

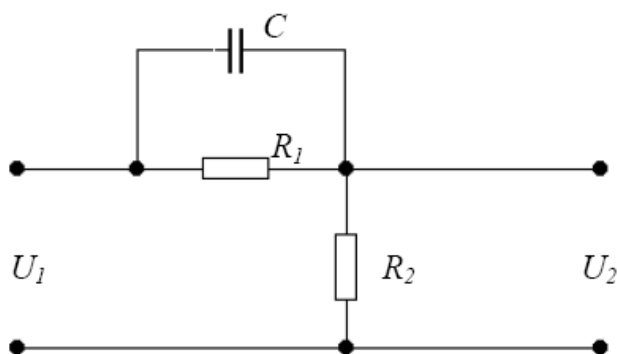
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

ОЛИМПИАДА-2018

11.04.01 Радиотехника

ОТКРЫТЫЙ БИЛЕТ

1. Определите значение модуля входного сопротивления четырехполюсника, изображенного на рисунке, при частоте сигнала 1000 Гц.  $R_1 = 1000$  Ом,  $R_2 = 2000$  Ом,  $C = 100$  нФ. Ответ округлите до тысячных долей.



*Решение*

Входное сопротивление четырехполюсника  $Z_{вх}$  можно представить в виде последовательного соединения резистора  $R_2$  и параллельно соединенных между собой резистора  $R_1$  и конденсатора  $C$ .

Сопротивление конденсатора  $X_C$  находится по формуле:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C},$$

где  $j = \sqrt{-1}$  – мнимая единица,

$\omega = 2\pi f$  – круговая частота сигнала.

Комплексное сопротивление  $Z_1$  параллельного соединения резистора  $R_1$  и конденсатора  $C$  определяется по формуле:

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{X_C} = \frac{1}{R_1} + j\omega C = \frac{1 + j\omega CR_1}{R_1}.$$

Тогда  $Z_1 = \frac{R_1}{1 + j\omega CR_1}$ .

Комплексное входное сопротивление  $Z_{\text{ВХ}}$  определяется соотношением:

$$Z_{\text{ВХ}} = Z_1 + R_2 = \frac{R_1}{1 + j\omega CR_1} + R_2 = \frac{R_1 + R_2 + j\omega CR_1 R_2}{1 + j\omega CR_1}$$

Определим модуль входного сопротивления  $Z_{\text{ВХ}}$ .

$$|Z_{\text{ВХ}}| = \sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2 + (\omega CR_1 R_2)^2}{1 + (\omega CR_1)^2}}$$

На частоте  $f = 1000$  Гц значение модуля входного сопротивления будет равно

$$|Z_{\text{ВХ}}| = \sqrt{\frac{(1000 + 2000)^2 + (2\pi \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 \cdot 2000)^2}{1 + (2\pi \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 1000)^2}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^6 + 16\pi^2 \cdot 10^4}{1 + 0,04\pi^2}} = 2754 \text{ Ом.}$$

Ответ: 2754 Ом.

2. Найдите значения активной составляющей, реактивной составляющей и полного сопротивления простого параллельного контура, питаемого генератором с частотой  $f = 935$  кГц. Параметры контура:  $L = 240$  мкГн,  $C = 120$  пФ,  $R = 20$  Ом.

*Решение*

Находим резонансную частоту контура:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{240 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot 10^{-12}}} = 940 \cdot 10^3 \text{ Гц.}$$

Определяем абсолютную расстройку:

$$\Delta f = f - f_p = 935 - 940 = -5 \text{ кГц.}$$

Рассчитываем обобщенную расстройку:

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{2\Delta\omega}{\omega_p} \cdot Q = \frac{2\Delta\omega}{\omega_p} \cdot \frac{\omega_p \cdot L}{R} = \frac{2\Delta\omega \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot 2 \cdot \Delta f \cdot L}{R} = \\ &= \frac{6,28 \cdot 2 \cdot (-5 \cdot 10^3) \cdot 240 \cdot 10^{-6}}{20} = -0,755. \end{aligned}$$

