

§ 7.2. ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ RC-УСИЛИТЕЛИ С ЦЕПЯМИ МИНИМАЛЬНОГО ТИПА

Цепями минимального типа будем называть цепи, у которых на частоте настройки, где вносимый угол сдвига фаз равен нулю, коэффициент передачи достигает минимума. На рис. 7.5 представлены АЧХ и ФЧХ цепи минимального типа. Для получения резонансных характеристик обычного вида цепь минимального типа должна быть включена в цепь отрицательной связи достаточно широкополосного усилителя, причем частота настройки цепи минимального типа должна лежать в середине полосы пропускания этого усилителя. На рис. 7.6 показана структурная схема, а на рис. 7.7 — АЧХ избирательного RC-усилителя с цепью минимального типа.

На частоте f_0 отрицательная обратная связь фактически отсутствует и коэффициент усиления будет наибольшим. По аналогии с резонансным контуром можно определить эквивалентную добротность $Q_{\text{ЭКВ}}$ избирательного RC-усилителя:

$$Q_{\text{ЭКВ}} = f_0 / (2\Delta f_0). \quad (7.4)$$

Значение $Q_{\text{ЭКВ}}$ зависит, во-первых, от значения коэффициента усиления K_0 , так как чем больше K_0 , тем круче АЧХ усилителя, и, во-вторых, от добротности Q цепи минимального типа. Количественно эту связь можно выразить формулой

$$Q_{\text{ЭКВ}} \approx QK_0. \quad (7.5)$$

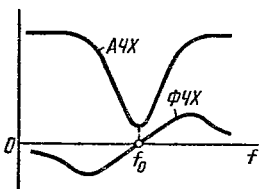


Рис. 7.5

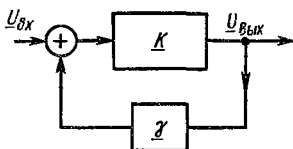


Рис. 7.6

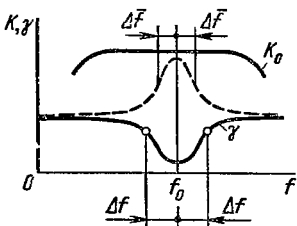


Рис. 7.7

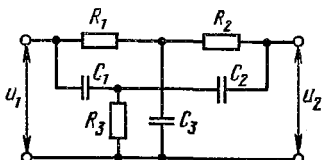


Рис. 7.8

Отсюда следует, что за счет достаточно большого коэффициента усиления можно добиться весьма высокой добротности, т. е. узкой полосы пропускания избирательного RC-усилителя.

Среди цепей минимального типа чаще всего используют двойной T-образный мост (рис. 7.8). Основное его достоинство — добротность, сравнительно высокая для RC-цепей. В зависимости от выбора элементов моста возможны следующие случаи: а) на частоте настройки $\gamma > 0$ и $\varphi = 0$, при этом частотные характеристики моста имеют вид, типичный для цепи минимального типа (рис. 7.9); б) на частоте настройки $\gamma > 0$ и $\varphi = \pi$ (рис. 7.10), в этом случае при включении моста в цепь отрицательной обратной связи возможен подъем АЧХ усилителя и даже генерация, так как на частоте настройки обратная связь становится положительной; в) третий, наиболее употребляемый, случай соответствует $\gamma = 0$ на частоте настройки. При этом фаза φ претерпевает разрыв (рис. 7.11). В последнем случае обеспечивается наибольшая добротность избирательного усилителя без опасности самовозбуждения. Подобный режим обеспечивают балансировкой моста. Если мост симметричен, т. е. $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$, то условия нулевого баланса, выражения для частоты настройки и добротности моста имеют вид

$$\frac{2C}{C_3} = \frac{R}{2R_3} = n; \quad f_0 = \frac{\sqrt{n}}{2\pi RC}; \quad Q = \frac{\sqrt{n}}{2(1+n)}, \quad (7.6)$$

где n — любое целое положительное число.

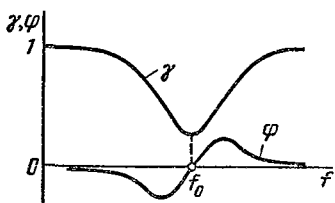


Рис. 7.9

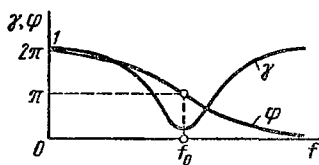


Рис. 7.10

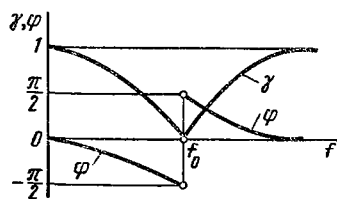


Рис. 7.11

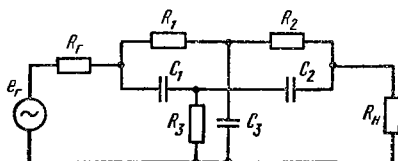


Рис. 7.12

При $n = 1$ получаем нулевого баланса $C_3 = 2C$, $R_3 = R/2$, частоту настройки $f_0 = 1/(2\pi RC)$ и максимальную для симметричных мостов добротность $Q = 0,25$.

