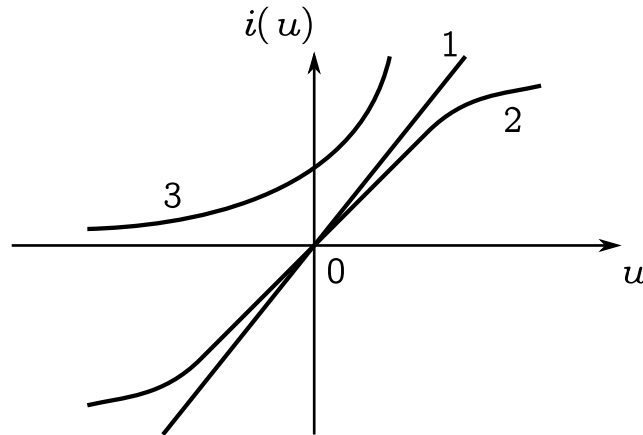


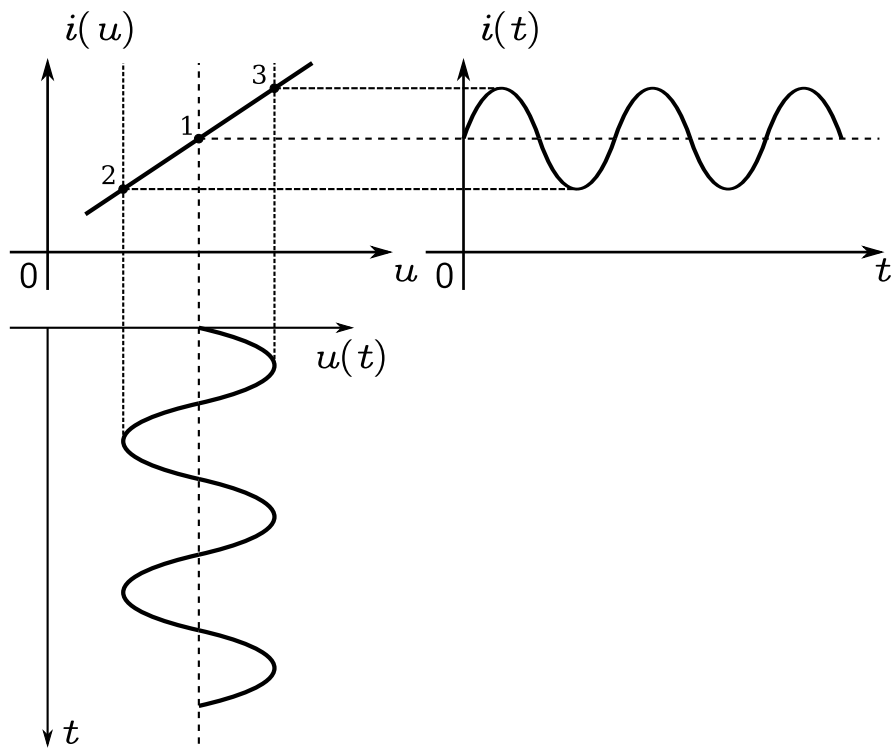
Нелинейные цепи

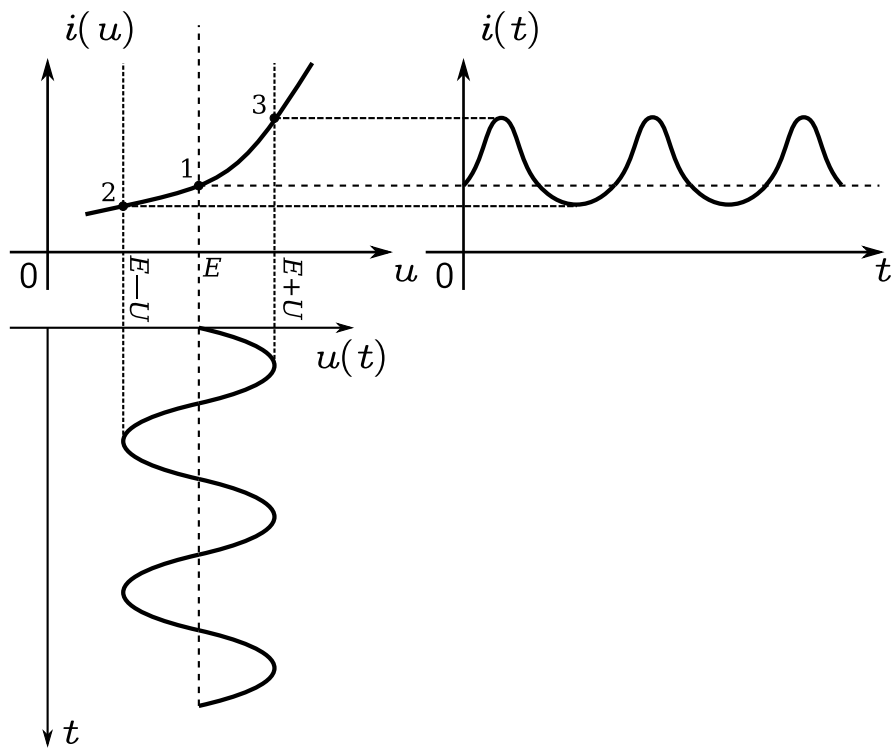
Вольт-амперная характеристика (ВАХ)

$$i_{\text{ВЫХ}} = f(u_{\text{ВХ}}) \quad (1)$$



$$S_{\text{диф}}(u) = 1/R_{\text{диф}}(u) = \frac{di}{du} \quad (2)$$





$$i(t) = I_0 + \sum_{i=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega_1 t + n\varphi_1) \quad (3)$$

Аппроксимация ВАХ

Кусочно-линейная аппроксимация

