

# IX олимпиада по теории электронных цепей "ТЭЦ'2016",

посвященная памяти  
проф. Сигорского Виталия Петровича

**Задача 1.**

В режиме холостого хода на выходе системы (четырёхполюсника) коэффициент передачи напряжения равен 5, а входное сопротивление равно 2 Ом. В режиме короткого замыкания на выходе коэффициент передачи тока равен 4, а входное сопротивление равно 1 Ом. Сколько мощности потребляет согласованная нагрузка системы  $r_n$ ?

-схемное обозначения идеального источника напряжения 5 В

### Решение:

Согласованной называется нагрузка, сопротивление которой равно сопротивлению источника, к которому она подключена. Такая нагрузка отбирает наибольшую мощность у источника. В нашем случае нагрузка подключена на выход системы с двумя сторонами (четырёхполюсника). Поэтому задача сводится к замене системы эквивалентным источником напряжения (схемой Тевенена) или эквивалентным источником тока (схемой Нортон). Значение согласованной нагрузки равно сопротивлению любого из эквивалентных источников, так как они равны. Параметры источников находятся по заданным схемным функциям, которые определены в режиме холостого хода ( $K_u, R_{вх}$ ) или короткого замыкания ( $K_i, R_{вх}$ ) на выходе системы.

**Холостой ход:** Система в режиме холостого хода представлена на Рис. 1(а). Заменяв систему входным сопротивлением, получаем эквивалентную схему (см. Рис. 1(б)), которая представляет собой делитель напряжения. Находим  $u_{вх}^{xx}$  по формуле делителя напряжения:

$$u_{вх} = \frac{R_{вх}}{R_{вх} + r_u} e = \frac{2}{2 + 3} 5 = 2 \text{ В}. \quad (1)$$

Напряжение холостого хода  $u_{вых}^{xx}$  находим через коэффициент передачи напряжения системы:

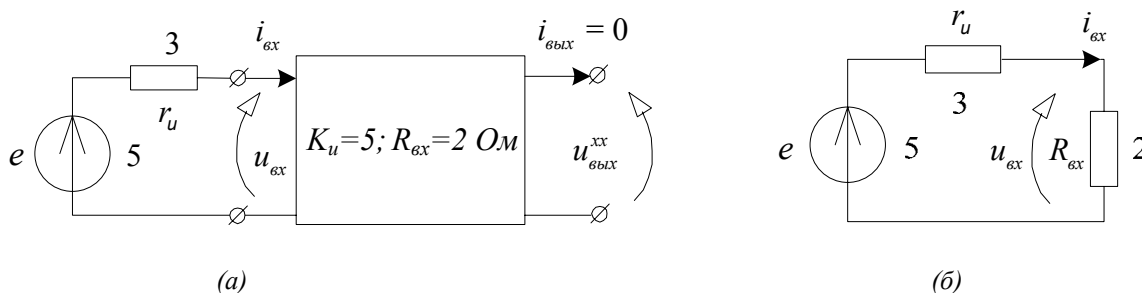


Рис. 1. (а) исходная система в режиме холостого хода ( $r_n = \infty$ ;  $u_{вых} = u_{вых}^{xx}$ ); (б) схема, эквивалентная схеме (а), в которой система заменена входным сопротивлением  $R_{вх} = 2 \text{ Ом}$ .

$$u_{\text{вых}}^{xx} = K_u u_{\text{вх}} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ В}. \quad (2)$$

**Короткое замыкание:** система в режиме короткого замыкания представлена на Рис. 2(а). Заменяв систему входным сопротивлением, получаем эквивалентную схему (см. Рис. 2(б)), которая также представляет собой делитель напряжения, но уже при другом значении сопротивления нагрузки. Находим  $i_{\text{вх}}$ :

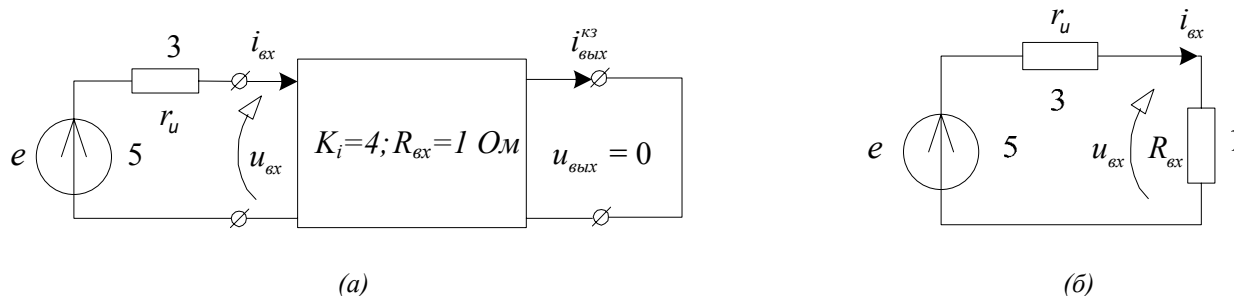


Рис. 2. (а) исходная система в режиме короткого замыкания на выходе ( $r_n = 0$ ;  $i_{\text{вых}} = i_{\text{вых}}^{\text{кз}}$ ); (б) схема, эквивалентная схеме (а), в которой система заменена входным сопротивлением  $R_{\text{вх}} = 1 \text{ Ом}$ .

