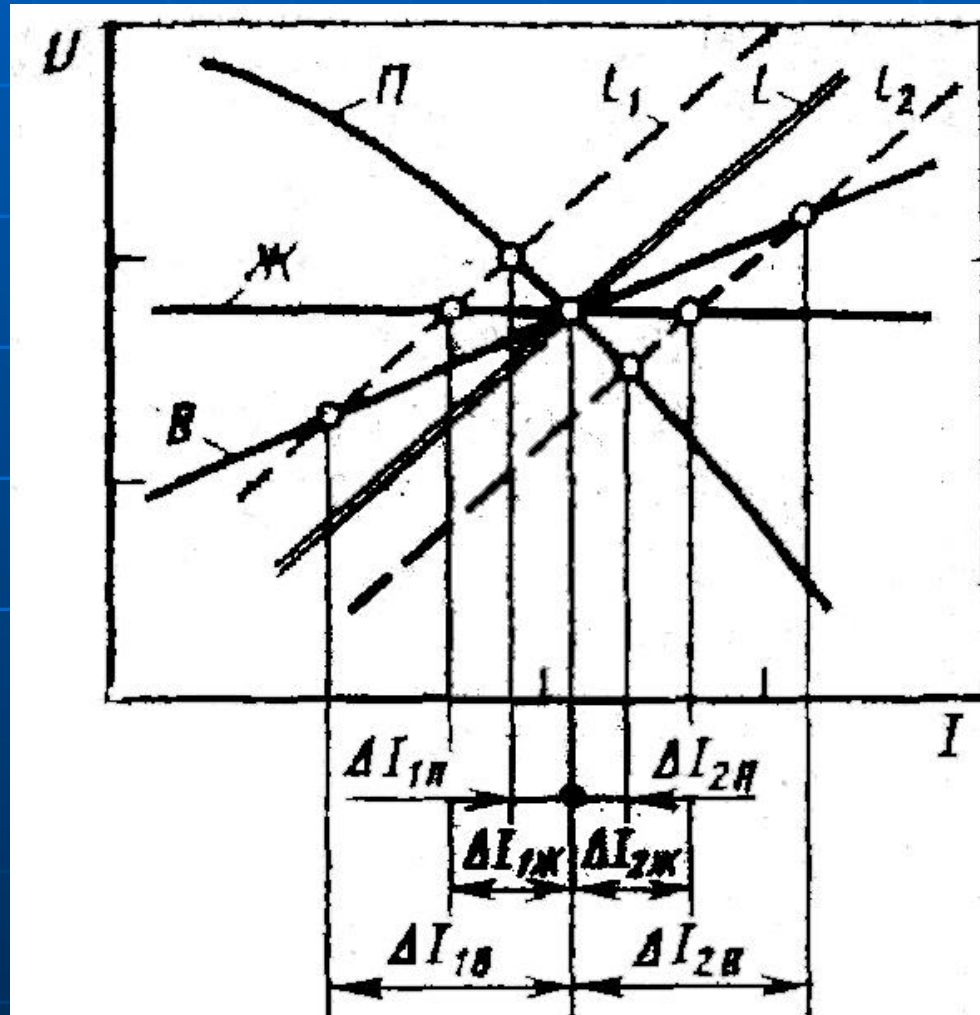
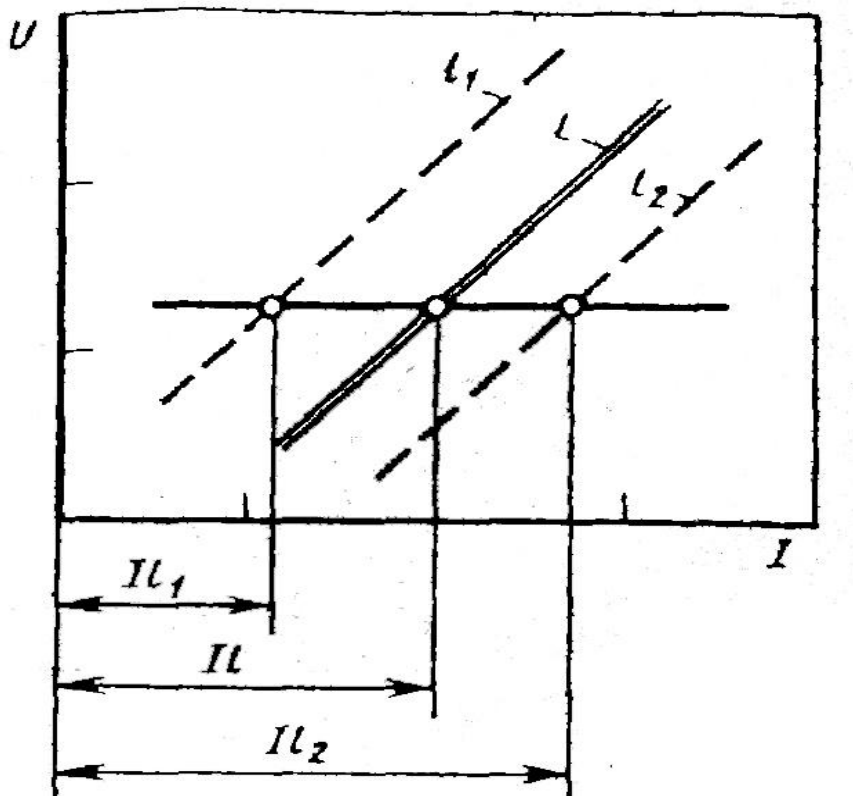
# Влияние формы внешней характеристики источника на изменение тока при колебаниях длины дуги



■ Предыдущий слайд

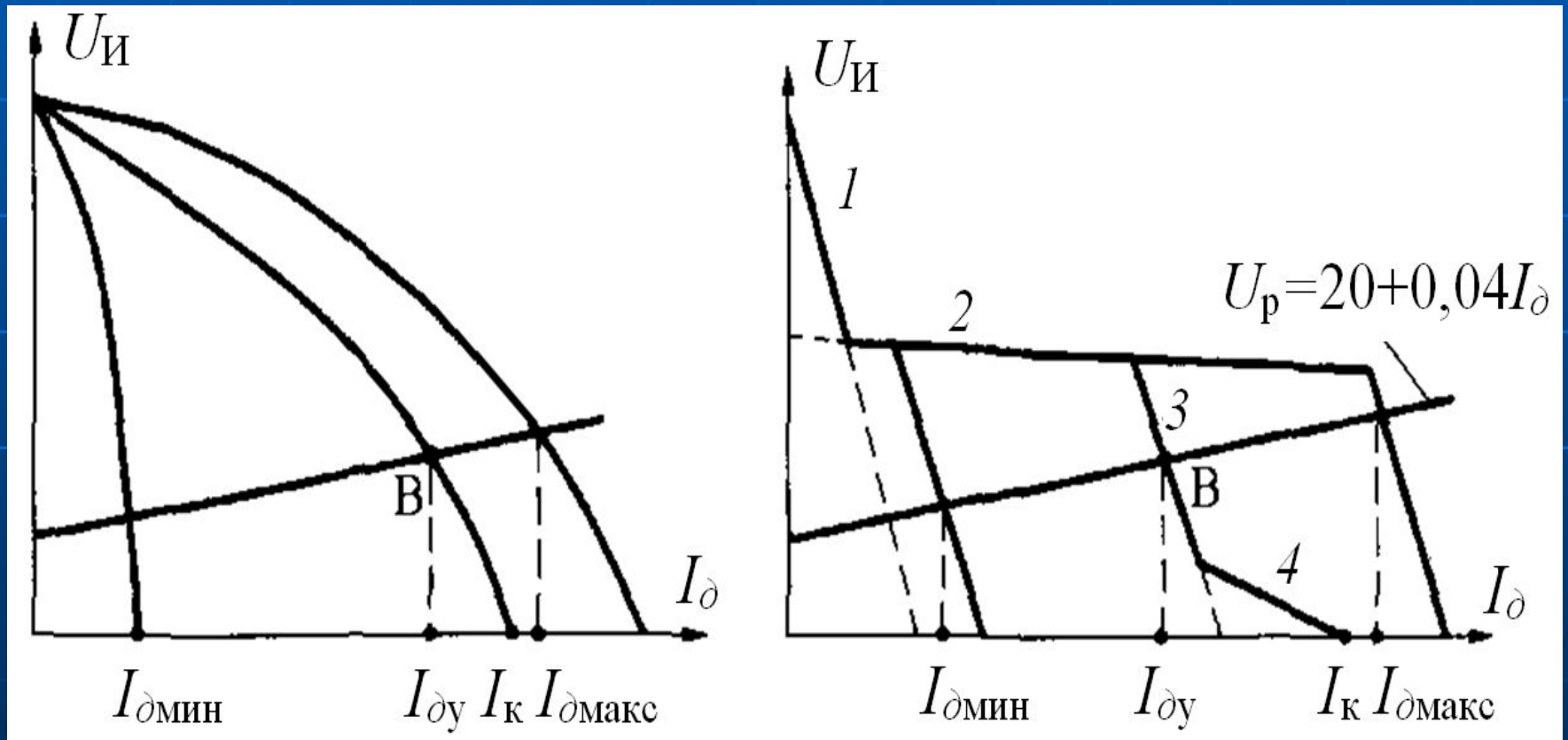
■ К заглавию раздела

# Явление саморегулирования длины дуги



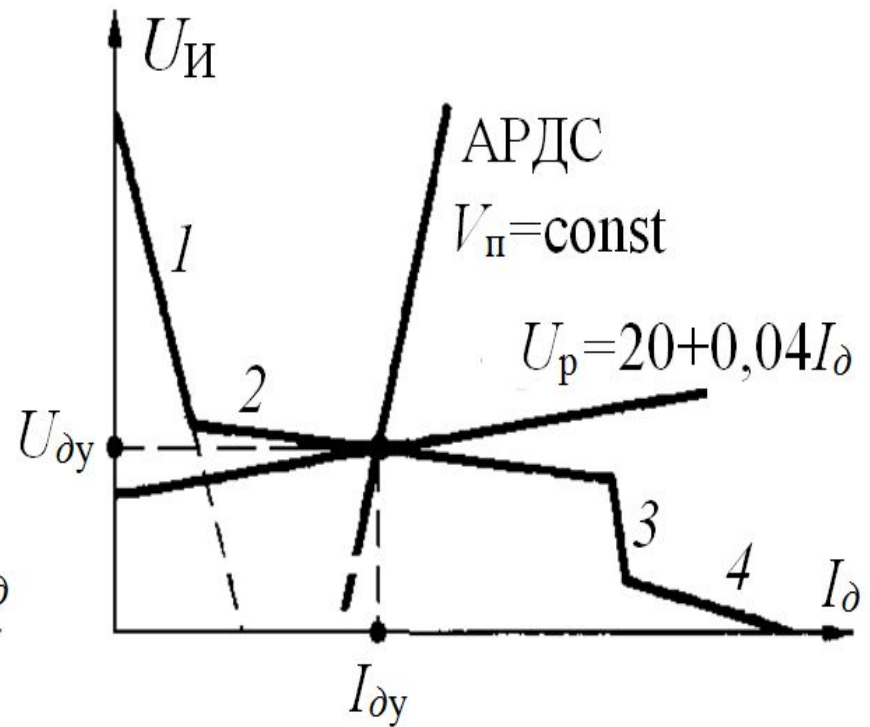
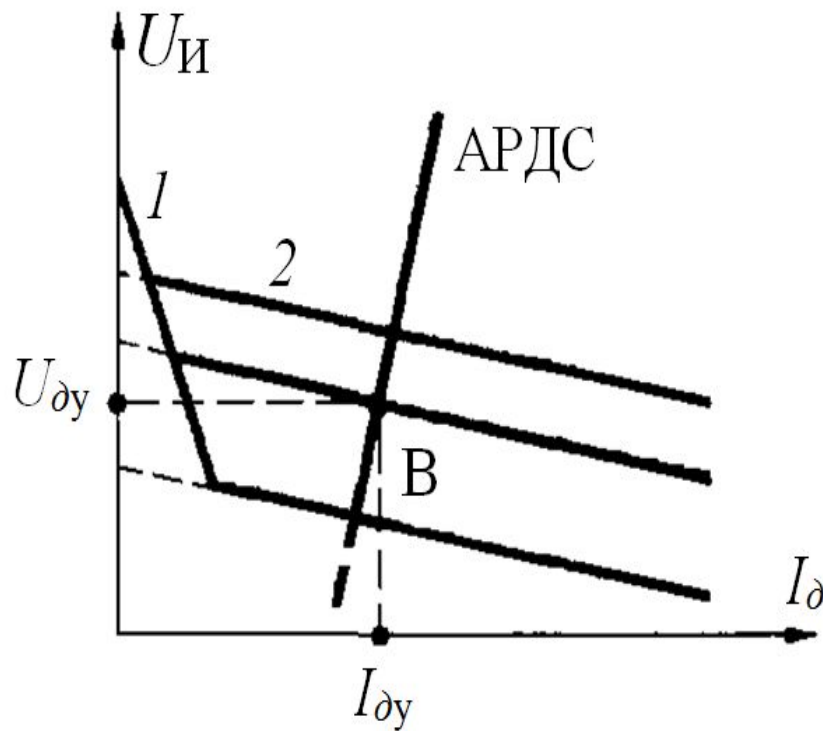
Зависимость изменения  
тока от колебаний длины  
дугои

# Характеристики источника питания для ручной дуговой сварки





# Характеристики источника питания для механизированной сварки в защитном газе



# Коэффициент полезного действия

$$\eta\% = P_{\text{д}} / P_1 \cdot 100\%,$$

$$P_{\text{д}} = \eta P_1 = \eta \cos \varphi_1 S_1 = c S_1$$

$$S_1 = U_1 \cdot I_1$$

$$P_{\text{д}} = U_{\text{д}} I_2 \delta_{\text{д}}$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 =$$

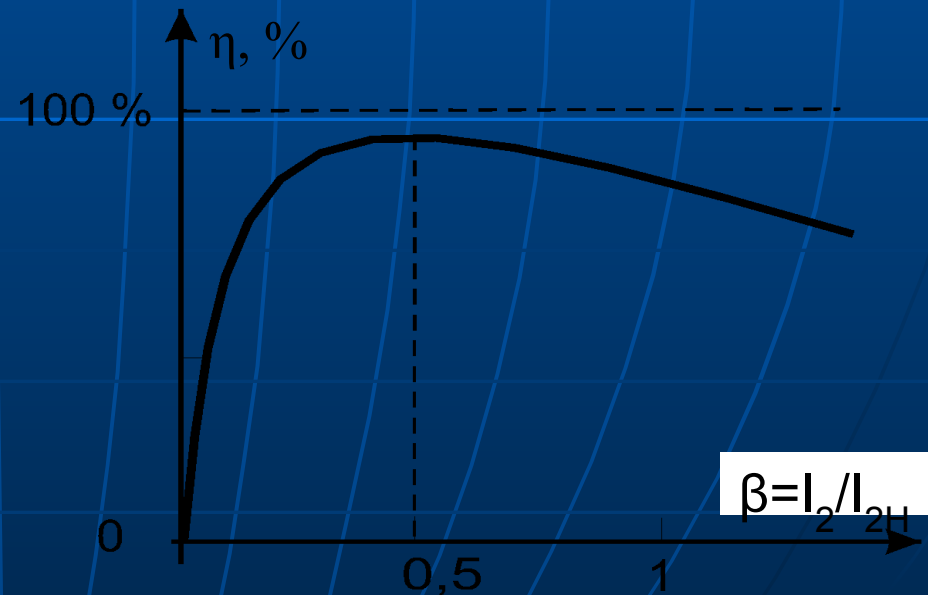
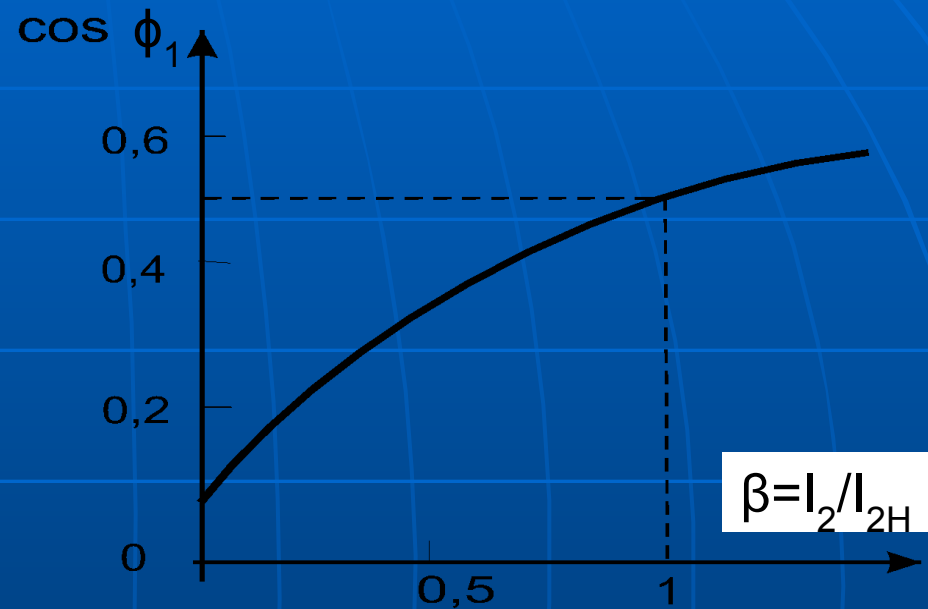
$$= P_{\text{д}} + \Delta P_{\text{ОБМ}} + \Delta P_{\text{С}} + \Delta P_{\text{ДОБ}}$$

$$\Delta P_{\text{ОБМ}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

$$\eta = \frac{U_{\text{д}} I_2 \delta_{\text{д}}}{U_1 I_1 \cos \varphi_1}$$

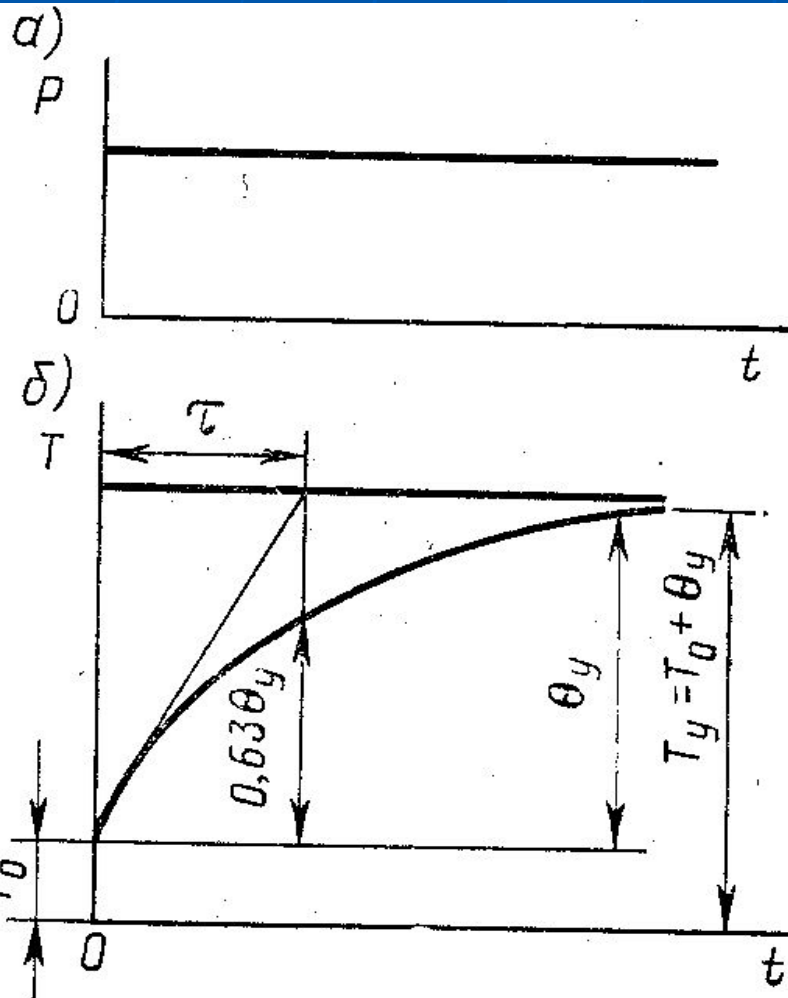
где  $P_{\text{д}}$  – мощность дуги,  
 $P_1$  – активная мощность, потребляемая  
из сети.

$S_1$  – полная мощность



# РЕЖИМЫ РАБОТЫ ИП

## Продолжительный



$$\Theta = T - T_0$$

$\Theta_y$  – установившаяся температура перегрева

$$\Theta \in (T_0 + )$$

$t / \tau$

$\tau$  – постоянная времени нагрева

а – график изменения нагрузки источника питания во времени  $P = f(t)$ ;

б – кривая нарастания температуры во времени  $T = f(t)$

# Режимы работы ИП

Перемежающийся

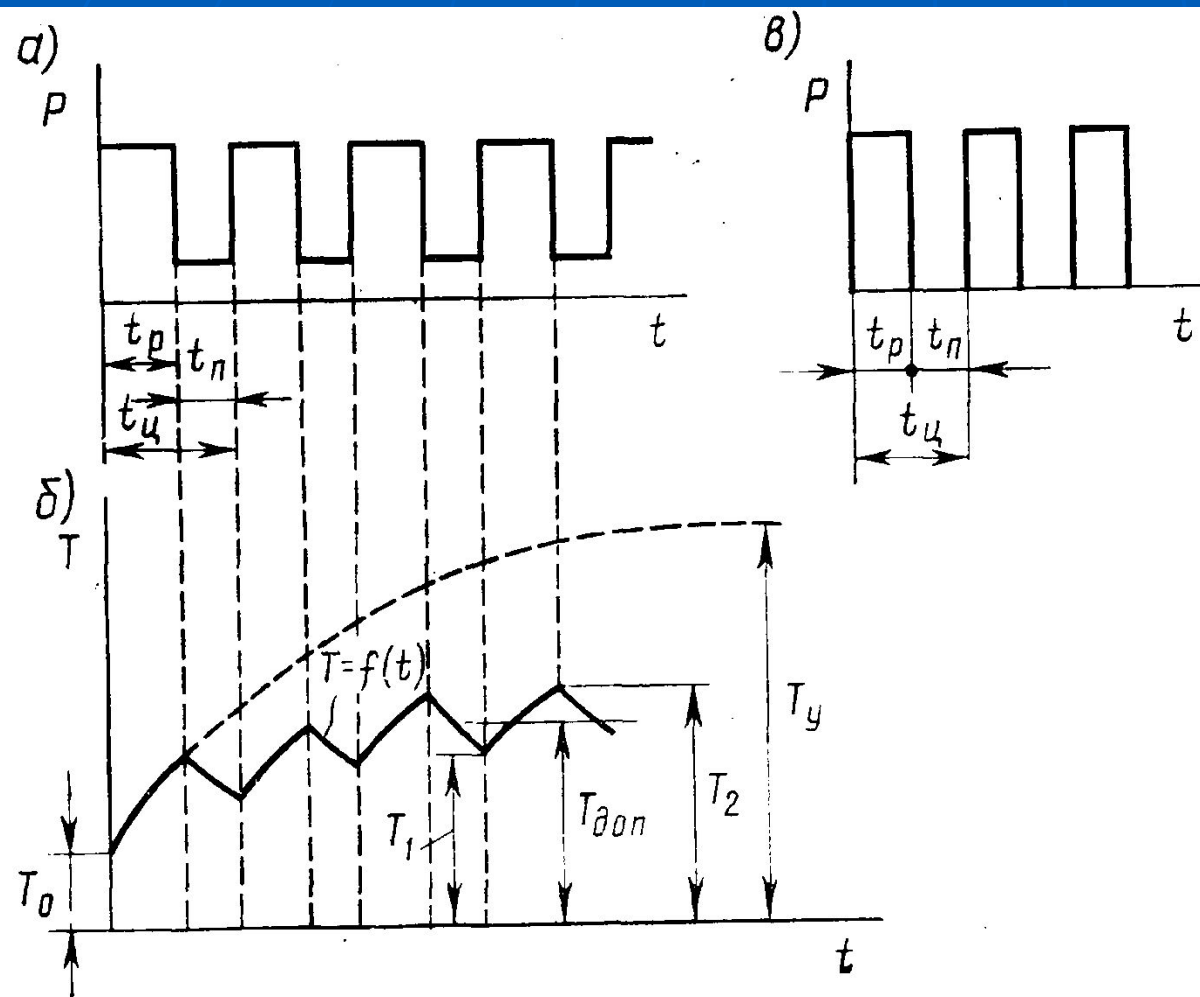
$$ПН\% = \frac{t_P}{t_{\Sigma}} 100$$

Повторно-  
кратковременный

$$ПВ\% = \frac{t_P}{t_{\Sigma}} 100$$

$$ПН I_H \sqrt{\frac{ПН_H\%}{100}} \quad \%$$

$$ПВ I_H \sqrt{\frac{ПВ_H\%}{100}} \quad \%$$



а — график изменения нагрузки во времени при перемежающемся режиме;

б — кривая нарастания температуры при перемежающемся режиме;

в — график изменения нагрузки при повторно-кратковременном режиме

# Источники питания переменного тока — трансформаторы

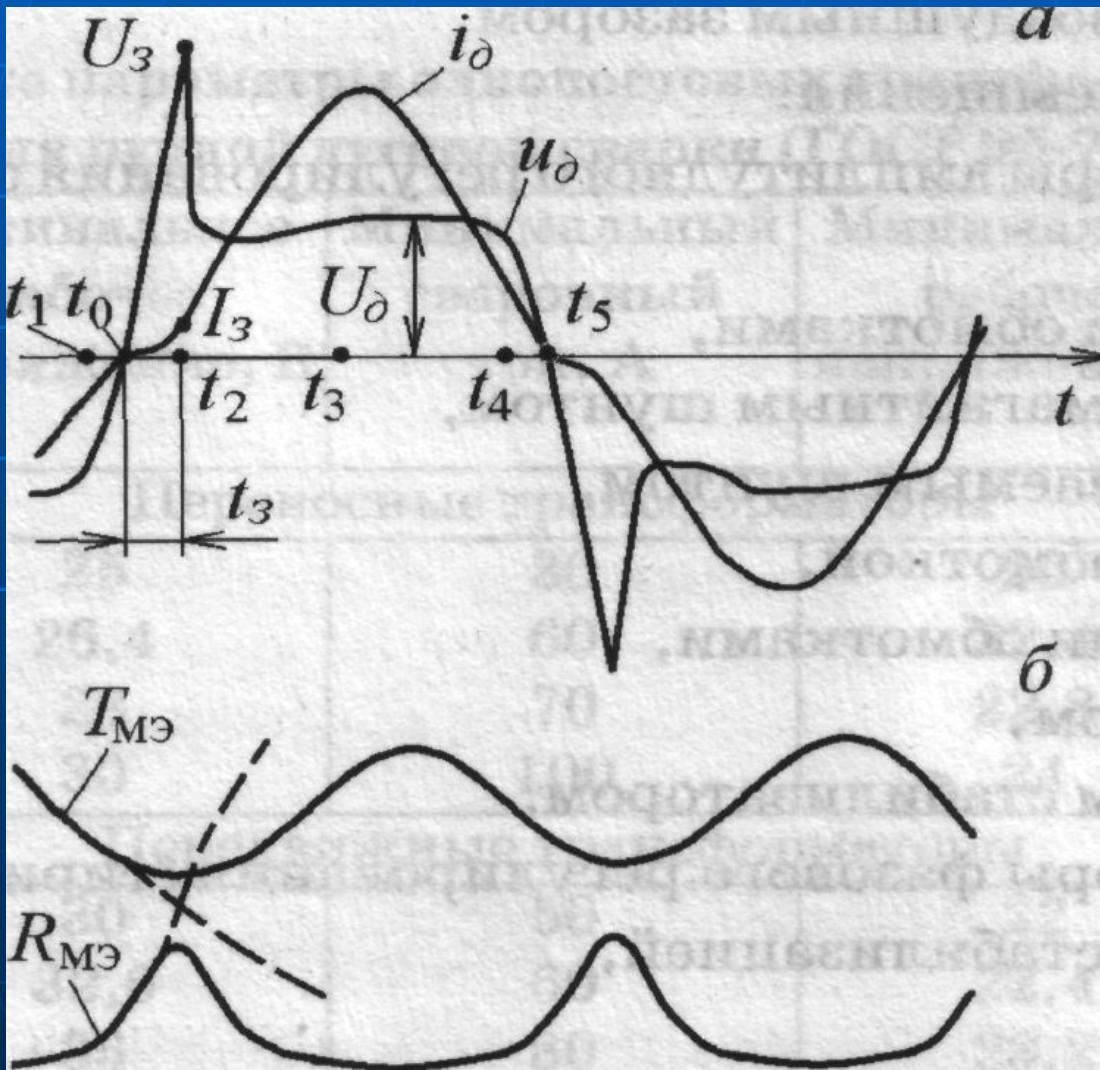
- [Классификация сварочных трансформаторов](#)
- [Особенности горения сварочной дуги переменного тока](#)
- [Устройство трансформатора](#)
- [Однопостовые сварочные трансформаторы](#)
- [Трансформаторы с нормальным рассеянием](#)
- [Трансформаторы с увеличенным рассеянием](#)

# Классификация сварочных трансформаторов

- 1. Трансформаторы амплитудного регулирования с нормальным рассеянием:
  - а) с дросселем с воздушным зазором,
  - б) с дросселем насыщения.
- 2. Трансформаторы амплитудного регулирования с увеличенным рассеянием:
  - а) с подвижными обмотками,
  - б) с подвижным магнитным шунтом,
  - в) с подмагничиваемым шунтом,
  - г) с реактивной обмоткой,
  - д) с разнесенными обмотками,
  - е) с конденсатором,
  - ж) с импульсным стабилизатором.
- 3. Трансформаторы фазового регулирования (тиристорные):
  - а) с импульсной стабилизацией,
  - б) с подпиткой.



# Типичные осциллограммы дуги переменного тока

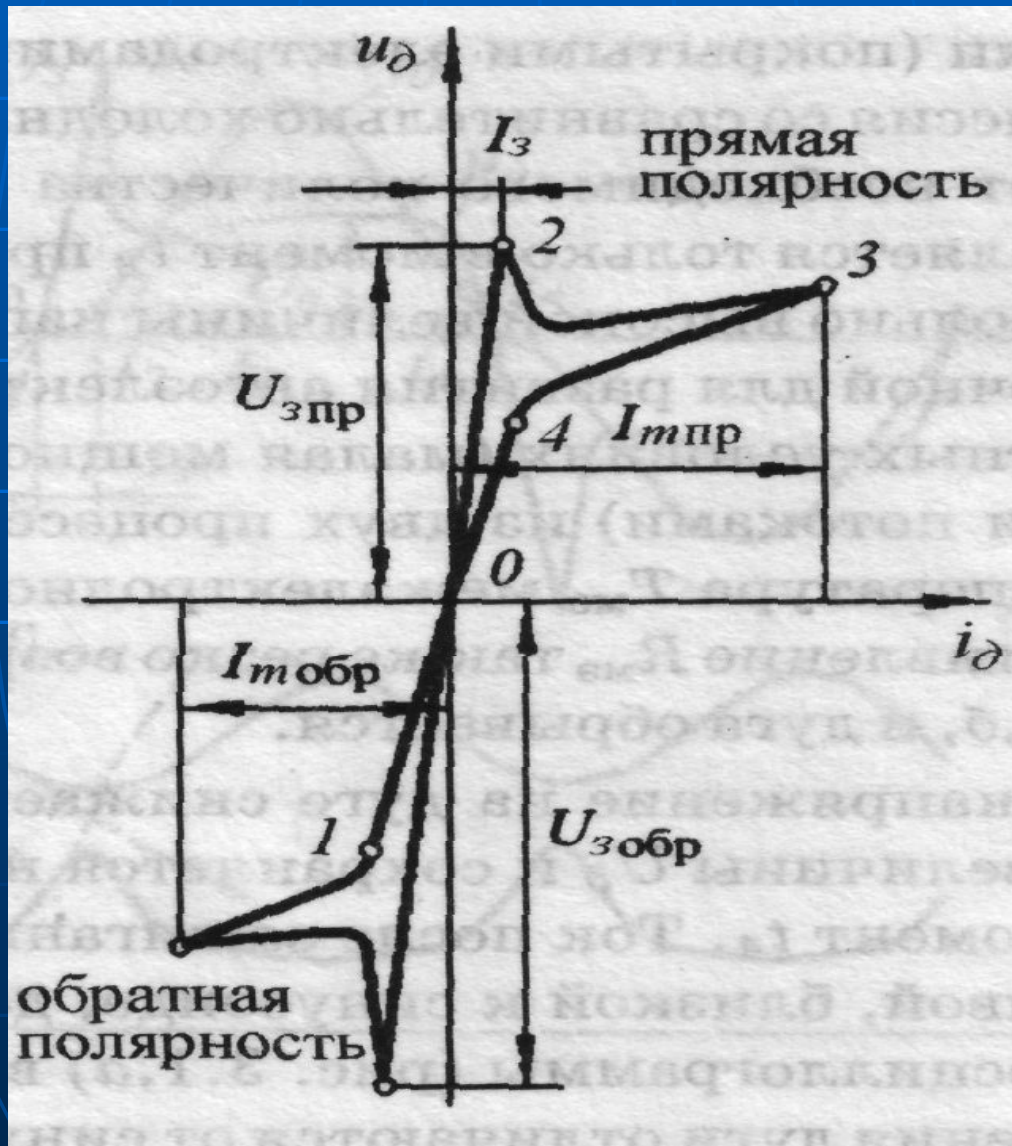


а - сварочные ток  $i_\delta$  и напряжение  $u_\delta$   
б - температура  $T_{MЭ}$  и сопротивление  $R_{MЭ}$  межэлектродного промежутка

