

## Лабораторна робота №2

### Вхідні кола приймачів

#### Мета заняття:

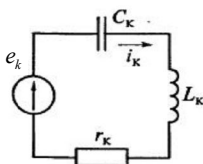
1. Навчитись здійснювати кількісний розрахунок селективності вхідних кіл.
2. Навчитись визначати значення коефіцієнтів зв'язку для забезпечення потрібного узгодження контуру з антеною та навантаженням.
3. Навчитись налаштовувати та регулювати вхідні кола.

#### Основні питання заняття:

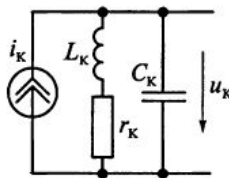
1. Параметри коливальних кіл.
2. Приклади розрахунку вхідних кіл приймачів.

#### Короткі теоретичні відомості

Резонансні контури поділяють на послідовні (рисунк 3.1, а) та паралельні (рисунк 3.1, б). Опір  $r_k$  є еквівалентом втрат у реактивних елементах на робочій частоті. При цьому вважають, що втрати у котушках індуктивності  $L_k$  та конденсаторах  $C_k$  відсутні. Джерело енергії є ідеальним джерелом з синусоїдальною формою напруги  $e_k$  (струму  $i_k$ ).



а)



б)

Рисунок 3.1 – Види коливальних контурів

Добротність (якість) резонансного контуру  $Q_k = 2\pi W_{\text{зан}}/W_{\text{спож}}$  – це відношення енергії, запасеної у контурі протягом одного періоду  $W_{\text{зан}}$ , до енергії, спожитої від джерела  $W_{\text{спож}}$  за цей же період синусоїдальної напруги. Енергія  $W_{\text{зан}} = I_m^2 L_k / 2$ , яку запасено у коливальному контурі на резонансній частоті  $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L_k C_k})$ , визначається амплітудою синусоїдального струму  $I_m$ . Енергія, яку спожито опором  $r_k$  протягом одного періоду, така:  $W_{\text{спож}} = I_m^2 r_k / (2f_0)$ . звідси

$$Q_k = \frac{2\pi f_0 L_k}{r_k} = \frac{1}{2\pi f_0 C_k r_k} = \frac{1}{r_k} \sqrt{\frac{L_k}{C_k}} = \frac{\rho_k}{r_k},$$

де  $\rho_k = 2\pi f_0 L_k = 1/(2\pi f_0 C_k) = \sqrt{L_k/C_k}$  – характеристичний опір коливального контуру.

Для паралельного контуру втрати зручно відображати паралельно включеною еквівалентною провідністю  $G_k$  (рисунок 3.2).

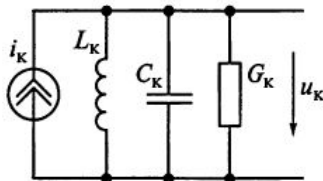


Рисунок 3.2 – Спосіб врахування втрат у паралельному коливальному контурі

У цьому випадку добротність контуру

$$Q_k = \frac{1}{\rho_k G_k} = \frac{1}{2\pi f_0 L_k G_k} = \frac{2\pi f_0 C_k}{G_k},$$

а його затування  $d_k = 1/Q_k$ .

Для описання властивостей контуру використовують параметри:

**абсолютна розстройка** частоти джерела вхідного гармонічного сигналу  $f$  відносно резонансної частоти  $f_0$ :

$$\Delta f = |f - f_0| \text{ або } \Delta \omega = |\omega - \omega_0|,$$

**відносна розстройка** частоти джерела вхідного гармонічного сигналу  $f$  відносно резонансної частоти  $f_0$ :

$$\nu = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f},$$

**узагальнена розстройка** частоти джерела вхідного гармонічного сигналу  $f$  відносно резонансної частоти  $f_0$ :

$$\xi = \frac{1}{r_k} \left( 2\pi f L_k - \frac{1}{2\pi f C_k} \right) = Q_k \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = Q_k \nu.$$

На рисунку 3.3 показано залежність напруги на коливальному контурі  $u_k$  від колової частоти  $\omega = 2\pi f$  вхідних коливань струму з однаковими амплітудами  $I_m$  при фіксованих значеннях індуктивності  $L_k$  та ємності  $C_k$ , але двох різних еквівалентних провідностях  $G_k$  контуру. Як бачимо, чим менша провідність чи опір втрат контуру, тим більша амплітуда та гостріший резонанс.

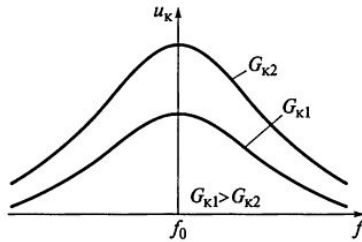


Рисунок 3.3 – Вплив провідності навантаження контуру на амплітуду коливань у ньому

Розглянемо деякі приклади.

