

ДЕЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

А. А. Миц, П. Ф. Поляков

В литературе подробно описаны разнообразные способы и устройства, выполняющие различные математические действия над электрическими колебаниями — суммирование, перемножение, извлечение корней и др. [1, 2]. Однако деление электрических колебаний описано недостаточно [1, 2]. Потребность же в таких делителях, несомненно, существует и прежде всего в различных видах селекции сигналов. Ниже приводится описание одного простого способа и схемы, выполняющей деление электрических колебаний.

На рис. 1 приведена блок-схема, на рис. 2 и 3 — принципиальные схемы такого делителя.

Как видно из блок-схемы (рис. 1), колебания u_1 как делимое, подводятся к усилителю $У$, который одновременно является и буферным каскадом. На рис. 2 и 3 этот усилитель выполнен на лампе $Л_1$. Колебания u_2 как делитель, подводятся к реактивной лампе $РЛ$ в качестве управляющего напряжения. На рис. 2 реактивной лампой является $Л_2$, на рис. 3 $Л_2$ и $Л_3$ [3]. В цепи деления $Ц, Д$ колебание u_1 делится на u_2 ; на выходе получается частное u_3 .

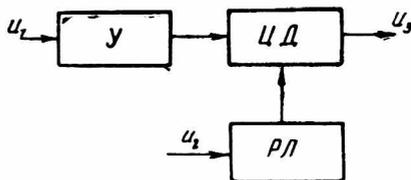


Рис. 1. Блок-схема делителя электрических колебаний.

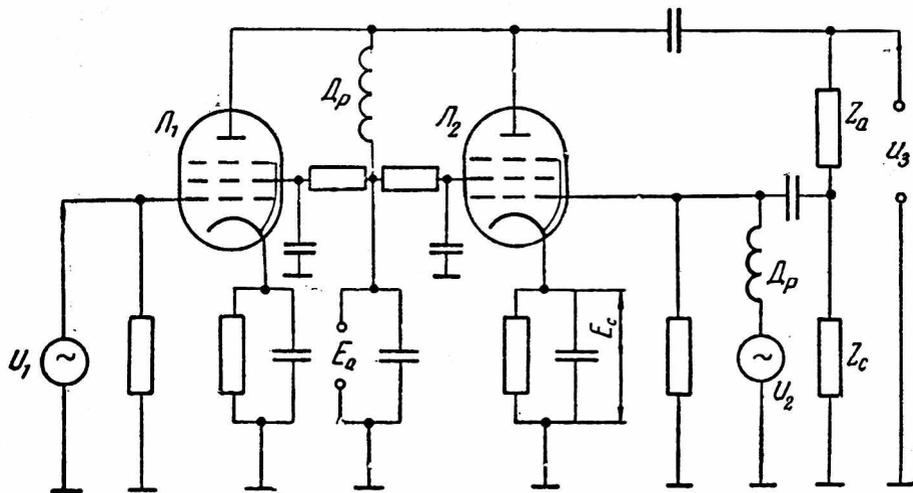


Рис. 2. Принципиальная схема делителя электрических колебаний.

На принципиальных схемах цепью деления является (рис. 2) цепь из Z_a и Z_c , на рис. 3 — из R_a и C_c для лампы $Л_2$, а для $Л_3$ — из C_a и R_c . Остальные элементы на схемах выполняют развязывающую, заграждающую и блокирующую роль. Для схемы, изображенной на рис. 2, выходное сопротивление реактивной лампы

$$Z_{\text{вых}} = \frac{1}{kS}, \tag{1}$$

где коэффициент обратной связи $k = \frac{Z_c}{Z_c + Z_a}$, а Z_c и Z_a — сопротивления цепи обратной связи или, как ее иногда называют, цепи делителя реактивной лампы; S — средняя крутизна этой лампы.

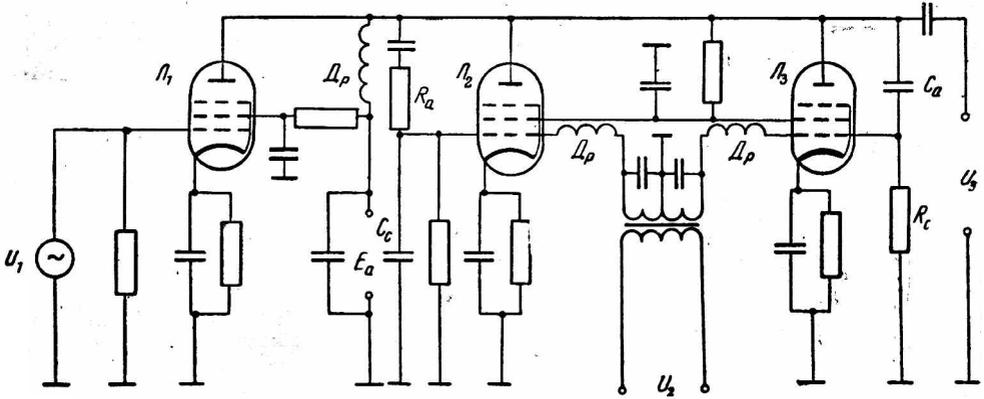


Рис. 3. Электрическая схема точного делителя электрических колебаний.

