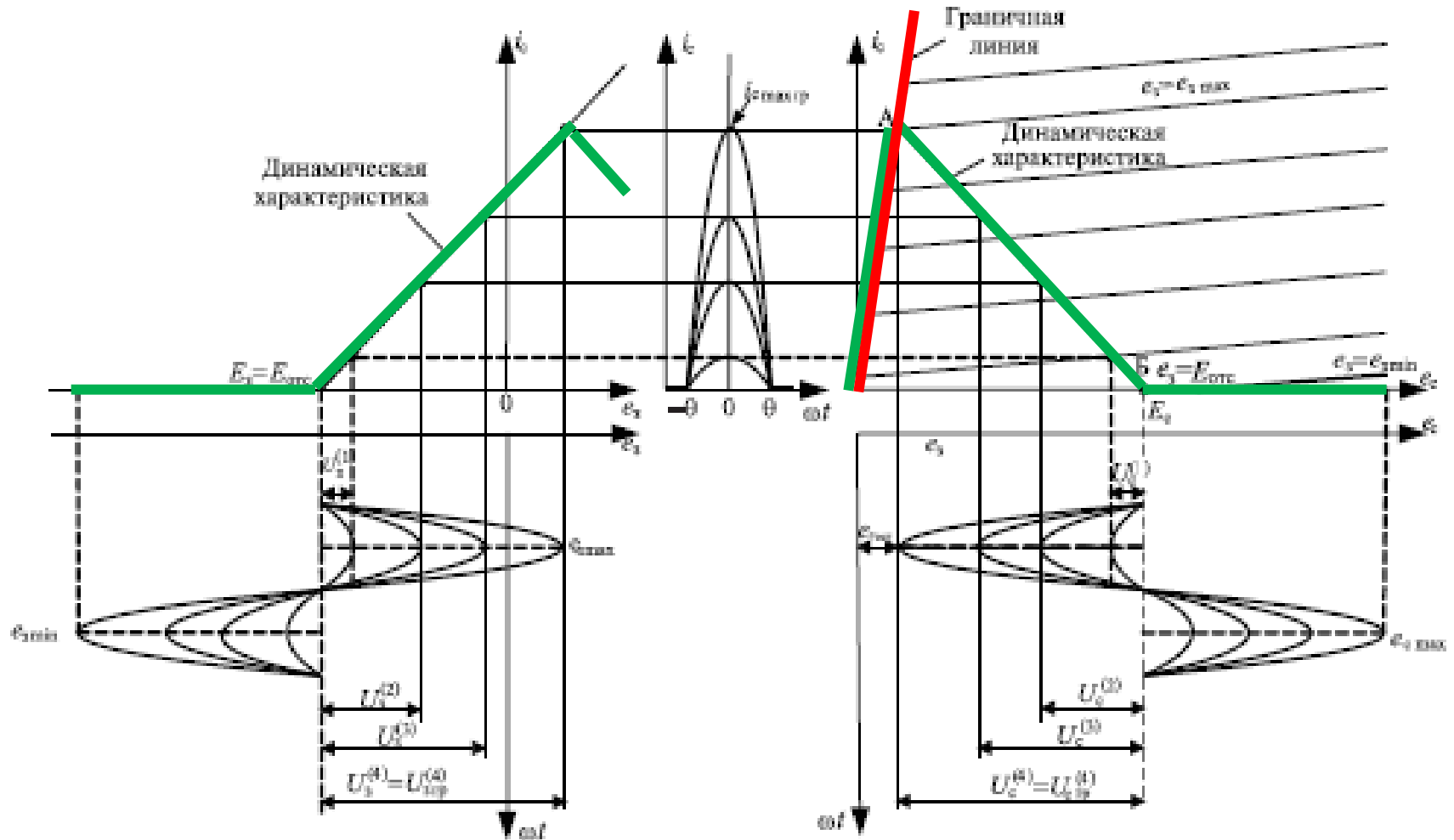
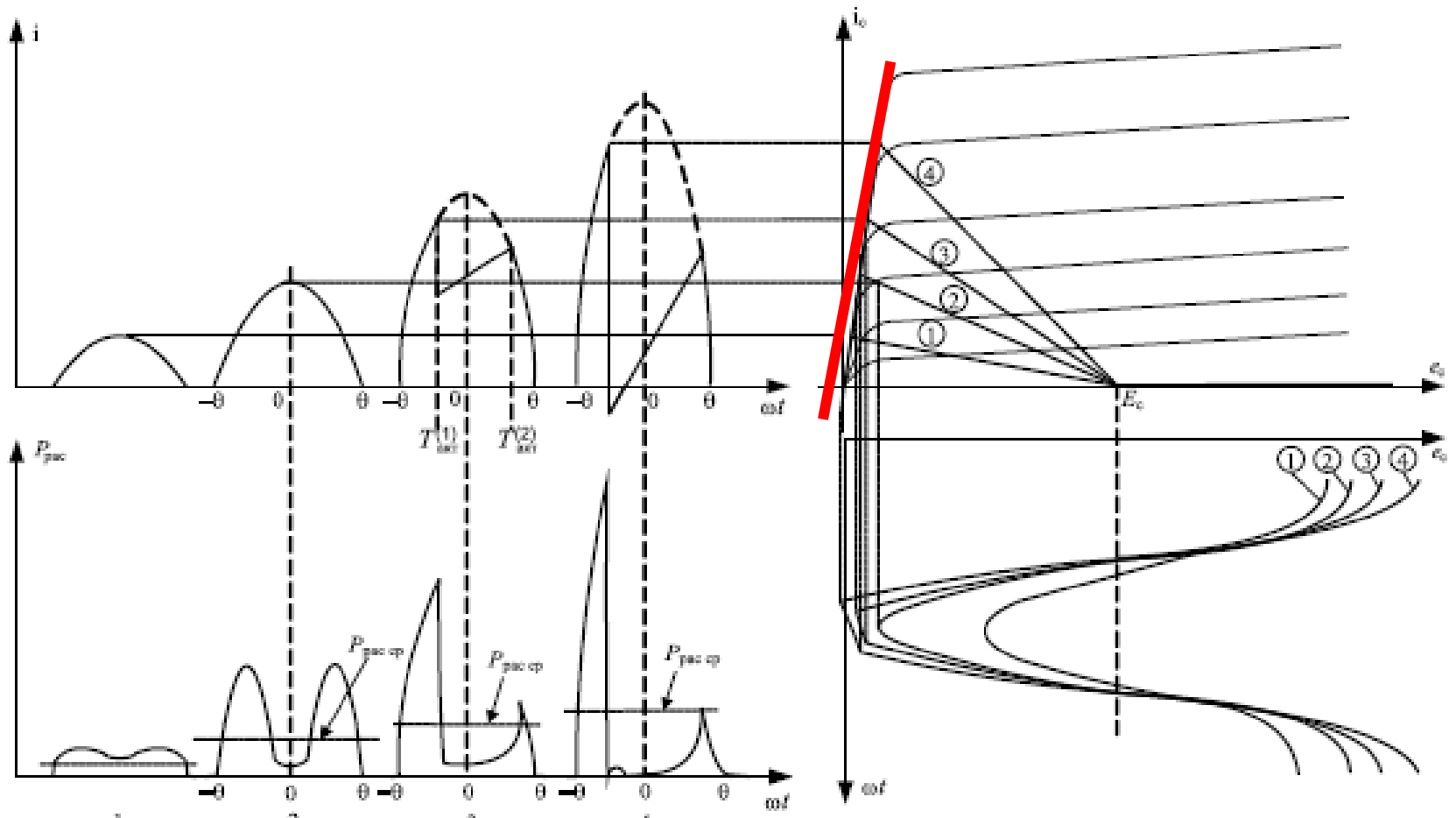


# Лекция 3. Режимы работы УМ по напряженности. Влияние нагрузки и других параметров на режим работы. Расчёт выходной цепи.