**Приклад 1.** Яке послаблення створює резонансний контур, власна резонансна частота якого  $f_0 = 1$  МГц, добротність  $Q_k = 50$  при абсолютній розстройці  $\Delta f = 20$  кГц?

**Розв’язок.** Послаблення контуру визначається узагальненою розстройкою частоти джерела вхідного гармонічного сигналу:

$$\xi = Q_k \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) = 50 \left( \frac{1,02 \text{ МГц}}{1 \text{ МГц}} - \frac{1 \text{ МГц}}{1,02 \text{ МГц}} \right) = 1,98,$$

звідки послаблення резонансним контуром частот  $(1000 \pm 20)$  кГц становить  $\sigma = \sqrt{1 + \xi^2} = \sqrt{1 + 1,98^2} = 2,2$ .

*Зверніть увагу:* оскільки у даному випадку  $\Delta f \ll f_0$ , то розрахунок узагальненої розстройки можна зробити за наближеною формулою

$$\xi = Q_k \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \approx Q_k \frac{2\Delta f}{f_0} = 50 \frac{2 \cdot 20 \text{ кГц}}{1000 \text{ кГц}} = 2,2,$$

звідки також отримуємо, що  $\sigma = \sqrt{1 + \xi^2} = \sqrt{1 + 2^2} \approx 2,2$ .  
Цей результат дозволяє використовувати для оцінки

селективності по сусідньому каналу наближену формулу

$$\sigma = \sqrt{1 + \xi^2} \approx \sqrt{1 + (2Q_k \Delta f / f_0)^2}.$$

**Приклад 2.** Обчислити смугу пропускання контуру, резонансна частота якого становить 460 кГц, а добротність 46.

**Розв'язок.** Смугу пропускання по рівню 0,707 визначають як

$$B = f_0 / Q_k = 460 \text{ кГц} / 46 = 10 \text{ кГц}.$$

**Приклад 3.** Визначити добротність контуру, який забезпечить послаблення  $\sigma = 5$  при розстройці частоти джерела вхідного гармонічного сигналу відносно резонансної частоти  $f_0 = 1500 \text{ кГц}$  при  $\Delta f = 750 \text{ кГц}$ .

**Розв'язок.** За умовою задачі селективність контуру  $\sigma = \sqrt{1 + \xi^2} = 5 \Rightarrow \xi = \sqrt{\sigma^2 - 1} \approx 4,9$ . Оскільки послаблення контуру оцінюють на частоті вхідного гармонічного сигналу та визначають з виразу  $f = f_0 + \Delta f = 1500 \text{ кГц} + 750 \text{ кГц} = 2250 \text{ кГц}$ , то добротність контуру

$$Q_k = \xi / \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) = 5 / \left( \frac{2250 \text{ кГц}}{1500 \text{ кГц}} - \frac{1500 \text{ кГц}}{2250 \text{ кГц}} \right) \approx 5,9.$$

**Приклад 4.** Вхідне коло з подвійним автотрансформаторним зв'язком (рисунк 3.4) налаштовано на частоту  $f_0 = 1 \text{ МГц}$ . Індуктивність контуру  $L_k = 16 \text{ мкГн}$  а власна провідність  $G_k = 100 \text{ мкСм}$ . Провідність антени  $G_{ant} = 1,5 \text{ мСм}$ , а навантаження  $G_n = 2 \text{ мСм}$ . Визначити оптимальні коефіцієнти

включення котушки індуктивності  $m$  і  $n$  при заданій смузі пропускання  $B=50$  кГц.

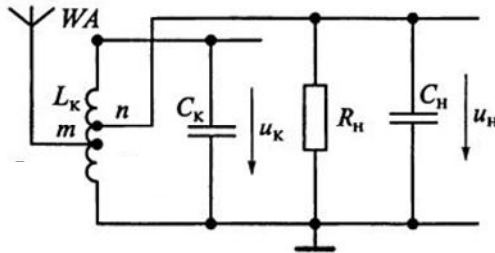


Рисунок 3.4 – Вхідне коло з подвійним автотрансформаторним зв'язком

**Розв'язок.** Визначимо еквівалентну добротність навантаженого контуру

$$Q_{eq} = f_0 / B = 10^6 / (5 \cdot 10^4) = 20 /$$

Знаючи характеристичний опір контуру

$$\rho_k = 2\pi f_0 L_k = 2\pi \cdot 10^6 \cdot 16 \cdot 10^{-6} \approx 100 \text{ Ом},$$

