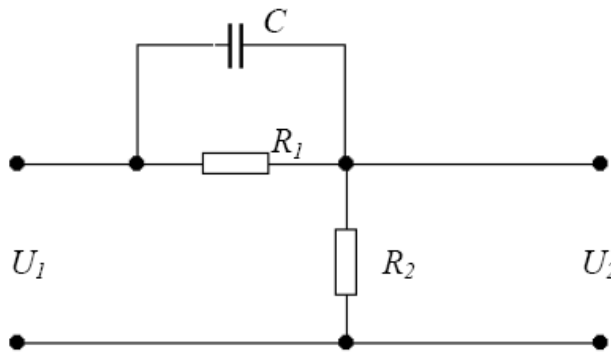


ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

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 α_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 α_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 α_p . Из составленной векторной диаграммы следует, что $\Delta\alpha_{\max}$ соответствует углу $\alpha_p = 90^\circ$ или 270° и $\Delta\alpha = 0$ при $\alpha_p = 0$ или 180° . 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 ε :

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

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

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 волноводе;

$Z_0 = 377 \text{ Ом}$ – 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.