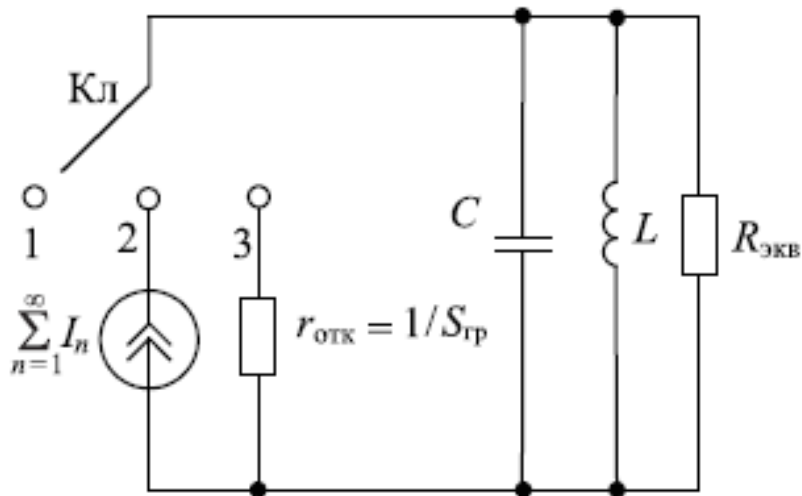
Режимы: недонапряжённый, граничный (критический), перенапряжённый (слабо, сильно), ключевой

# Пример перенапряжённого режима в УМ на транзисторе



$$r_{отк} = 1/S_{гр}, \quad r_{отк}/R_{экв} \rightarrow 0, \quad e_{ост}(\omega t) = r_{отк}i_{вых}(\omega t) \approx 0$$

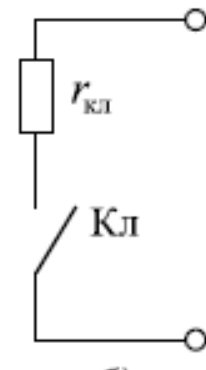
# Перенапряжённый и ключевой режим УМ на транзисторе



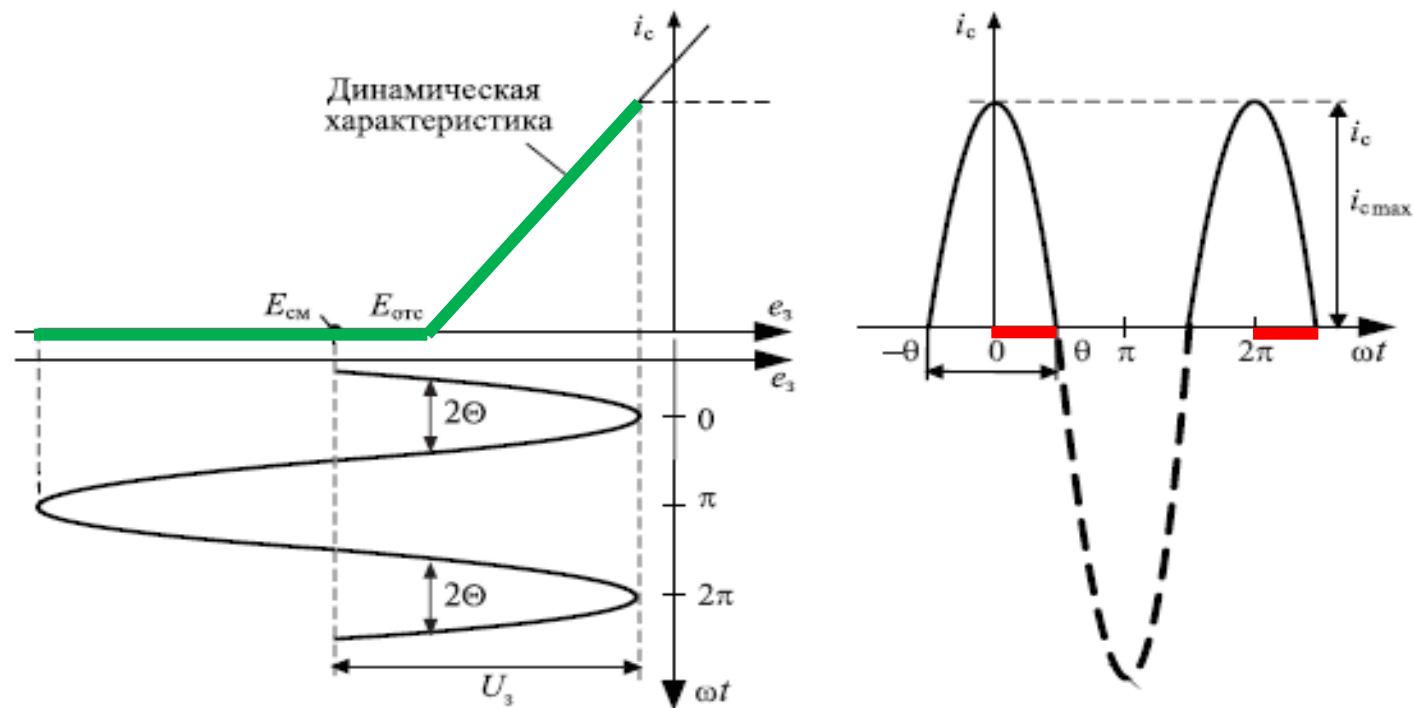
$$Q_{н\text{ экв}} = \frac{R_{\text{экв}} r_{\text{отк}}}{(R_{\text{экв}} + r_{\text{отк}})} \rho$$

временном интервале  $\Delta\omega t$ , когда транзистор находится в полностью открытом или инверсном состояниях, выходная ЦС УМ вместо резонансной становится аperiодической. Происходит просадка гармонического напряжения на стоке

*Ключевой режим.* В таком режиме в первом приближении во время всего периода РЧ колебаний ЭП оказывается попеременно только в двух состояниях — отсечки и полностью открытого (насыщения).