■ Следующий слайд

■ предыдущий слайд

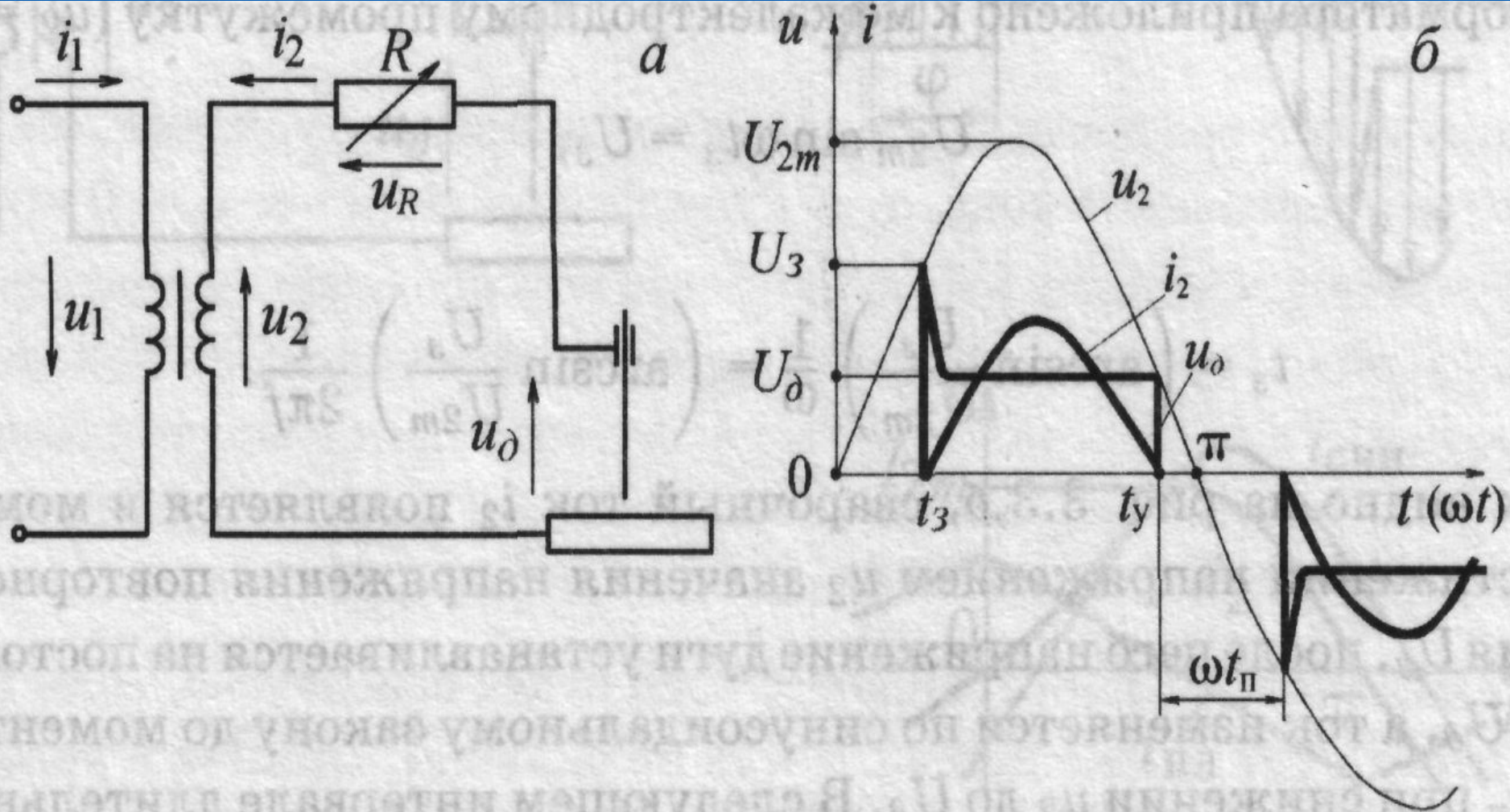
# Динамическая характеристика дуги переменного тока



Следующий слайд

предыдущий слайд

# Дуга переменного тока в цепи с резистором



а — электрическая схема, б — осциллограммы тока и напряжения

# Дуга переменного тока в цепи с резистором

По второму правилу Кирхгофа

$$u_2 = u_{\partial} + u_R$$

Напряжение дуги  $u_{\partial}$  от момента зажигания  $t_3$  до момента угасания  $t_y$

$$u_{\partial} = U_{\partial}$$

В момент зажигания  $t_3$  кратковременный импульс

$$u_{\partial} = U_3$$

Сварочный ток  $i_2 = i_{\partial}$

$$i_2 = (u_2 - u_{\partial}) / R$$



# Длительность повторного зажигания $t_3$

Вторичное напряжение  $u_2$

$$u_2 = U_{2m} \sin \omega t$$

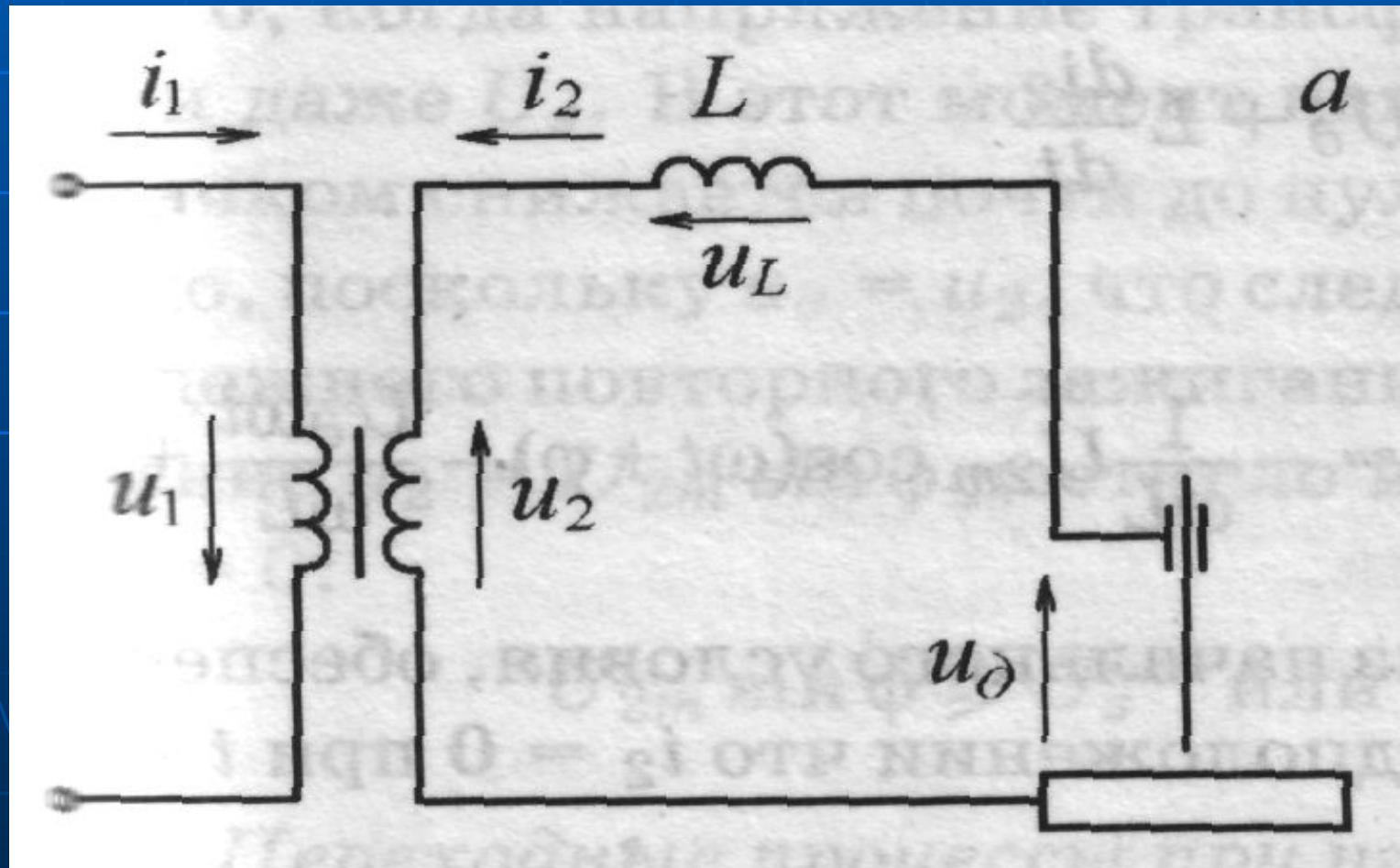
(до момента зажигания дуги

$$i_2 = 0, R = 0, u_2 = u_0)$$

$$U_{2m} \sin \omega t_3 = U_3$$

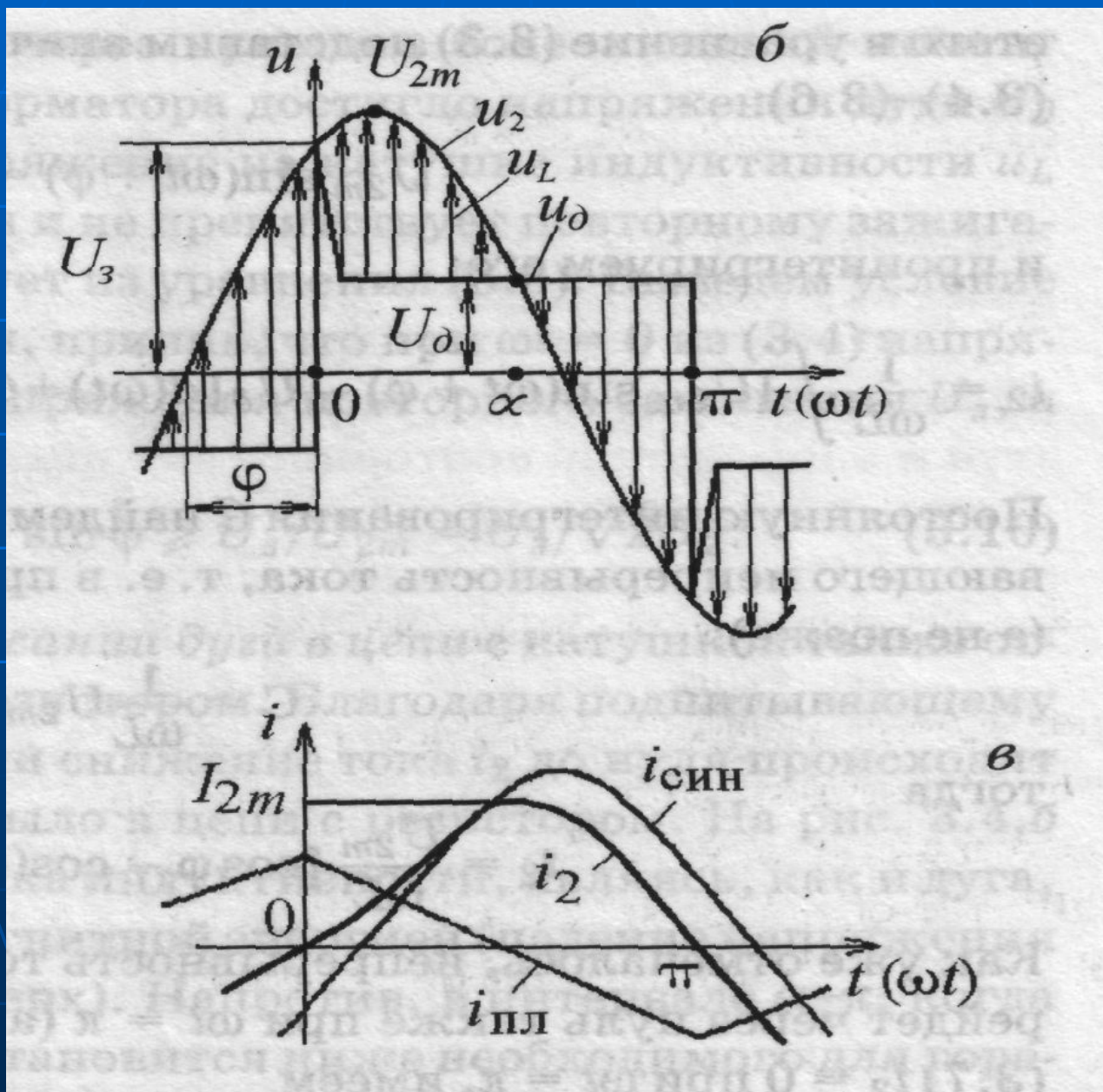
$$t_3 = \left( \arcsin \frac{U_3}{U_{2m}} \right) \frac{1}{\omega} = \left( \arcsin \frac{U_3}{U_{2m}} \right) \frac{1}{2\pi f}$$

# Источник питания дуги переменным током с катушкой индуктивности в сварочном контуре





# Осциллограммы напряжений и токов



# Уравнения напряжений и тока для сварочной цепи

По второму правилу Кирхгофа

$$u_2 = u_{\partial} + u_L$$

Вторичное напряжение трансформатора по фазе опережает ток на угол  $\phi$

$$u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \phi)$$

Напряжение дуги на уч. от 0 до  $\pi$

$$u_{\partial} = U_{\partial}$$

Уравнение напряжений

$$U_{2m} \sin(\omega t + \phi) = U_{\partial} + L \frac{di_2}{dt}$$

## Условие надежного повторного зажигания дуги

$$U_{2m} \sin \varphi \geq U_3 \quad \text{или} \quad \sin \varphi \geq U_3 / U_{2m} = U_3 / \sqrt{2} U_2$$

Среднее напряжение на катушке индуктивности  $u_L = U_3$  (в момент  $t = 0$  скачком меняется от  $U_3 + U_d$  до  $U_3 - U_d$ )

Если  $i_2 = I_{2m} \sin \omega t$

$$u_L = L \frac{di_2}{dt} = \omega L I_{2m} \cos \omega t,$$

при  $t = 0$  напряжение имеет максимум

$$u_L = U_{Lm} = \omega L I_{2m}.$$

для момента повторного зажигания

$$U_{Lm} \geq U_3.$$

$$L \geq \frac{U_3}{\omega I_{2m}} \quad \text{или} \quad L \geq \frac{U_3}{2\sqrt{2}\pi f I_2}.$$

Следующий слайд

Предыдущий слайд

## Требования к параметрам ИП переменного тока

Вторичное напряжение  $U_2$

$$U_2 \geq \sqrt{\frac{4U_3^2 + \pi^2 U_\partial^2}{8}}$$

Напряжение дуги  $U_\partial$ , допустимое при заданном напряжении  $U_2$

$$U_\partial \leq U_2 \sqrt{\frac{8}{4m^2 + \pi^2}}$$

$$m = U_3 / U_\partial \geq 1$$

Среднее напряжение на катушке индуктивности  $u_L = U_3$  (в момент  $t = 0$  скачком меняется от  $U_3 + U_\partial$  до  $U_3 - U_\partial$ )

Если  $i_2 = I_{2m} \sin \omega t$

$$u_L = L \frac{di_2}{dt} = \omega L I_{2m} \cos \omega t,$$

при  $t = 0$  напряжение  $u_L$  имеет максимум

$$u_L = U_{Lm} = \omega L I_{2m}.$$

для момента повторного зажигания

$$U_{Lm} \geq U_3.$$

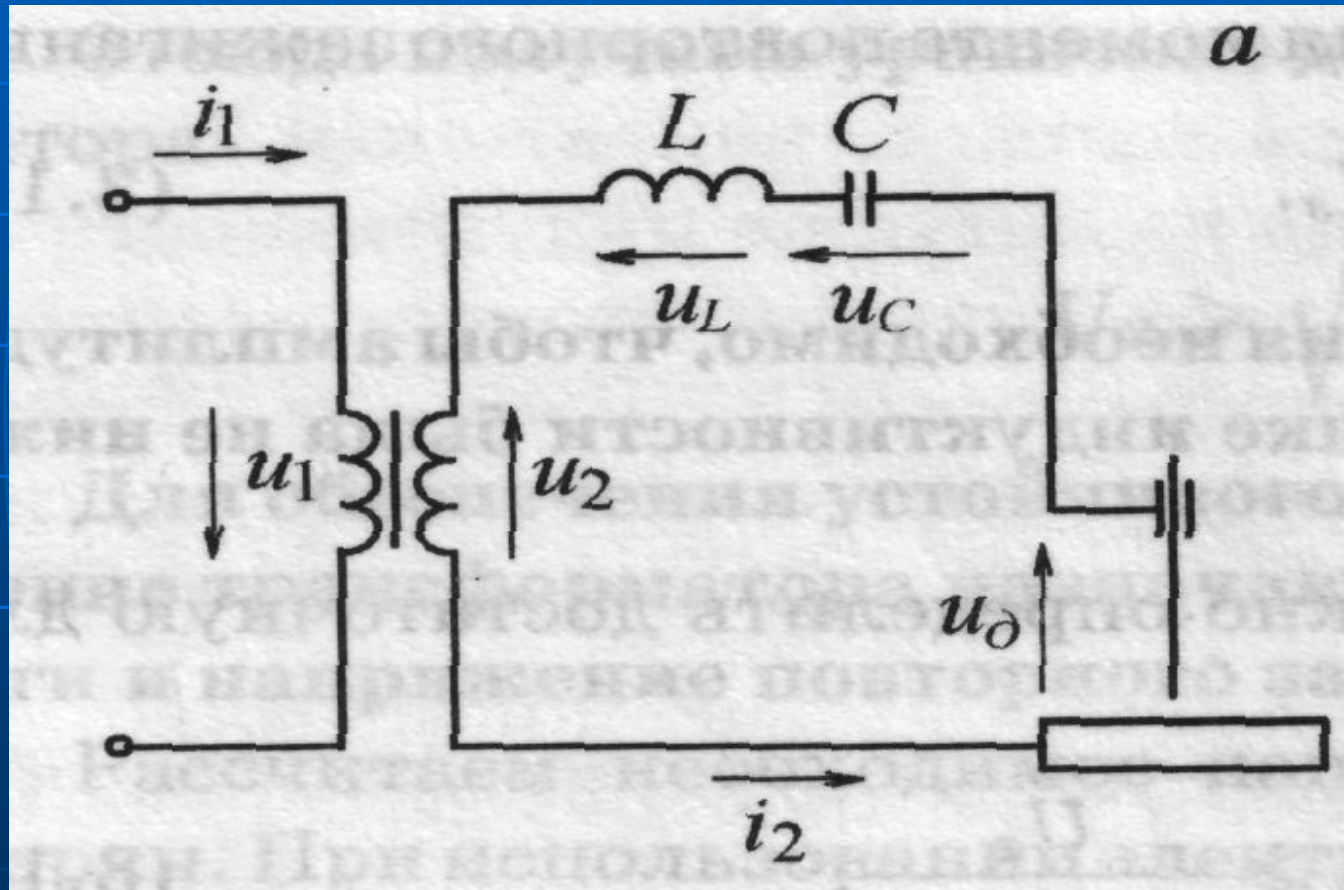
$$L \geq \frac{U_3}{\omega I_{2m}} \quad \text{или} \quad L \geq \frac{U_3}{2\sqrt{2}\pi f I_2}.$$



■ [Следующий слайд](#)

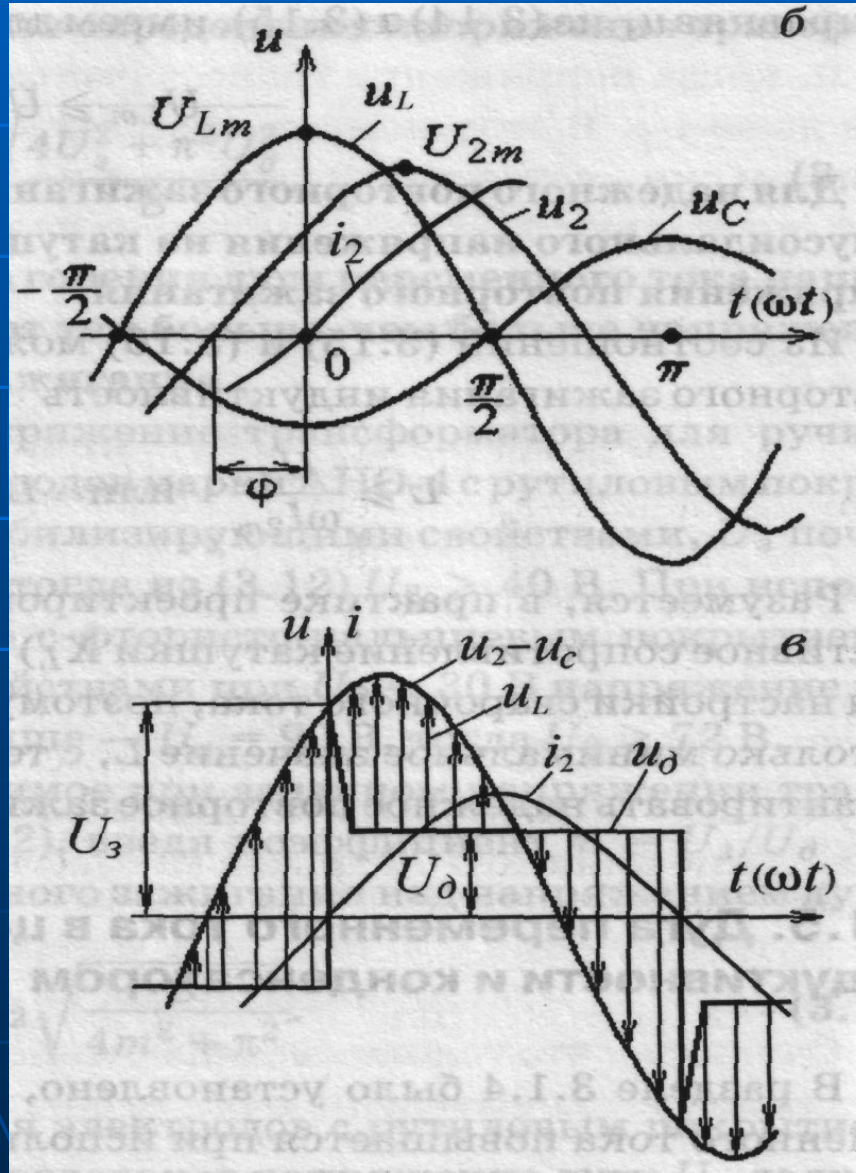
■ [Предыдущий слайд](#)

# Дуга переменного тока в цепи с катушкой индуктивности и конденсатором



а - электрическая схема, б - осциллограммы тока и напряжения при работе на линейную нагрузку, в - осциллограммы тока и напряжения при сварке

# Осциллограммы тока и напряжения при работе на линейную нагрузку и при сварке





# Уравнения для напряжений и токов

Вторичное напряжение трансформатора  $u_2$

$$u_2 = u_\partial + u_L + u_C$$

При нагружении источника на линейное сопротивление

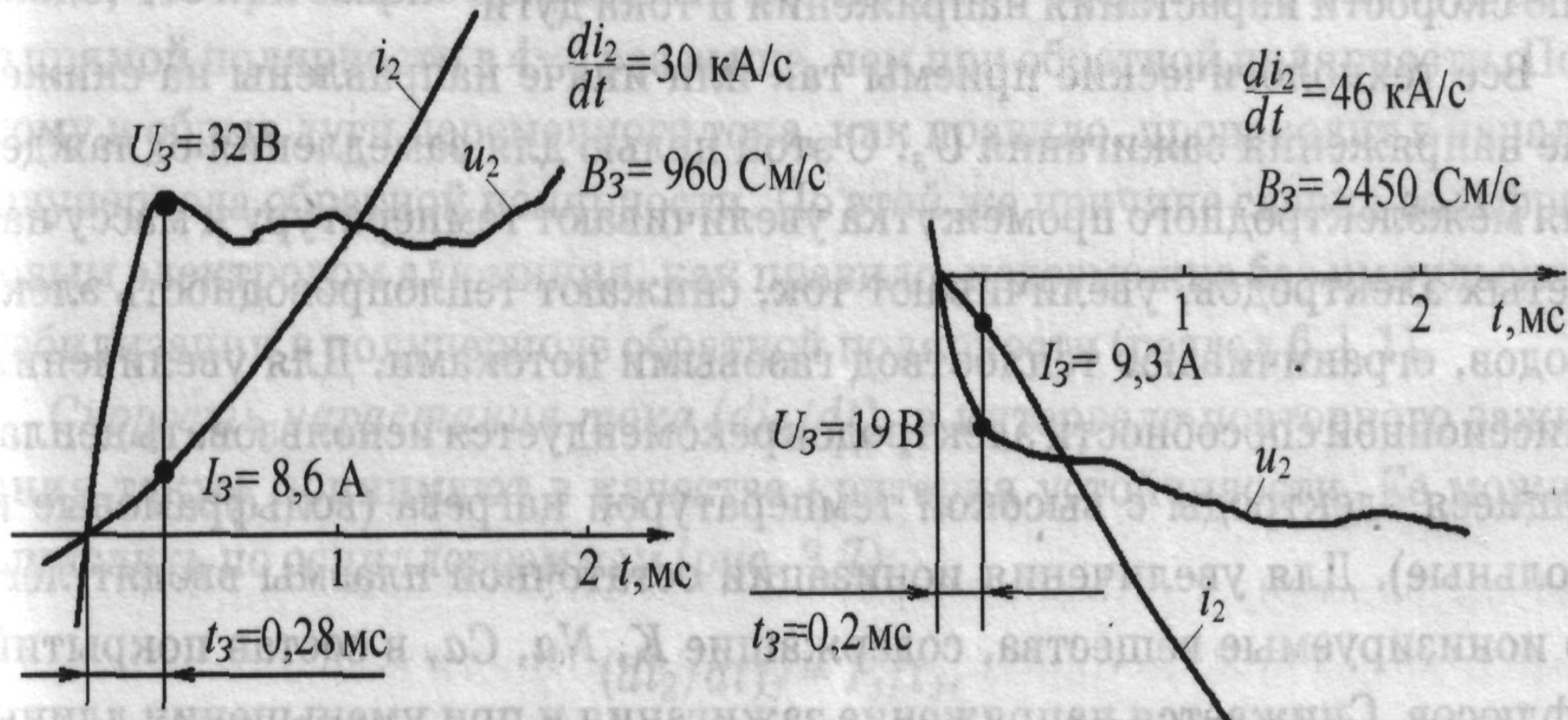
$$\left. \begin{aligned} i_2 &= I_{2m} \sin \omega t, \\ u_2 &= U_{2m} \sin(\omega t + \varphi), \\ u_L &= L \frac{di_2}{dt} = \omega L I_{2m} \cos \omega t = U_{Lm} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right), \\ u_C &= \frac{1}{C} \int i_2 dt = -\frac{1}{\omega C} I_{2m} \cos \omega t = U_{Cm} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned} \right\}$$

В момент повторного зажигания  $t = 0, u_L = 0$

$$u_2 - u_C = u_\partial,$$

$$U_{2m} \sin \varphi + U_{Cm} \geq U_3.$$

# Критерии устойчивости дуги переменного тока



Начальные участки осциллограмм напряжения и тока дуги  
(электрод ОЗС-4, 3 мм, 100 А, трансформатор ТДМ-401)

# Критерии устойчивости дуги переменного тока

Время повторного зажигания  $t_3$

$$t_3 = \left( \arcsin \frac{U_3}{U_{2m}} - \varphi \right) / (2\pi f).$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L}{R + R_\partial} = \operatorname{arctg} \frac{2\pi f L}{R + R_\partial}.$$

$$t_3 = \left( \arcsin \frac{U_3}{U_{2m}} - \operatorname{arctg} \frac{2\pi f L}{R + R_\partial} \right) / (2\pi f).$$

Скорость нарастания проводимости межэлектродного промежутка в преддуговом периоде, См/с = 1/(Ом·с)

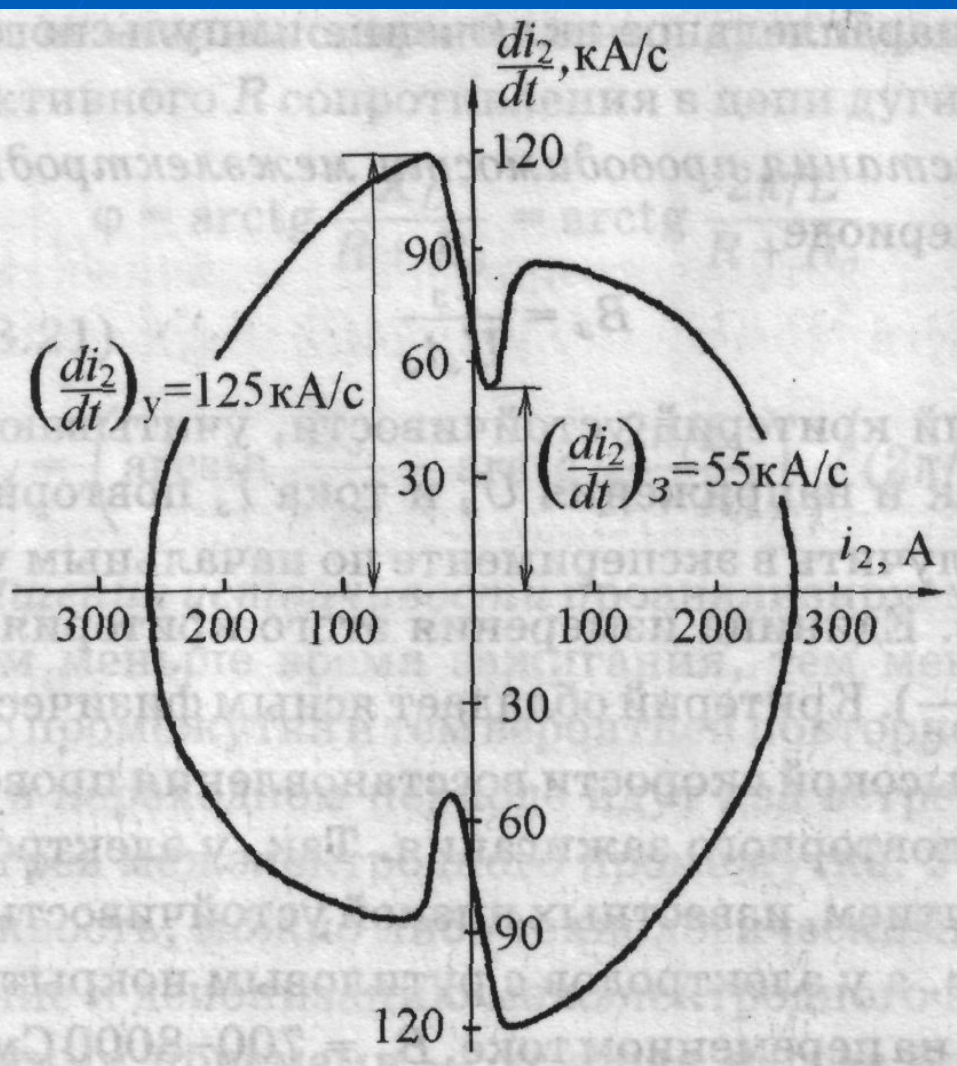
$$B_3 = \frac{I_3}{U_3 t_3}$$



Следующий слайд

Предыдущий слайд

# Фазовая характеристика $di_2/dt = f(i_2)$



Скорость нарастания тока

$$(\frac{di_2}{dt})_3 = I_3/t_3$$

Относительная скорость

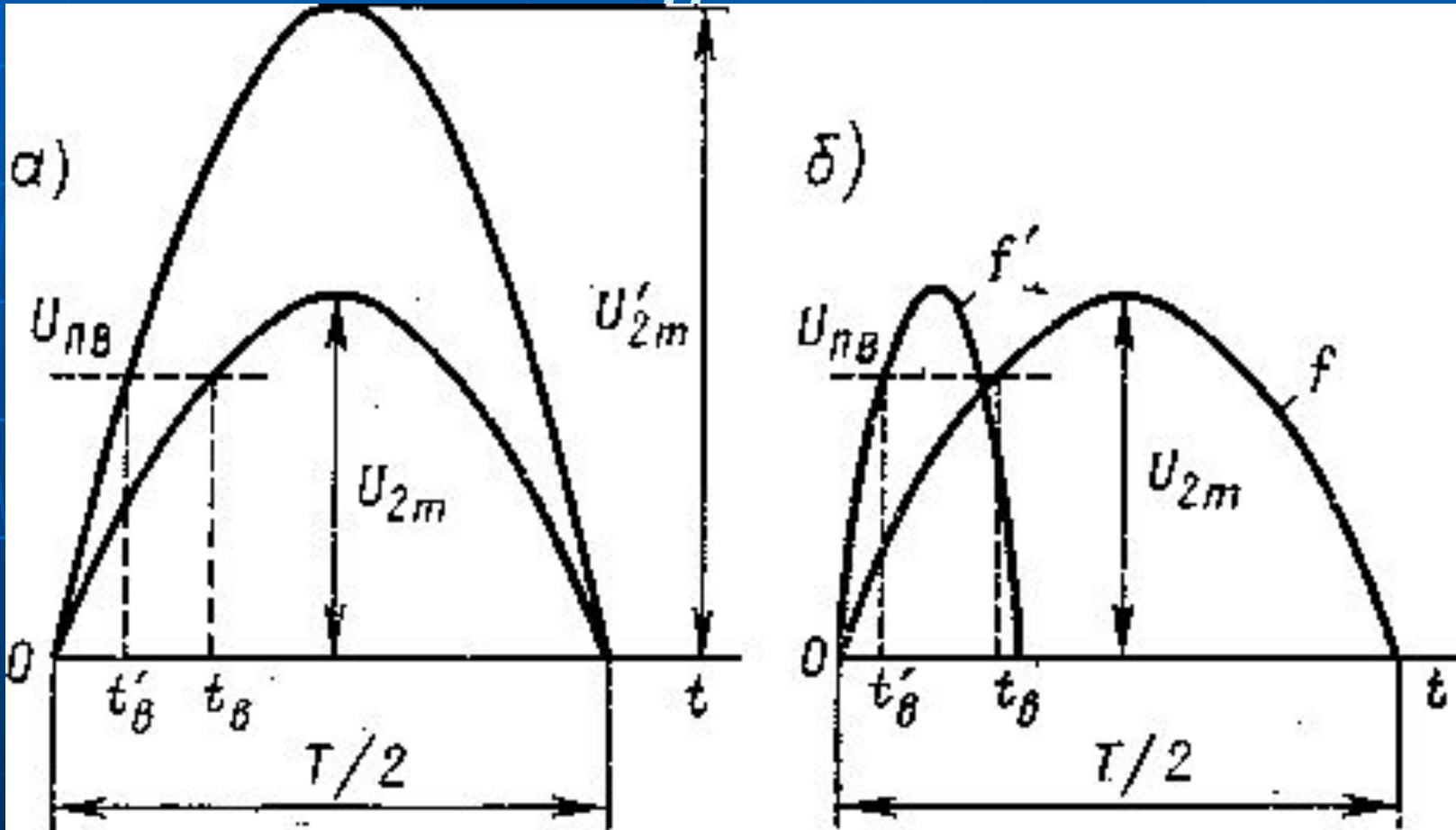
$$(\frac{di_2}{dt})_3 / (\frac{di_2}{dt})_y$$

Комплексный критерий для оценки трансформаторов

$$F_3 = U_x \frac{(\frac{di_2}{dt})_3}{(\frac{di_2}{dt})_y}$$

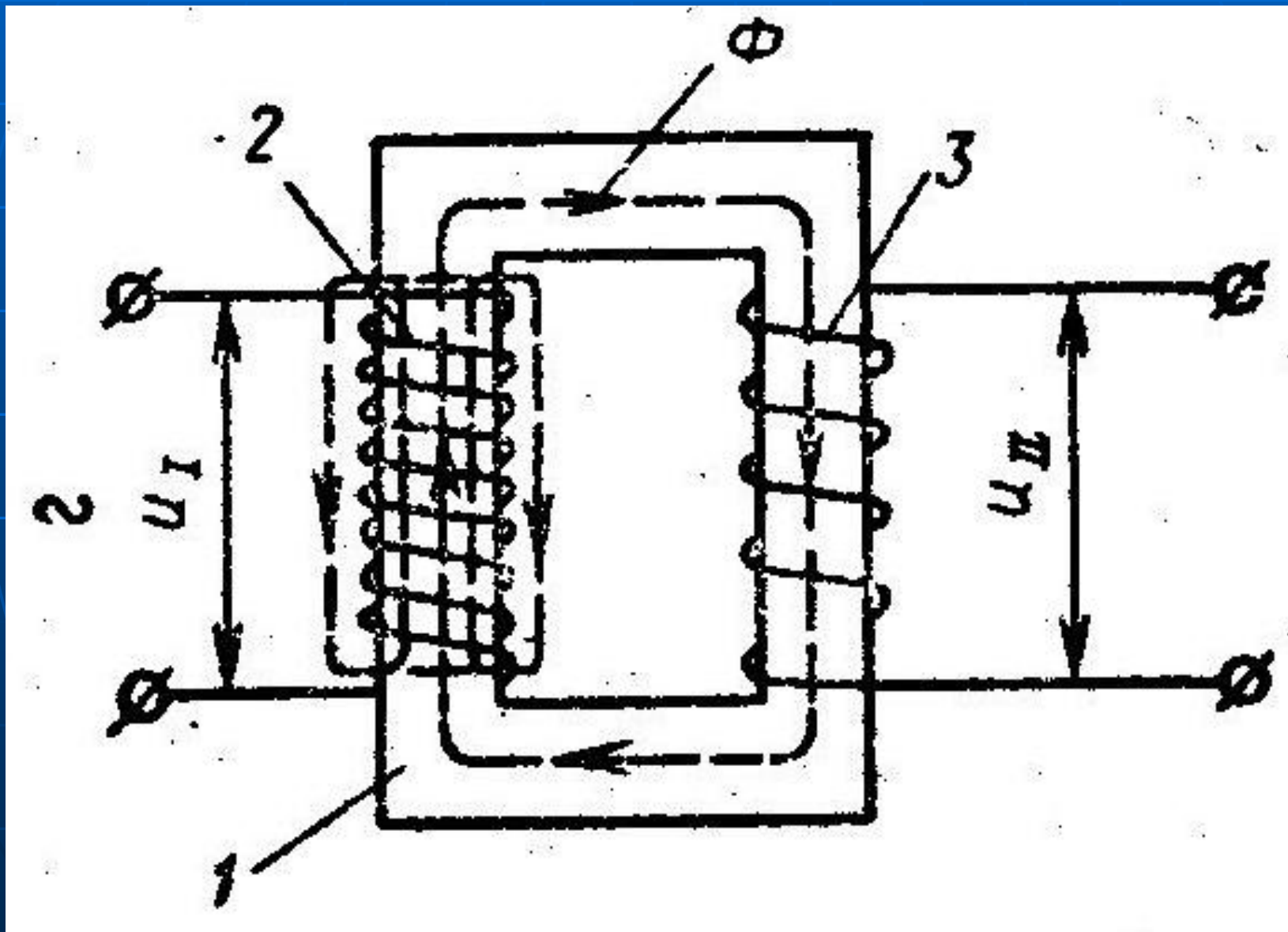
(электрод ОЗС-4, 5 мм, 200 А, трансформатор ТДМ-401)

# Уменьшение времени перерыва $t_{\text{п}}$ в горении дуги



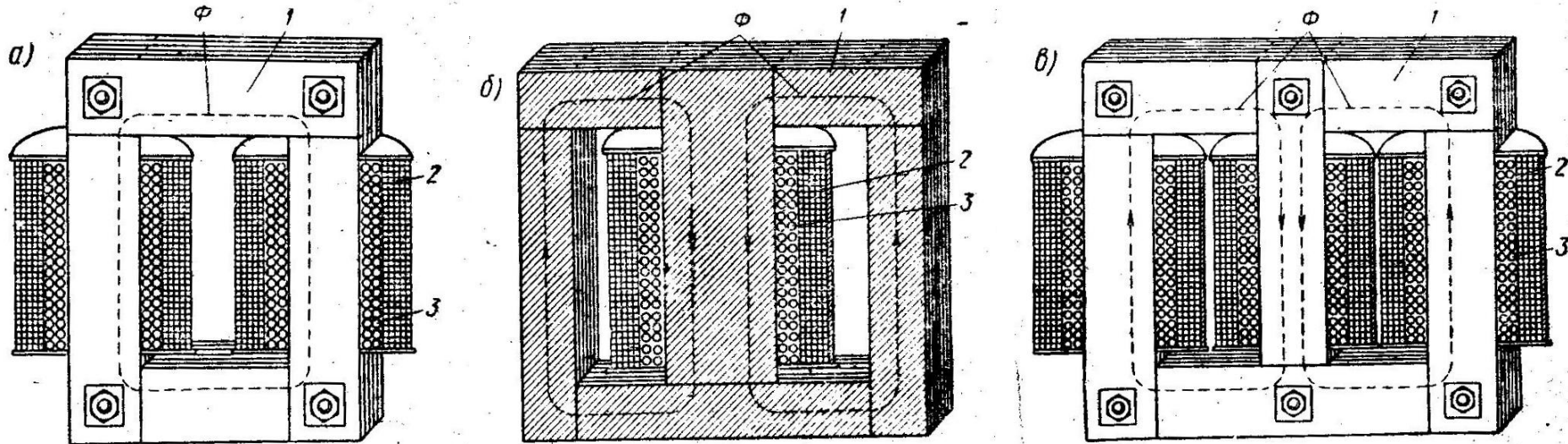
а – при увеличении амплитуды напряжения  $U_2$   
 б – при увеличении частоты напряжения  $U_2$

# Устройство трансформатора





# Типы трансформаторов



а – стержневой, б – броневой, в – трехфазный;  
1 – магнитопровод, 2 – витки первичной обмотки,  
3 – витки вторичной обмотки.

# СВАРОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Замкнутый магнито-провод (сердечник)

Рукоятка

Рым-болт

Крышка корпуса

Зажим для присоединения проводов сварочной цепи

Ручка

Вертикальный винт с ленточной резьбой

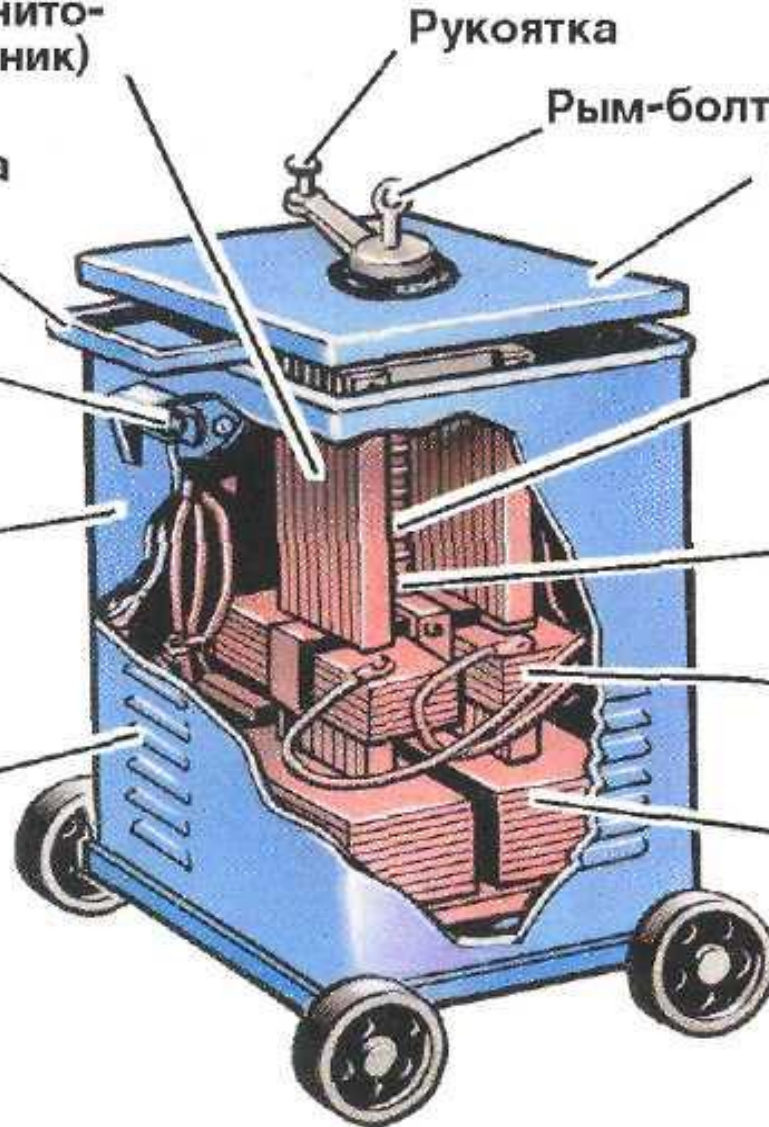
Корпус

Ходовая гайка винта

Жалюзи для охлаждения

Вторичная обмотка трансформатора

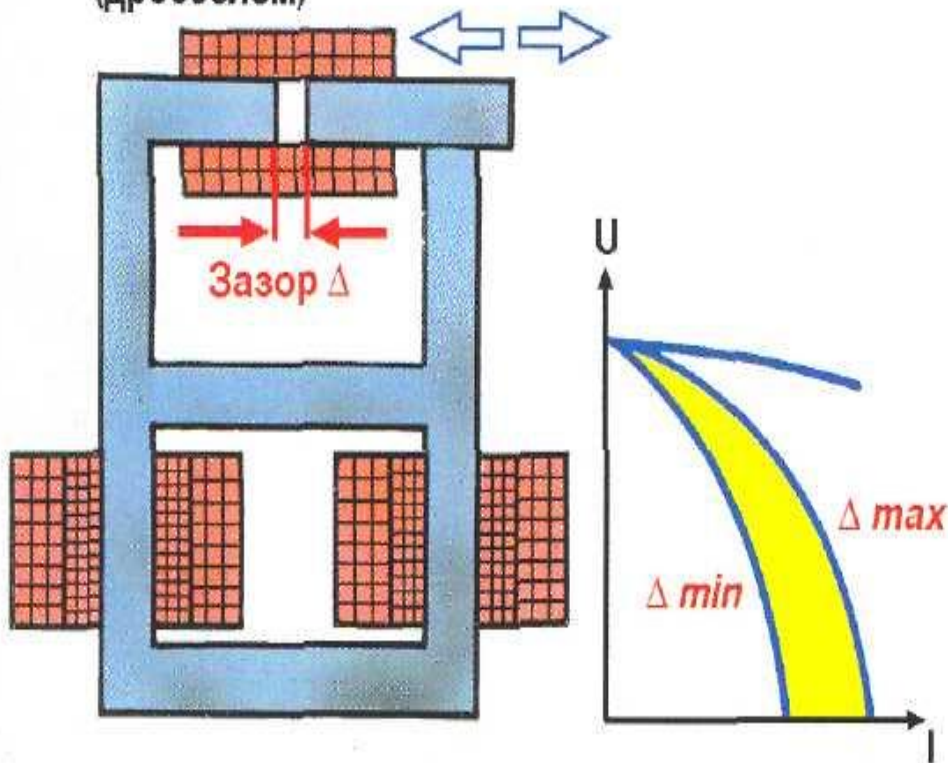
Первичная обмотка трансформатора



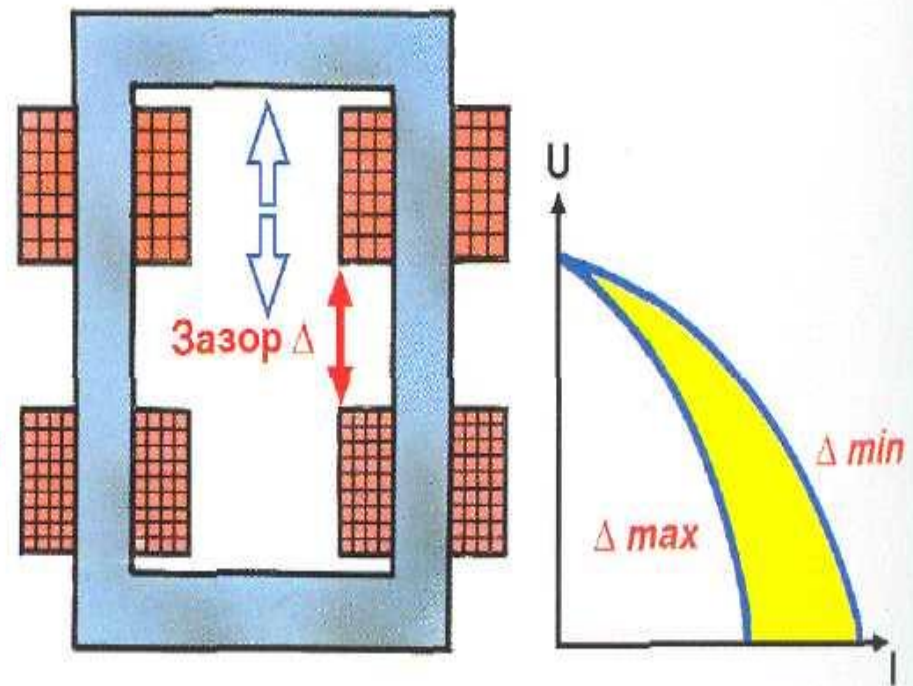


## ФОРМИРОВАНИЕ ПАДАЮЩЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Трансформатор с нормальным магнитным рассеянием и отдельной реактивной катушкой (дресселем)



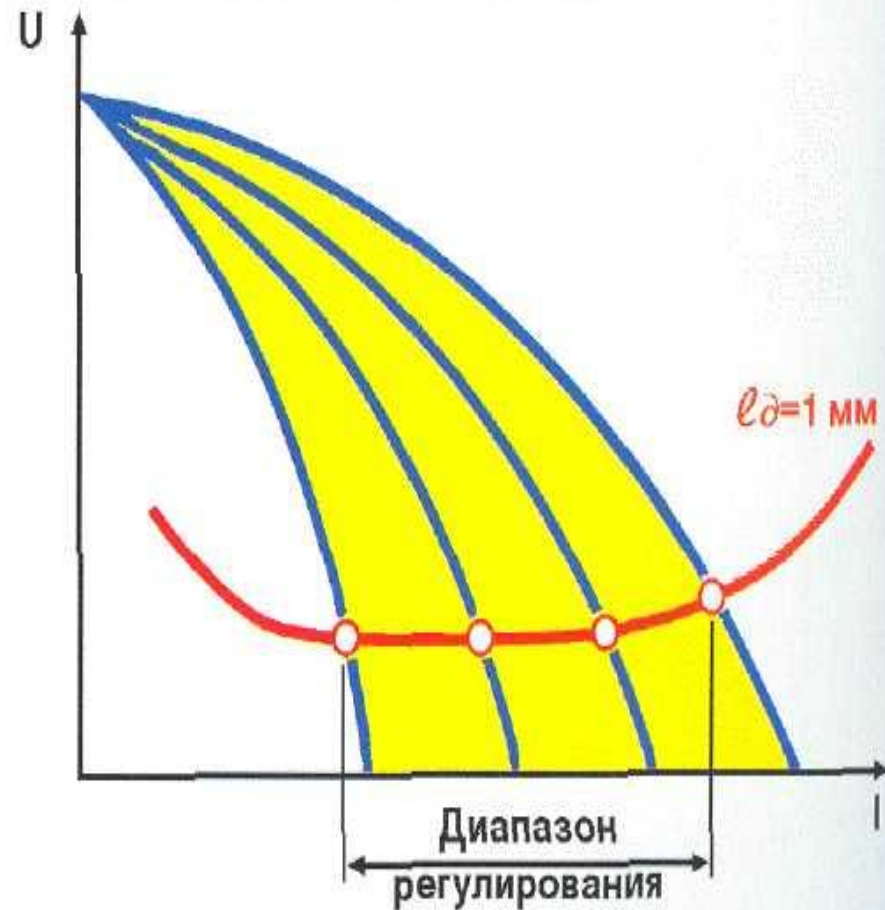
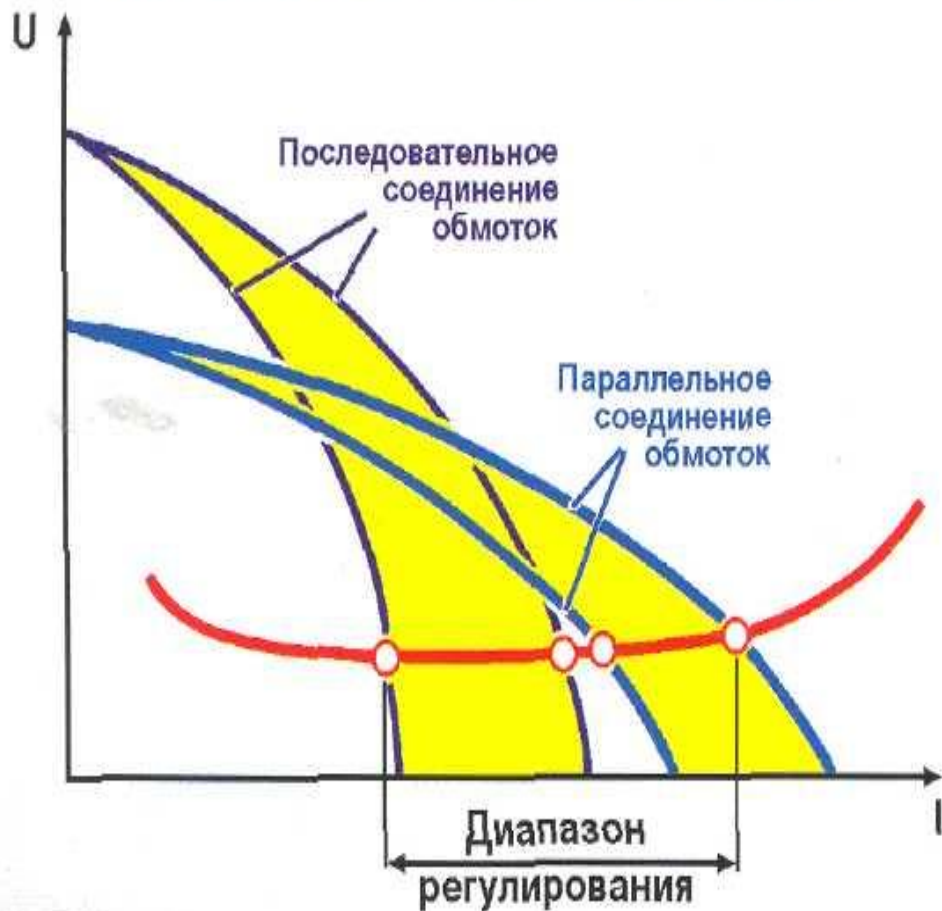
Трансформатор с увеличенным магнитным рассеянием и подвижными катушками



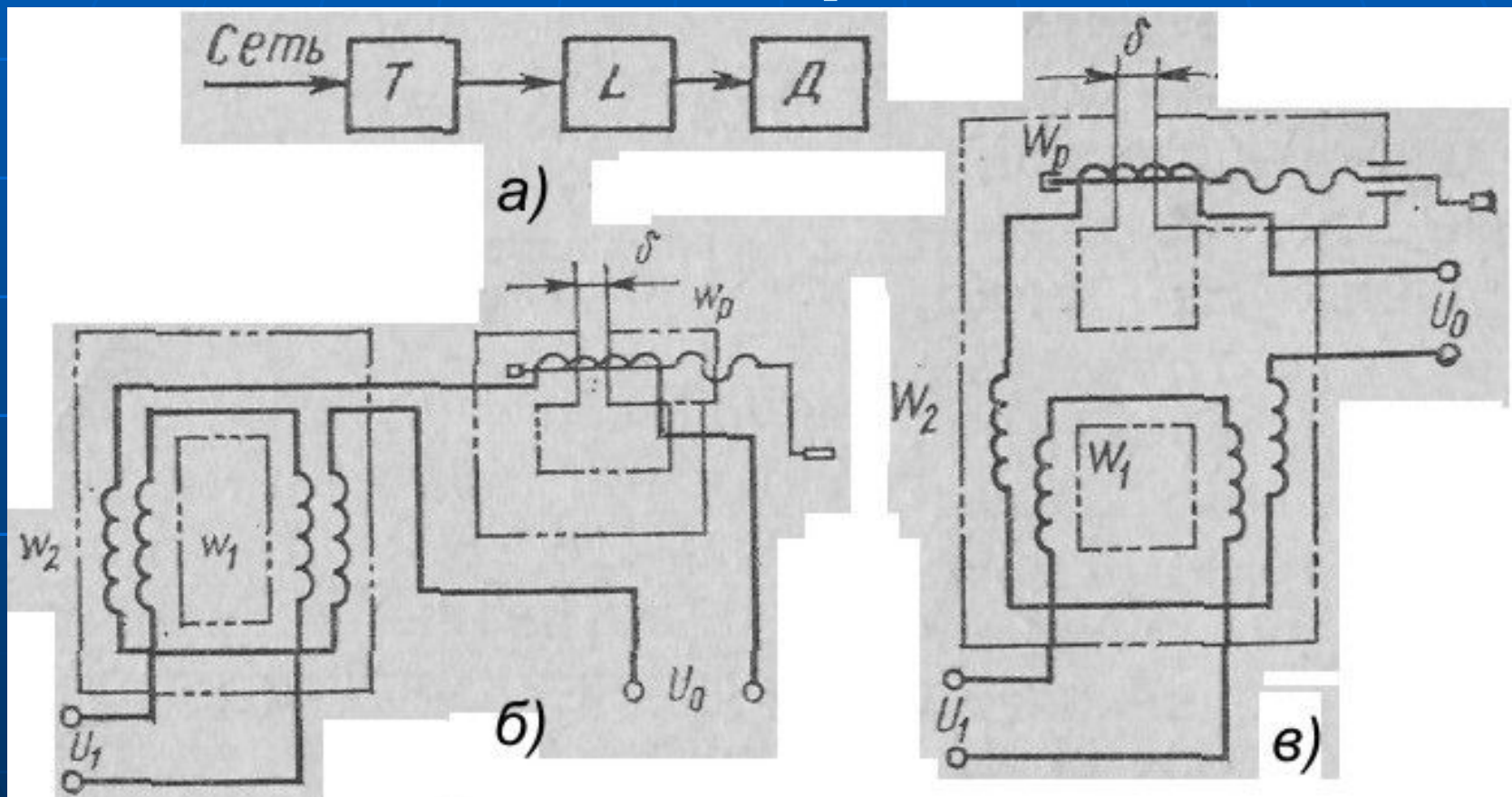
## РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА

Ступенчато: за счет переключения числа витков первичной и вторичной обмоток

Плавно: за счет изменения зазора в катушке дросселя или между обмотками



# Трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием



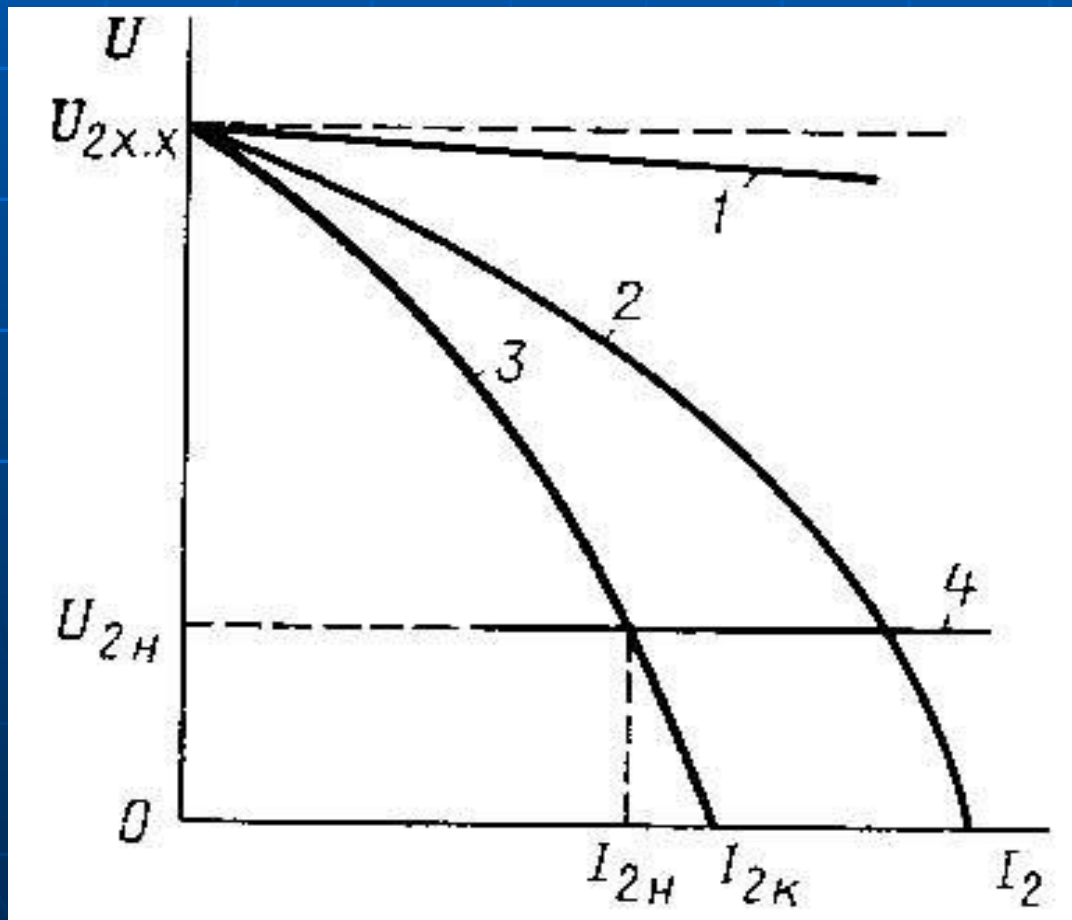
а — функциональная схема; б — электромагнитная схема трансформаторов с совмещенной реактивной катушкой; в — то же, с отдельной реактивной катушкой и воздушным зазором



■ Следующий слайд

■ Предыдущий слайд

# Вид внешних характеристик трансформатора с нормальным магнитным рассеянием

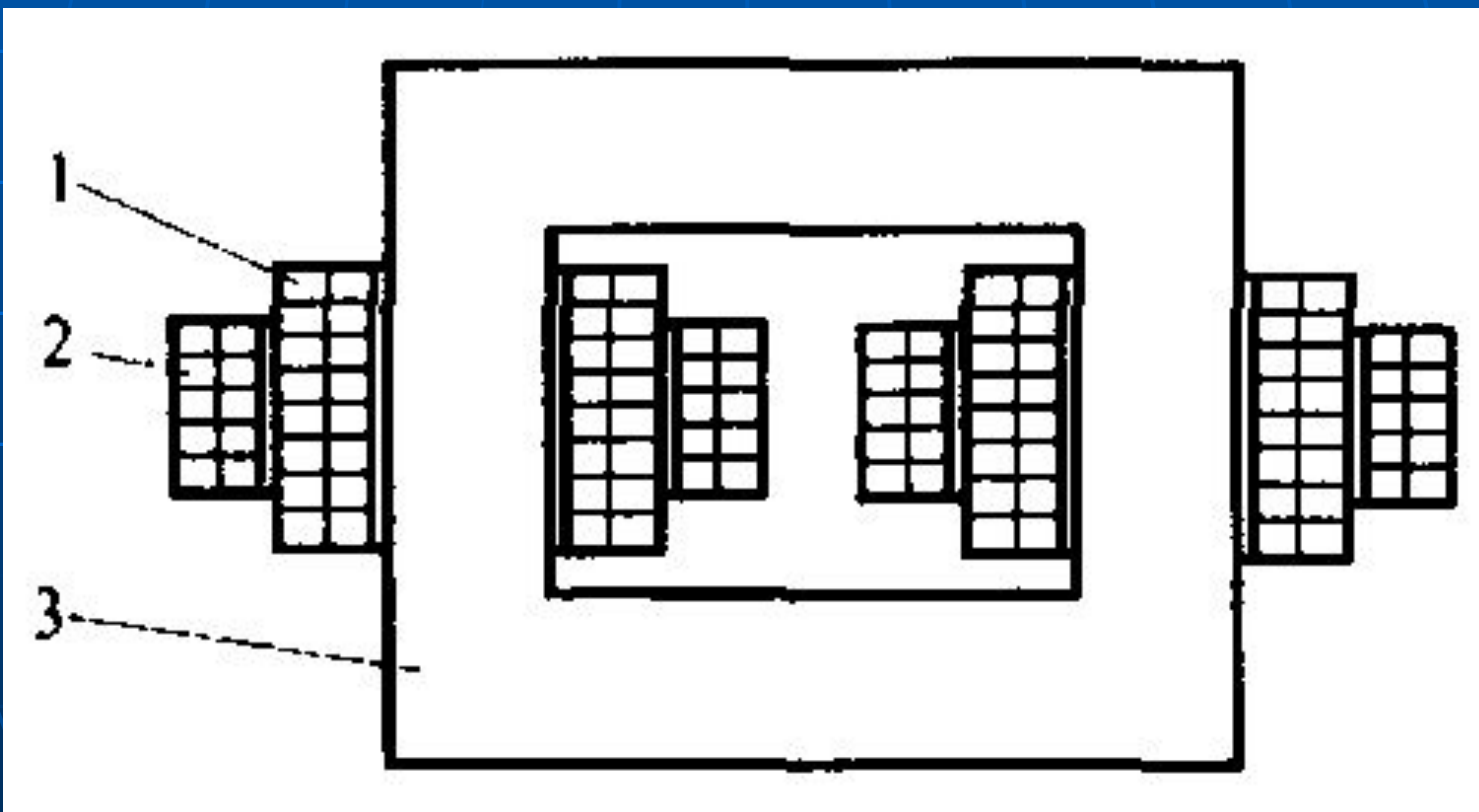


1 - без дросселя;  
2, 3 – соответственно для максимального и минимального значений длины воздушного зазора в сердечнике дросселя;  
4 - внешняя характеристика дуги;  
 $U_{2н}$  - номинальное напряжение трансформатора.

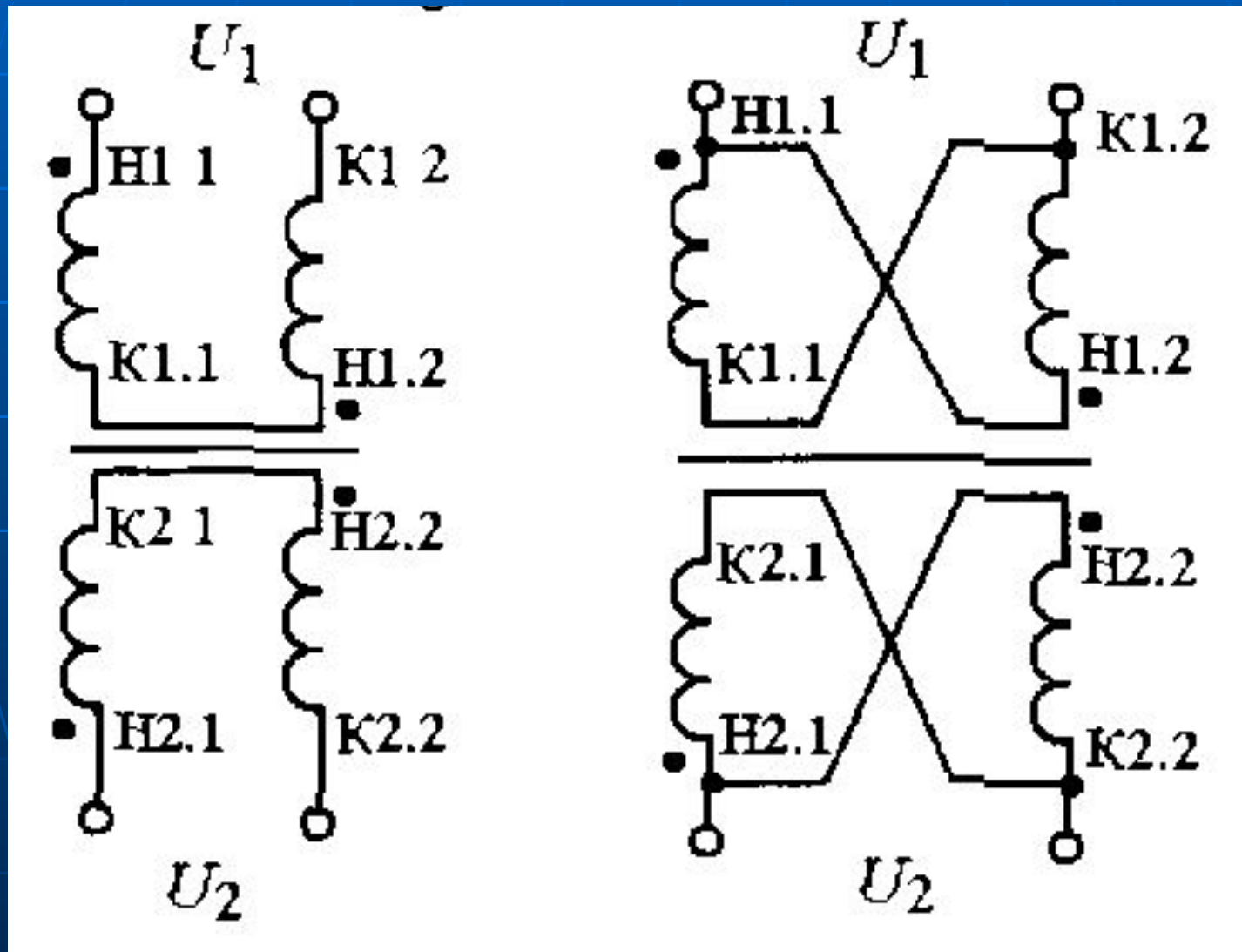
■ [Следующий слайд](#)

■ [Предыдущий слайд](#)

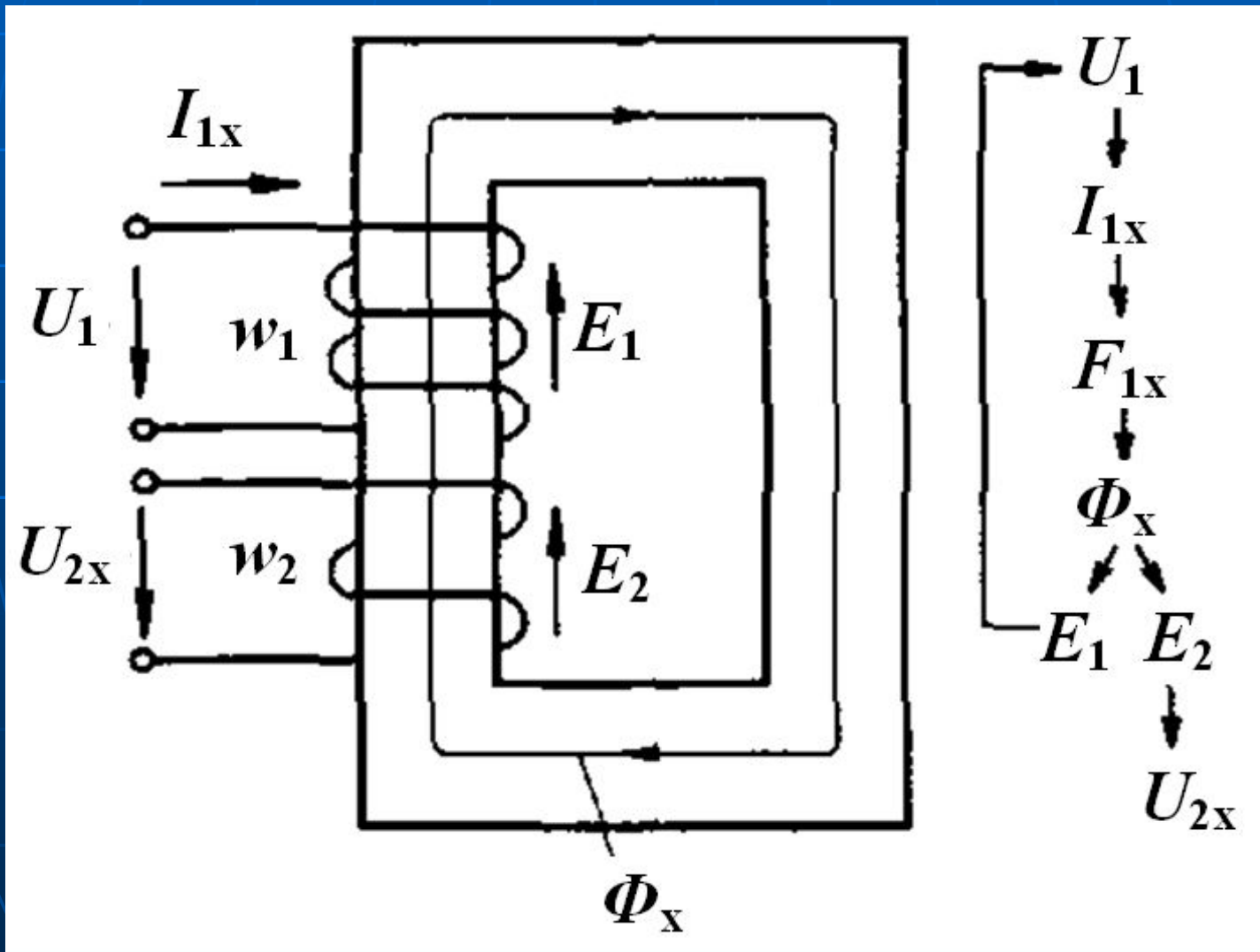
# Общее устройство трансформатора с нормальным магнитным рассеянием