$$i_{\text{вх}} = \frac{e}{R_{\text{вх}} + r_u} = \frac{5}{1 + 3} = \frac{5}{4} \text{ А}. \quad (3)$$

Ток короткого замыкания  $i_{\text{вых}}^{\text{кз}}$  находим через коэффициент передачи тока:

$$i_{\text{вых}}^{\text{кз}} = K_i i_{\text{вх}} = 4 \cdot \frac{5}{4} = 5 \text{ А}. \quad (4)$$

**Эквивалентный источник:** заменяем систему эквивалентным источником в виде схемы Тевенена или схемы Нортон и подключаем согласованную нагрузку (см. Рис.3). Сопротивление согласованной нагрузки  $r_c$  равно сопротивлению источников  $r_3$ , которое, в свою очередь, находим как

$$r_3 = \frac{u_{\text{вых}}^{xx}}{i_{\text{вых}}^{\text{кз}}} = \frac{10}{5} = 2 \text{ Ом}. \quad (5)$$

Напряжение источника  $e_3$  в схеме Тевенена равно напряжению холостого хода системы (2) (см. источник Рис. 3(а) при холостом ходе), а ток источника  $j_3$  в схеме Нортон равен току короткого замыкания (4) (см. источник Рис. 3(б) при коротком замыкании). Поскольку источники являются моделью одной и той же системы, то согласованная нагрузка источников находится в одинаковых условиях (ток и напряжение на нагрузке одинаковы в обеих схемах). Из делителя напряжения находим напряжение на нагрузке

$$u_{\text{вых}} = \frac{r_c e_3}{r_c + r_3} \Bigg|_{\substack{r_c = r_3 \\ e_3 = u_{\text{вых}}^{xx}}} = \frac{u_{\text{вых}}^{xx}}{2}, \quad (6)$$

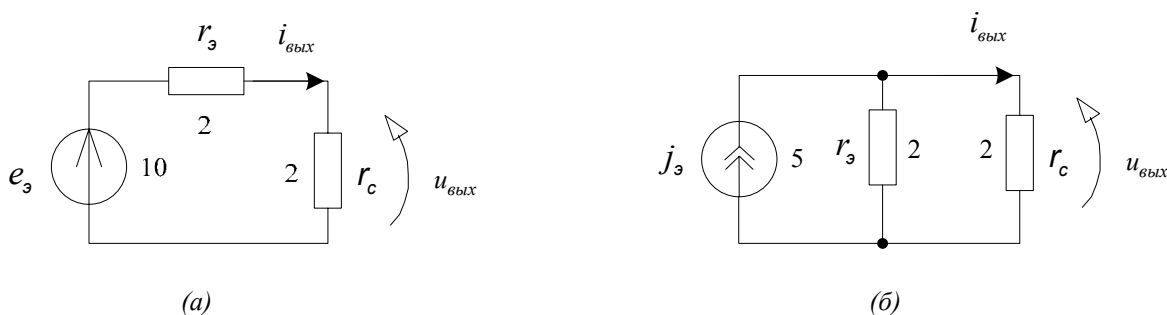


Рис. 3. (а) эквивалентная схема Тевенена (эквивалентный источник напряжения) с согласованной нагрузкой; (б) эквивалентная схема Нортон (эквивалентный источник тока) с согласованной нагрузкой.

а из делителя тока находим ток, протекающей через нагрузку

$$i_{\text{вых}} = \frac{r_3 j_3}{r_c + r_3} \Big|_{\substack{r_c=r_3 \\ j_3=i_{\text{вых}}^{K3}}} = \frac{i_{\text{вых}}^{K3}}{2}, \quad (7)$$

тогда мощность на согласованной нагрузке равна:

$$p_n = u_{\text{вых}} i_{\text{вых}} = \frac{1}{4} u_{\text{вых}}^{K3} i_{\text{вых}}^{K3} = p_{n \max} = \frac{5 \cdot 10}{4} = 12,5 \text{ Вт}. \quad (8)$$

Искомую мощность на согласованной нагрузке можно также найти, рассматривая каждый делитель отдельно. Из схемы Рис. 3(а)

$$p_n = u_{\text{вых}} i_{\text{вых}} = \frac{r_c e_3}{r_c + r_3} \cdot \frac{e_3}{r_c + r_3} \Big|_{r_c=r_3} = \frac{e_3^2}{4r_3} = p_{n \max} = \frac{10^2}{4 \cdot 2} = 12,5 \text{ Вт}, \quad (9)$$

а из схемы Рис. 3(б)

$$p_n = u_{\text{вых}} i_{\text{вых}} = \frac{r_c r_3 j_3}{r_c + r_3} \cdot \frac{r_3 j_3}{r_c + r_3} \Big|_{r_c=r_3} = \frac{j_3^2 r_3}{4} = p_{n \max} = \frac{5^2 \cdot 2}{4} = 12,5 \text{ Вт}. \quad (10)$$