# Гармонический анализ токов на выходе ЭП. Коэффициенты Берга



Длительность этих импульсов принято оценивать *углом отсечки  $\theta$*  в градусах, который характеризует половину «угловой» длительности косинусоидального импульса, который длится от  $-\theta$  до  $+\theta$ . При этом периоде РЧ колебаний  $T$  в радианах  $2\pi$  соответствует  $360^\circ$ . В качестве примера на рис. 2.11 приведе-

# Гармонический анализ токов на выходе ЭП. Коэффициенты Берга

$$i_c(\theta) = S(E_3 - E_{отс} + U_3 \cos \theta) = 0 \quad \cos \theta = \frac{E_3 - E_{отс}}{U_3}; \quad \theta = \arccos \left( \frac{E_3 - E_{отс}}{U_3} \right).$$

$$i_{c \max} = S(U_3 + E_c - E_{отс}) = SU_3(1 - \cos \theta).$$

**Гармоники импульсов тока – ряд Фурье:**

$$I_{c0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\theta}^{\theta} SU_3(\cos \omega t - \cos \theta) d\omega t = \gamma_0(\theta) SU_3 = \alpha_0(\theta) i_{c \max};$$

$$I_{c1} = \frac{1}{\pi} \int_{-\theta}^{\theta} SU_3(\cos \omega t - \cos \theta) \cos(\omega t) d\omega t = \gamma_1(\theta) SU_3 = \alpha_1(\theta) i_{c \max};$$

$$I_{cn} = \frac{1}{\pi} \int_{-\theta}^{\theta} SU_3(\cos \omega t - \cos \theta) \cos(n\omega t) d\omega t = \gamma_n(\theta) SU_3 = \alpha_n(\theta) i_{c \max},$$

где  $n = 2, 3, 4 \dots$

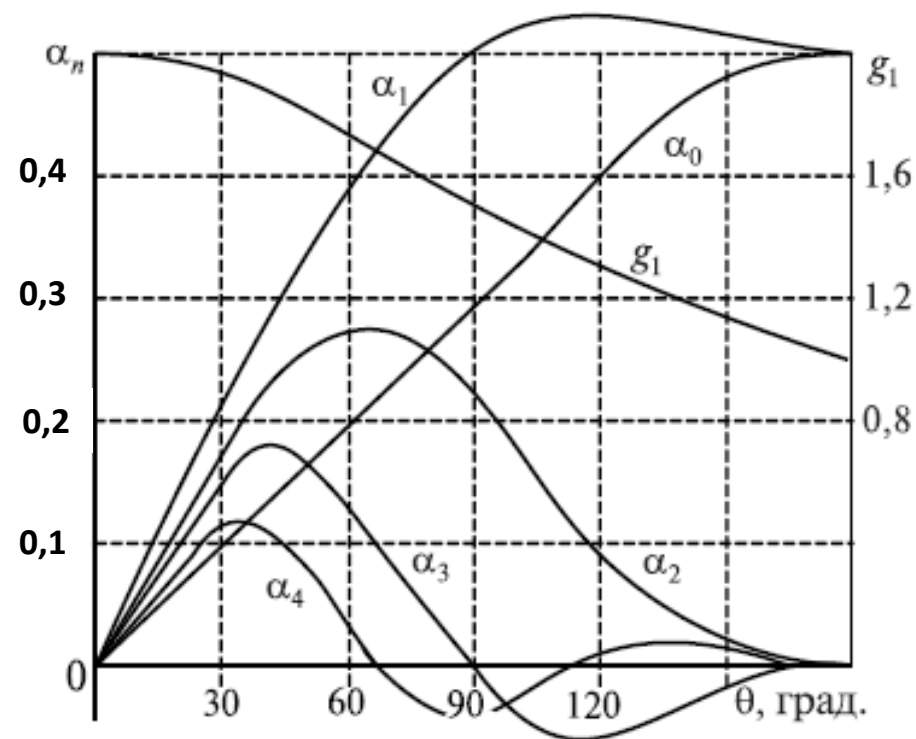
$$\alpha_n(\theta) = \frac{\gamma_n(\theta)}{1 - \cos \theta}, \quad n = 0, 1, 2 \dots$$

$$\gamma_0(\theta) = \frac{1}{\pi}(\sin \theta - \theta \cos \theta); \quad \gamma_1(\theta) = \frac{1}{\pi} \left( \theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right);$$

$$\gamma_n(\theta) = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\sin[(n-1)\theta]}{n(n-1)} - \frac{\sin[(n+1)\theta]}{n(n+1)} \right), \quad n = 2, 3, 4 \dots$$

Коэффициенты  $\gamma(\theta)$  и  $\alpha(\theta)$  принято называть *коэффициентами Берга*

# Гармонический анализ токов на выходе ЭП. Коэффициенты Берга



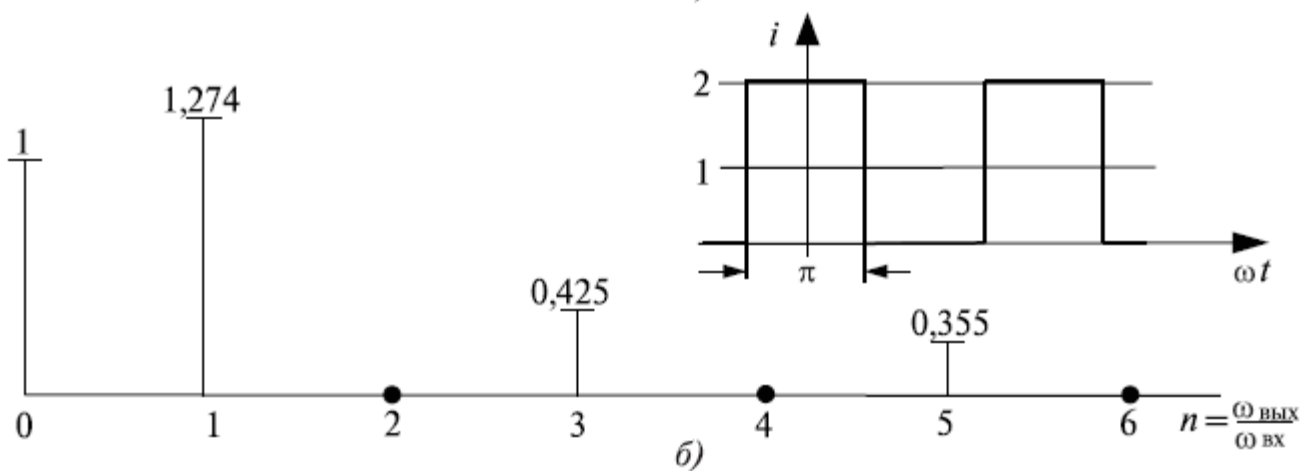
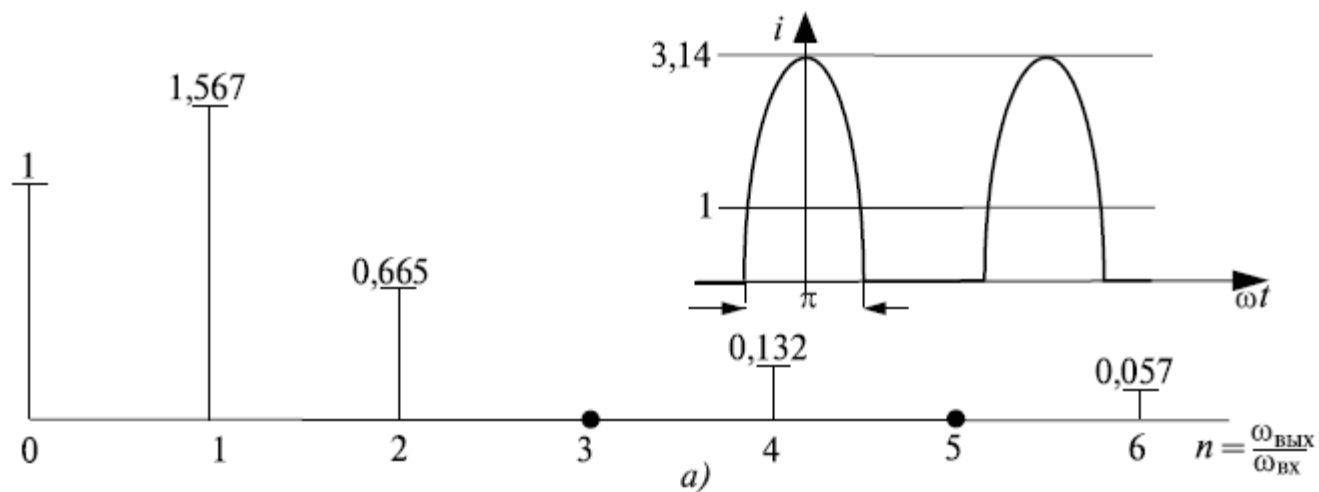
коэффициент формы тока