знаходимо еквівалентну провідність навантаженого контуру

$$G_{eq} = 1/(\rho_k Q_{eq}) = 1/(100 \text{ Ом} \cdot 20) = 500 \text{ мкСм}.$$

При побудові вхідних кіл для діапазону помірно високих частот доцільно забезпечити максимальну селективність до першого підсилювального каскаду, тому вибір коефіцієнтів включення котушки індуктивності з антеною  $m$  та навантаженням  $n$  здійснюють з умови допустимого розширення смуги пропускання конструктивно виконуваного коливального контуру. При цьому узгодження контуру з неналаштованою антеною та навантаженням з метою передачі максимально

можливої потужності від джерела сигналу до навантаження забезпечується при виконанні умови

$$m^2 G_{ac} + \frac{G_k}{2} = n^2 G_n + \frac{G_k}{2} = \frac{G_{eq}}{2}.$$

Враховуючи те, що для вхідного кола з автотрансформаторним зв'язком контуру з антеною  $G_{ac} = G_{ant}$ , отримуємо оптимальні значення коефіцієнтів включення

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{G_{eq} - G_k}{2G_{ac}}} = \sqrt{\frac{(500 - 100)10^{-6}}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}} = 0,365,$$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{G_{eq} - G_k}{2G_n}} = \sqrt{\frac{(500 - 100)10^{-6}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}} = 0,316.$$

### Хід заняття

1. Опрацювати лекційний матеріал за темою заняття.
2. Розв'яжіть задачі, які наведено нижче.

**Задача 1.** Яке послаблення створює резонансний контур, власна резонансна частота якого  $f_0$ , добротність  $Q_k$  при абсолютній розстройці  $\Delta f$  кГц? Варіанти завдань наведено у таблиці 3.1.

**Кожен вибирає лише один варіант.**

Таблиця 3.1

| Номер<br>варіанта | $f_0$ , МГц | $Q_k$ | $\Delta f$ , кГц |
|-------------------|-------------|-------|------------------|
| 1                 | 2           | 3     | 4                |
| 1                 | 1,6         | 50    | 20               |
| 2                 | 2,4         | 60    | 20               |

Продовження таблиці 3.1

| 1  | 2    | 3  | 4  |
|----|------|----|----|
| 3  | 1,1  | 70 | 20 |
| 4  | 1,9  | 50 | 20 |
| 5  | 1,44 | 60 | 20 |
| 6  | 1,4  | 70 | 20 |
| 7  | 2,1  | 50 | 20 |
| 8  | 1,5  | 60 | 20 |
| 9  | 2,4  | 70 | 20 |
| 10 | 2,8  | 50 | 20 |
| 11 | 1,1  | 40 | 20 |
| 12 | 1,9  | 45 | 20 |
| 13 | 1,44 | 50 | 20 |
| 14 | 1,4  | 55 | 20 |
| 15 | 2,1  | 60 | 20 |
| 16 | 1,5  | 65 | 20 |
| 17 | 2,4  | 70 | 20 |
| 18 | 2,8  | 40 | 20 |
| 19 | 1,4  | 45 | 20 |
| 20 | 2,1  | 50 | 20 |
| 21 | 1,5  | 55 | 20 |
| 22 | 2,4  | 60 | 20 |
| 23 | 2,8  | 65 | 20 |
| 24 | 1,6  | 70 | 20 |
| 25 | 1,7  | 50 | 20 |

**Задача 2.** Обчислити смугу пропускання контуру, резонансна частота якого становить  $f_0$ , а добротність  $Q_k$ .  
Варіанти завдань наведено у таблиці 3.2.

Кожен вибирає лише один варіант.

Таблиця 3.2

| Номер<br>варіанта | $f_0$ , МГц | $Q_k$ |
|-------------------|-------------|-------|
| 1                 | 1,6         | 50    |
| 2                 | 2,4         | 60    |
| 3                 | 1,1         | 70    |
| 4                 | 1,9         | 50    |
| 5                 | 1,44        | 60    |
| 6                 | 1,4         | 70    |
| 7                 | 2,1         | 50    |
| 8                 | 1,5         | 60    |
| 9                 | 2,4         | 70    |
| 10                | 2,8         | 50    |
| 11                | 1,6         | 70    |
| 12                | 2,4         | 50    |
| 13                | 1,1         | 60    |
| 14                | 1,9         | 70    |
| 15                | 1,44        | 50    |
| 16                | 1,4         | 60    |
| 17                | 2,1         | 70    |
| 18                | 1,5         | 70    |
| 19                | 2,4         | 50    |
| 20                | 2,8         | 60    |
| 21                | 1,9         | 70    |
| 22                | 1,44        | 50    |
| 23                | 1,4         | 60    |
| 24                | 2,1         | 70    |
| 25                | 2,4         | 55    |

**Задача 3.** Визначити добротність контуру, який забезпечить послаблення  $\sigma$  при розстройці частоти джерела вхідного гармонічного сигналу відносно резонансної частоти  $f_0$  при заданому значенні  $\Delta f$ . Варіанти завдань наведено у таблиці 3.3.