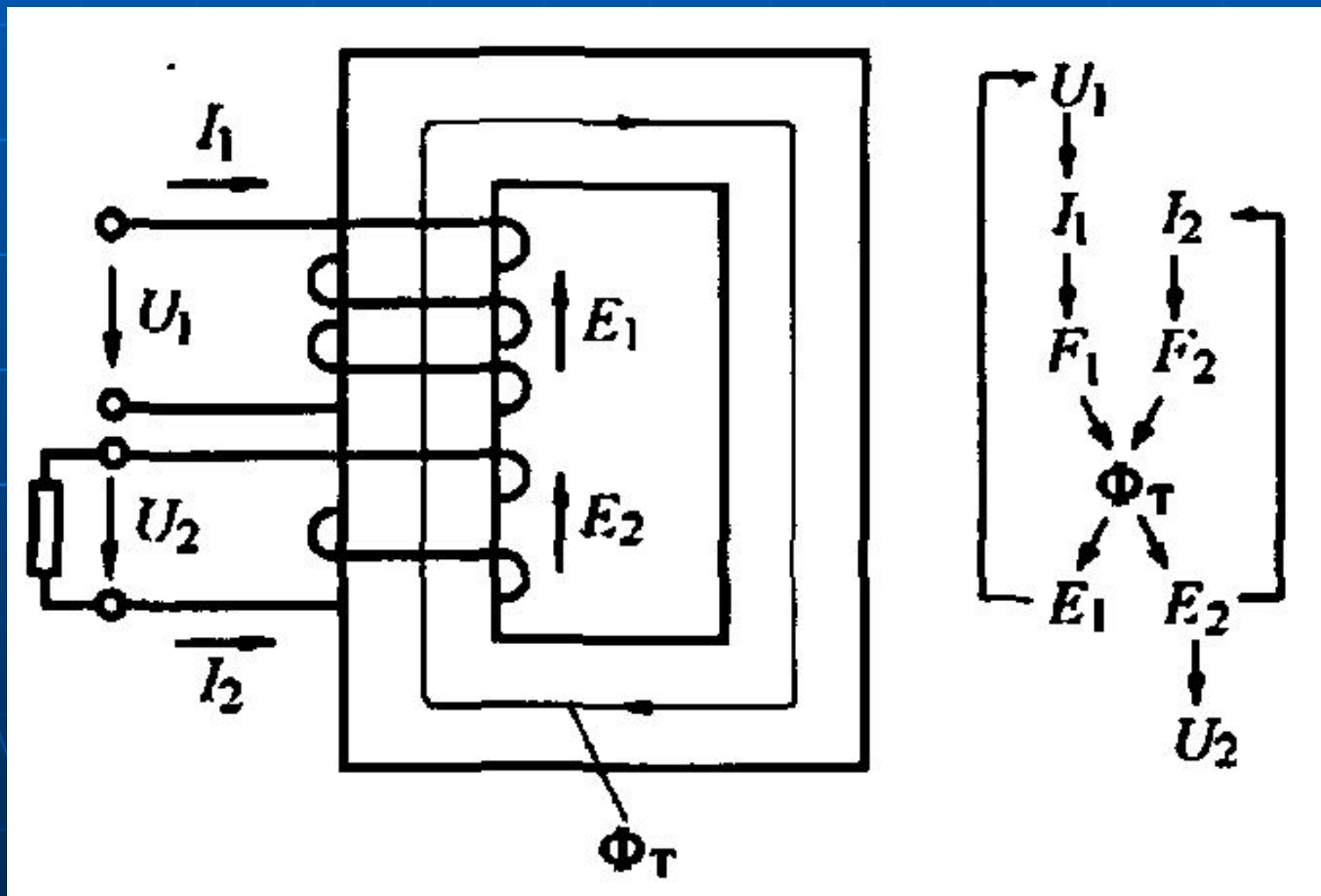
# Последовательное и параллельное соединение катушек трансформатора



# Работа трансформатора с нормальным рассеянием при холостом ходе

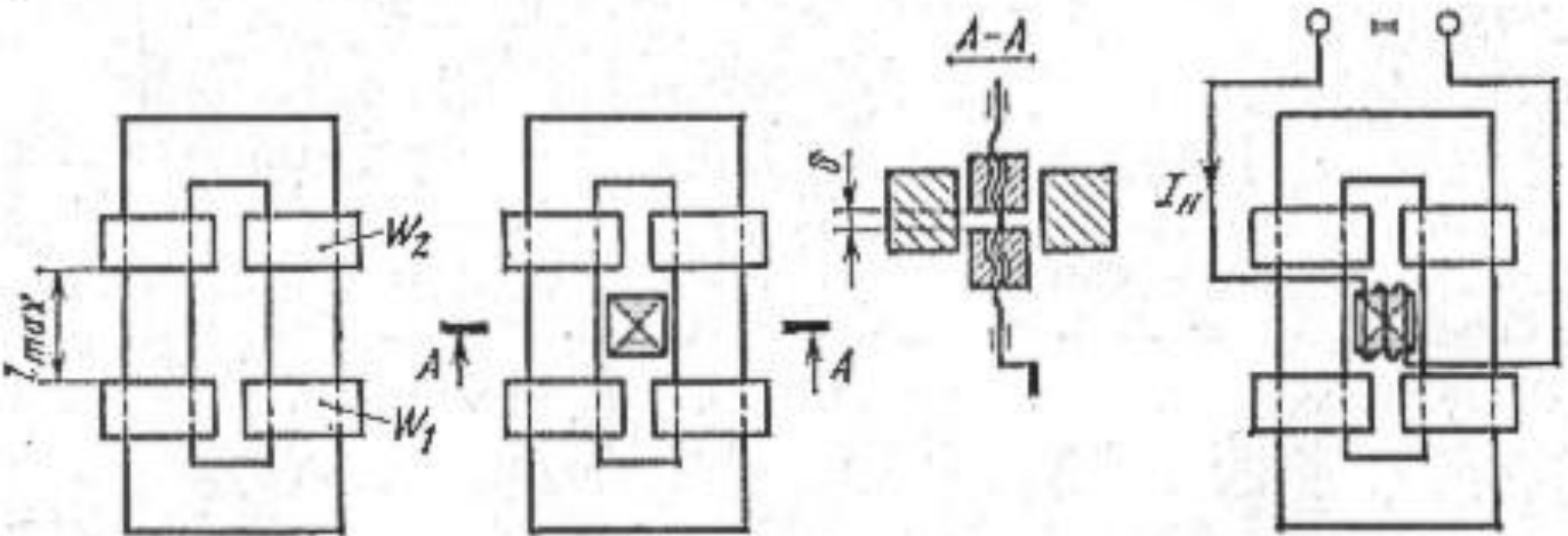


# Работа трансформатора с нормальным рассеянием при нагрузке



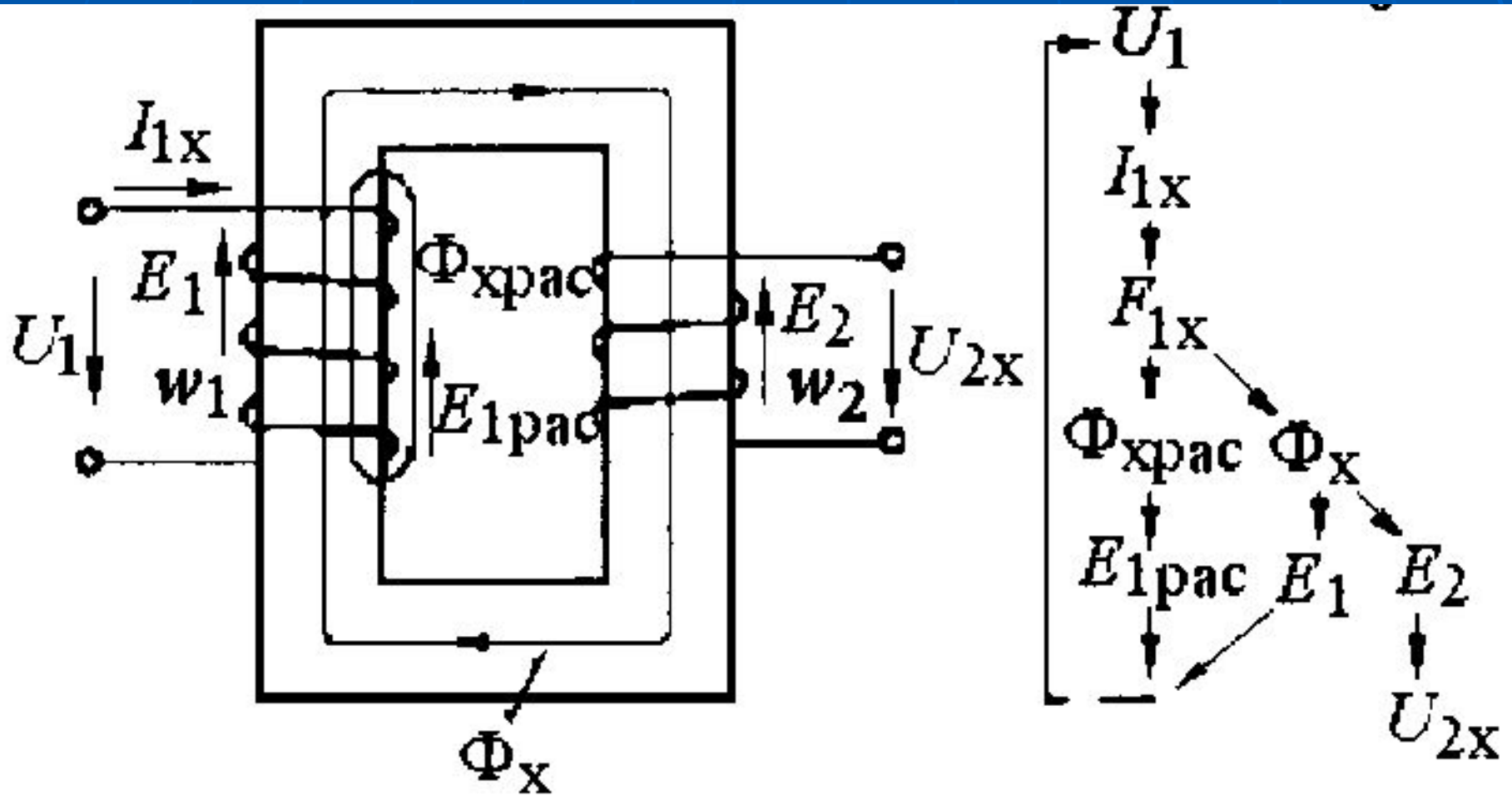


# Электромагнитные схемы трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием

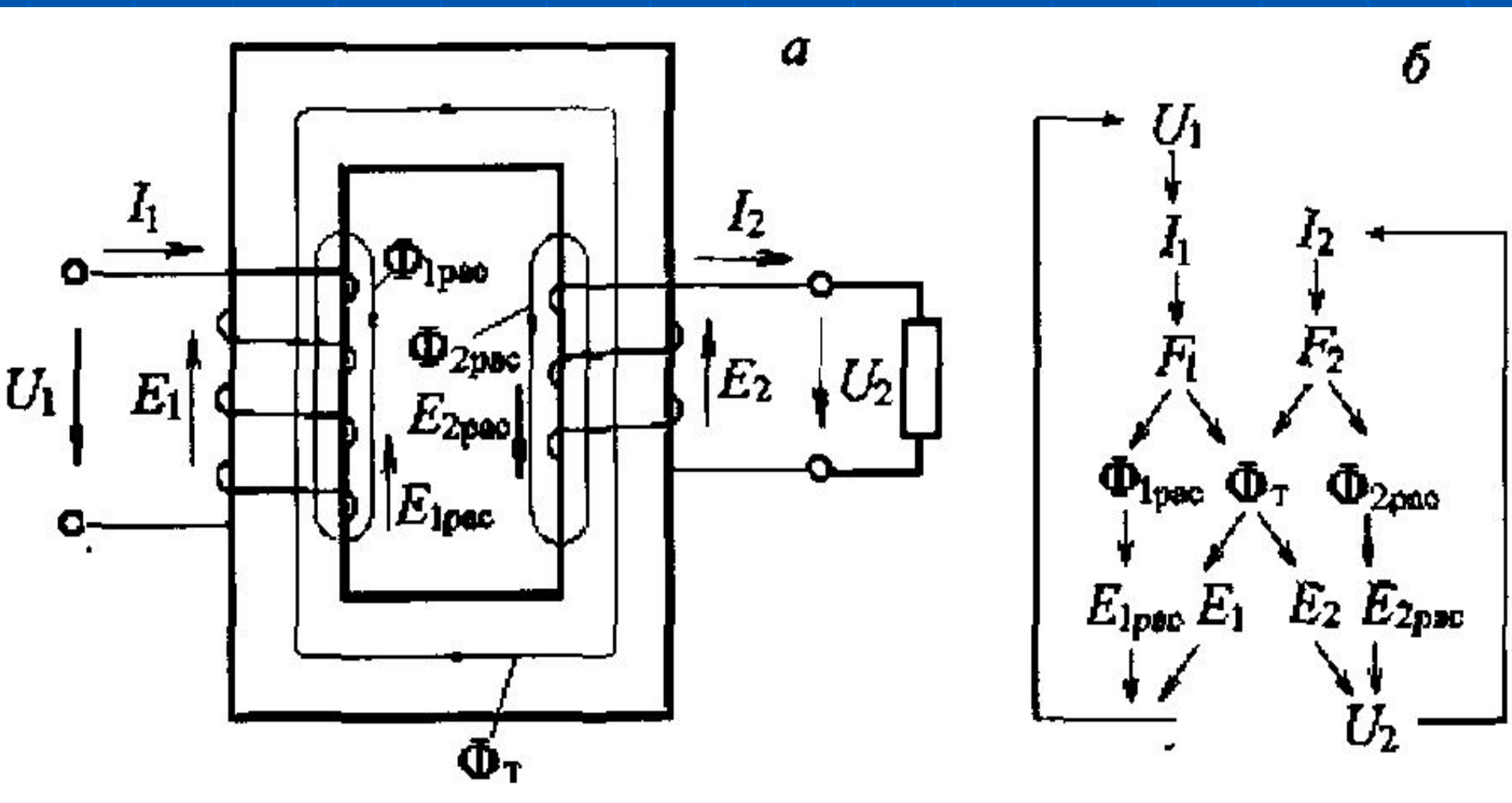


а — с раздвижными катушками типа ТД; б — с подвижными шунтами типа СТШ; в — с подмагничиваемыми шунтами типа ТДФ

# Работа трансформатора с увеличенным рассеянием при холостом ходе



# Работа трансформатора с увеличенным рассеянием при нагрузке

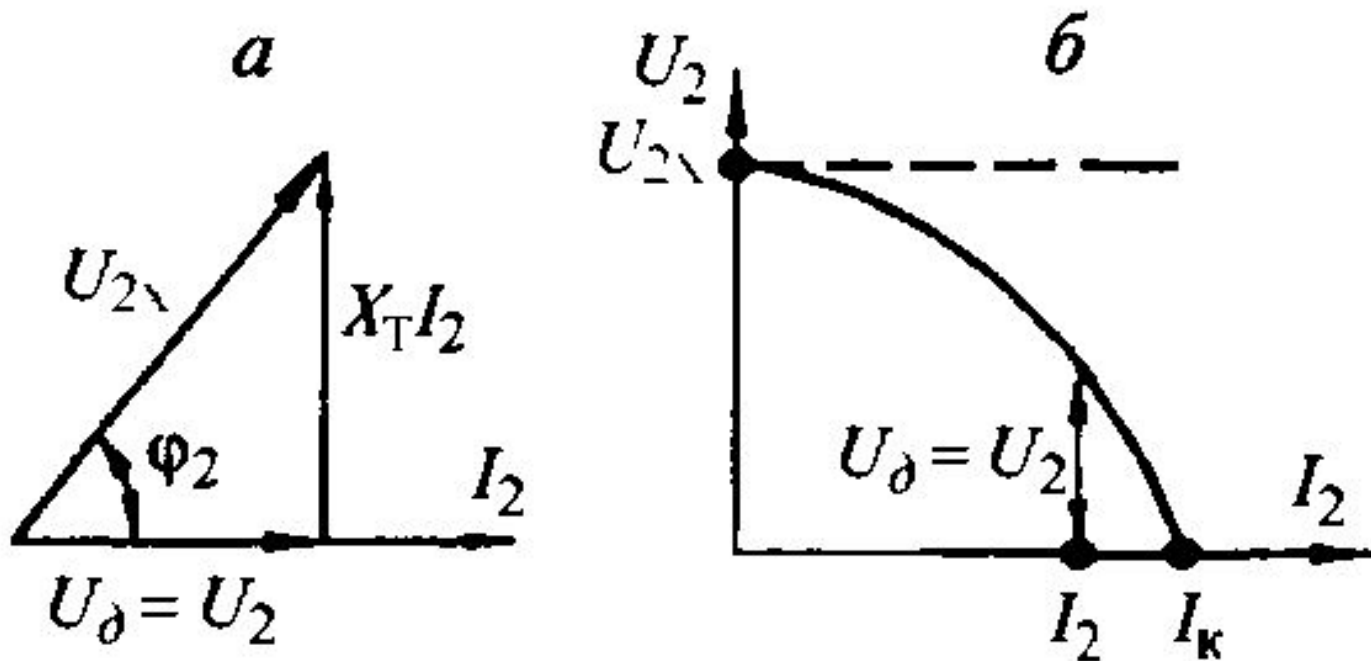


■ Следующий слайд

■ Предыдущий слайд

# Векторная диаграмма (а) и внешняя характеристика (б) трансформатора с увеличенным рассеянием

$$U_2 = \sqrt{U_{2x}^2 - (X_T I_2)^2}$$



■ Следующий слайд

■ Предыдущий слайд

# Регулирование режима в трансформаторе с увеличенным рассеянием

Общий принцип регулирования

$$I_2 = \frac{\dot{U}_{2x} - \dot{U}_d}{jX_T}$$

Потоки рассеяния первичной и вторичной обмотки

$$\Phi_{1 \text{ рас}} = \sqrt{2}I_1\omega_1/R_{M1 \text{ рас}}$$

$$\Phi_{2 \text{ рас}} = \sqrt{2}I_2\omega_2/R_{M2 \text{ рас}}$$

Противо-ЭДС рассеяния

$$E_{1 \text{ рас}} = 4,44f\omega_1 \frac{\sqrt{2}I_1\omega_1}{R_{M1 \text{ рас}}} = \frac{\omega\omega_1^2}{R_{M1 \text{ рас}}} I_1$$

$$E_{2 \text{ рас}} = 4,44f\omega_2 \frac{\sqrt{2}I_2\omega_2}{R_{M2 \text{ рас}}} = \frac{\omega\omega_2^2}{R_{M2 \text{ рас}}} I_2$$

ЭДС рассеяния пропорциональны токам

$$E_{1 \text{ рас}} = X_1 I_1,$$

$$E_{2 \text{ рас}} = X_2 I_2,$$

Индуктивное сопротивление трансформатора  $X_T$

$$X_T = X'_1 + X_2$$

$$X_1 = \frac{\omega\omega_1^2}{R_{M1 \text{ рас}}}$$

$$X_2 = \frac{\omega\omega_2^2}{R_{M2 \text{ рас}}}$$

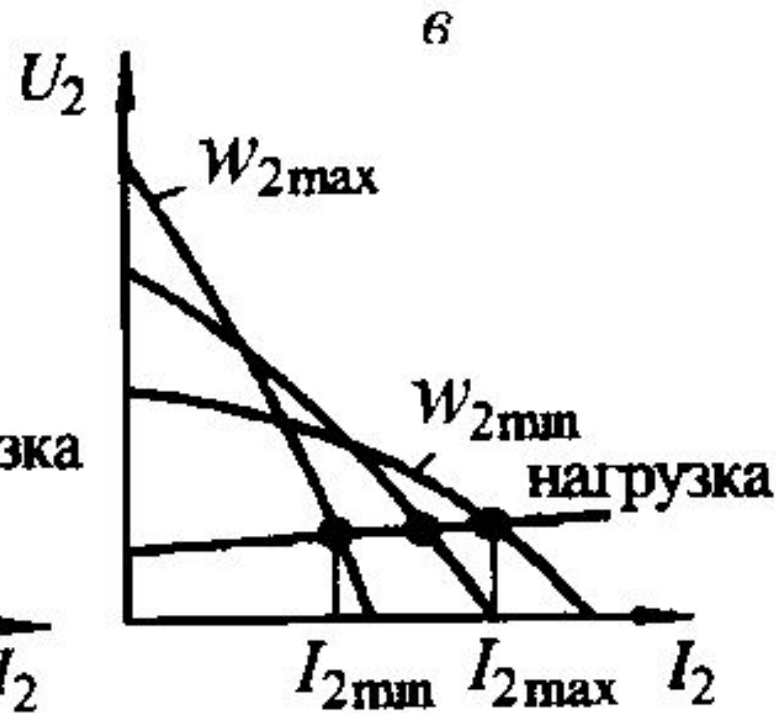
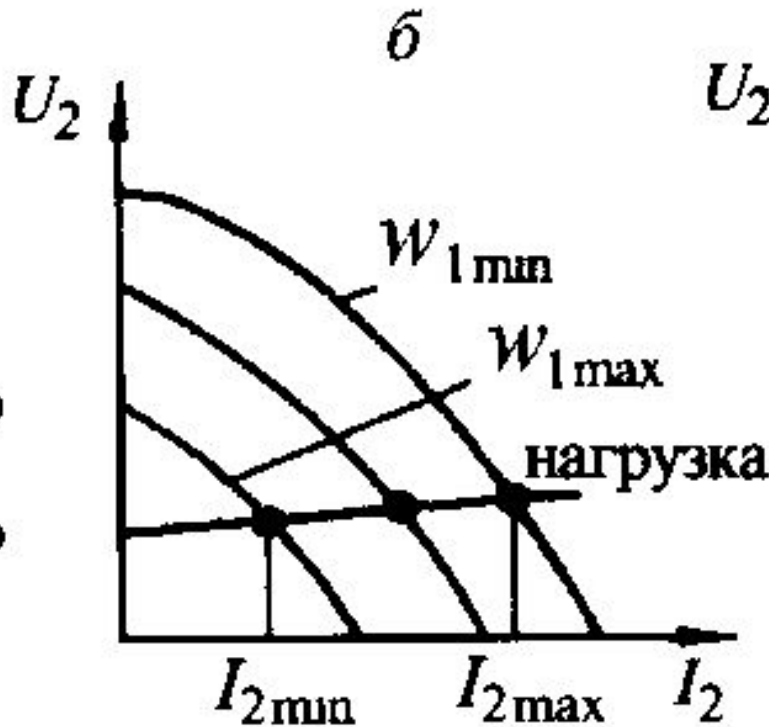
$$X'_1 = X_1/n^2 = \frac{\omega\omega_1^2}{R_{M1 \text{ рас}}} \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = \frac{\omega\omega_2^2}{R_{M1 \text{ рас}}}$$

$$X_T = \omega\omega_2^2 \left( \frac{1}{R_{M1 \text{ рас}}} + \frac{1}{R_{M2 \text{ рас}}} \right)$$

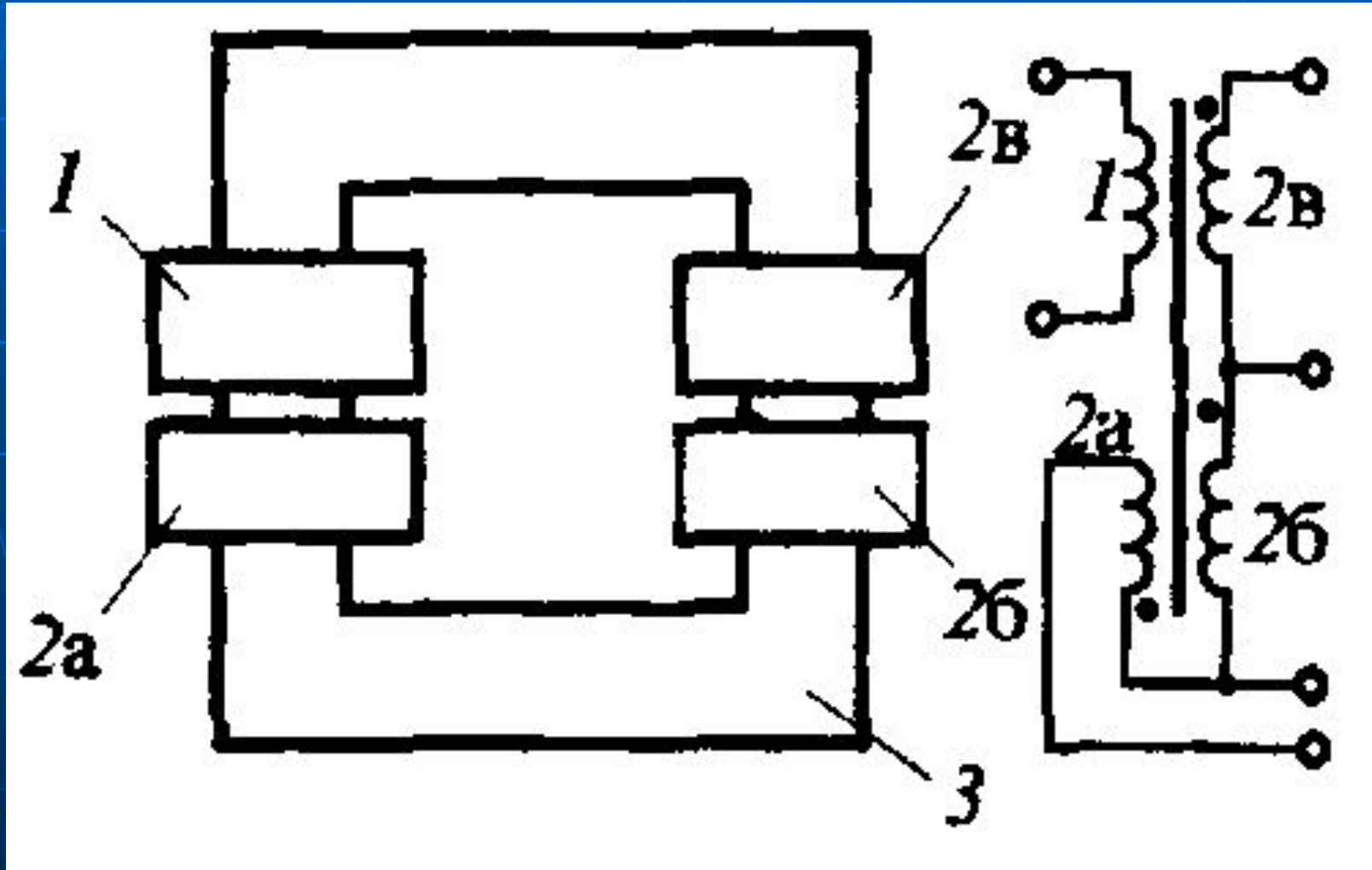


# Витковое регулирование трансформаторов с увеличенным рассеянием

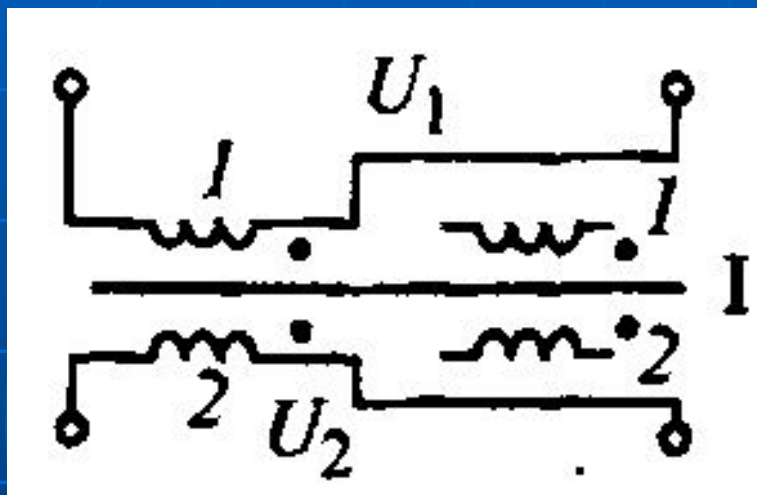
$$w_1 \uparrow \Rightarrow U_{2x} \downarrow \Rightarrow I_2 \downarrow$$



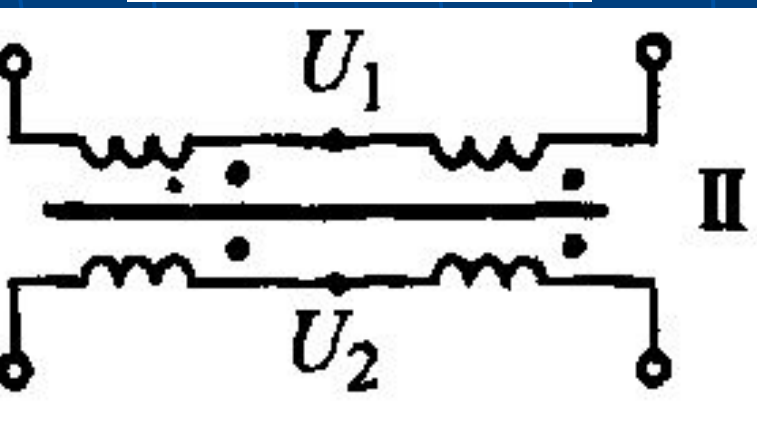
# Изменение степени разнесения обмоток



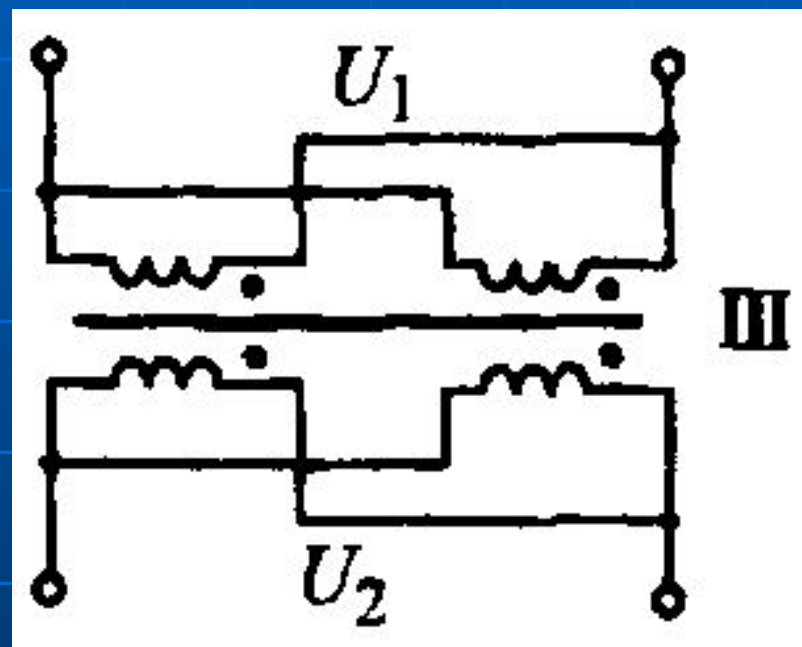
# Изменение соединения катушек первичной и вторичной обмоток



$$X_{T1} = X'_1 + X_2$$



$$X_{T2} = 2X'_1 + 2X_2 = 2X_{T1}$$



$$G_{T3} = \frac{1}{X_{T3}} = \frac{2}{X'_1 + X_2}$$

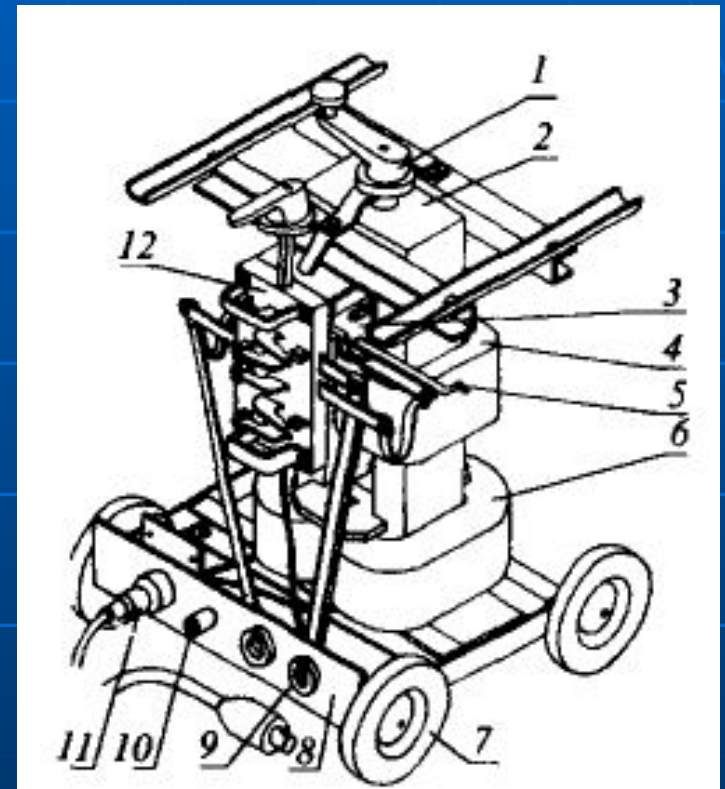
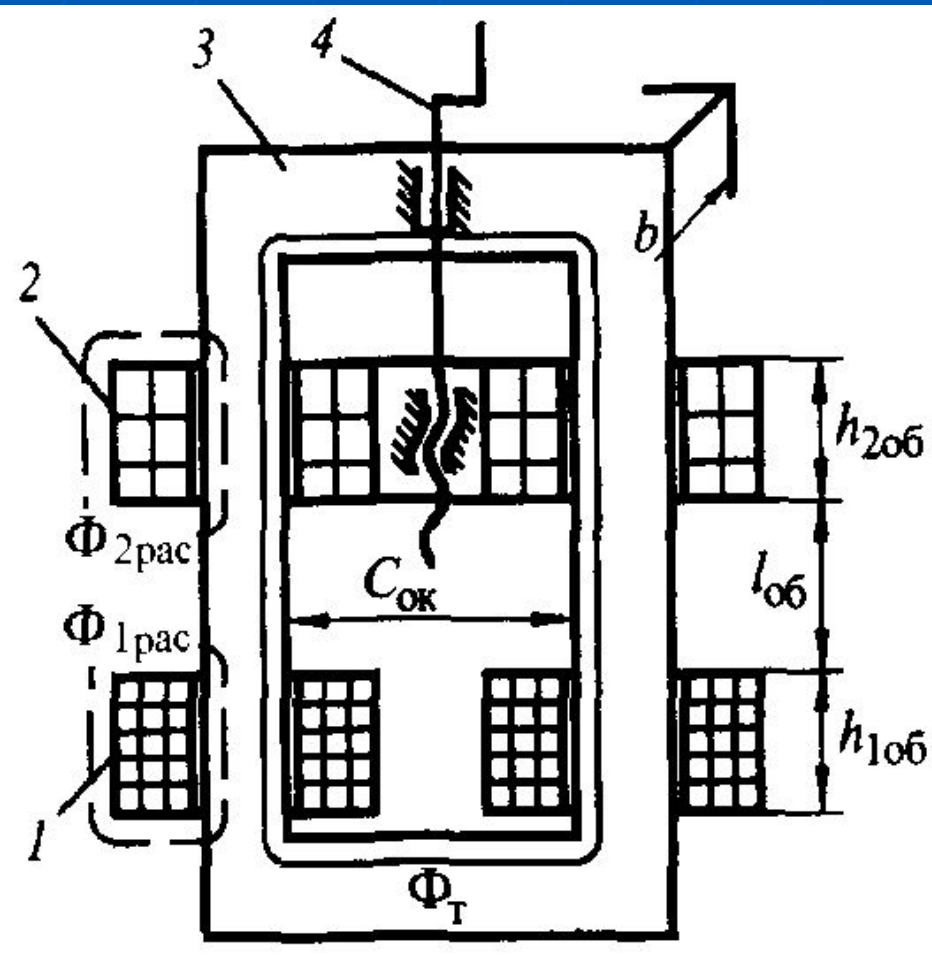
$$X_{T3} = (X'_1 + X_2)/2 = X_{T1}/2$$

$$I_{2 \max} / I_{2 \min} \approx X_{T2} / X_{T3} = 4$$

■ Следующий слайд

■ Предыдущий слайд

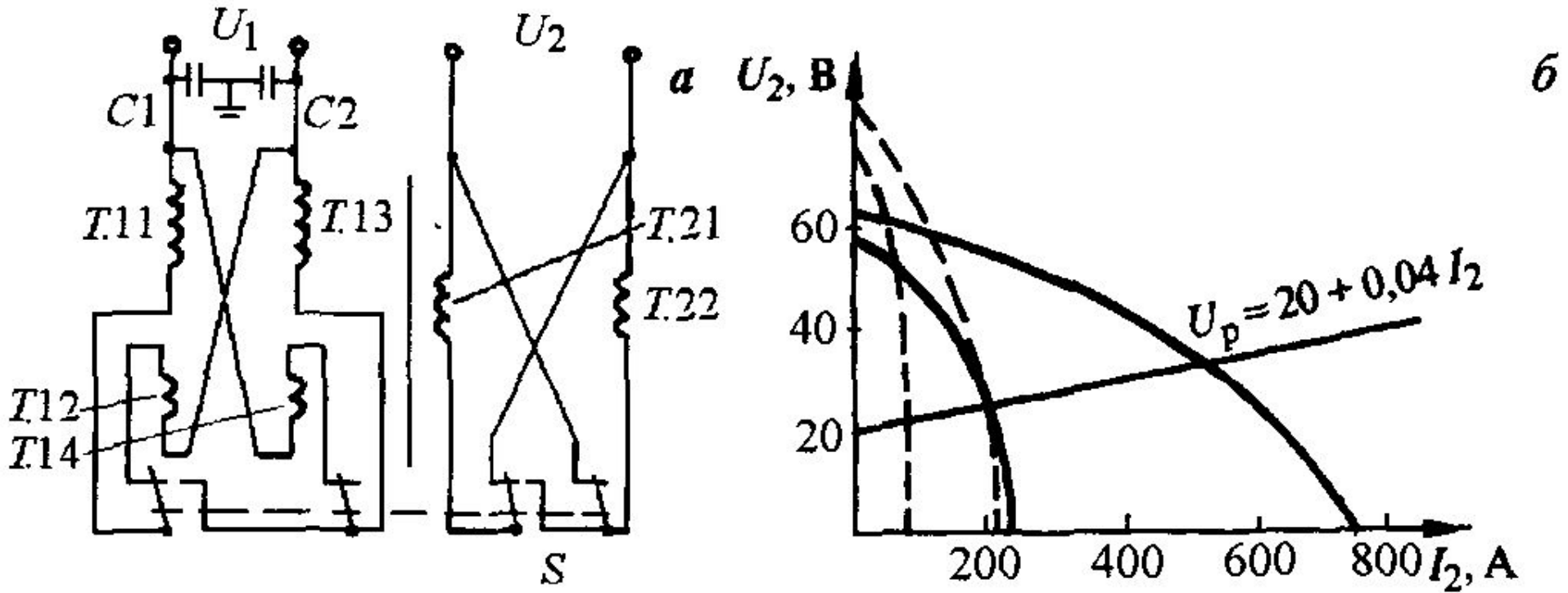
# Трансформатор с подвижными обмотками типа ТДМ-401