$$g_1(\theta) = \frac{I_{c1}}{I_{c0}} = \frac{\alpha_1(\theta)}{\alpha_0(\theta)} = \frac{\gamma_1(\theta)}{\gamma_0(\theta)}.$$

$\alpha_n(\theta)$  при  $n = 1, 2, 3, \dots$ , т. е. включая основную первую гармонику, принимают максимальные значения при  $\theta = 120^\circ/n$ ;

при  $\theta = 90^\circ$  коэффициенты  $\gamma_n(\theta)$  и  $\alpha_n(\theta)$  для нечётных гармоник ( $n = 3, 5, \dots$ ) равны нулю,

# Гармонический анализ токов на выходе ЭП



# Энергетические характеристики выходной цепи УМ

Мощность  $P_0$ , потребляемая стоковой цепью УМ от источника питания  $E_c$

$$P_0 = E_c I_{c0} = \gamma_0(\theta) E_c S U_z = \alpha_0(\theta) E_c i_{c \max}.$$

полезная мощность  $P_{н1}$ , которая выделяется в нагрузочном сопротивлении  $R_{\text{экв}}$ ,

$$P_{н1} = 0,5 R_{\text{экв}} I_{c1}^2 = 0,5 \gamma_1(\theta) U_c S U_z = 0,5 \alpha_1(\theta) U_c i_{c \max},$$

где  $U_c = I_{c1} R_{\text{экв}}$  — амплитуда переменного напряжения на стоке транзистора.

Разность двух мощностей определяет усредненную за период РЧ колебаний тепловую мощность, рассеиваемую в транзисторе

$$P_{\text{рас ср}} = P_0 - P_{н1},$$

а их отношение — КПД выходной (стоковой, коллекторной) цепи УМ

$$\eta = P_{н1} / P_0 = 0,5 (I_{c1} / I_{c0}) (U_c / E_c) = 0,5 g_1(\theta) \xi.$$

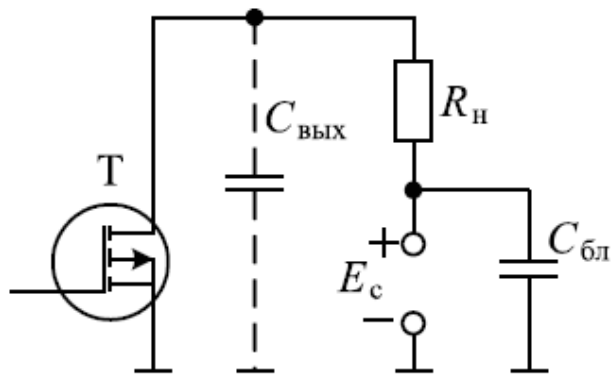
$\xi = U_c / E_c$  — коэффициент использования гармонического напряжения на выходном электроде

КПД УМ по выходной цепи определяется только режимом его работы:

углом отсечки  $\theta$  и степенью напряженности.



# Резистивная нагрузка



$$e_c(\omega t) = E_c - R_{\text{н}} i_c(\omega t)$$

$$\eta = P_{\text{н1}}/P_0 = 0,5(I_{\text{c1}}/I_{\text{c0}})(U_c/E_c) = 0,5g_1(\theta)\xi.$$

$$P_{\text{рас ср}} = P_0 - P_{\text{н1}},$$

в классе А ( $\theta = 180^\circ$ )

$g_1(\theta)=1$ , при  $\xi \rightarrow 0,5$ ,  $\eta \rightarrow 0,25$  !

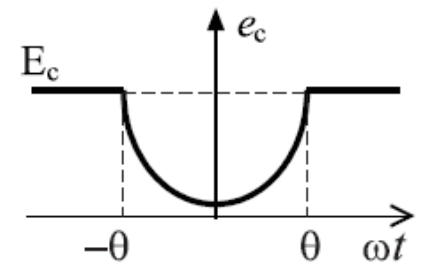
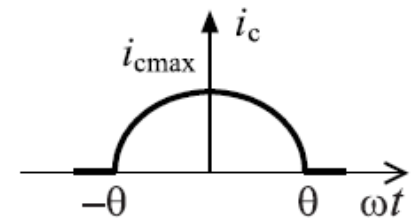
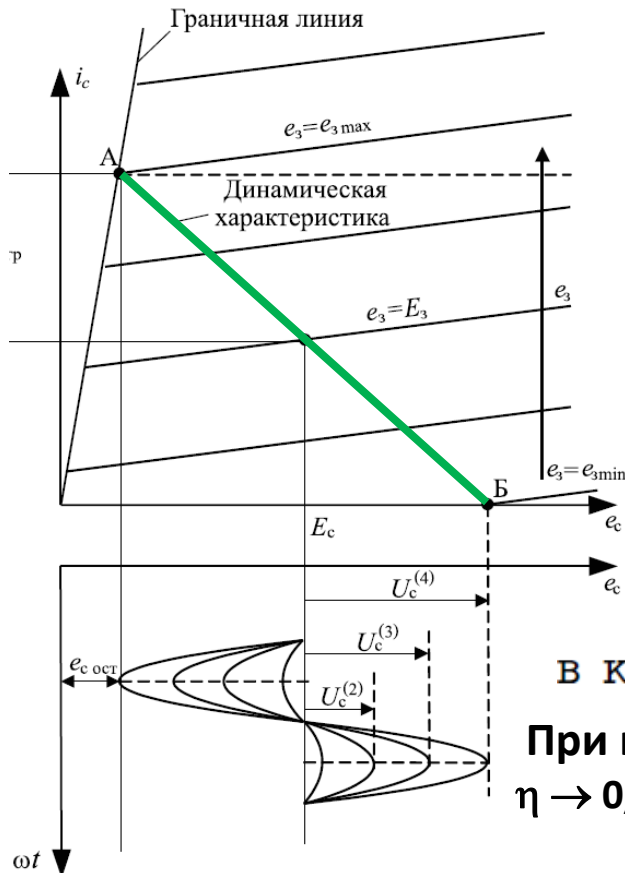
$P_0$  рассеивается на ЭП и  $R_{\text{н}}$