Кожен вибирає лише один варіант.

Таблиця 3.3

| Номер<br>варіанта | $f_0$ , МГц | $\Delta f$ , кГц | $\sigma$ |
|-------------------|-------------|------------------|----------|
| 1                 | 2           | 3                | 4        |
| 1                 | 1,6         | 500              | 5        |
| 2                 | 2,4         | 600              | 5        |
| 3                 | 1,1         | 500              | 5        |
| 4                 | 1,9         | 600              | 5        |
| 5                 | 1,44        | 500              | 5        |
| 6                 | 1,4         | 600              | 5        |
| 7                 | 2,1         | 500              | 5        |
| 8                 | 1,5         | 600              | 5        |
| 9                 | 2,4         | 500              | 5        |
| 10                | 2,8         | 600              | 5        |
| 11                | 1,6         | 100              | 5        |
| 12                | 2,4         | 150              | 5        |
| 13                | 1,1         | 200              | 5        |
| 14                | 1,9         | 250              | 5        |
| 15                | 1,44        | 300              | 5        |
| 16                | 1,4         | 350              | 5        |
| 17                | 2,1         | 400              | 5        |
| 18                | 1,5         | 450              | 5        |
| 19                | 2,4         | 500              | 5        |

Продовження таблиці 3.3

|    |      |     |   |
|----|------|-----|---|
| 1  | 2    | 3   | 4 |
| 20 | 1,9  | 150 | 5 |
| 21 | 1,44 | 200 | 5 |
| 22 | 1,4  | 250 | 5 |
| 23 | 2,1  | 300 | 5 |
| 24 | 1,5  | 350 | 5 |
| 25 | 2,4  | 400 | 5 |

**Задача 4.** Вхідне коло з подвійним автотрансформаторним зв'язком (рисунок 3.4) налаштовано на частоту  $f_0$ . Індуктивність контуру  $L_k$  а власна провідність  $G_k$ . Провідність антени  $G_{ant}$ , а навантаження  $G_n$ . Визначити оптимальні коефіцієнти включення котушки індуктивності  $m$  і  $n$  при заданій смузі пропускання  $B=20$  кГц. Варіанти завдань наведено у таблиці 3.4.

Кожен вибирає лише один варіант.

Таблиця 3.4

| Номер<br>варіанта | $f_0$ ,<br>МГц | $L_k$ ,<br>мкГн | $G_k$ ,<br>мкСм | $G_{ant}$ ,<br>мСм | $G_n$ ,<br>мСм |
|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|
| 1                 | 2              | 3               | 4               | 5                  | 6              |
| 1                 | 1,6            | 15              | 100             | 1,5                | 2              |
| 2                 | 2,4            | 10              | 75              | 2                  | 2,5            |
| 3                 | 1,1            | 12              | 95              | 2,5                | 2,7            |
| 4                 | 1,9            | 18              | 97              | 1,7                | 2,9            |
| 5                 | 1,44           | 13              | 105             | 1,9                | 2,1            |
| 6                 | 1,4            | 15              | 100             | 1,4                | 2,4            |
| 7                 | 2,1            | 10              | 91              | 1,5                | 2,5            |
| 8                 | 1,5            | 16              | 98              | 2,1                | 3,1            |

Продовження таблиці 3.4

| 1  | 2    | 3  | 4   | 5   | 6   |
|----|------|----|-----|-----|-----|
| 9  | 2,4  | 18 | 108 | 2,2 | 3,2 |
| 10 | 2,8  | 15 | 101 | 1,9 | 3,9 |
| 11 | 1,6  | 12 | 95  | 2,5 | 2,7 |
| 12 | 2,4  | 18 | 97  | 1,7 | 2,9 |
| 13 | 1,1  | 13 | 105 | 1,9 | 2,1 |
| 14 | 1,9  | 15 | 100 | 1,4 | 2,4 |
| 15 | 1,44 | 10 | 91  | 1,5 | 2,5 |
| 16 | 1,4  | 16 | 98  | 2,1 | 3,1 |
| 17 | 2,1  | 12 | 95  | 2,5 | 2,7 |
| 18 | 1,5  | 18 | 97  | 1,7 | 2,9 |
| 19 | 1,1  | 13 | 105 | 1,9 | 2,1 |
| 20 | 1,9  | 15 | 100 | 1,4 | 2,4 |
| 21 | 1,44 | 10 | 91  | 1,5 | 2,5 |
| 22 | 1,4  | 16 | 98  | 2,1 | 3,1 |
| 23 | 2,1  | 10 | 91  | 1,5 | 2,5 |
| 24 | 1,5  | 16 | 98  | 2,1 | 3,1 |
| 25 | 1,8  | 12 | 95  | 2,5 | 2,7 |