$l_{об} \uparrow \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \Phi_{1\text{ рас}} \uparrow \\ \Rightarrow \Phi_{2\text{ рас}} \uparrow \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi_{\Sigma 2} \downarrow \Rightarrow U_2 \downarrow \Rightarrow I_2 \downarrow$

$$X_{Тпо} = 2 \cdot 10^{-6} \omega_2^2 \left( 1,5 + \frac{b}{C_{ок}} \right) (h_{1об} + h_{2об} + l_{об})$$

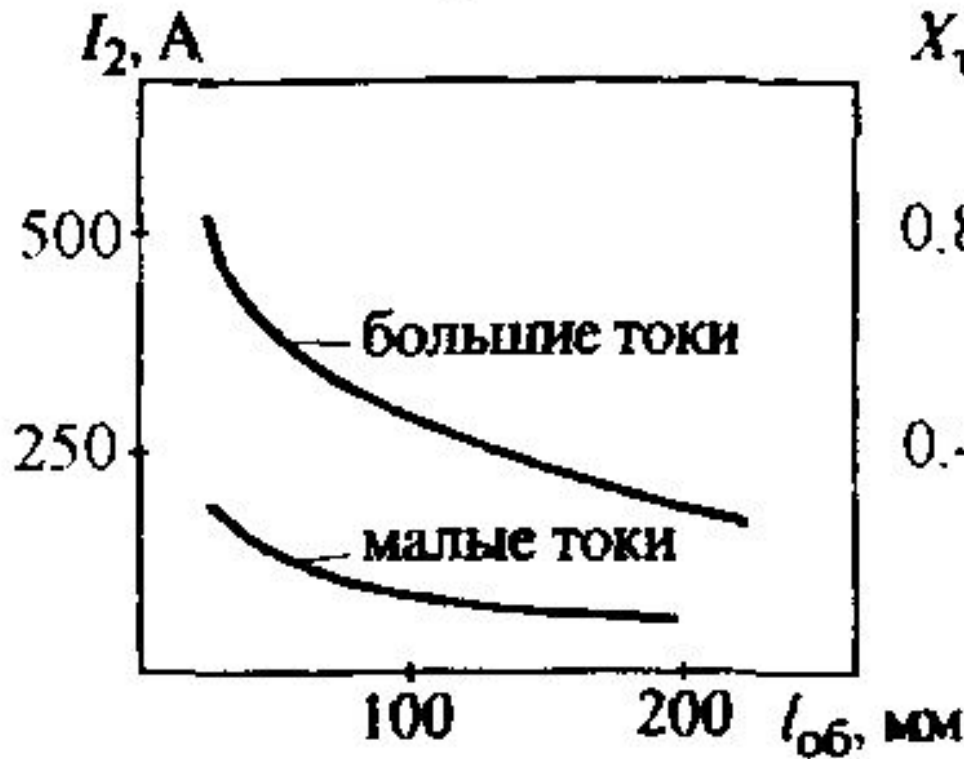
# Принципиальная схема (а) и внешние характеристики (б) трансформатора ТДМ-401



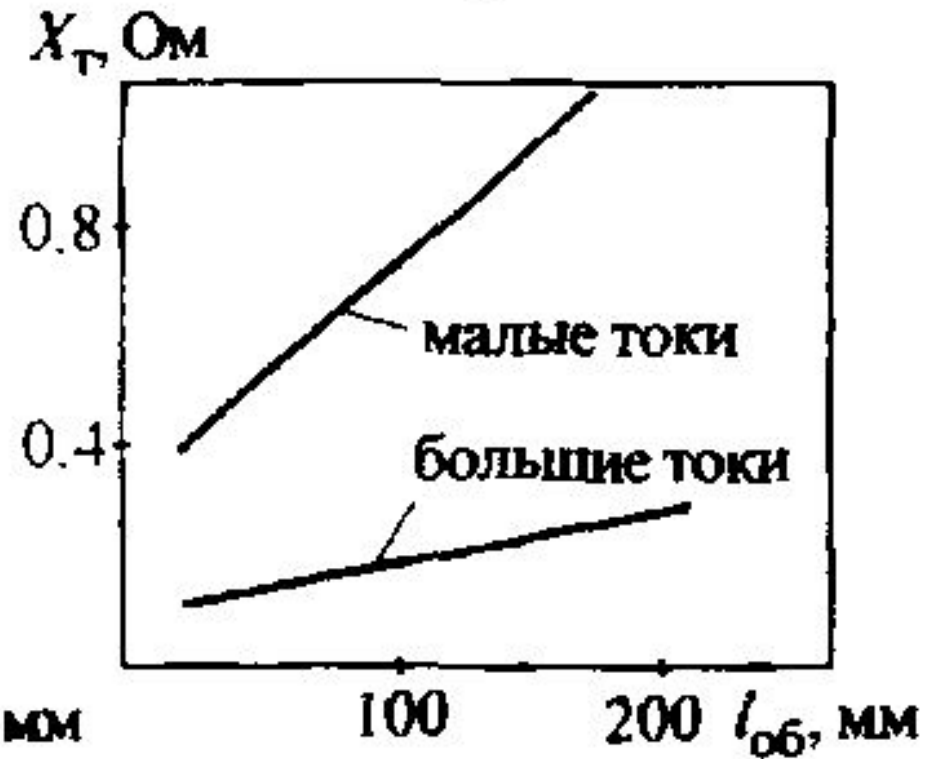


# Регулировочные характеристики трансформатора ТДМ-401

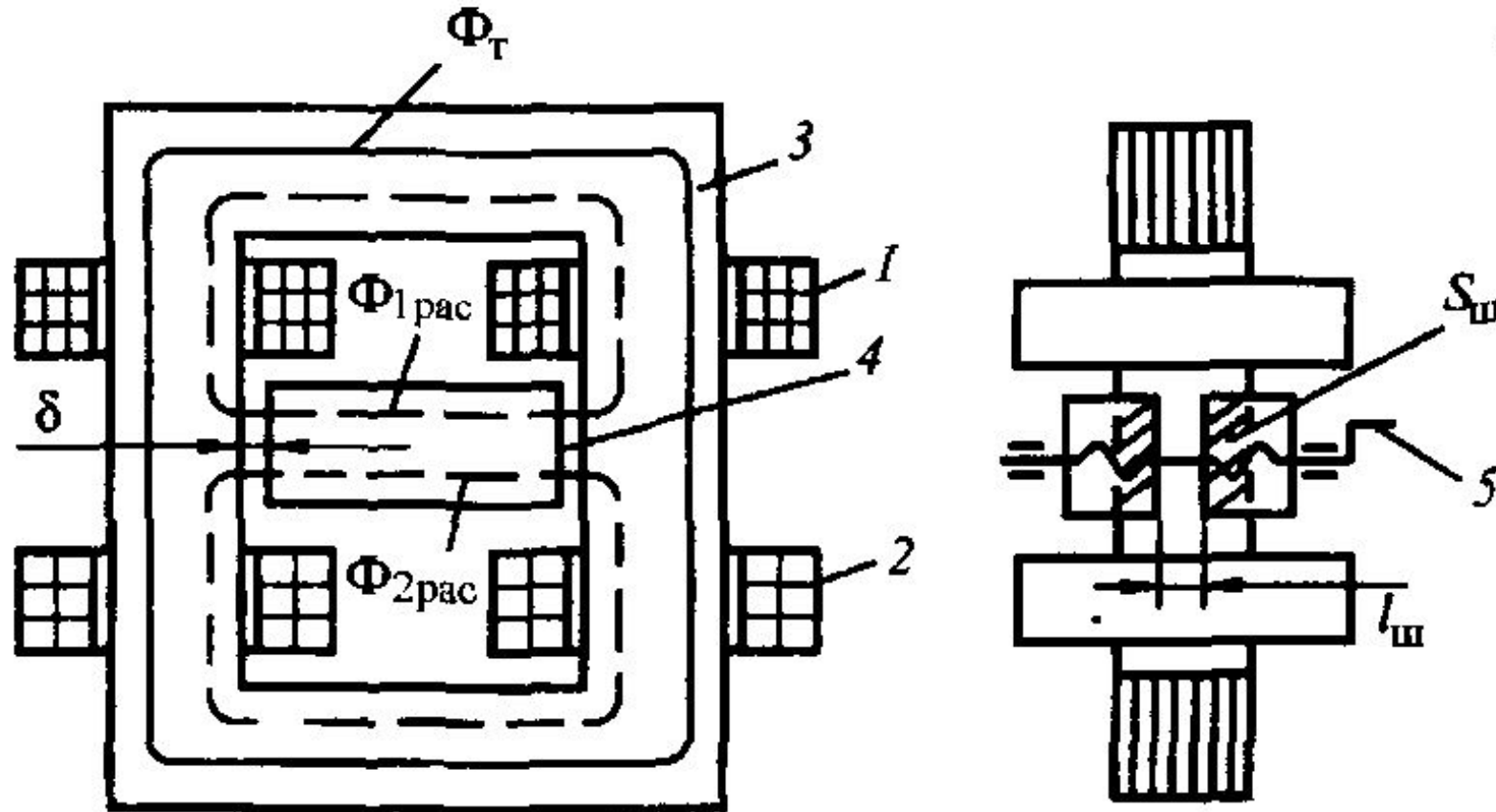
**а**



**б**

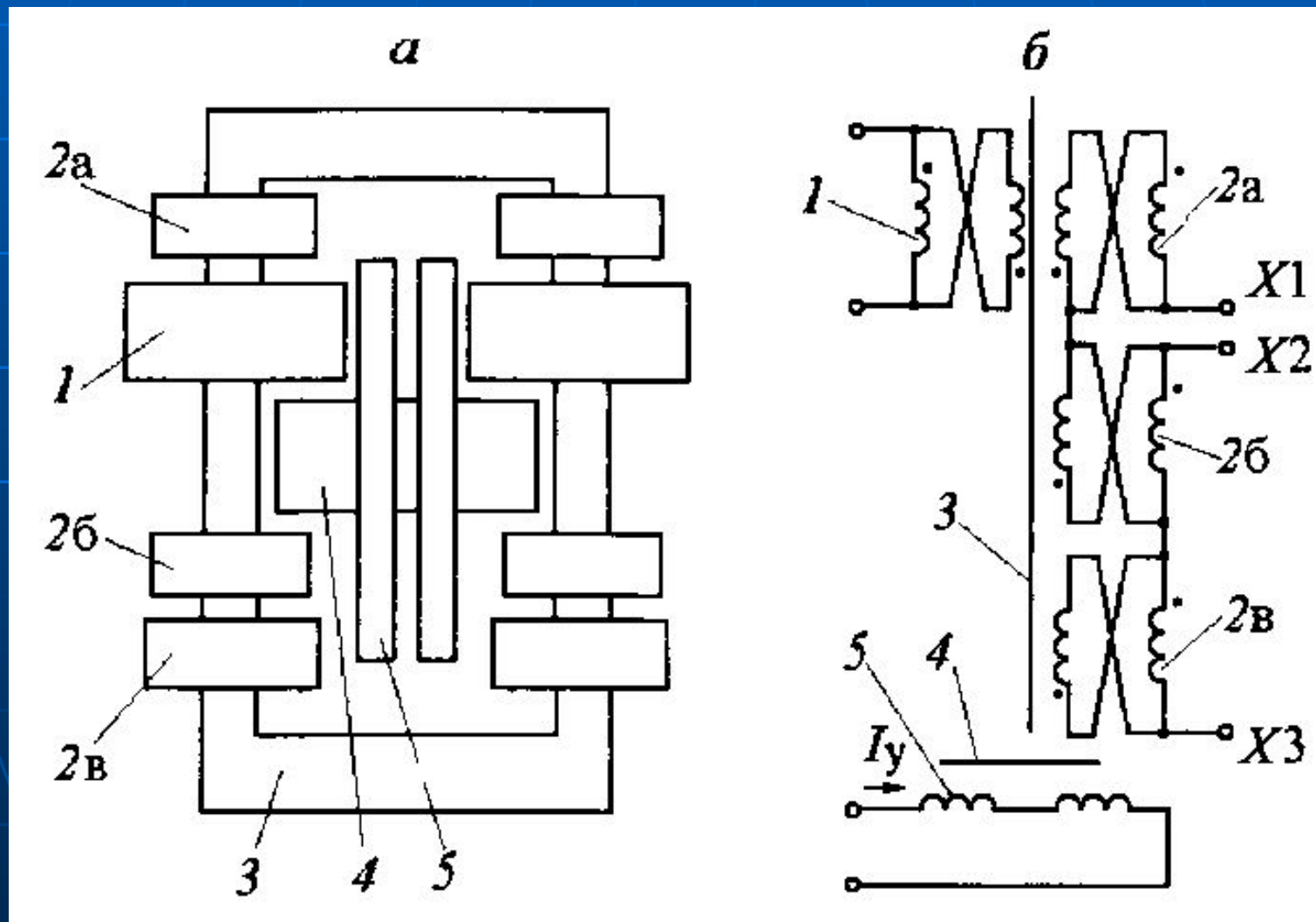


# Трансформатор с подвижным магнитным шунтом

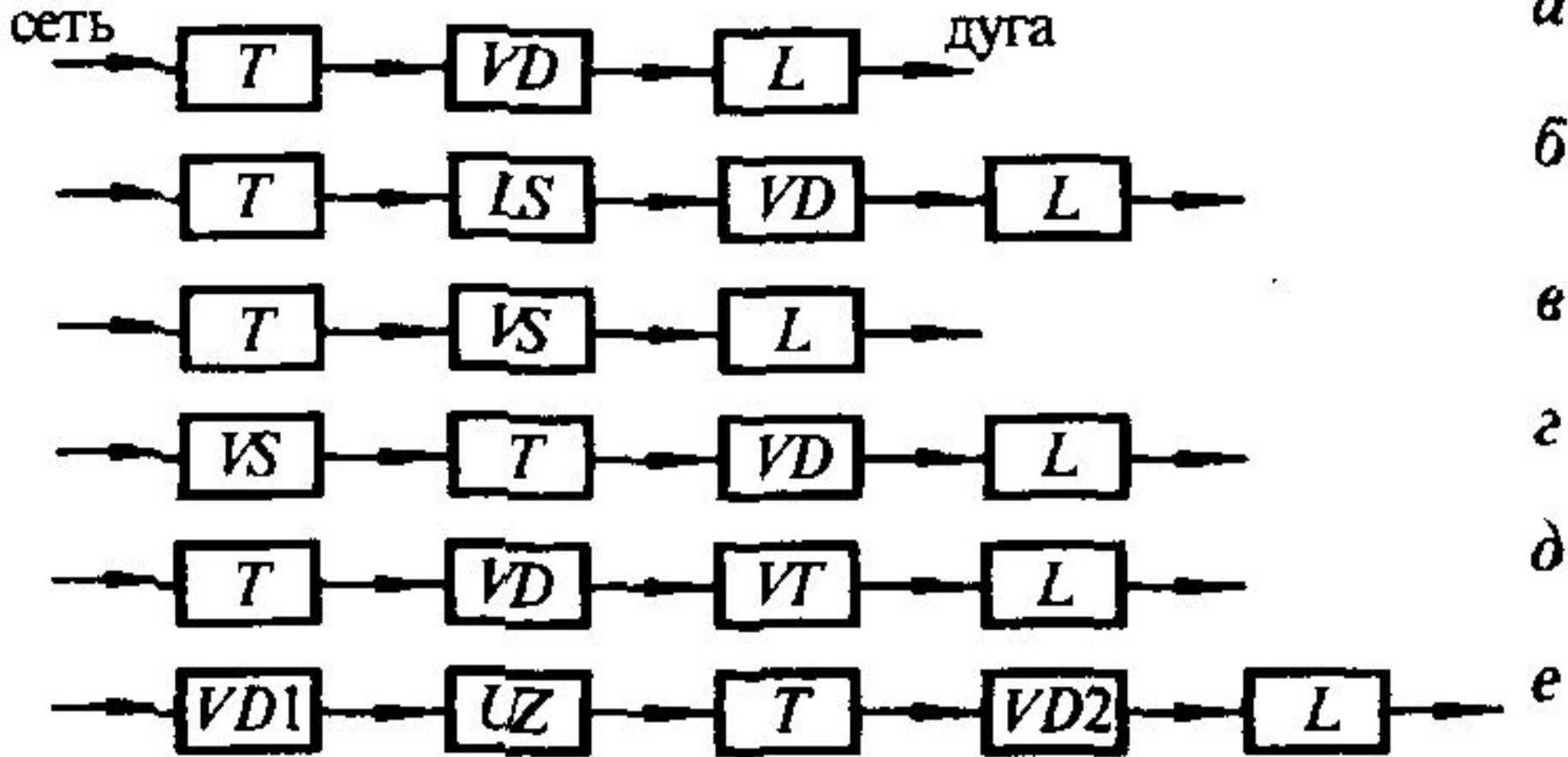


$$S_{\text{ш}} \downarrow \Rightarrow R_{\text{м рас}} \uparrow \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \Phi_{1 \text{ рас}} \downarrow \\ \Rightarrow \Phi_{2 \text{ рас}} \downarrow \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi_{\Sigma 2} \uparrow \Rightarrow U_2 \uparrow \Rightarrow I_2 \uparrow$$

# Трансформатор с ПОДМАГНИЧИВАЕМЫМ ШУНТОМ



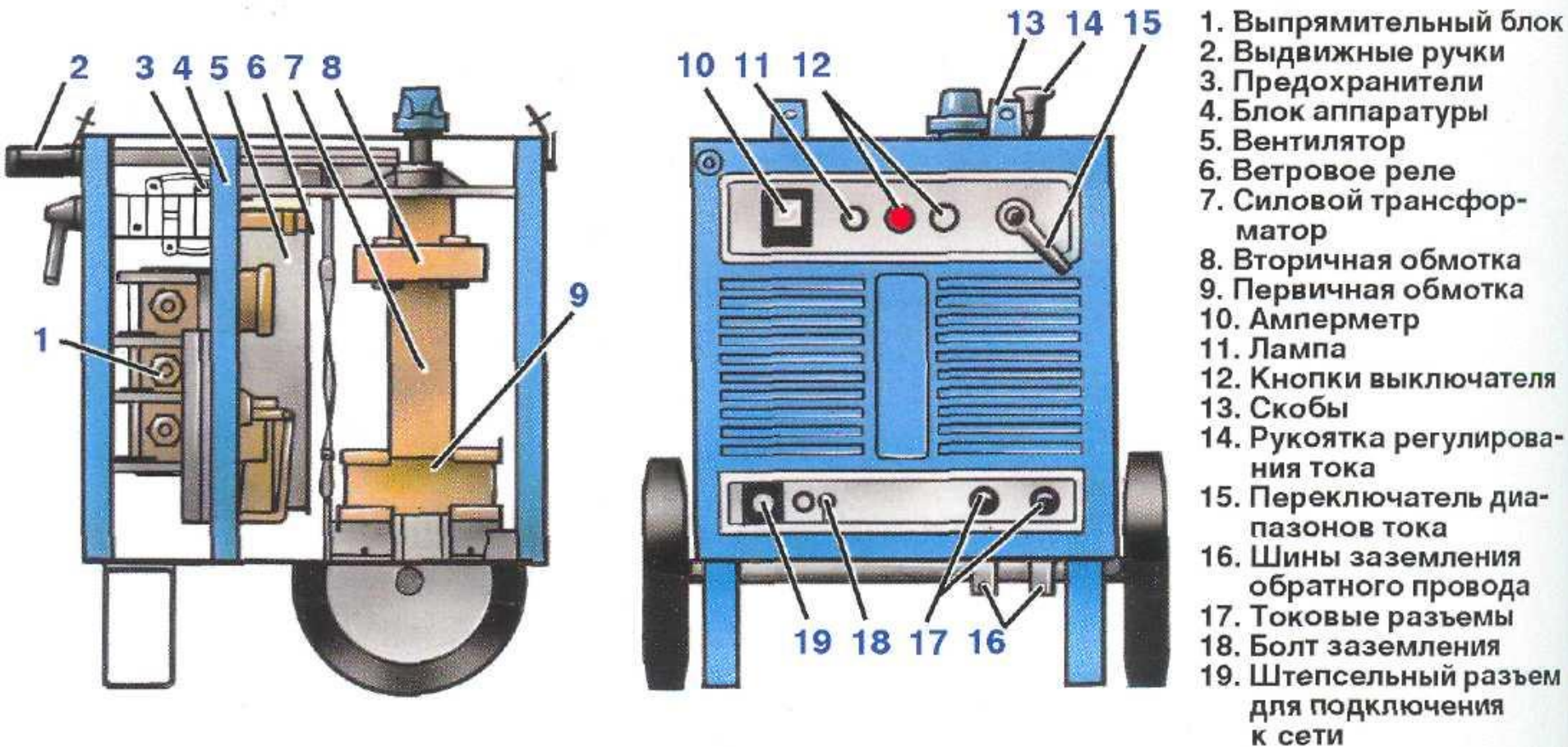
# Сварочные выпрямители





## СВАРОЧНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

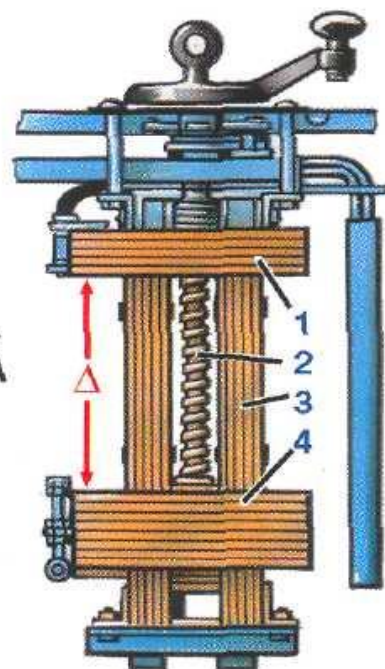
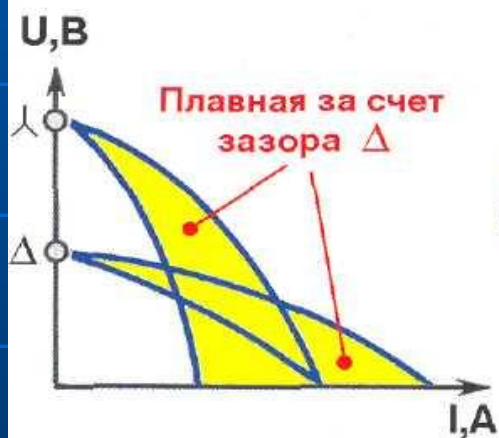
Преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный напряжением и величиной, необходимыми для сварки. Конструктивно состоит из трансформатора и выпрямительного блока





## НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

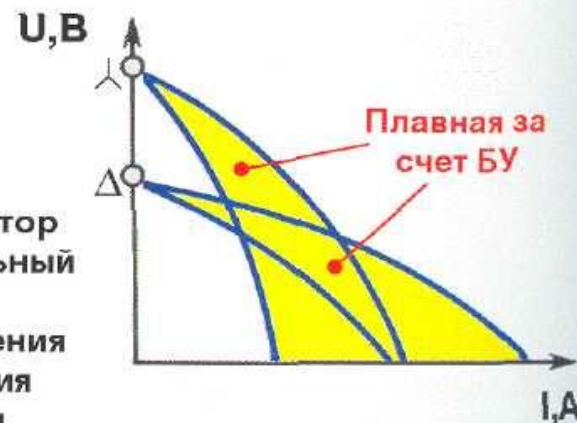
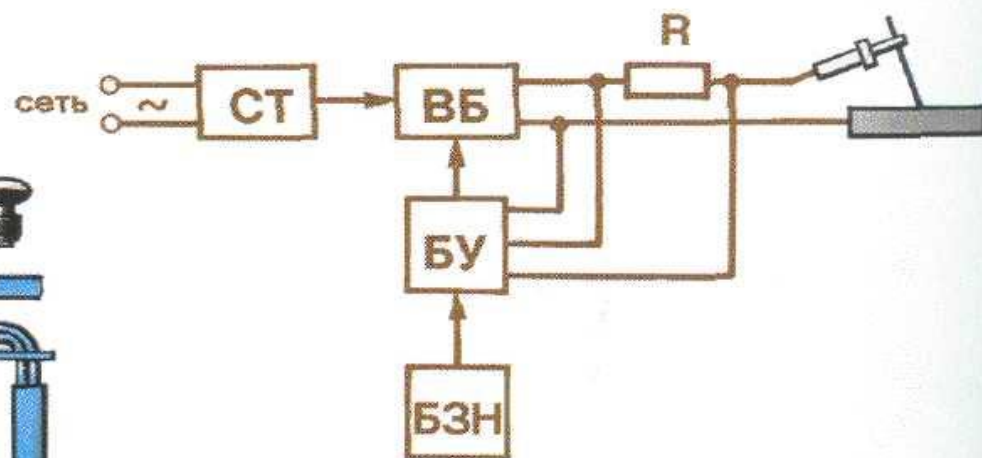
Выпрямительный блок состоит из силовых диодов. Регулировка режимов сварки комбинированная: ступенчатая за счет переключения обмоток со "звезды" на "треугольник" и плавная за счет изменения зазора между обмотками трансформатора



1. Вторичная обмотка
2. Ходовой винт
3. Сердечник трансформатора
4. Первичная обмотка

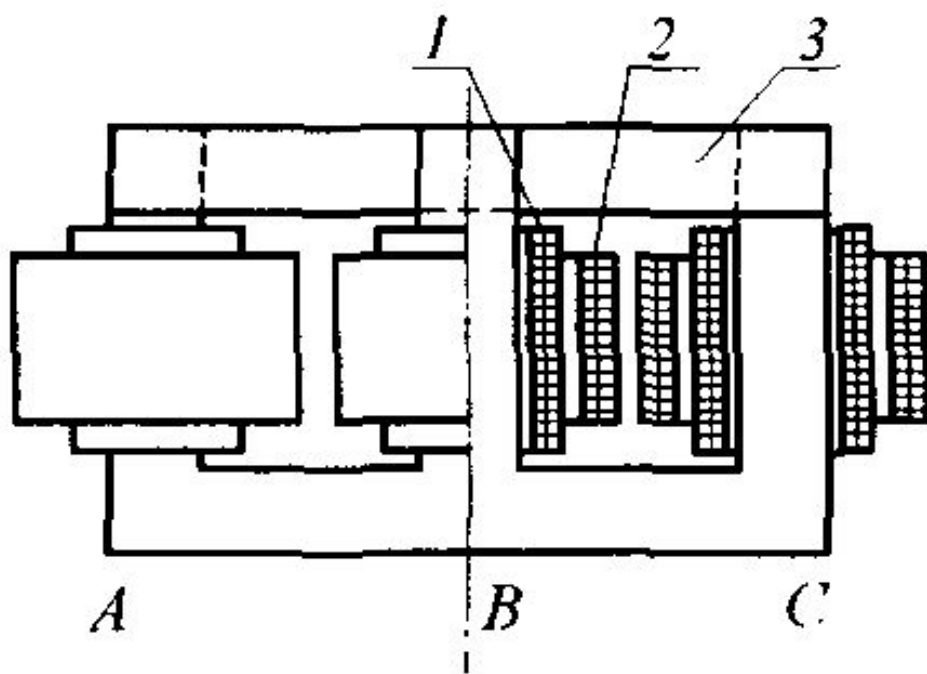
## УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Выпрямительный блок состоит из тиристоров. Регулировка режимов сварки комбинированная: ступенчатая за счет переключения обмоток со "звезды" на "треугольник" и плавная блоком управления

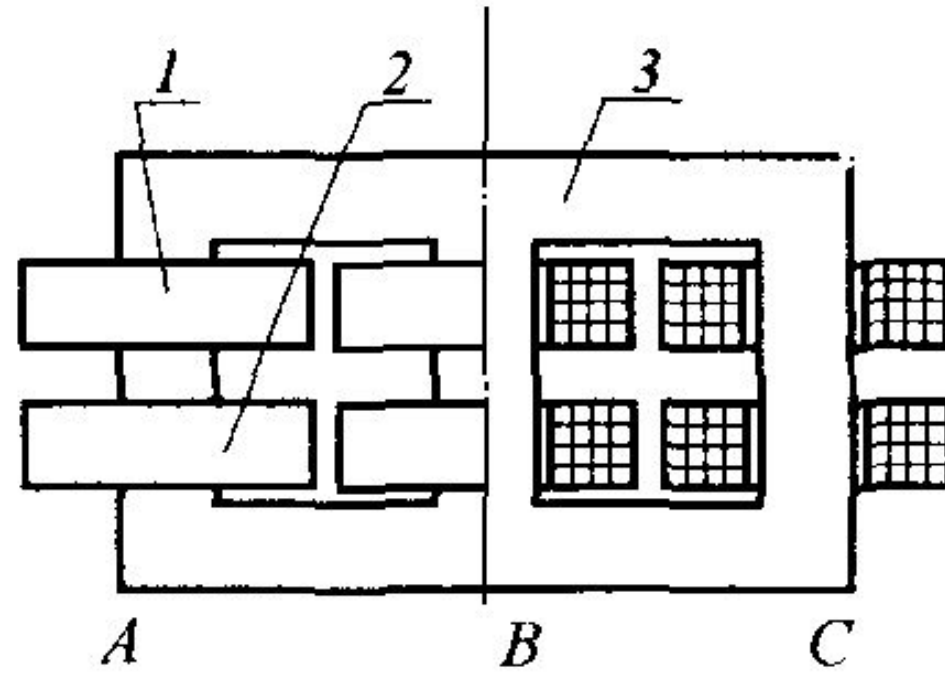


- СТ - сварочный трансформатор
- ВБ - выпрямительный блок
- БУ - блок управления
- БЗН - блок задания напряжения