Определяем резонансное сопротивление контура:

$$R_p = \frac{L}{CR} = \frac{240 \cdot 10^{-6}}{120 \cdot 10^{-12} \cdot 20} = 10^5 \text{ Ом} = 100 \text{ кОм.}$$

На частоте генератора контур расстроен и имеет комплексное сопротивление. Активная составляющая сопротивления:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{R_p}{1 + \xi^2} = \frac{10^5}{1 + (-0,755)^2} = 63,8 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Реактивная составляющая сопротивления:

$$X_{\text{ВХ}} = -\xi \cdot R_{\text{ВХ}} = -(-0,755) \cdot 63,8 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Так как расстройка отрицательна, то характер сопротивления – индуктивный. Полное сопротивление или модуль входного сопротивления:

$$\dot{Z}(\omega) = \frac{R_p}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{10^5}{\sqrt{1 + (-0.755)^2}} \approx 80 \text{ кОм.}$$

*Ответ:* 80 кОм.

**3.** В точке установки радиопеленгатора, реагирующего на направление прихода радиоволны, действует полезный сигнал мощности  $P_c$  и синфазная с ним помеха мощностью  $P_n$ . Разность азимутов источников сигнала и помехи  $\alpha_p$  может меняться от 0 до 360°. Отношение  $P_c/P_n = 10$ . Определите максимальное значение погрешности измерения азимута источника полезного сигнала  $\Delta\alpha$  и характер зависимости этой погрешности от  $\alpha_p$ .

*Решение*

Для решения задачи воспользуемся векторной диаграммой, на которой представлены векторы Пойнтинга сигнала  $\mathbf{P}_c$  и помехи  $\mathbf{P}_n$ , направление которых соответствует направлению прихода радиоволн от источников сигнала и помехи, а длина – соответствующим мощностям  $P_c$  и  $P_n$ . Угол между этими векторами равен  $\alpha_p$ . Из составленной векторной диаграммы следует, что  $\Delta\alpha_{\max}$  соответствует углу  $\alpha_p = 90^\circ$  или  $270^\circ$  и  $\Delta\alpha = 0$  при  $\alpha_p = 0$  или  $180^\circ$ . Значение  $\Delta\alpha_{\max}$  определяем из соотношения  $\Delta\alpha_{\max} = \arctang(P_n/P_c) = 5,71^\circ$ .

*Ответ:* 5,71°.

**4.** В прямоугольном волноводе с размерами 72×34 мм и воздушным заполнением распространяется волна основного типа. Длина волны генератора  $\lambda = 12$  см. По волноводу необходимо передать мощность 9 МВт, не вызывая пробоя. Определите предельную мощность. Если она окажется меньше 9 МВт, то для ее повышения волновод следует заполнить диэлектриком и найти относительную диэлектрическую проницаемость. Для сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении пробивное значение напряженности электрического поля составляет 30 кВ/см.

*Решение*

Сначала определим предельную мощность для волны  $H_{10}$  в волноводе с воздушным заполнением ( $\varepsilon = 1$ ):

$$P_{\text{пред}} = \frac{E_{\text{пред}}^2}{4w_0} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} = 8.08 \text{ МВт.}$$

Так как требуемая мощность меньше 9 МВт, то для повышения электрической прочности волновод заполним диэлектриком. В этом случае выражение для  $P_{\text{пред}}$  должно удовлетворять неравенству

$$P_{\text{пред}} = 14.68 \cdot 10^6 \sqrt{\varepsilon - 0.695} \geq 9 \text{ МВт.}$$

Из него находим  $\varepsilon$ :

$$\sqrt{\varepsilon - 0.695} \geq \frac{9 \cdot 10^6}{14.68 \cdot 10^6}.$$

$$\varepsilon = 0.38 + 0.695 \cong 1.1.$$

Ответ:  $\varepsilon = 1.1$ .

5. По прямоугольному волноводу сечением  $a \times b = 23 \times 10 \text{ мм}^2$  на волне типа  $H_{10}$  передается мощность 15 Вт на частоте 10 ГГц. Определите среднюю плотность потока мощности в точке  $x = a/b, y = b/2$ .