Существенное влияние на работу двойного Т-образного моста оказывают сопротивления нагрузки и генератора сигнала. Идеальные условия создаются при $R_r = 0$ и $R_n = \infty$; при этом мост имеет симметричные характеристики относительно частоты настройки.

Заметим, что возможная несимметрия характеристик моста, как правило, приводит к самовозбуждению избирательного усилителя. Практически условия работы моста можно считать идеальными, если

$$R_{\text{вх.м}} \geq 100R_r, \quad (7.7)$$

$$R_{\text{вых.м}} \leq R_n/100. \quad (7.8)$$

На частоте настройки сопротивления $R_{\text{вх.м}}$ и $R_{\text{вых.м}}$ определяются по одной и той же формуле

$$R_{\text{вх.м}} \approx R_{\text{вых.м}} \approx \frac{1}{\sqrt{1+n}} R_1. \quad (7.9)$$

Если при сравнении сопротивлений $R_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вых}}$ моста соответственно с сопротивлениями R_r и R_n схемы усилителя оказывается, что они различаются менее чем на два порядка, необходимо создать дополнительные условия, обеспечивающие симметричность характеристик моста. В частности, для схемы на рис. 7.12 условия симметрии будут иметь вид

$$R_1 R_2 = (1+n) R_r R_n, \quad R_1 C_1 = R_2 C_2.$$

Если схема моста симметрична ($R_1 = R_2$, $C_1 = C_2$), то

$$R_1 = \sqrt{(1+n) R_r R_n}. \quad (7.10)$$

На практике точно выполнить условия нулевого баланса затруднительно из-за разброса реальных значений сопротивлений и емкостей. Это приводит к необходимости оценить отклонения реальной частоты настройки. Пусть f_0 — номинальная (расчетная) частота настройки моста; $\bar{f}_0 = f_0 + \Delta f_0$ — фактическая частота настройки моста с учетом разброса номиналов элементов моста. Тогда

$$\frac{\bar{f}}{f_0} = 1 - \frac{1}{32} \left(24 \frac{\Delta R_1}{R_1} + 24 \frac{\Delta R_2}{R_2} + 16 \frac{\Delta R_3}{R_3} + 24 \frac{\Delta C_1}{C_1} + 24 \frac{\Delta C_2}{C_2} + 16 \frac{\Delta C_3}{C_3} \right) =$$

$$= 1 - \frac{3}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta C_1}{C_1} + \frac{\Delta C_2}{C_2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta C_3}{C_3} \right), \quad (7.11)$$

где $R_1, R_2, R_3, C_1, C_2, C_3$ — номинальные (расчетные) значения резисторов и конденсаторов; $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta C_1, \Delta C_2, \Delta C_3$ — разбросы номинальных значений.

Соответственно коэффициент передачи моста на частоте настройки

$$\bar{\gamma}_0 = \frac{1}{16} \left(\frac{\Delta C_1}{C_1} - \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta C_2}{C_2} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + 2 \frac{\Delta R_3}{R_3} - 2 \frac{\Delta C_3}{C_3} \right). \quad (7.12)$$

Видно, что из-за разброса параметров коэффициент передачи моста $\bar{\gamma}_0$ не равен нулю. Следовательно, значение Q будет либо меньше, либо больше расчетного. В последнем случае возможно самовозбуждение усилителя. Все это, как правило, приводит к необходимости иметь подстроечный элемент в схеме избирательного усилителя на основе двойного Т-образного моста.

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

7.5. Рассчитать избирательный RC-усилитель на основе двойного Т-образного моста в цепи обратной связи по следующим данным: $f_0 = 1$ кГц, $Q_{\text{экв}} = 15$, $R_r = 1$ кОм, $R_H = 1$ кОм.

Схема усилителя приведена на рис. 7.13.

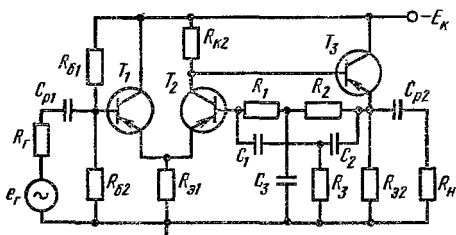


Рис. 7.13