# Конструкции трехфазных трансформаторов в составе выпрямителей

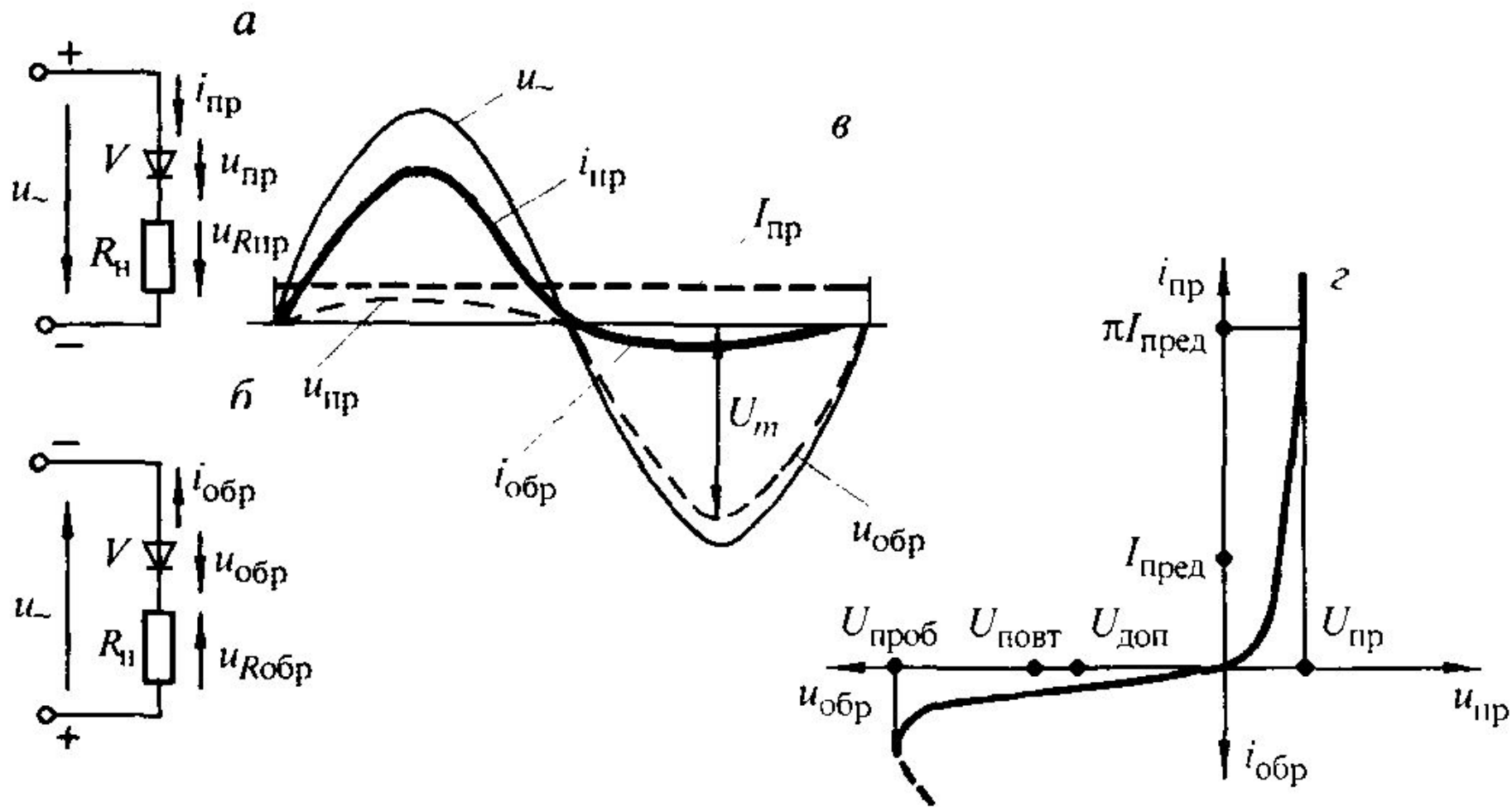


С нормальным магнитным  
рассеянием



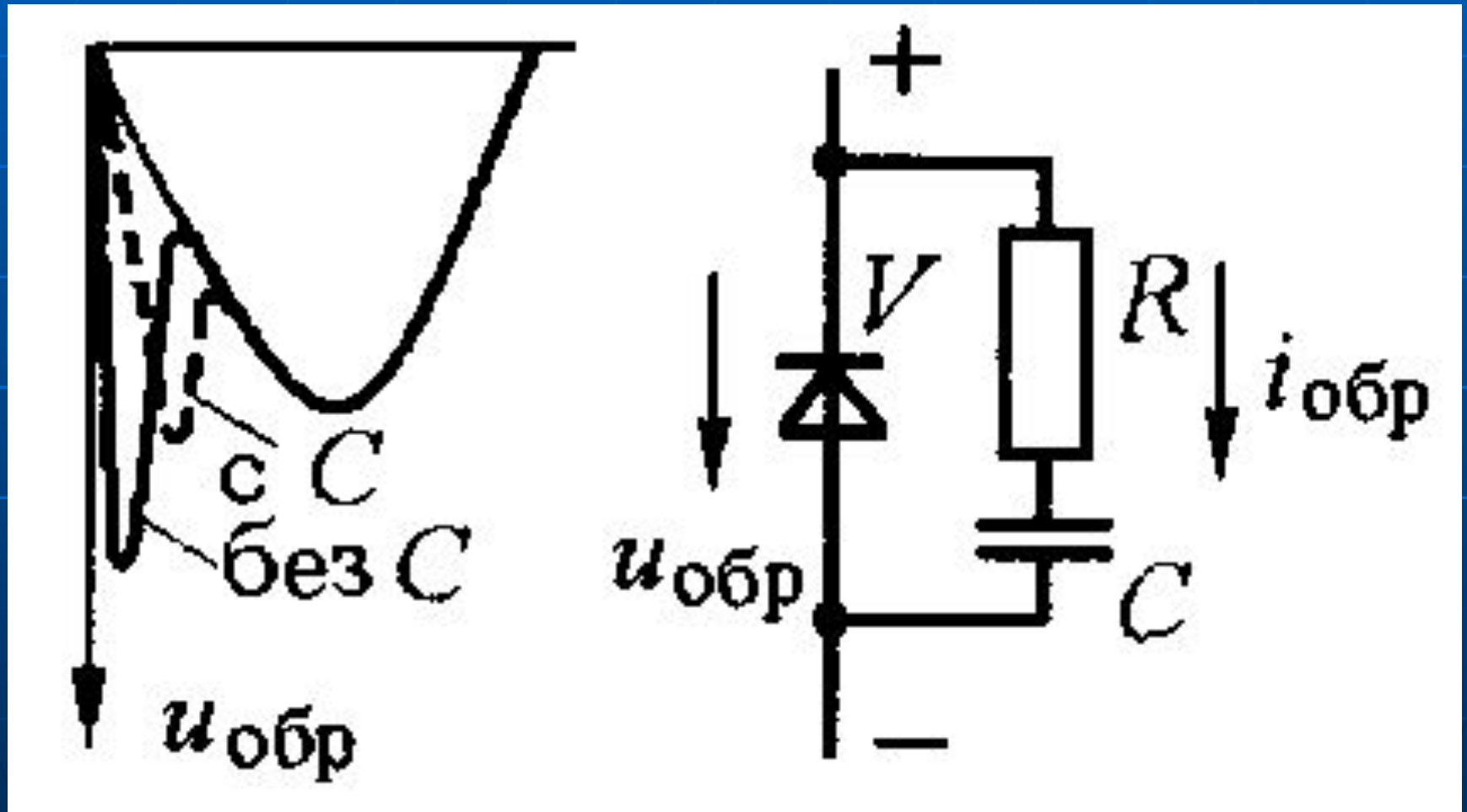
С увеличенным магнитным  
рассеянием

# Диод в цепи переменного тока



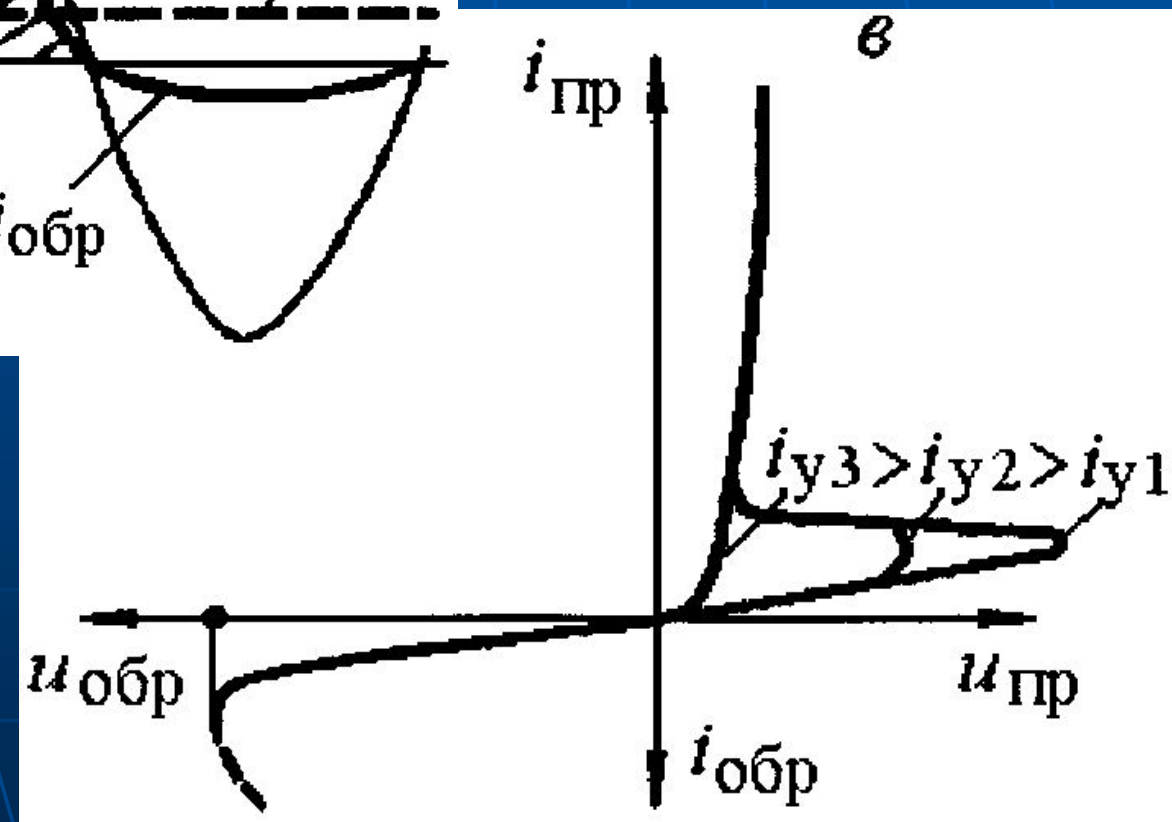
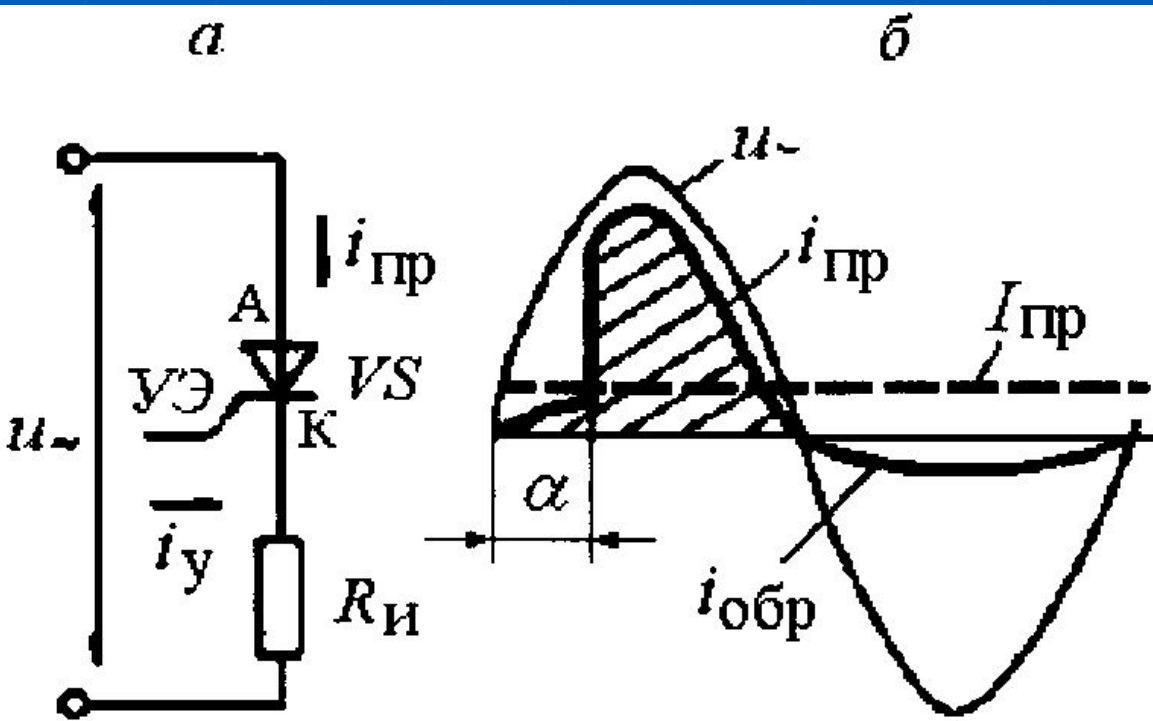
а — прямое включение, б — обратное включение, в — осциллограммы тока и напряжения, з — динамическая вольт-амперная характеристика

# Защита вентилей от перегрузок



Обратное напряжение вентилей при включении защитной цепи RC

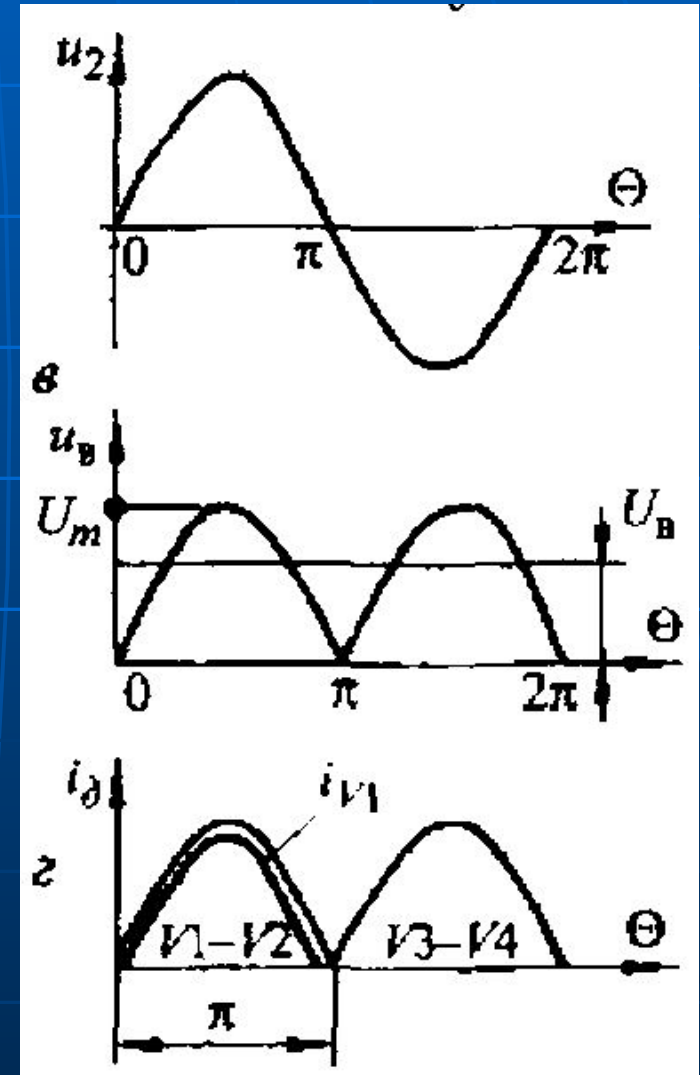
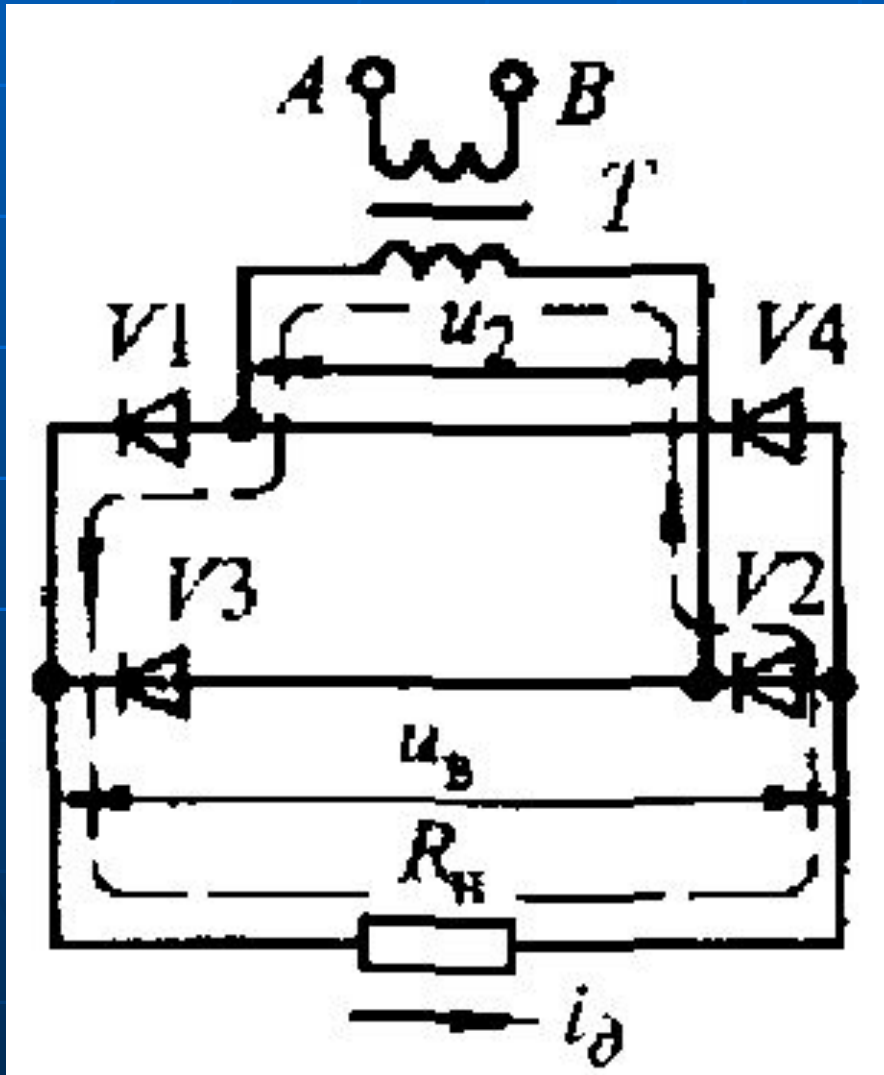
# Тиристор в цепи переменного тока



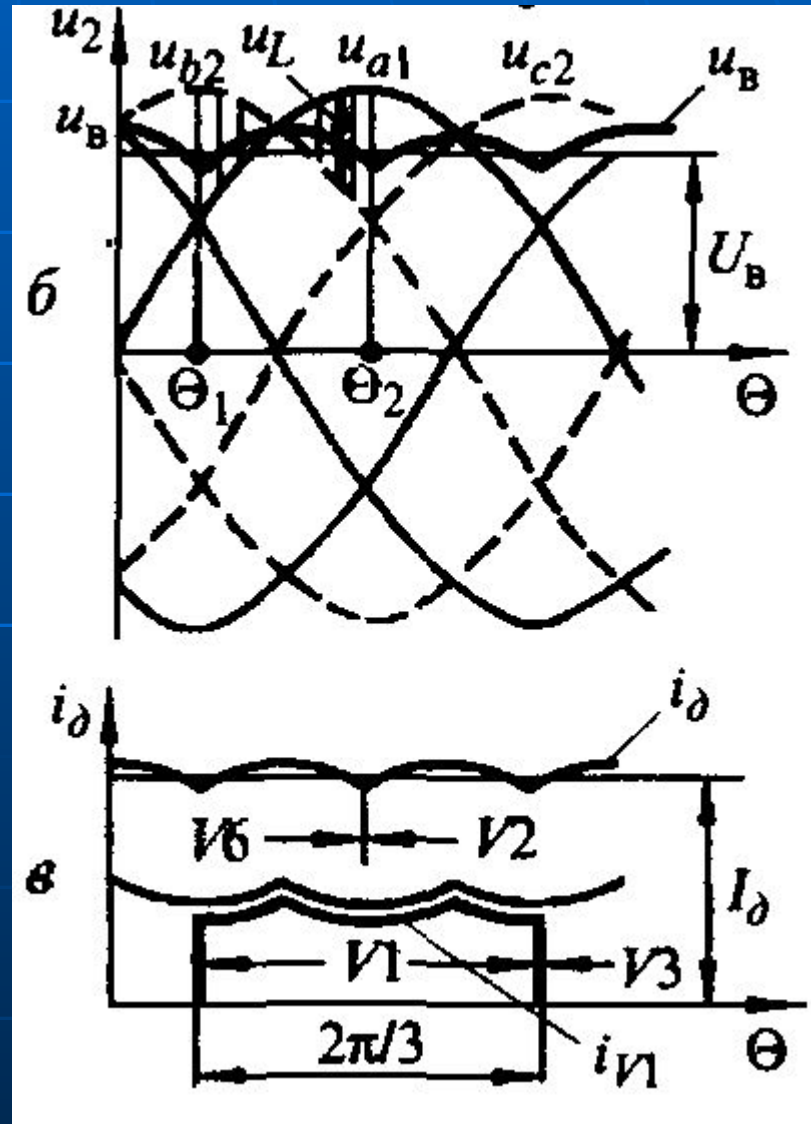
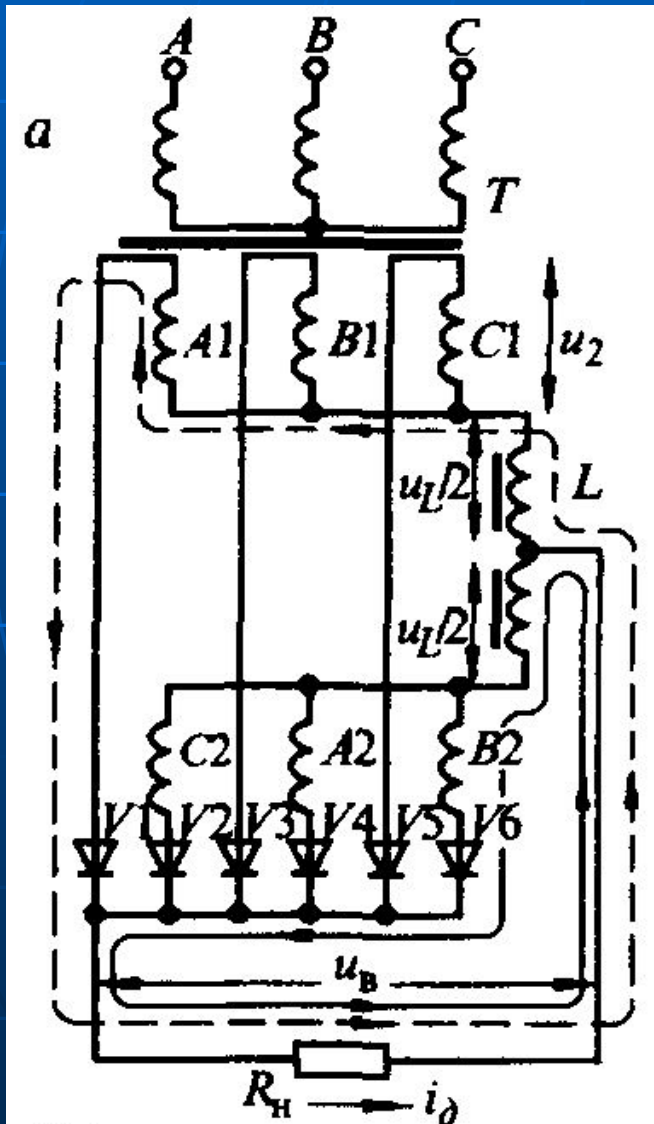
а — прямое включение,  
 б — осциллограммы  
 тока и напряжения,  
 в — динамическая  
 вольт-амперная  
 характеристика



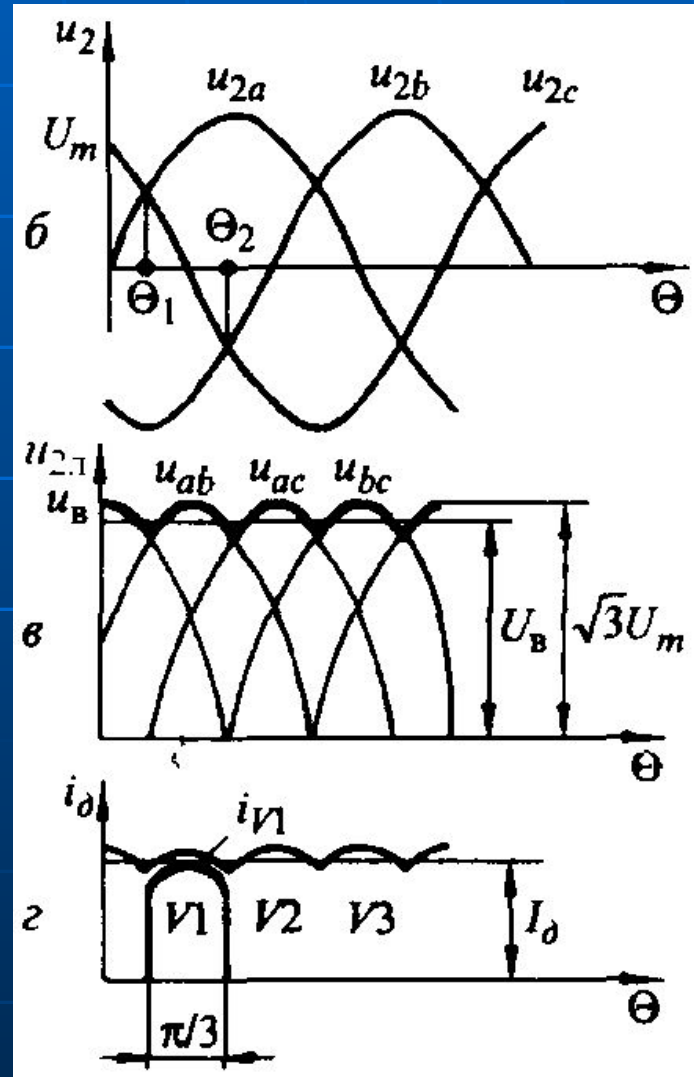
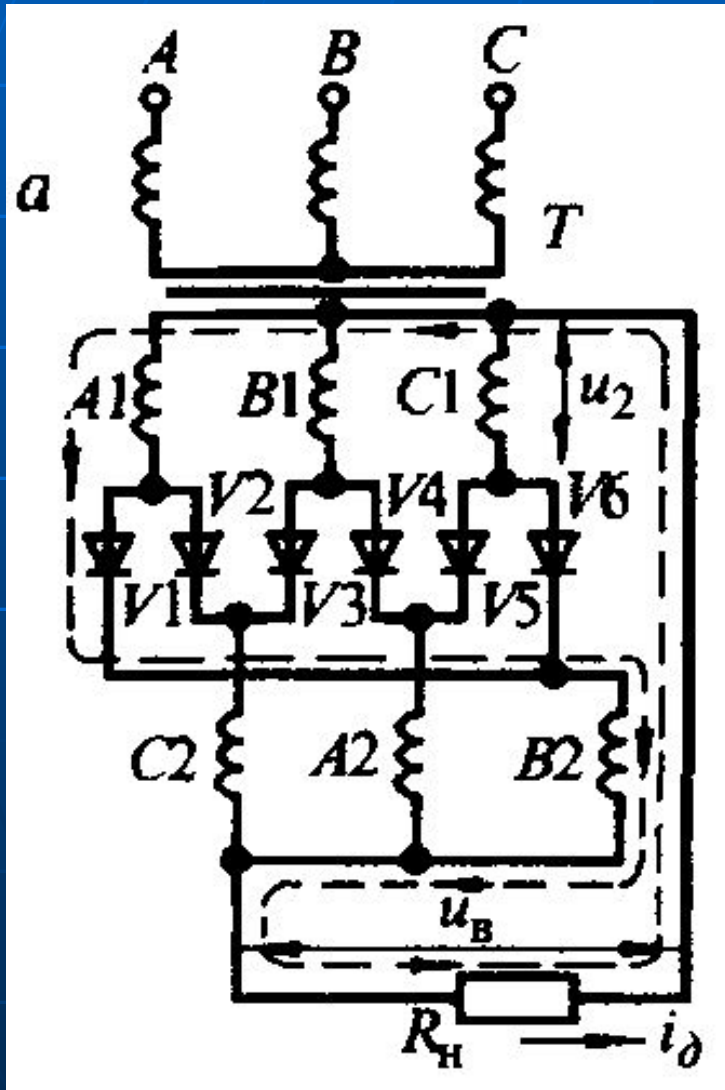
# Однофазная мостовая схема выпрямления



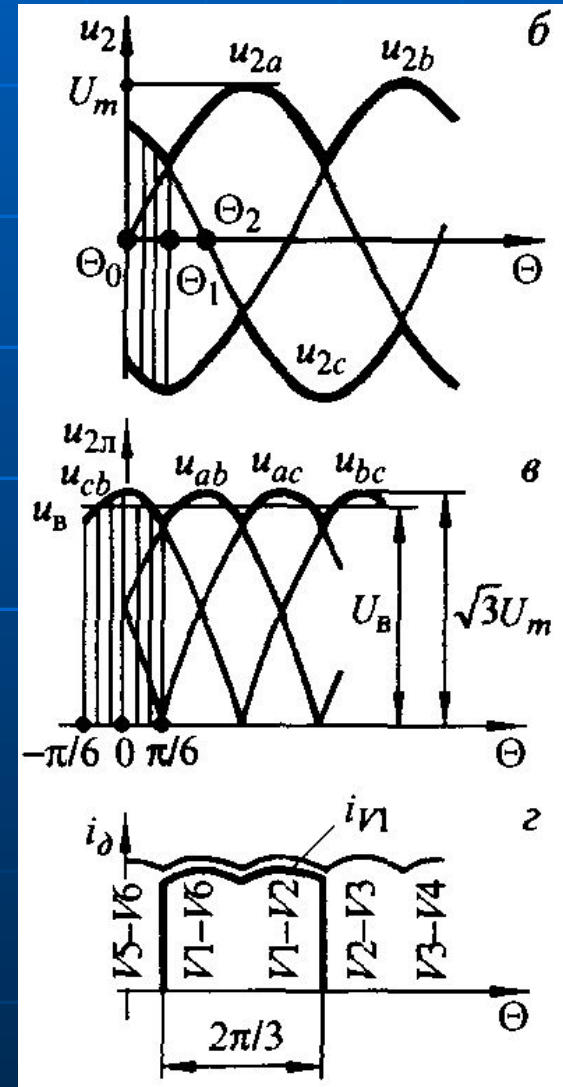
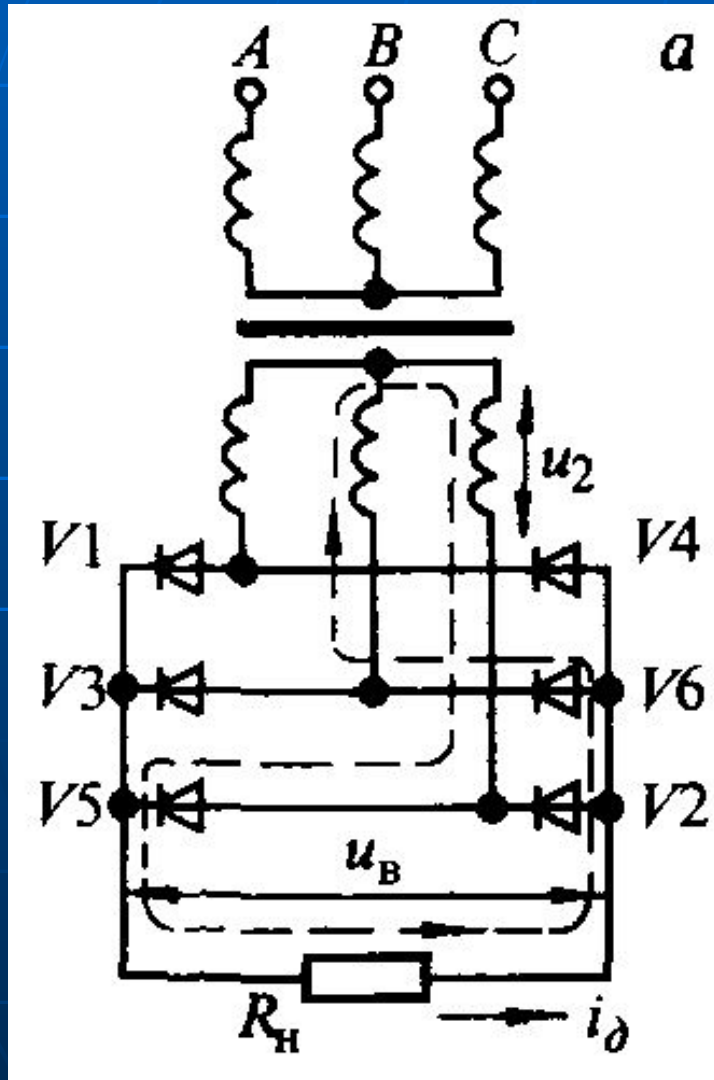
# Шестифазная схема выпрямления с уравнительным дросселем



# Шестифазная кольцевая схема выпрямления



# Трехфазная мостовая схема выпрямления

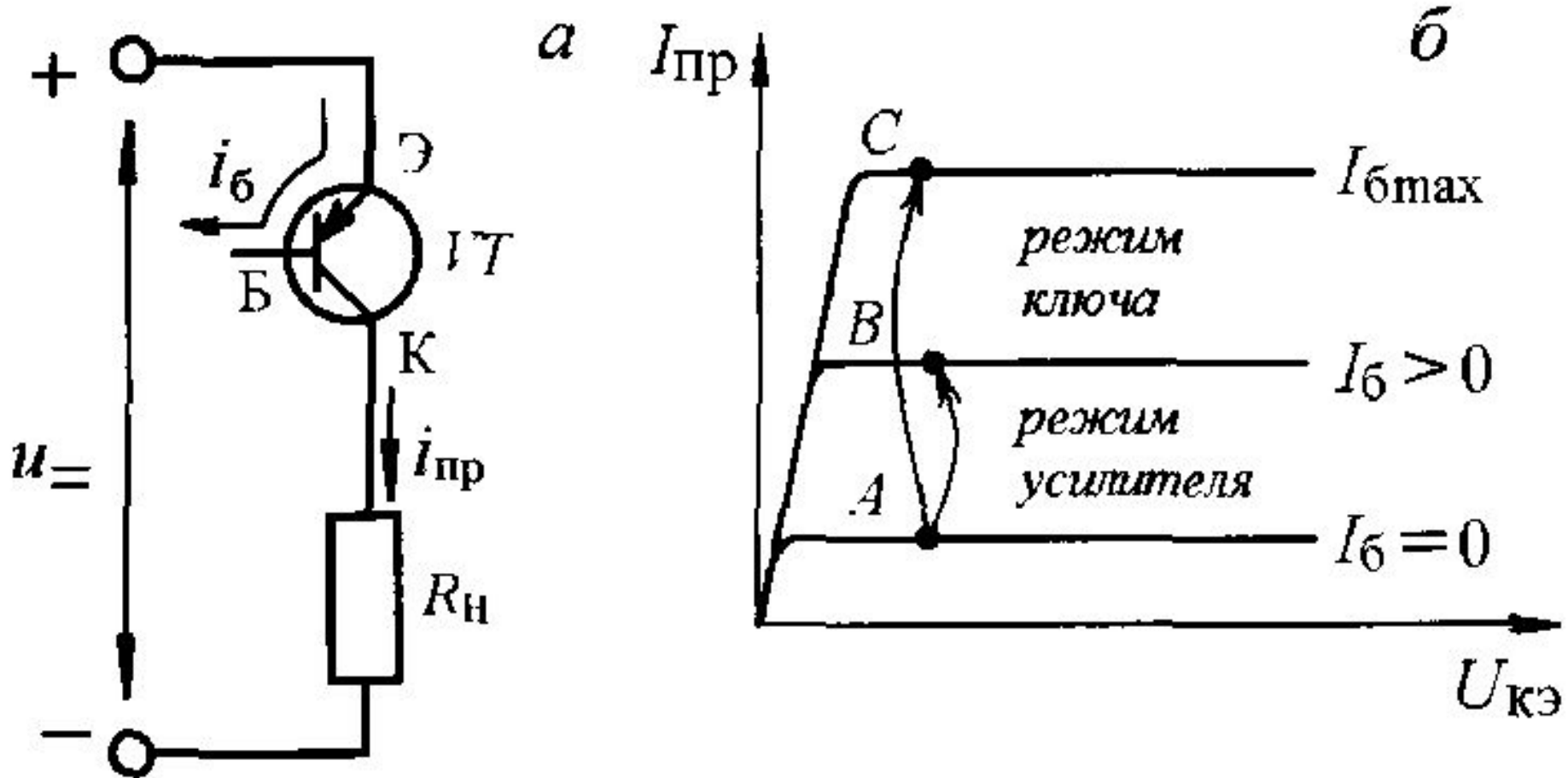


# Технические данные схем выпрямления

Схема выпрямления	Число вентилей	Коэффициент пульсации напряжения $\frac{(U_{1m} - U_B)}{U_B}$	Средний ток вентилей $\frac{\int i_V dt}{T} / I_D$	Действующий ток вентилей $\sqrt{\frac{\int i_V^2 dt}{T}} / I_D$	Амплитуда обратного напряжения вентилей $U_{обр} / U_B$	Расчетная мощность трансформатора $S_T / (I_D U_B)$
Однофазная мостовая	4	0,67	0,5	0,71	1,57	1,23
Шестифазная нулевая	6	0,06	0,17	0,41	2,1	1,55
Шестифазная с уравнительными дросселем	6	0,06	0,17	0,29	2,1	1,26 + 0,07
Шестифазная кольцевая	6	0,06	0,17	0,41	2,1	1,26
Трехфазная мостовая	6	0,06	0,33	0,58	1,05	1,05