$$i(u) = \begin{cases} 0, & u < U_0; \\ S(u - U_0), & u \geq U_0. \end{cases} \quad (4)$$

$$\cos \theta = \frac{U_0 - E}{U} \quad (5)$$

$$I_n = SU\alpha_n(\theta)(1 - \cos \theta) = SU\gamma_n(\theta) \quad (6)$$

Степенная аппроксимация

$$i(u) = a_0 + a_1(u - E) + a_2(u - E)^2 + \dots \quad (7)$$

где

$$a_n = \frac{1}{n!} \frac{d^n i}{du^n} \Big|_{u=E} \quad (8)$$

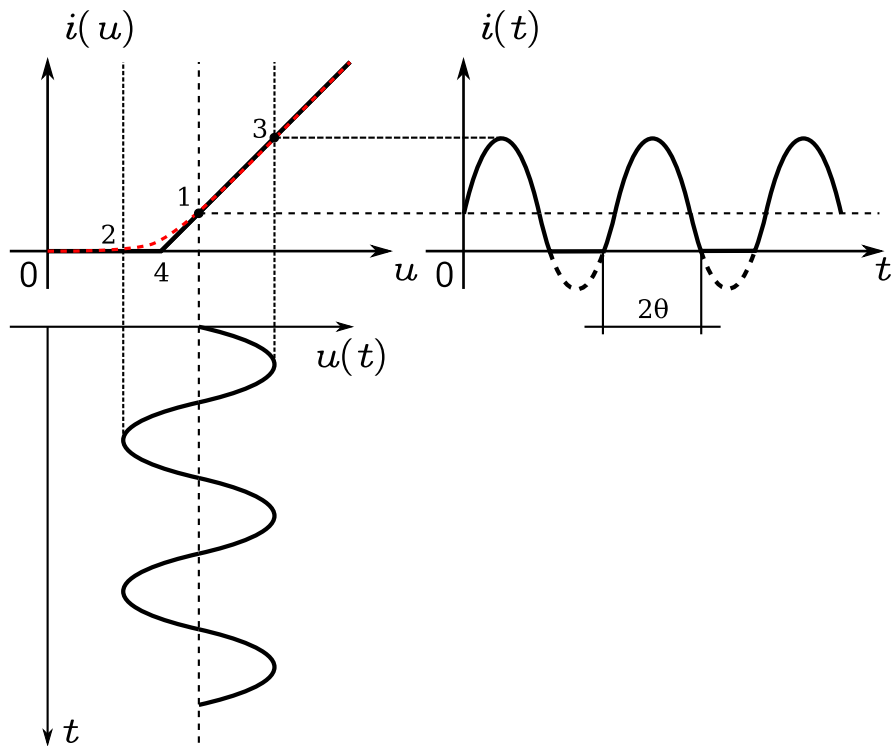
$$u(t) = E + U \cos \omega_1 t \quad (9)$$