в классе В ( $\theta = 90^\circ$ )

$g_1(\theta) \approx 1,6$  при  $\xi \rightarrow 0,5$ ,  
И отсечка по  $e_c \rightarrow 0,5$   $\eta \rightarrow 0,4$

в классе А ( $\theta = 180^\circ$ )

При нагрузке на контур  $\xi \rightarrow 1$ ,  $g_1(\theta)=1$   
 $\eta \rightarrow 0,5$

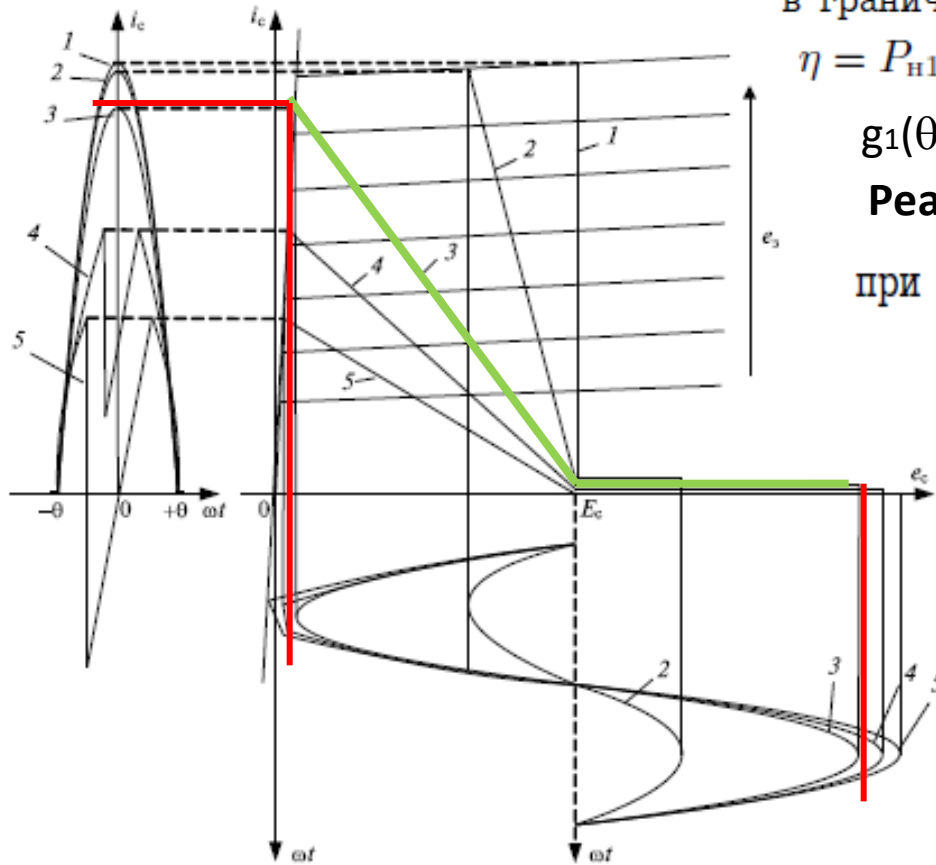


Граничный режим

a)

# УМ с колебательным контуром.

## Влияние эквивалентного сопротивления нагрузки на режим УМ



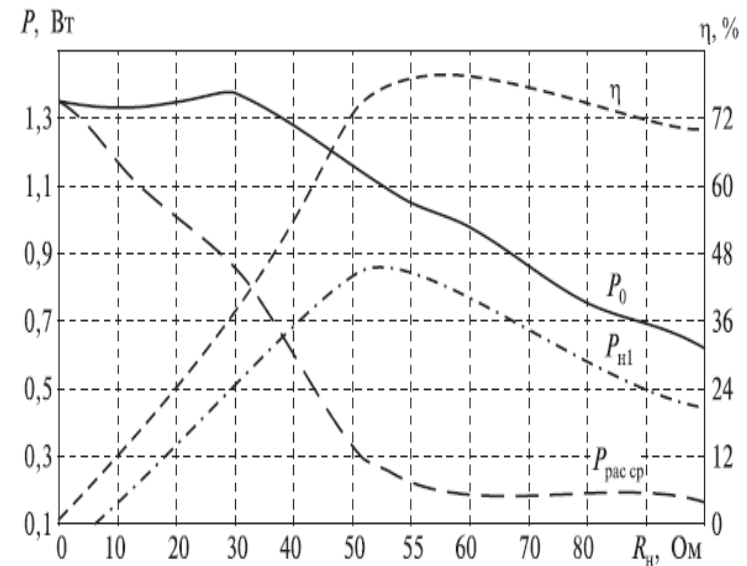
в граничном режиме КПД по выходной цепи транзистора