Решение

Мощность, переносимая волной по волноводу, определяется выражением:

$$P = \frac{E_0^2 ab \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}{4Z_0},$$

где  $E_0$  – максимальная амплитуда напряженности электрического поля в волноводу;

$Z_0 = 377 \text{ Ом}$  – сопротивление плоской волны в свободном пространстве.

Из этого выражения определяется величина  $E_0$ , затем находится величина поля  $E$  для любой точки:

$$E_y = E_0 \sin \frac{\pi x}{a}.$$

Среднюю плотность потока мощности  $p$  найдем из соотношения:

$$p = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(E_y H_x^*) = \frac{1}{2} \frac{E_y^2}{z_B} = \frac{1}{2} \frac{E_y^2}{z_0} \left( \sin \left( \frac{\pi x}{a} \right) \right)^2,$$

где

$$H_x = \frac{1}{2} \frac{E_y}{z_0} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}.$$

Таким образом, плотность мощности, заданной в точке:

$$p = \frac{P}{2ab} = 6.52 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2.$$

Ответ:  $6.52 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ .

6. Рассчитайте реальную чувствительность супергетеродинного приёмника, если известно, что

- диапазон рабочих частот – 0,5...1,5 МГц;
- промежуточная частота – 465 кГц;
- тип настройки гетеродина –  $f_{гет} > f_c$ ;
- тип модуляции – АМ;
- частота модуляции – 100...3000 Гц;

- отношение сигнал/шум на выходе линейного тракта радиоприемного устройства АМ-сигналов  $\gamma_{\text{вых}} = 10$ ;
- напряженность поля внешних помех, наводимой возле антенны  $E_{\text{пом}} = 1$  мкВ;
- коэффициент включения каскада усилителя радиочастоты на биполярном транзисторе к контуру входной цепи  $m = 0.25$ ;
- собственное затухание контура входной цепи  $d_0 = 0.01$ ;
- коэффициент передачи входной цепи и УРЧ на биполярном транзисторе  $K_0 = 1$ ;
- коэффициент шума радиоприемного устройства  $N = 10$ ;
- активная составляющая комплексного сопротивления антенны  $R_A = 80$  Ом;
- действующая высота антенны  $h_d = 1$  м;
- температура антенны  $T_A = 2000$ ;
- волновое сопротивление контура входной цепи на максимальной частоте рабочего диапазона  $\rho = 28$ .

*Решение*

Полоса пропускания радиоприёмного устройства определяется выражением:

$$\Pi = \Delta F_{\text{СП}} + 2\Delta F_{\text{Д}} + \Pi_{\text{НС}} = 6000 + 0 + 600 = 6600 \text{ Гц},$$

где  $\Delta F_{\text{СП}} = 2F_{\text{мод. в}} = 6000$  Гц – эффективная ширина спектра;

$\Delta F_{\text{Д}} = 0$  – доплеровское смещение частоты

$\Pi_{\text{НС}} = 0,1 \Delta F_{\text{СП}} = 600$  Гц – запас полосы пропускания, обусловленной нестабильностью технических характеристик и неточностью настройки радиоприемного устройства.

Шумовая полоса пропускания радиоприемного устройства:

$$\Pi_{\text{ш}} = 1.1\Pi = 1.1 \cdot 6600 = 7260 \text{ Гц}.$$

Реальная чувствительность для радиоприемного устройства с ненастроенной антенны определяется выражением:

$$E_A = \gamma_{\text{вых}} \sqrt{E_{\text{пом}}^2 h_d^2 \Pi_{\text{ш}} + 4kT_A \Pi_{\text{ш}} \left[ N\rho \left( \frac{md_0}{K_0 d_3} \right)^2 + R_A \right]} = 852,1 \text{ мкВ},$$

где  $d_3 = 3\Pi/f_{\text{мин}} = 0.038$  – собственное и эквивалентное затухание контура входной цепи.

*Ответ:*  $E_A = 852,1$  мкВ.