$$I_0 = a_0 + 1/2 a_2 U^2 + 3/8 a_4 U^4 + \dots \quad (10)$$

$$I_1 = a_1 U + 3/4 a_3 U^3 + 5/8 a_5 U^5 + \dots \quad (11)$$

$$I_2 = 1/2 a_2 U^2 + 1/8 a_4 U^4 + \dots \quad (12)$$

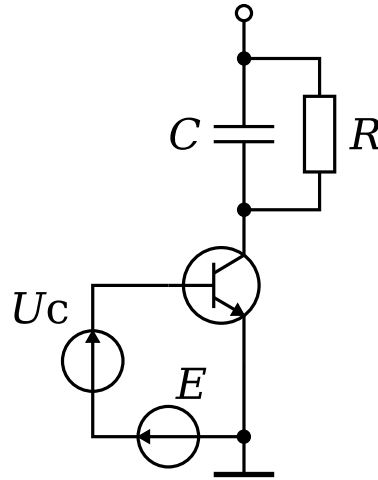
$$I_3 = 1/4 a_3 U^3 + 5/16 a_5 U^5 + \dots \quad (13)$$



Экспоненциальная (показательная) аппроксимация

$$i(u) = b(\exp(au) - 1) \quad (14)$$

Нелинейные искажения

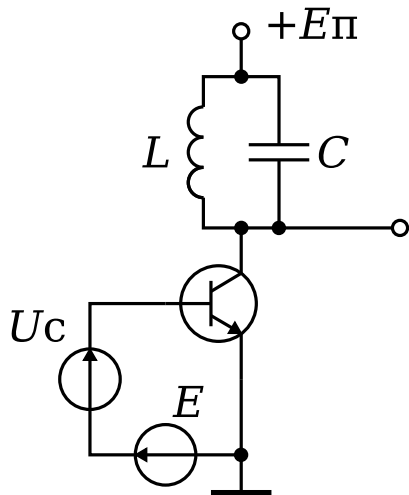


$$k_{\text{НИ}} = k_{\Gamma} = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + \dots}{I_1^2}} \quad (15)$$

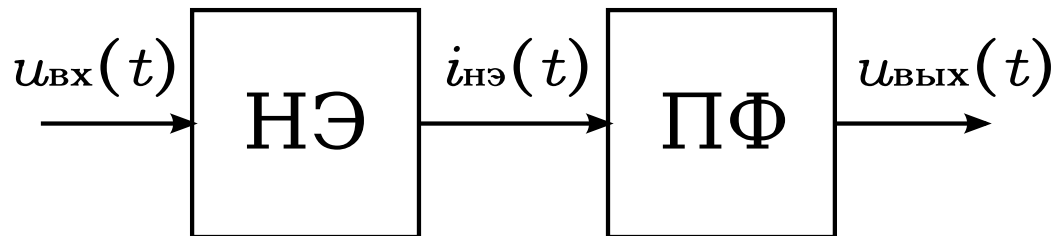
Резонансный усилитель

$$U_{\text{ВЫХ}} = I_1 R_{\text{рез}} = S R_{\text{рез}} U_{\text{ВХ}} \gamma_1(\theta) \quad (16)$$

Колебательная характеристика: $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$



Умножение частоты



$$U_{\text{ВЫХ}} = I_n R_{\text{рез}} = S R_{\text{рез}} U_{\text{ВХ}} \gamma_n(\theta) \quad (17)$$

$$\theta_{\text{ОПТ}} = \pi/n \quad (18)$$