$$\eta = P_{H1}/P_0 = 0,5(I_{c1}/I_{c0})(U_c/E_c) = 0,5g_1(\theta)\xi.$$

$$g_1(\theta) \approx 1,6 \text{ при } \xi \rightarrow 1, \eta \rightarrow 0,8$$

Реально  $\xi < 1$  и

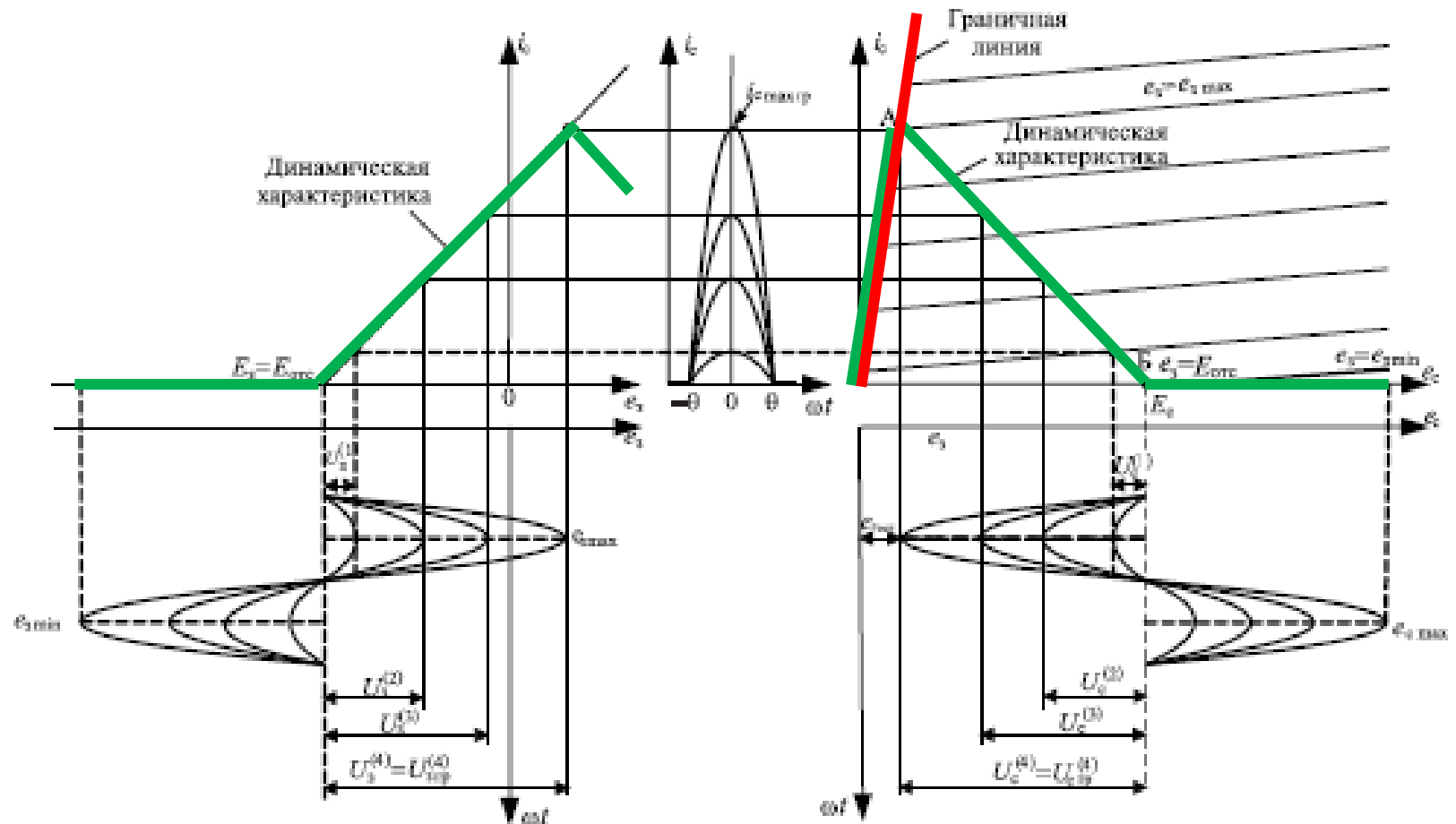
при  $\theta = 90^\circ$  (класс В) КПД достигает  $\approx 73\%$



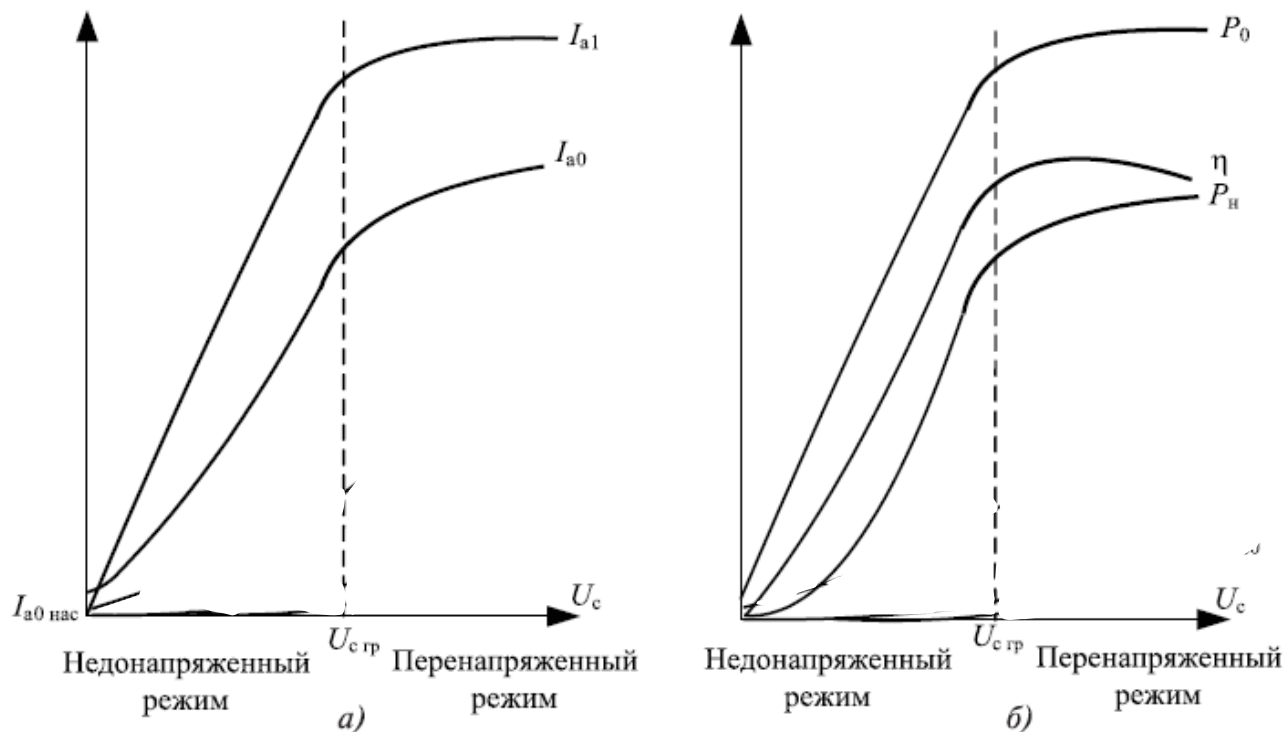
$$U_3 = \text{const} \quad E_3 = \text{const} \quad E_c = \text{const}$$

$$U_c = R_{\text{Э}} I_{c1} \quad P_{H1} = R_{\text{Э}} I_{c1}^2 \quad P_0 = E_c I_{c0}$$