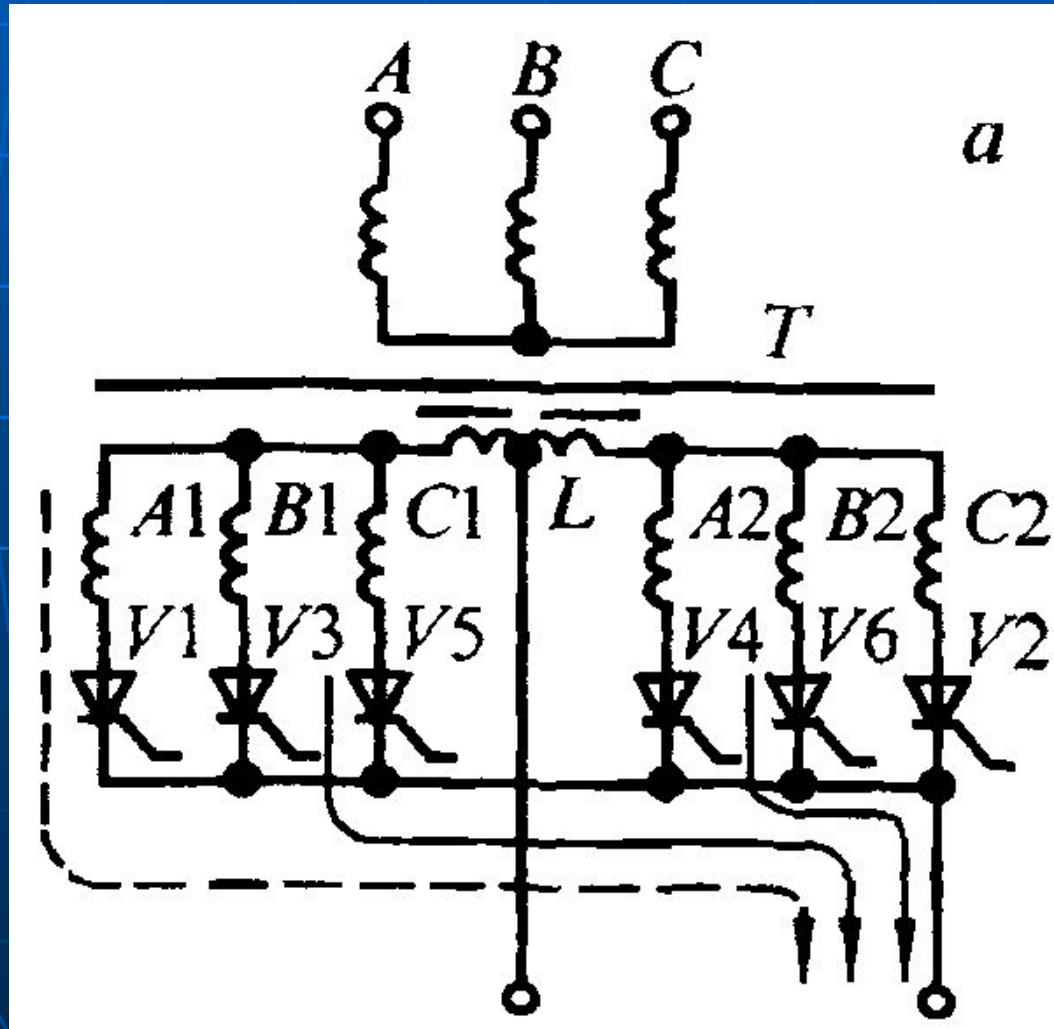
# Транзистор в цепи постоянного тока



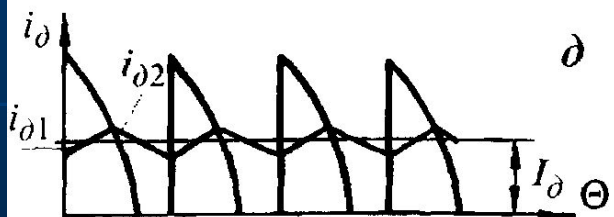
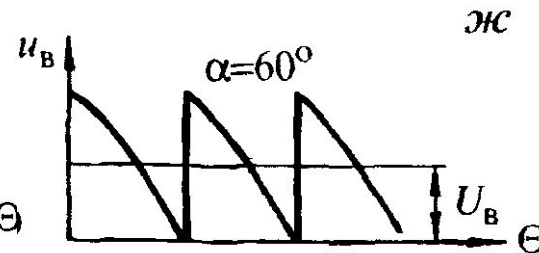
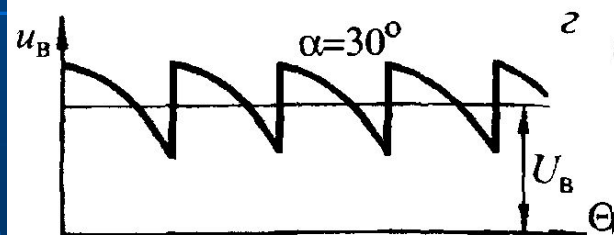
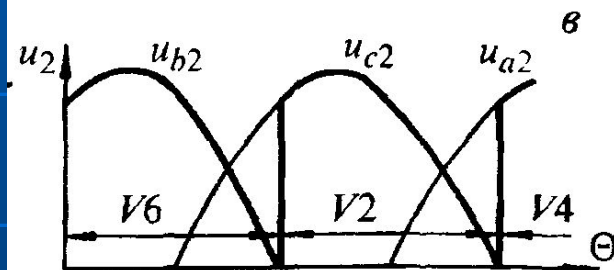
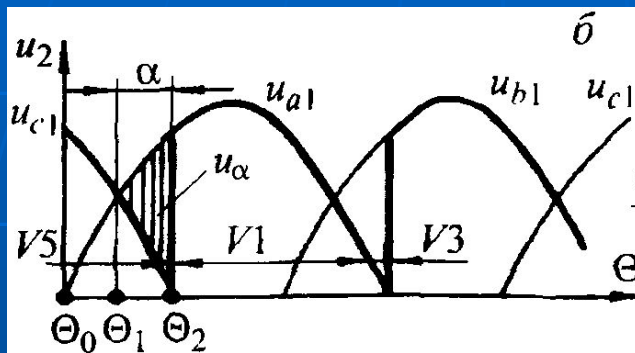
а — прямое включение, б — регулировочная характеристика

# Тиристорные выпрямители

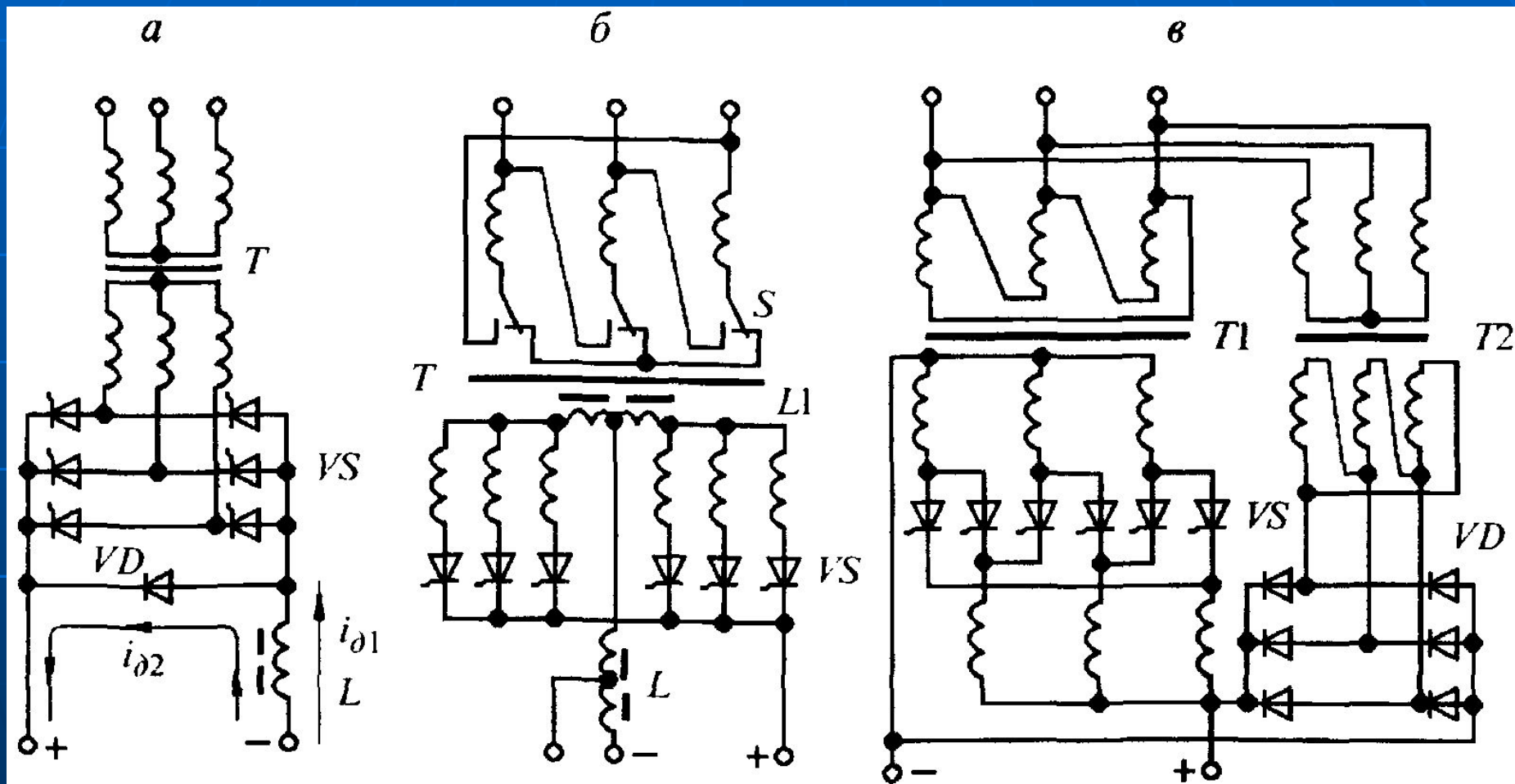
## Фазовое регулирование режима в тиристорном выпрямителе



# Осциллограммы тиристорного выпрямителя при использовании трансформатора с нормальным рассеянием



# Схемы тиристорных выпрямителей

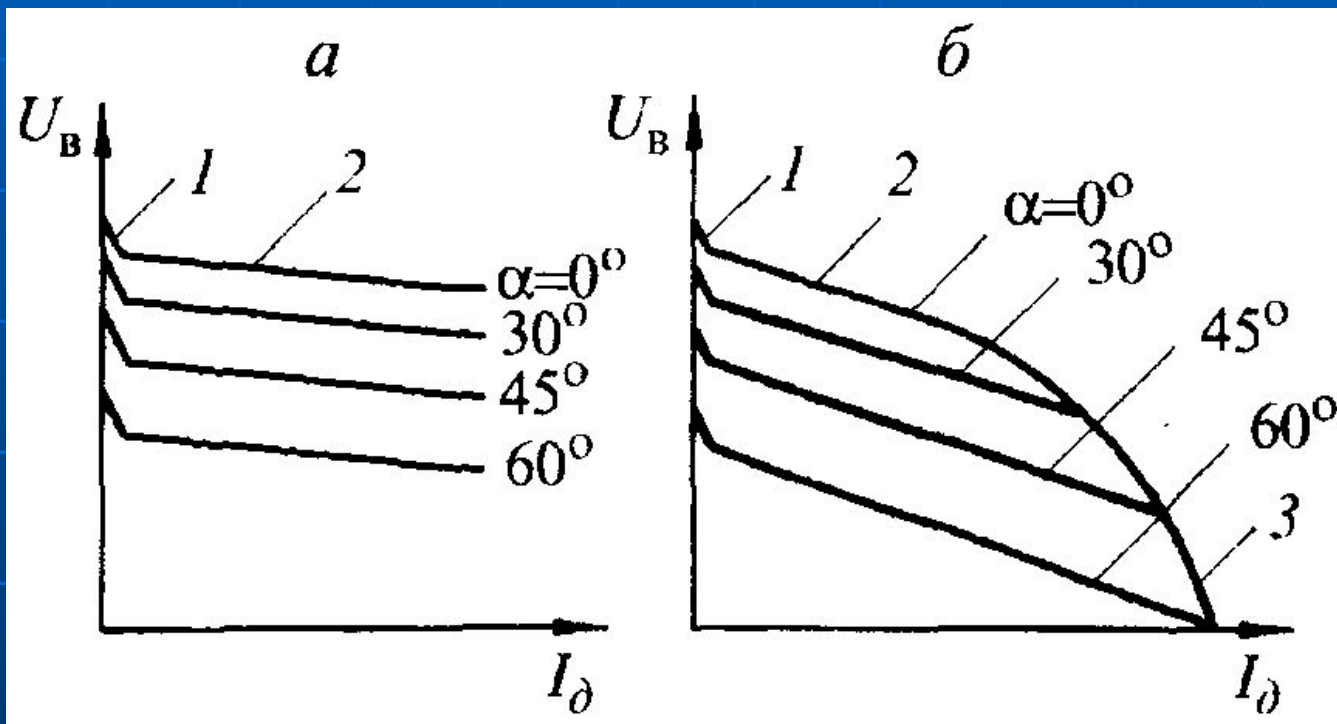


*a* — с трехфазной мостовой, *б* — с шестифазной с уравнивательным дросселем, *в* — с кольцевой схемой выпрямления

# Естественные внешние характеристики тиристорных выпрямителей

жесткие

падающие

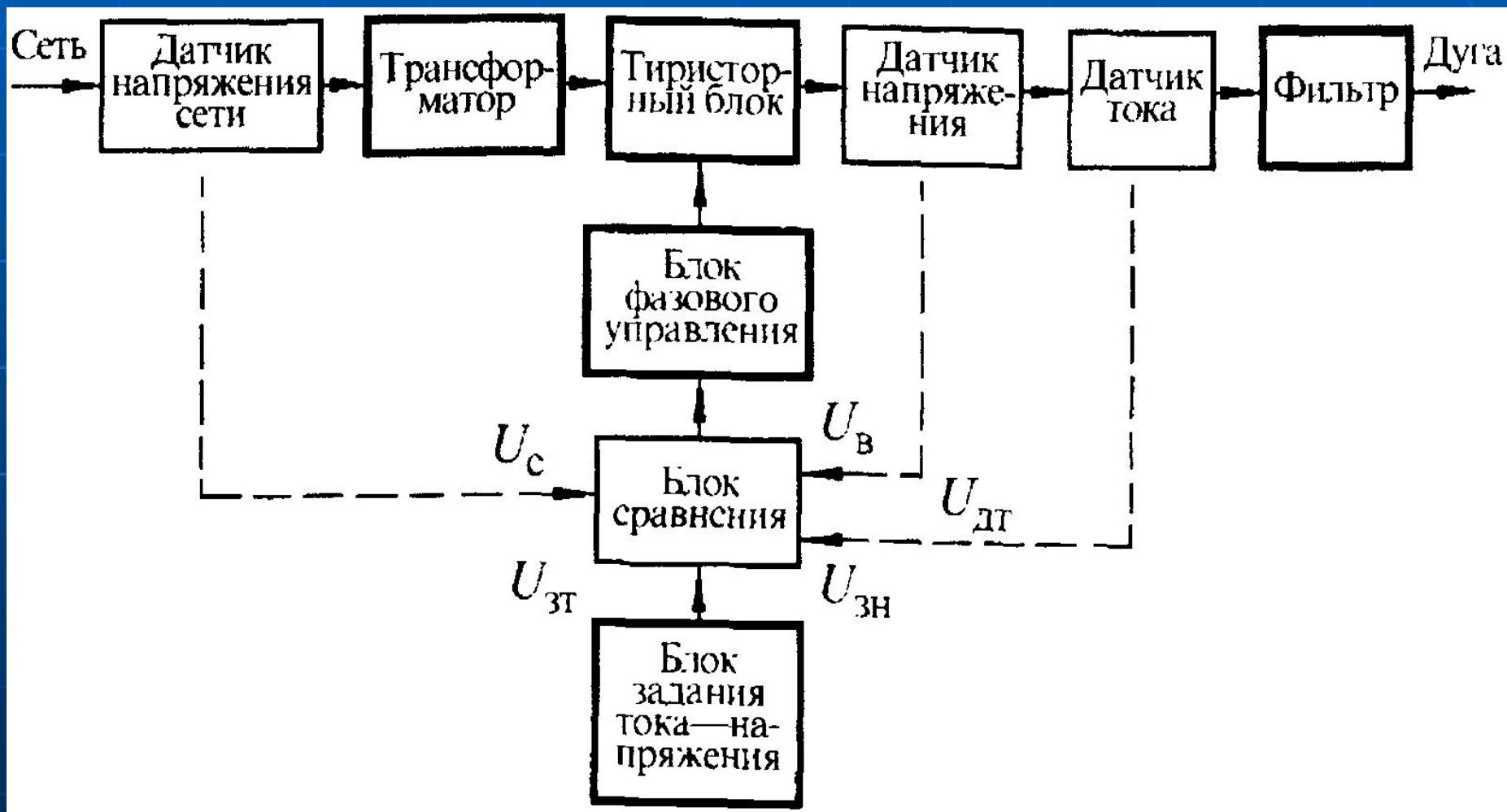


$$U_x = 1,35U_{1л} \frac{w_2}{w_1} \cos \alpha$$

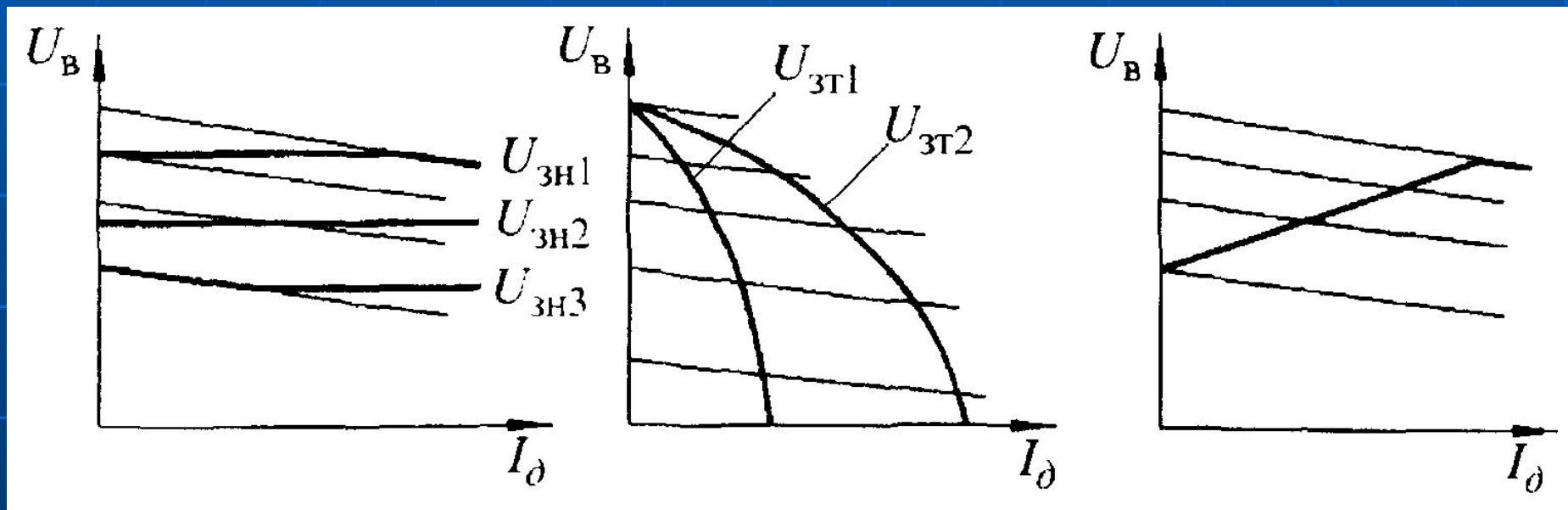
$$U_B = 1,17U_{1л} \frac{w_2}{w_1} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} I_d X$$



# Блок-схема тиристорного выпрямителя с обратными связями



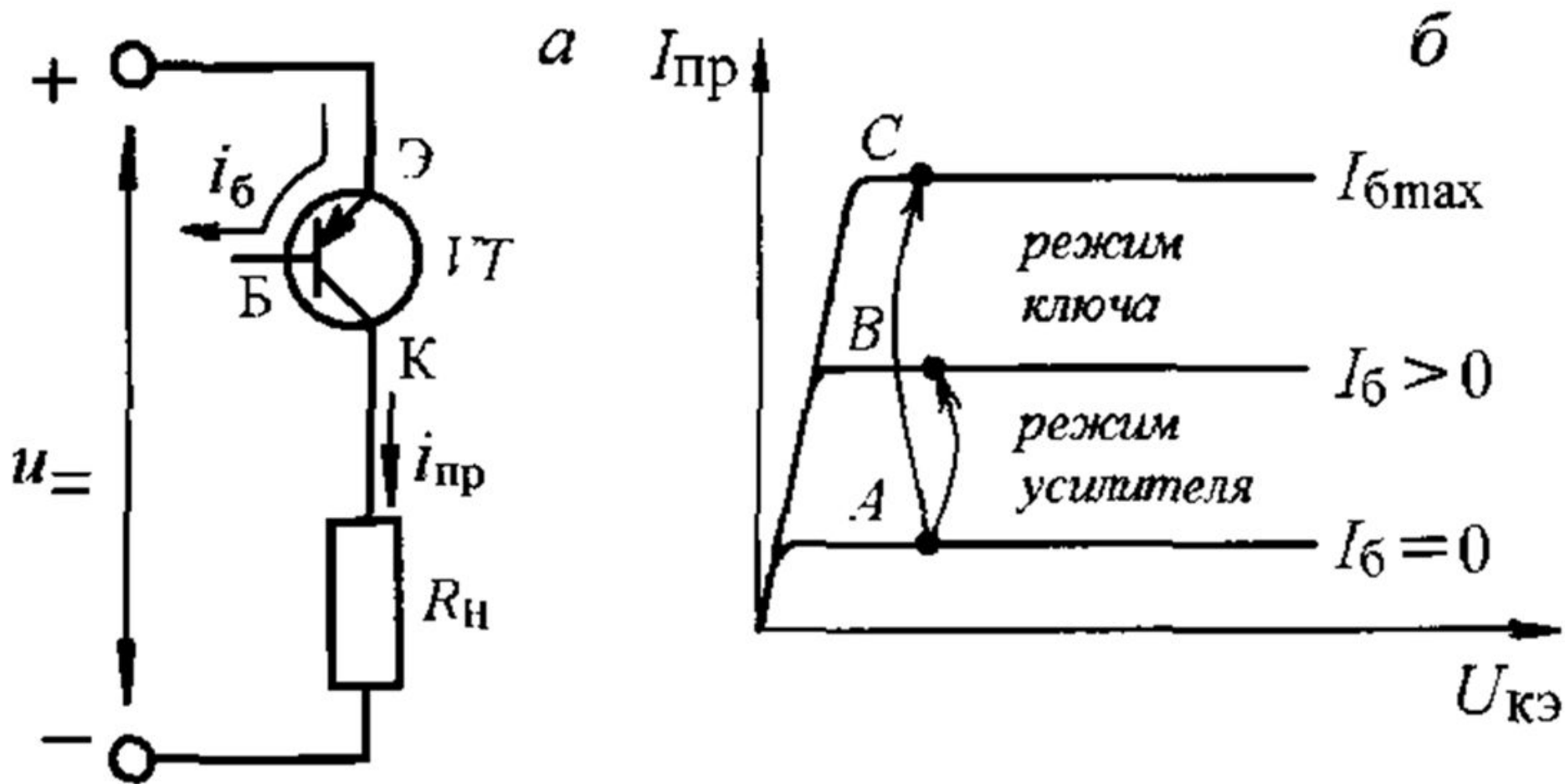
# Внешние характеристики тиристорного выпрямителя, полученные за счет обратных связей



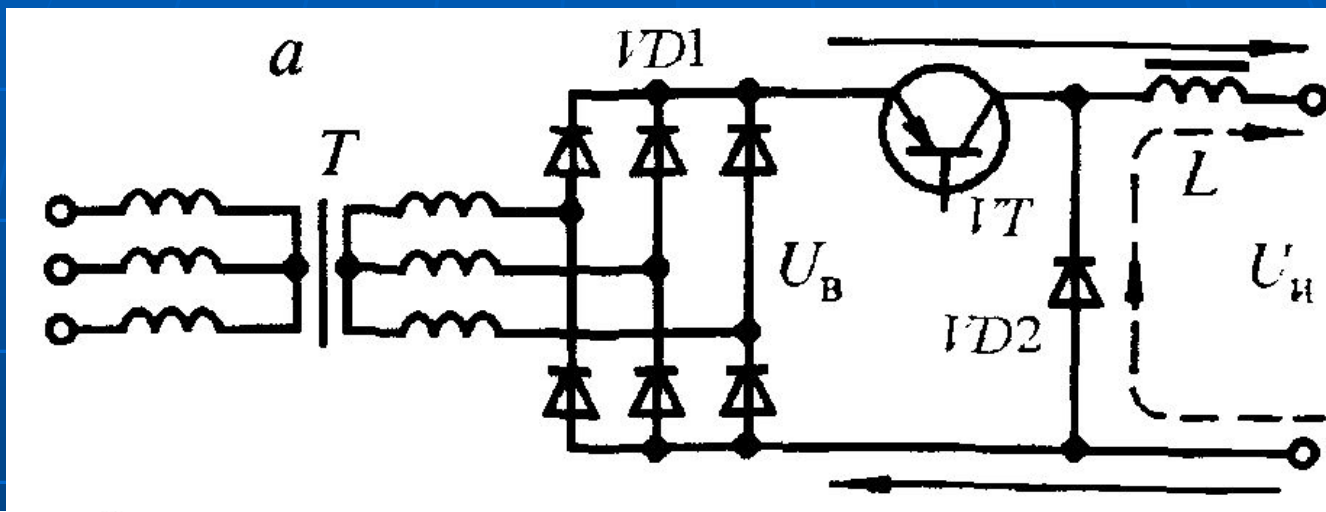
$$U_c \downarrow \Rightarrow U_B \downarrow \Rightarrow (U_{3Н} - U_B) \uparrow \Rightarrow \alpha \downarrow \Rightarrow U_B \uparrow \Rightarrow U_B = \text{const}$$

$$I_d \uparrow \Rightarrow U_{дТ} \uparrow \Rightarrow (U_{3Т} - U_{дТ}) \downarrow \Rightarrow \alpha \uparrow \Rightarrow U_B \downarrow$$

# Транзистор в цепи постоянного тока

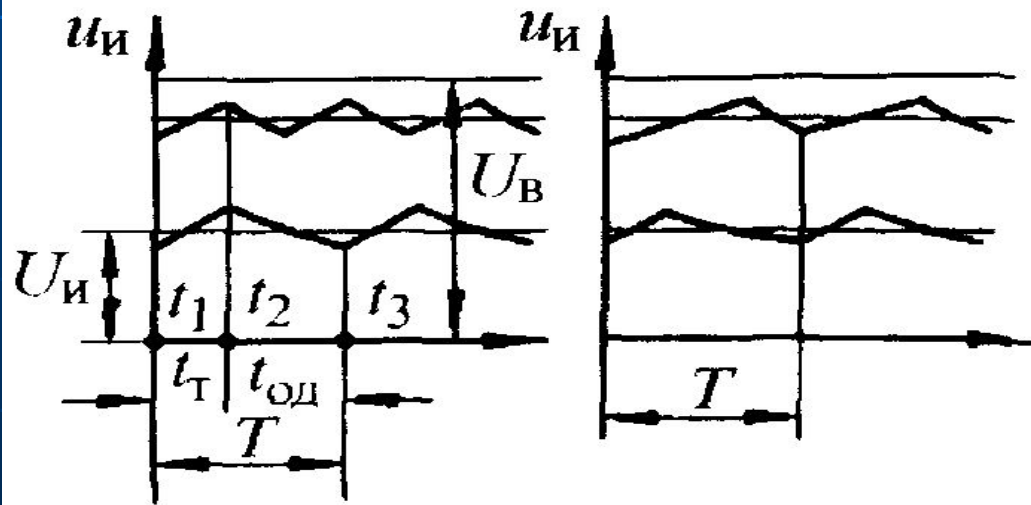


# Выпрямитель с транзисторным регулятором



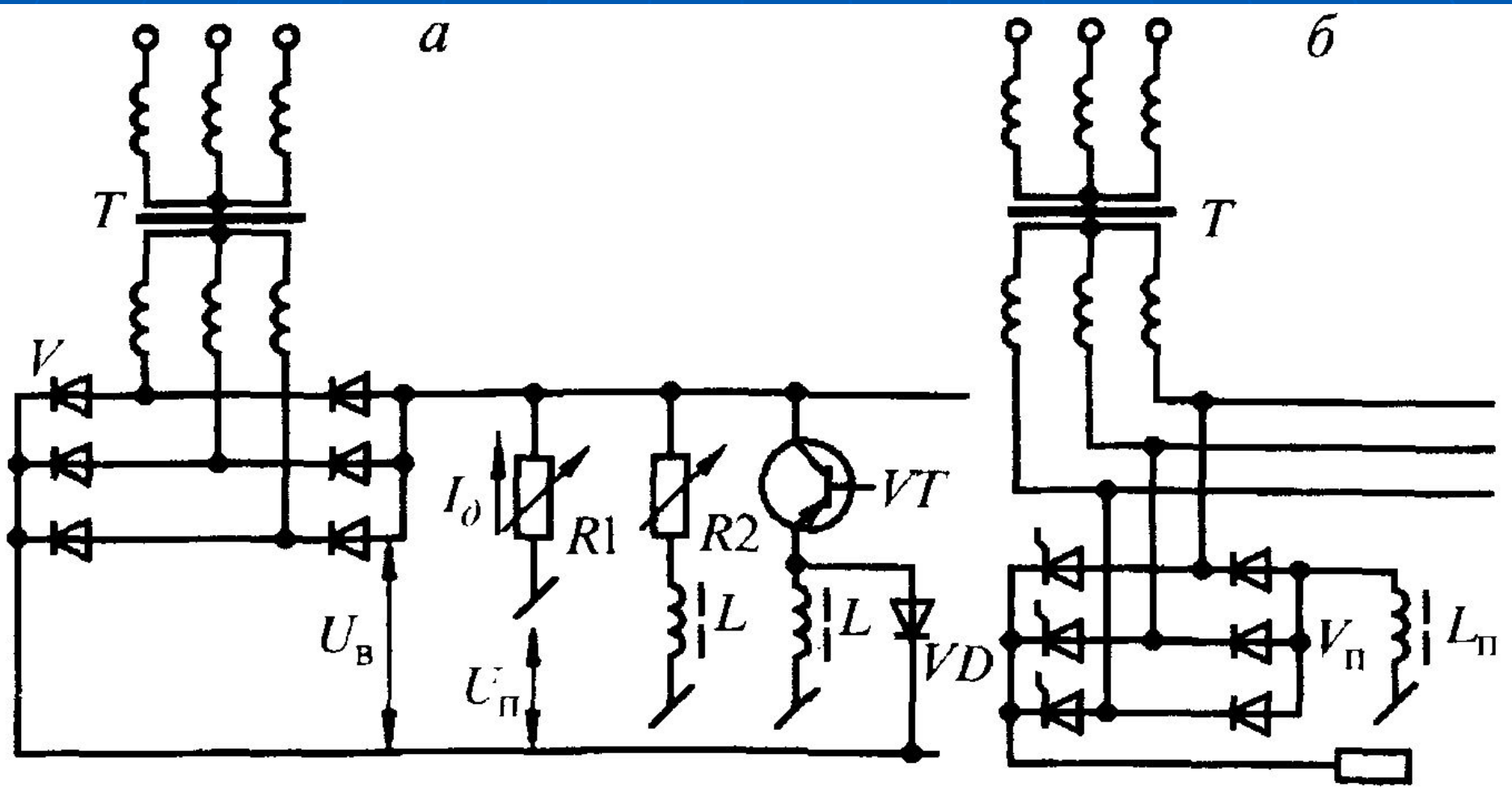
б

в



а - принципиальная схема,  
б - осциллограммы напряжения  
при частотном регулировании,  
в - при широтном регулировании

# МНОГОПОСТОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

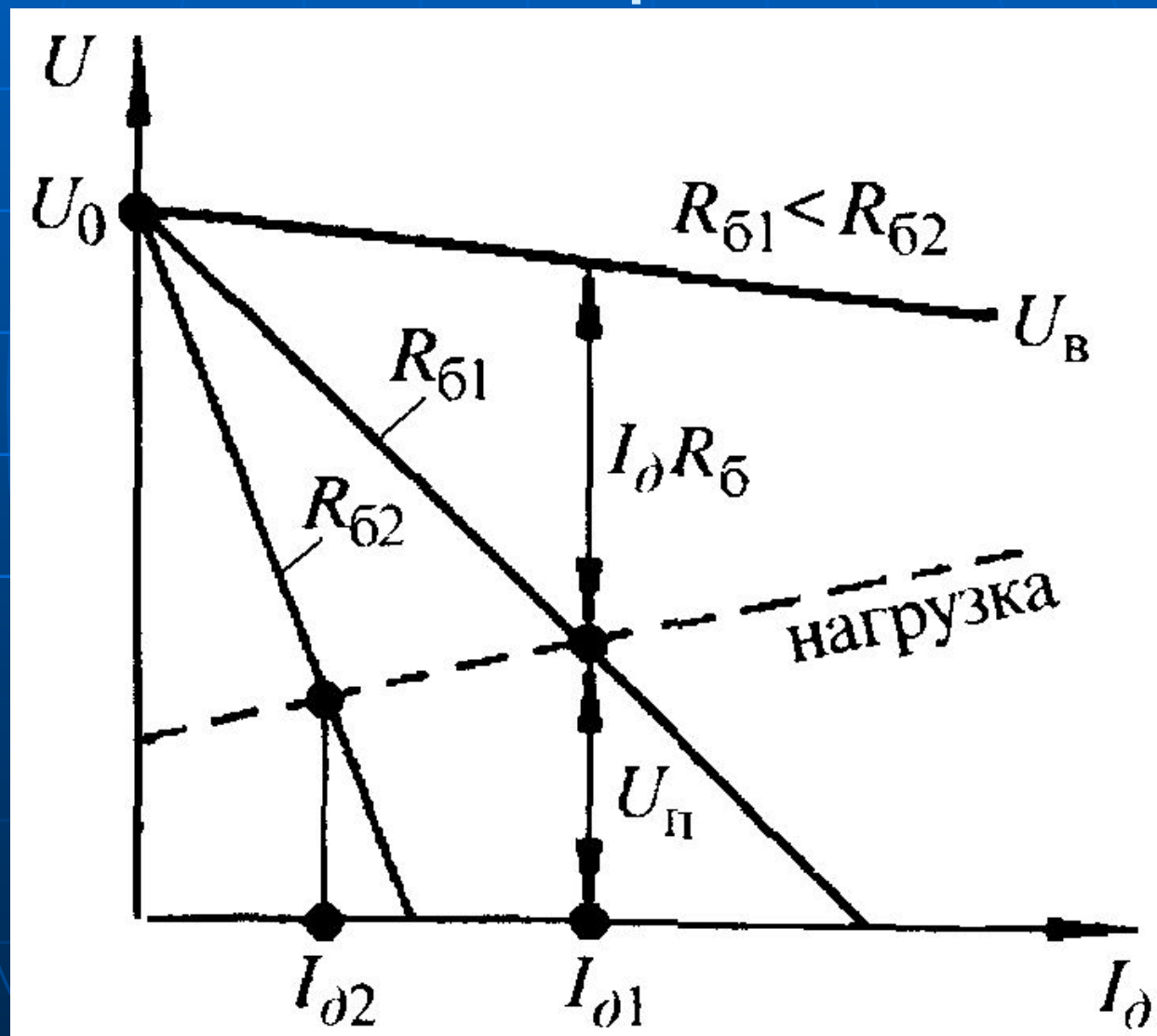


С постовыми регуляторами

С постовыми выпрямительными блоками



# Внешняя характеристика поста с балластным реостатом



■ [Следующий слайд](#)

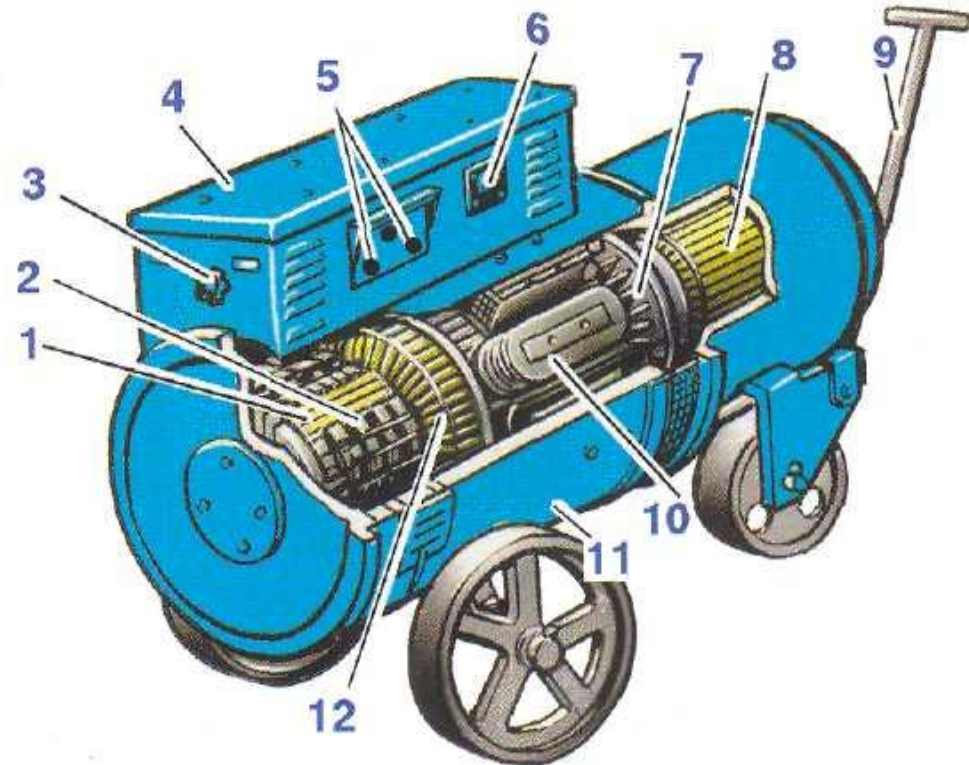
■ [К главному меню](#)

# Сварочный преобразователь

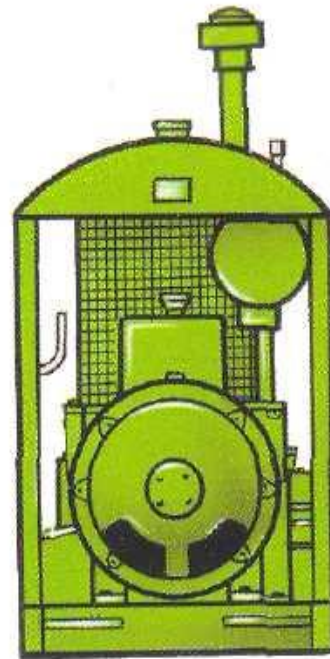
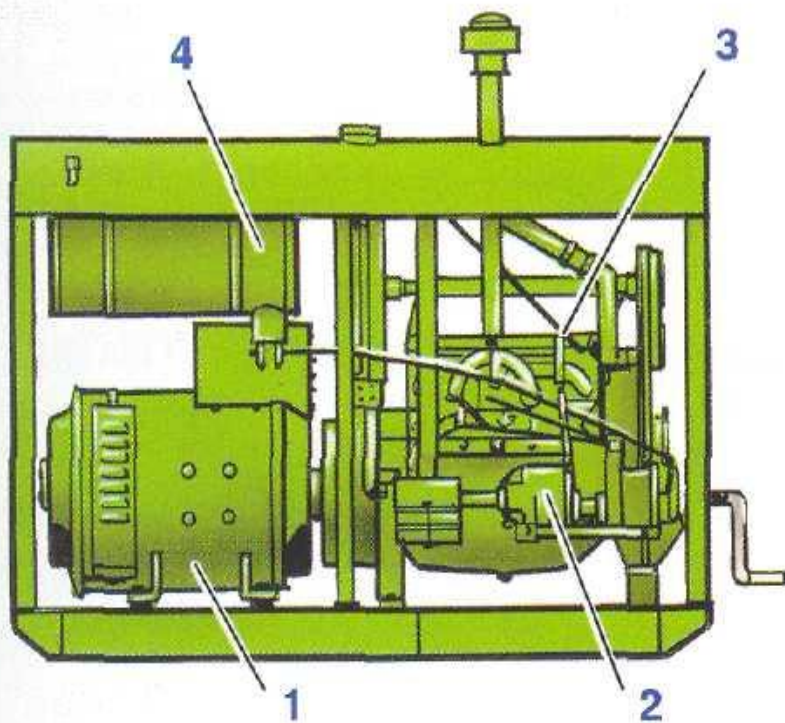
Преобразует механическую энергию электродвигателя в электрическую напряжением и диапазоном токов, необходимыми для сварки

- |                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Медные пластинки коллектора  | 6. Вольтметр                        |
| 2. Щетки генератора             | 7. Вентилятор                       |
| 3. Регулировочный реостат       | 8. Трехфазный асинхронный двигатель |
| 4. Распределительное устройство | 9. Тяга                             |
| 5. Зажимы                       | 10. Магнитные полюсы                |
|                                 | 11. Корпус                          |
|                                 | 12. Якорь                           |

Конструктивно состоит из трехфазного электродвигателя и сварочного генератора с независимым возбуждением



# Сварочный агрегат

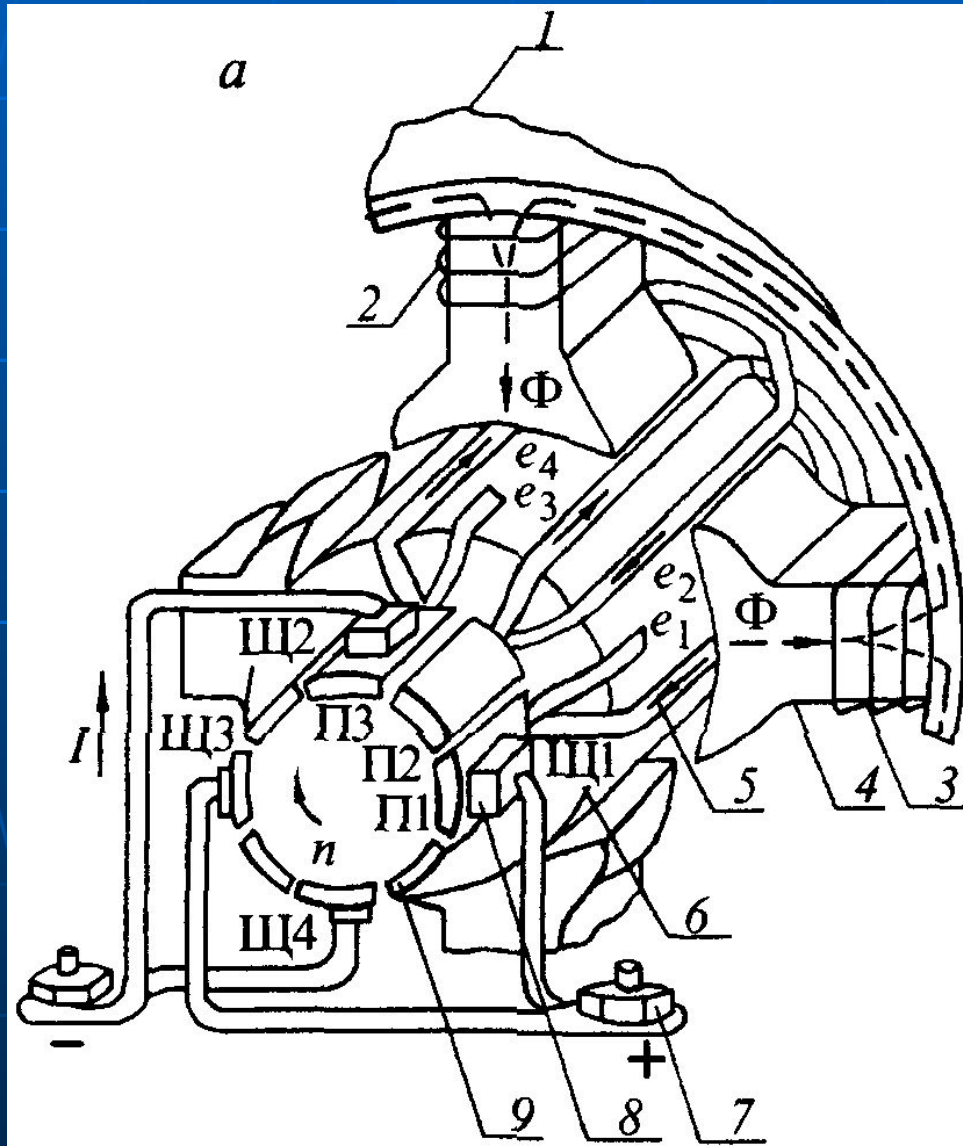


Преобразует механическую энергию двигателя внутреннего сгорания (бензинового или дизельного) в электрическую напряжением и диапазоном токов, необходимыми для сварки

1. Генератор
2. Двигатель
3. Регулятор скорости вращения
4. Бак с горючим

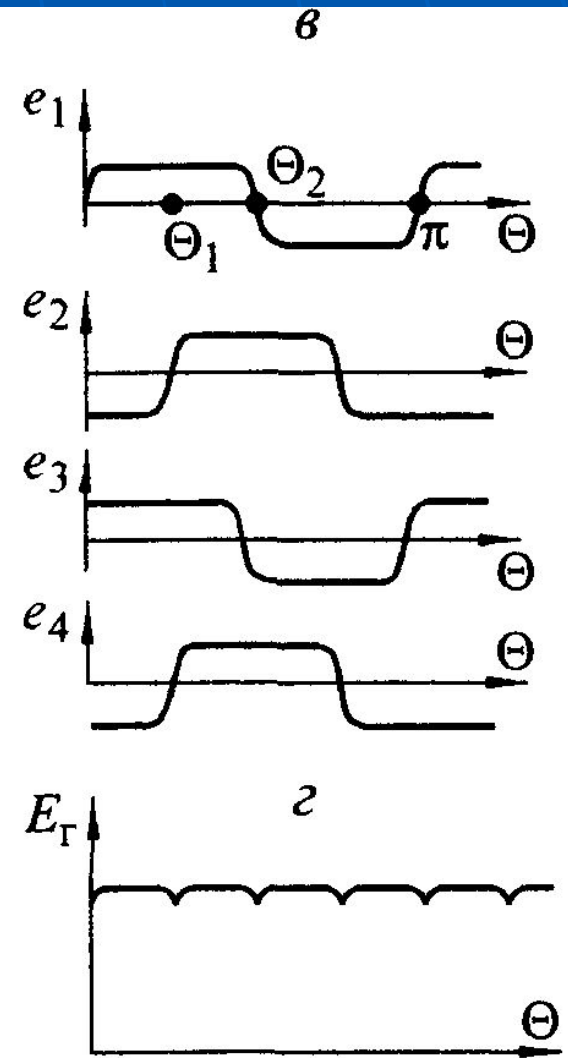
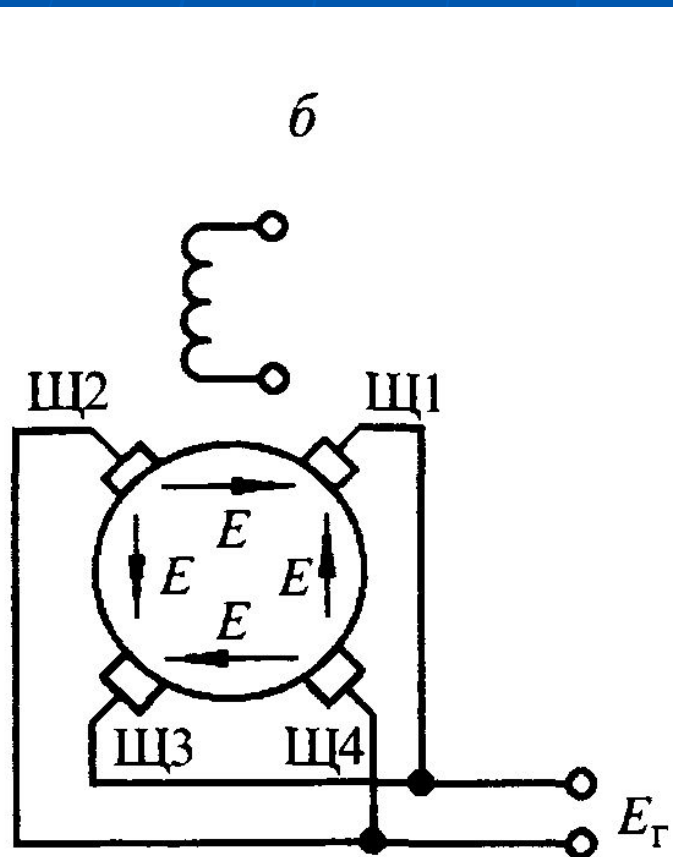
Конструктивно состоит из двигателя внутреннего сгорания и сварочного генератора с самовозбуждением

# Конструктивная схема коллекторного генератора





# Принципиальная схема и осциллограммы коллекторного генератора

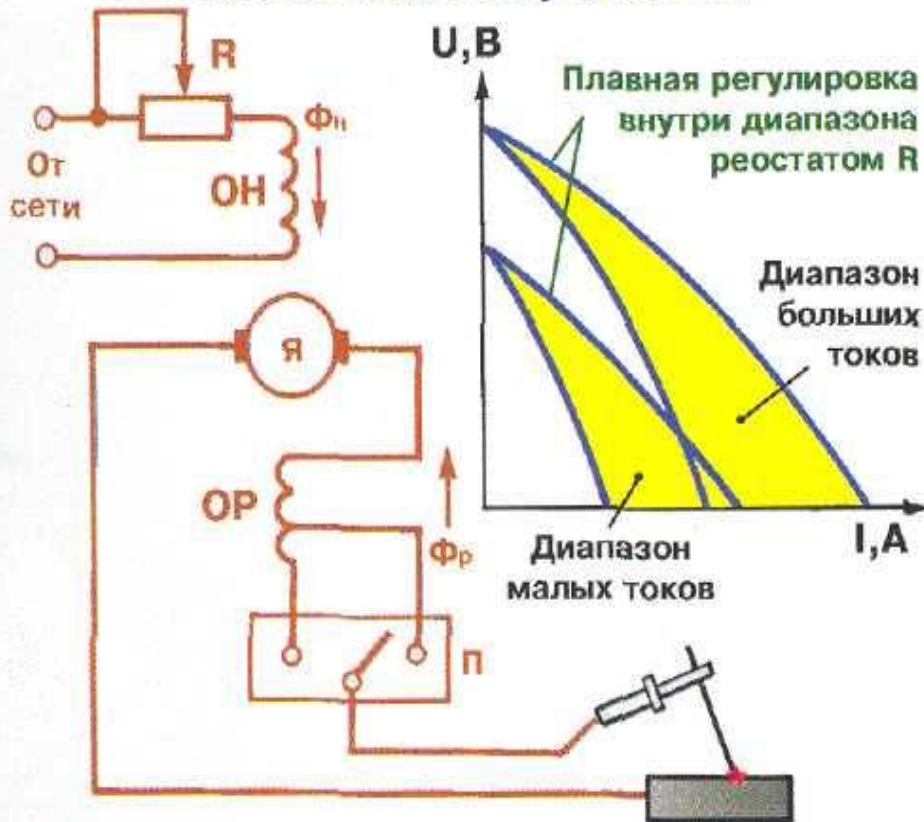




# Сварочный генератор

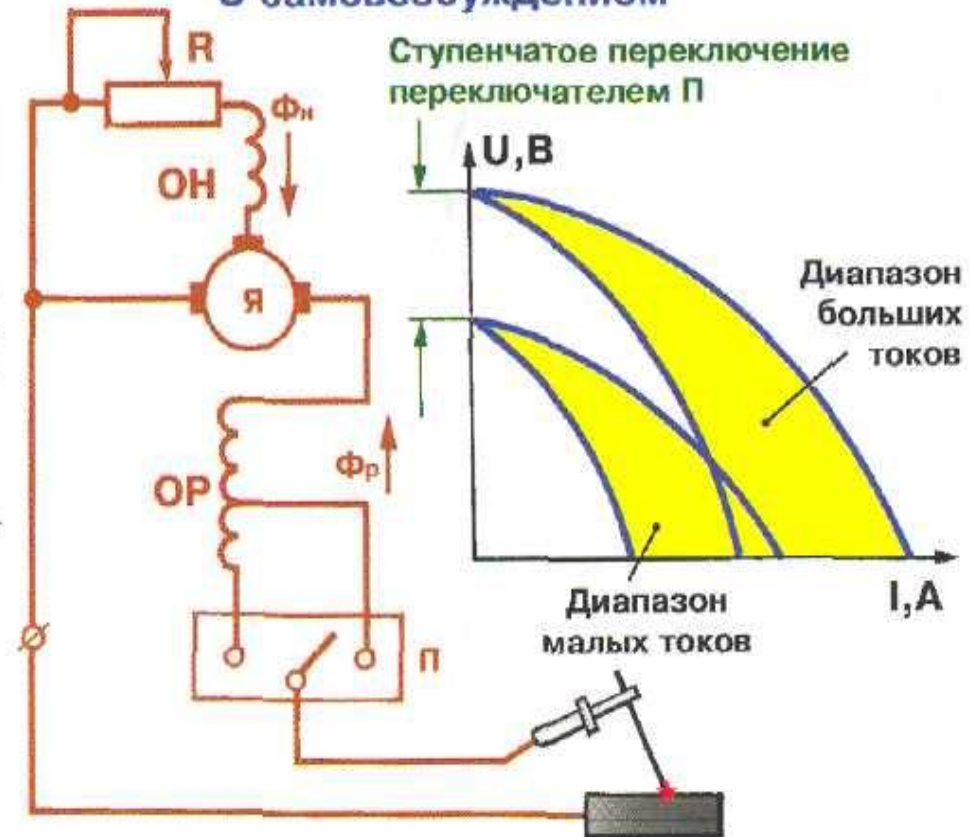
Является составной частью сварочных преобразователей и сварочных агрегатов

### С независимым возбуждением



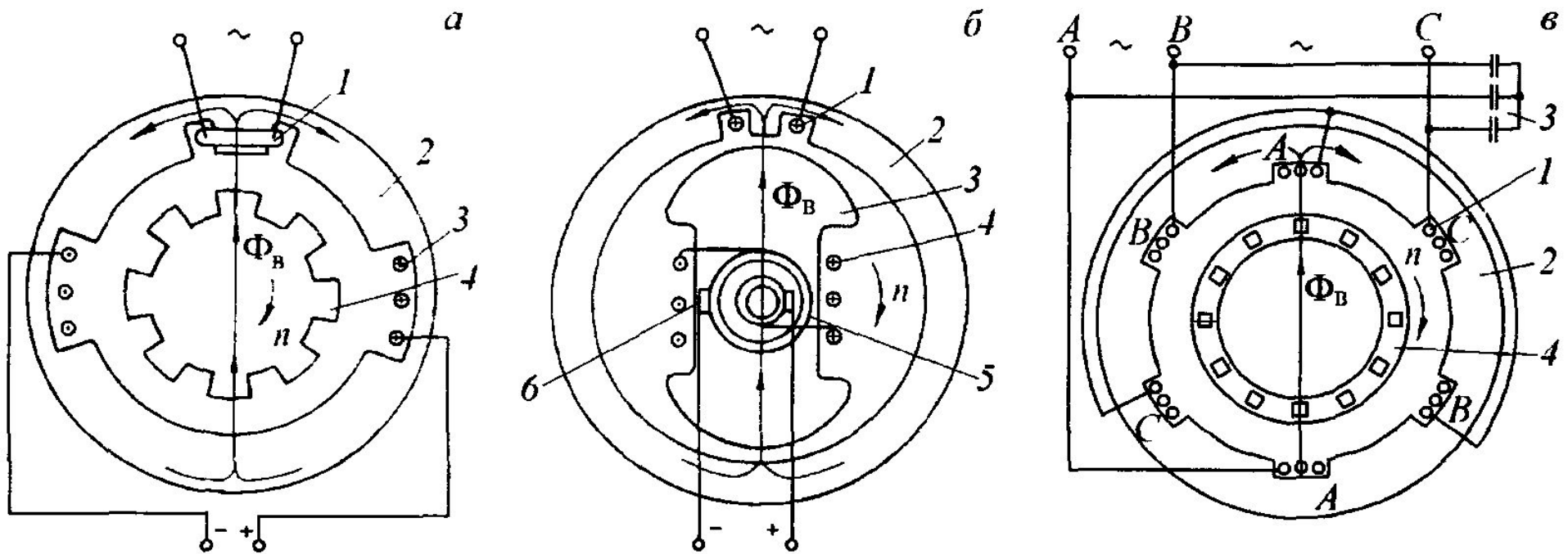
ОН - обмотка намагничивающая  
ОР - обмотка размагничивающая

### С самовозбуждением



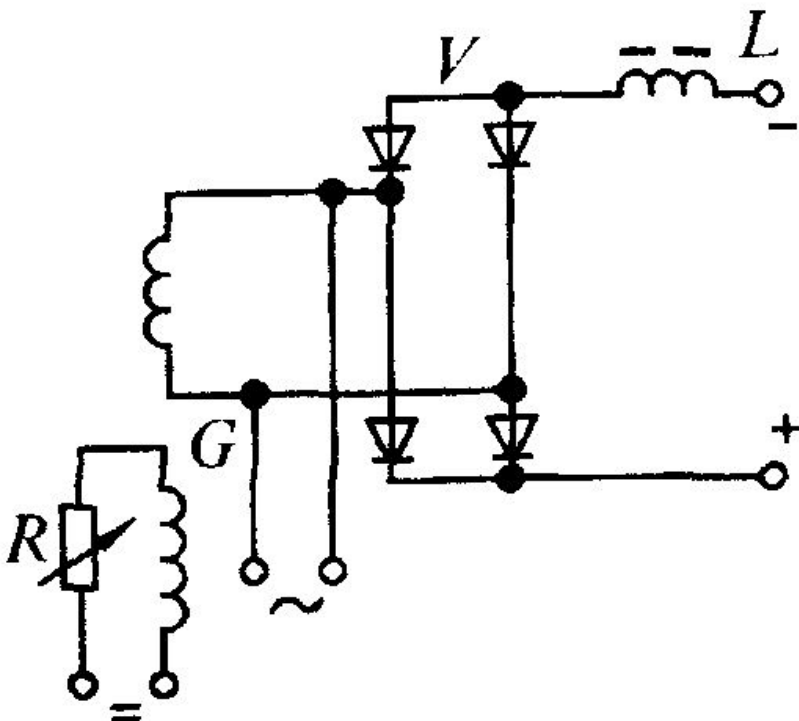
Φ<sub>н</sub> - магнитный поток намагничивающей обмотки  
Φ<sub>р</sub> - магнитный поток размагничивающей обмотки

# Конструкции генераторов переменного тока



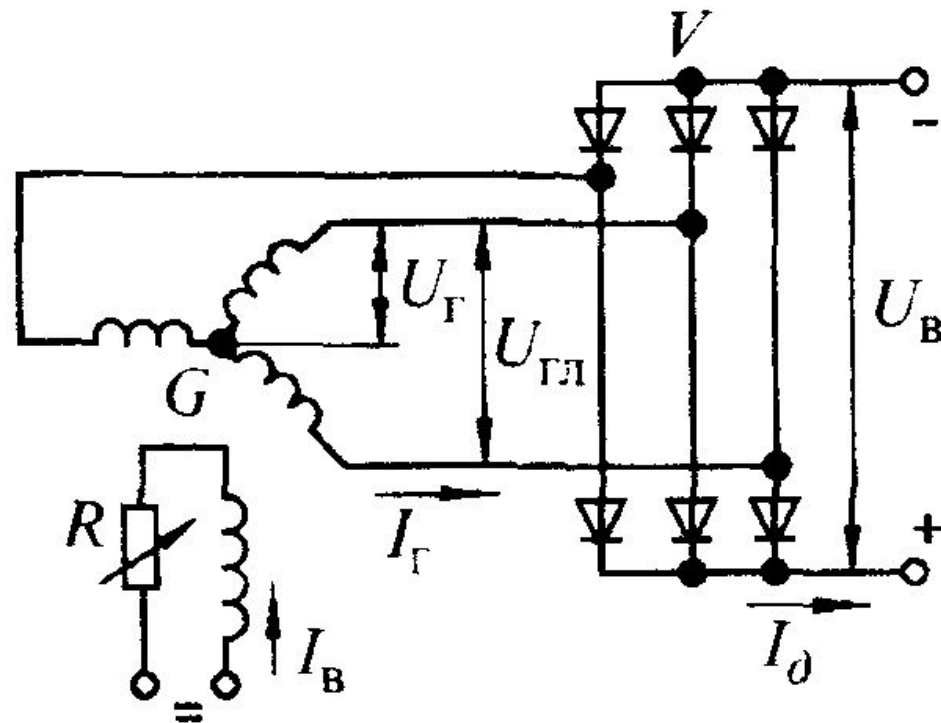
# Принципиальные схемы вентильных генераторов

*a*



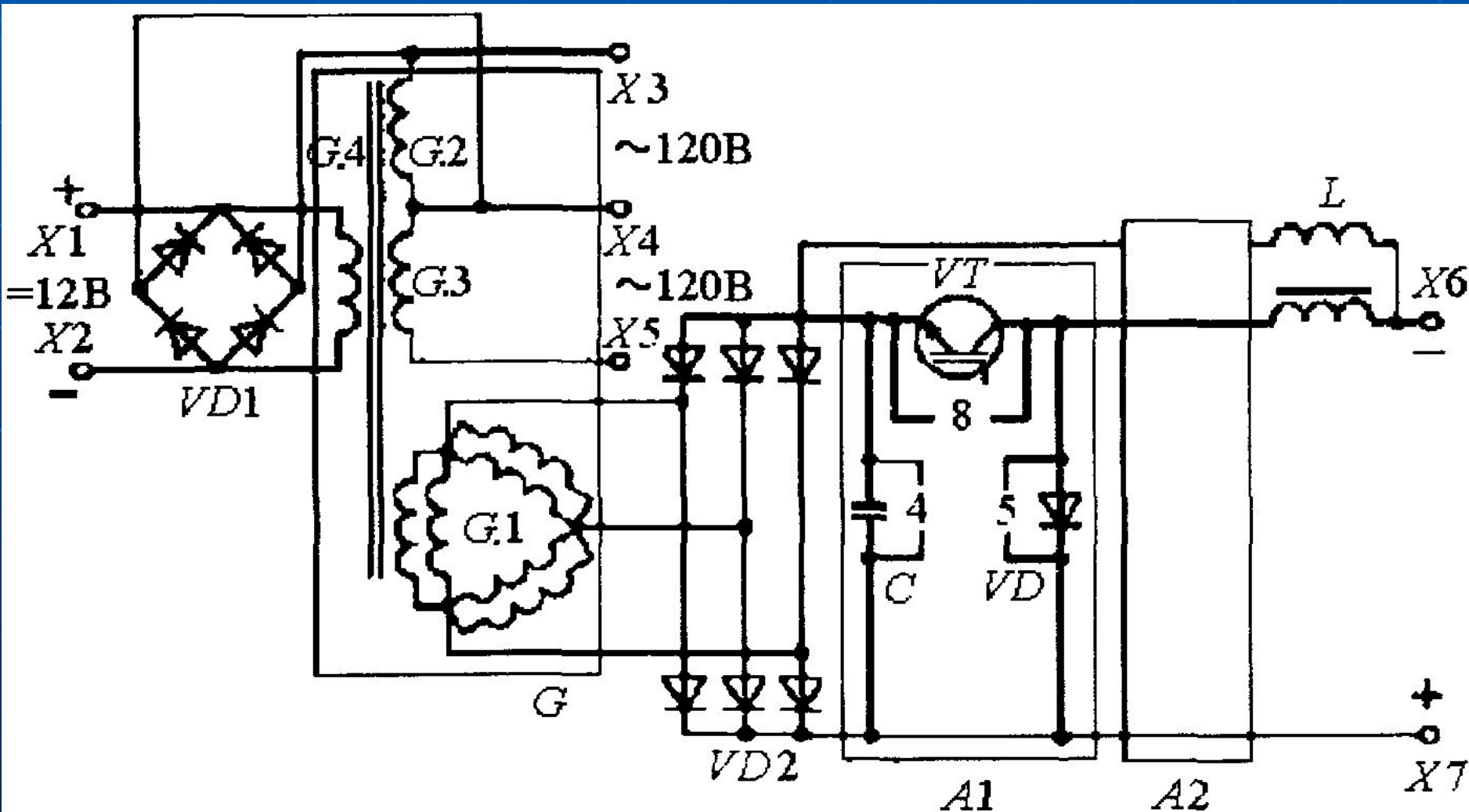
однофазный

*б*



трехфазный

# Принципиальная схема генератора в составе агрегата Vantage 500

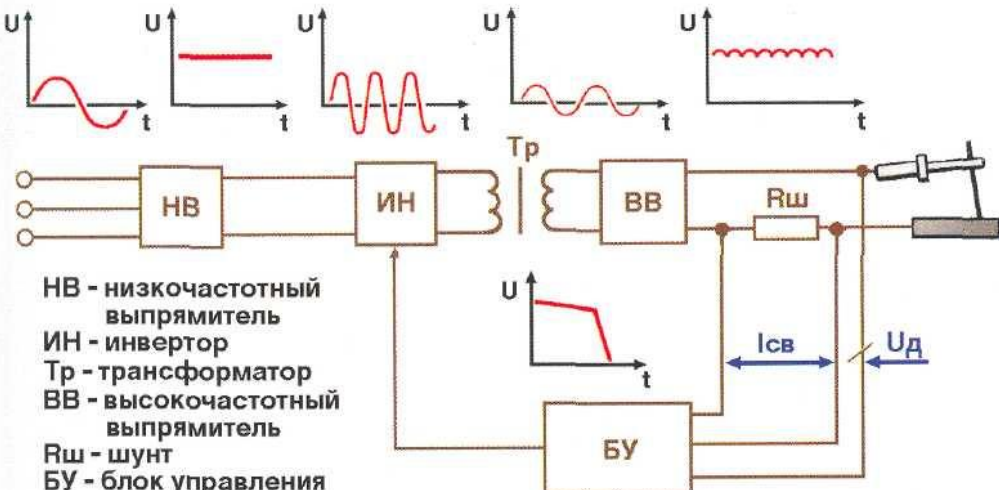
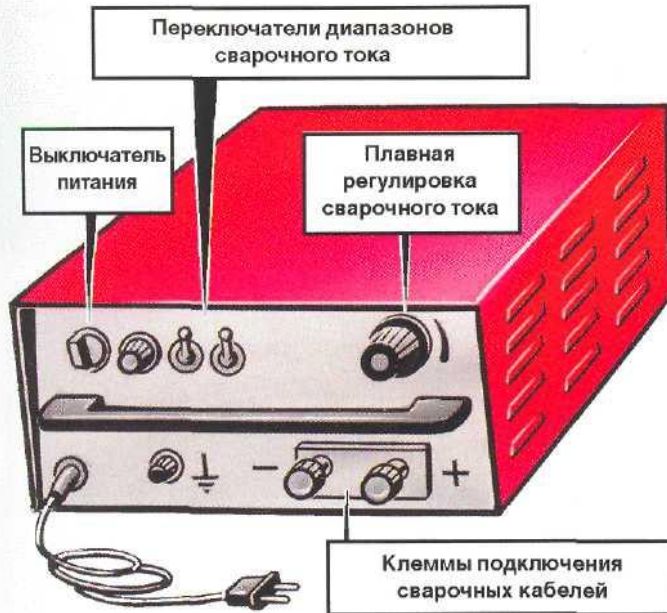




# Инверторные источники питания

## ИНВЕРТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Преобразуют переменное напряжение сети в напряжение и ток для сварки



### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

1. Минимальное разбрызгивание
2. Сварка короткой дугой
3. Сварка плохо сваривающихся сталей
4. Минимальный перегрев изделия
5. Высокие характеристики:

- КПД=95-98%
- $\cos\varphi=1,0$
- высокое быстродействие