# Влияние напряжения возбуждения на режим УМ



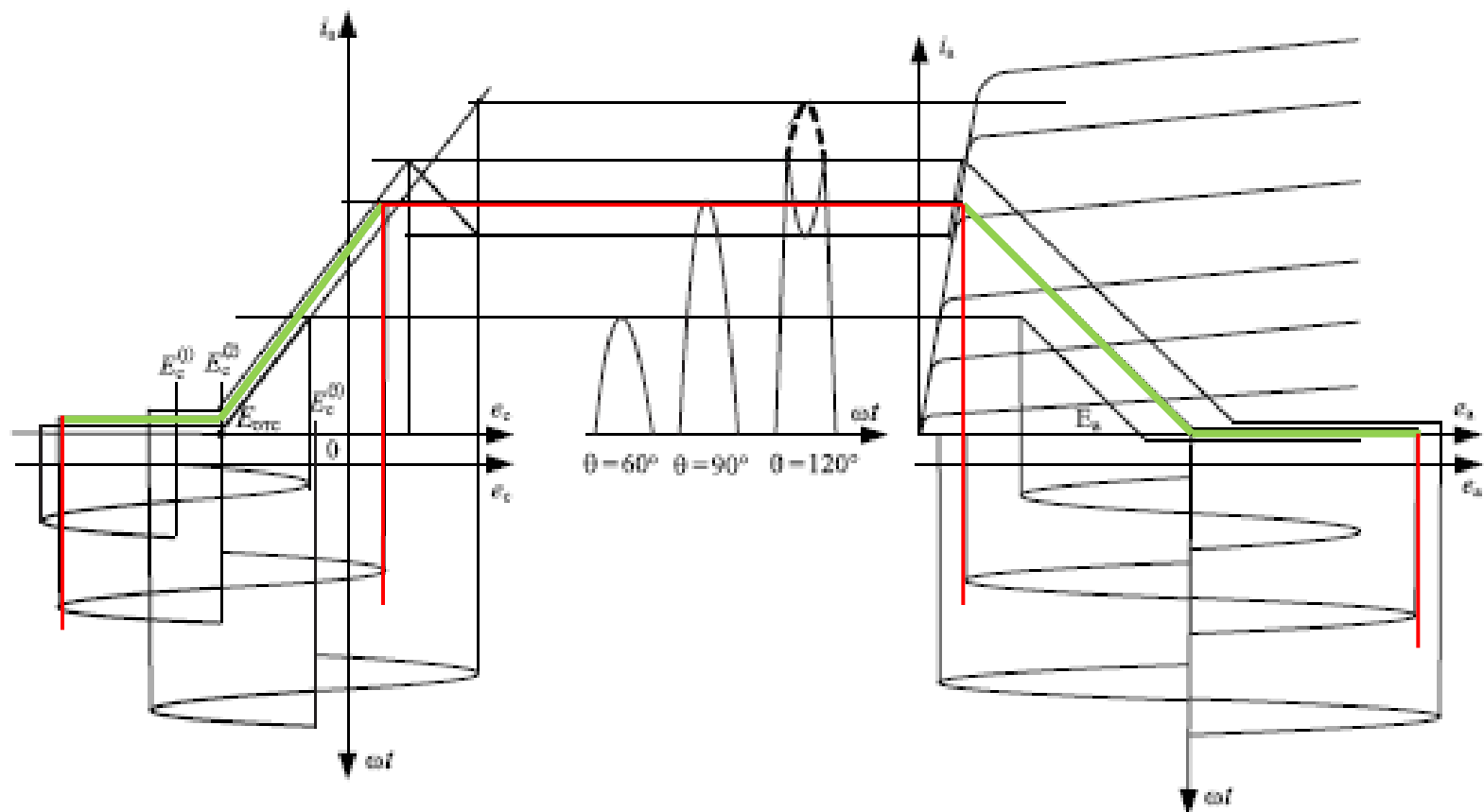
# Влияние напряжения возбуждения на режим УМ



$$\Theta = 90^\circ = const$$

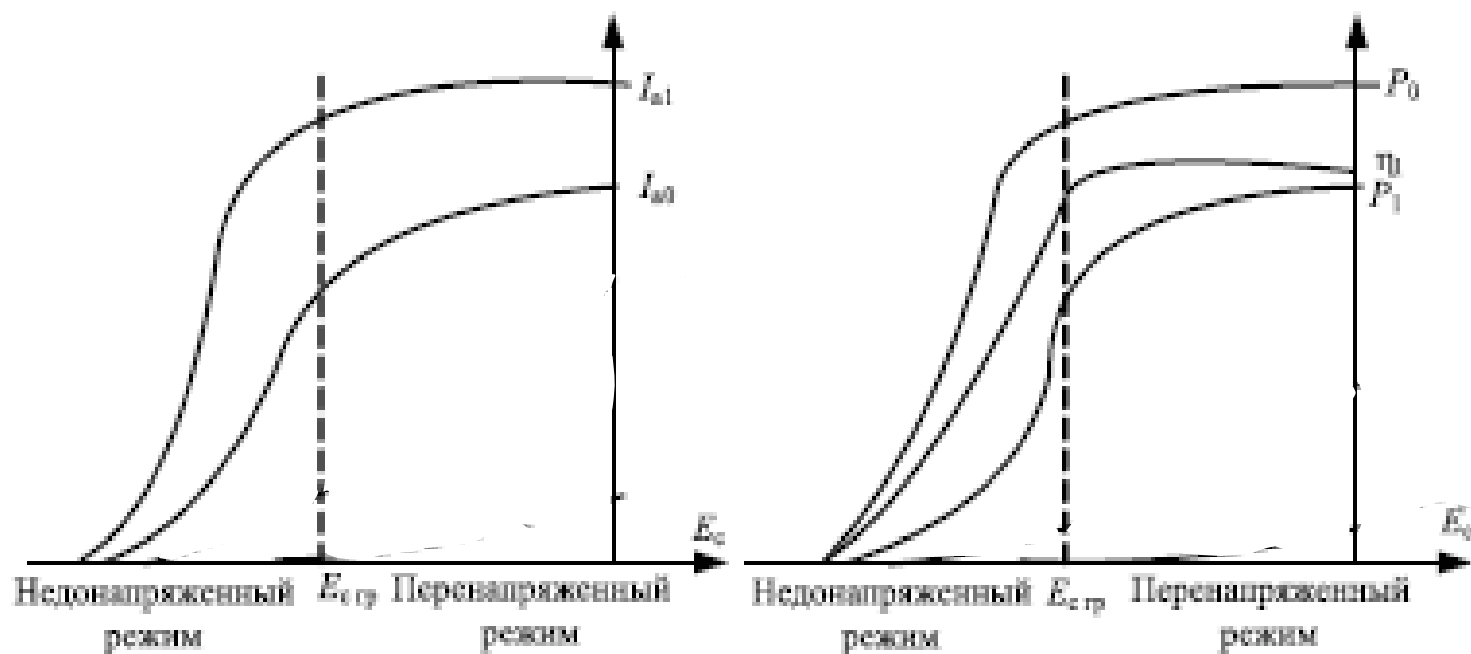
$$I_{c1} = \alpha_1(90^\circ)I_{max} \quad I_{c0} = \alpha_0(90^\circ)I_{max} \quad P_{н1} = R_{\exists} I_{c1}^2 \quad P_0 = E_c I_{c0}$$

# Влияние напряжения смещения на режим УМ



$$U_3 = const \quad R_a = const \quad E_c = const$$

# Влияние напряжения смещения на режим УМ



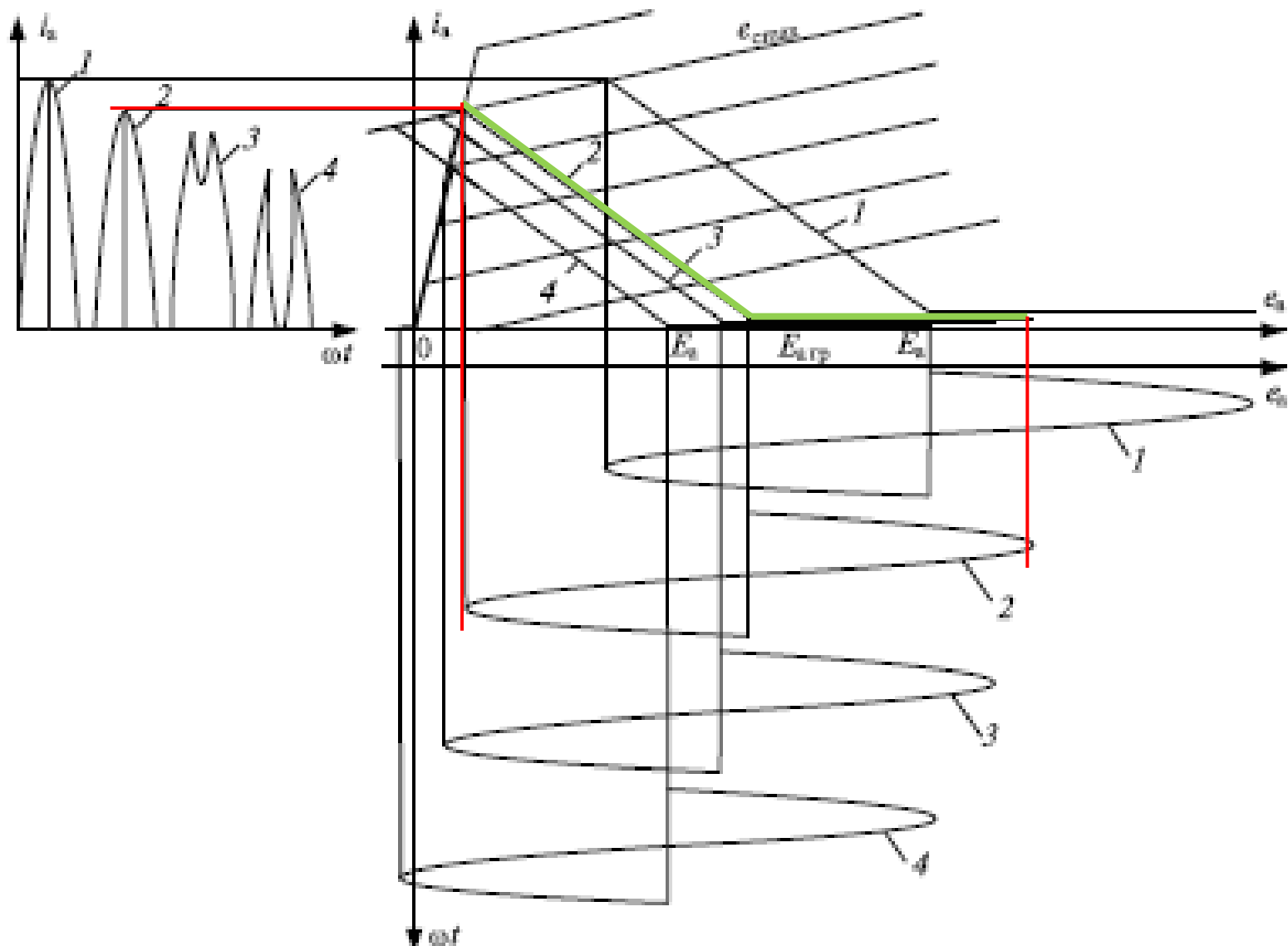
$$I_{c1} = \alpha_1(\Theta) I_{max}$$

$$I_{c0} = \alpha_0(\Theta) I_{max}$$

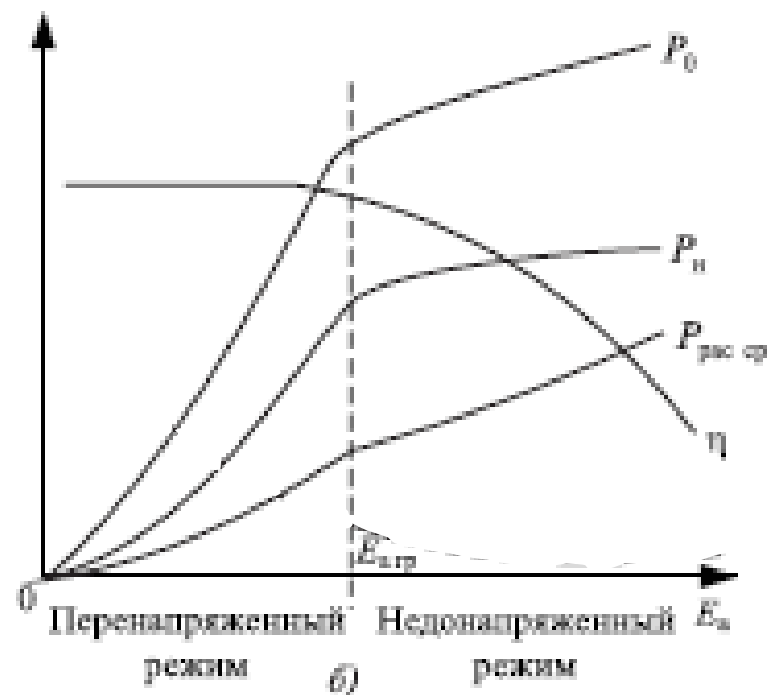
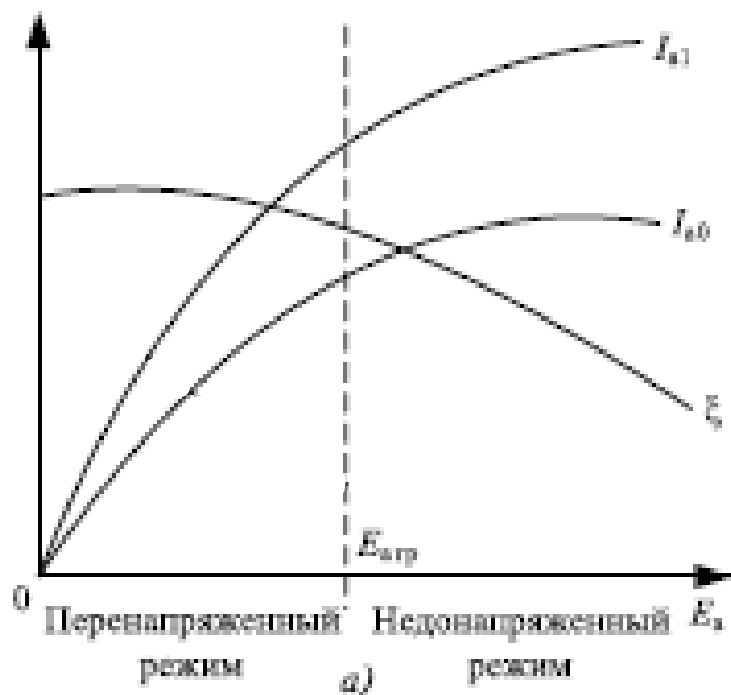
$$P_{н1} = R_{\text{Э}} I_{c1}^2$$

$$P_0 = E_c I_{c0}$$

# Влияние напряжения питания на режим УМ



# Влияние напряжения питания на режим УМ



$$I_{c1} = \alpha_1(90^\circ)I_{max} \quad I_{c0} = \alpha_0(90^\circ)I_{max}$$

$$P_{н1} = R_{\exists} I_{c1}^2 \quad P_0 = E_c I_{c0}$$