Сопротивления делителя Z_c и Z_a нужно выбирать так, чтобы $Z_{\text{вых}}$ было число активным или реактивным. Важна здесь обратно пропорциональная зависимость между $Z_{\text{вых}}$ и средней крутизной S . Отсюда, естественно, напрашивается способ получения делителя электрических колебаний. Для этого в схеме на рис. 2 используется каскад усиления на лампе L_1 , ко входу которого подводится напряжение u_1 , а нагрузкой в аноде служит выходное сопротивление реактивной лампы $Z_{\text{вых}}$. Поэтому напряжение на этой нагрузке

$$u_2 = K u_1, \quad (2)$$

где K — коэффициент усиления каскада на лампе L_1 , равный

$$K \cong S_y Z_{\text{вых}} = S_y \frac{Z_c + Z_a}{S Z_c}, \quad (3)$$

где S_y — крутизна усилительной лампы L_1 .

Если теперь крутизну S реактивной лампы изменять управляющим напряжением u_2 , она запишется в виде

$$S = S_0 + \Delta S = S_0 + \frac{\partial S}{\partial u_2} u_2 + \dots, \quad (4)$$

где S_0 — начальная крутизна, определяемая напряжением смещения E_c ; $\Delta S = \frac{\partial S}{\partial u_2} u_2 + \dots$ — приращение крутизны за счет управляющего напряжения u_2 .

Подставляя (4) в (3), а затем полученный результат в (2), получим

$$u_2 = S_y \frac{Z_c + Z_a}{Z_c \left(S_0 + \frac{\partial S}{\partial u_2} u_2 + \dots \right)} u_1. \quad (5)$$

Как видно из (5), напряжение u_2 является частным от деления u_1 на знаменатель, в который входит слагаемое $\frac{\partial S}{\partial u_2} u_2 + \dots$.

Если исключить S_0 в знаменателе (5), получится точное деление u_1 на u_2 при линейном S . Такое деление можно получить с помощью схемы, изображенной на рис. 3, с параллельным включением реактивных

ламп L_1 и L_2 . Для этой схемы общая выходная проводимость реактивных ламп

$$Y_{\text{вых}} = \frac{1}{Z_{\text{вых}}} = \frac{S_2 Z_{c2}}{Z_{c2} + Z_{a2}} + \frac{S_3 Z_{c3}}{Z_{c3} + Z_{a3}} = j\omega R_c C_a (S_0 + \Delta S) - j \frac{S_0 - \Delta S}{\omega R_a C_c}, \quad (6)$$

где индексы у сопротивлений и крутизны совпадают с индексами реактивных ламп, которые взяты одинаковыми. Здесь приращения крутизн ΔS берем с разными знаками потому, что управляющее напряжение подается на управляющие сетки этих ламп в противофазе. Если элементы делителей реактивных ламп подобрать так, чтобы

$$\omega R_c C_a = \frac{1}{\omega R_a C_c}, \quad (7)$$

то (6) переписывается в виде

$$Y_{\text{вых}} = j2\omega R_c C_a \Delta S = j \frac{2\Delta S}{\omega R_a C_c}. \quad (8)$$

Теперь u_3 , очевидно:

$$u_3 = K u_1 = S_y Z_{\text{вых}} u_1 = \frac{S_y u_1}{2\omega R_c C_a \Delta S} = \frac{\omega R_a C_c S_y u_1}{2\Delta S}. \quad (9)$$

При относительно небольших размахах u_2 крутизна S линейно изменяется от u_2 и тогда $\Delta S = \frac{\partial S}{\partial u_2} u_2 + \dots$ переписывается в виде

$$\Delta S = \gamma u_2, \quad (10)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{\partial S}{\partial u_2} = \text{const.}$$

Подставляя (10) в (9), получим

$$u_3 = A \frac{u_1}{u_2}, \quad (11)$$

где постоянный коэффициент

$$A = \frac{S_y}{2\omega R_c C_a \gamma}.$$

Таким образом, из (11) видно, что u_3 является частным от деления u_1 на u_2 . Следует иметь в виду, что если u_2 (делитель) будет принимать значения, равные нулю одновременно с каким-либо таким же значением u_1 (делимое) или u_2 совсем не будет принимать нулевых значений, деление, описываемое формулой (11), будет выполняться точно схемой рис. 3. Когда же с нулевыми значениями u_2 не будут совпадать какие-либо нулевые значения u_1 , u_3 (частное) в этих точках, как это следует из формулы (11), устремится к бесконечному значению. Однако реальная схема рис. 3 не сможет обеспечить бесконечных значений u_3 ; эти значения будут конечными, а деление, следовательно, невыполненным или приближенным.

Обычно используются не все составляющие колебания u_3 , а его конечные значения в экстремальных точках скажутся только на амплитудах составляющих, которые в последующих элементах схемы могут выделяться и регулироваться.

В лабораториях кафедры радиоустройств ХПИ им. В. И. Ленина был собран по схеме рис. 3 макет делителя электрических колебаний, на котором проводились различные варианты деления одних колебаний на другие.

Делились, например, модулированные колебания на несущее, затем произведение двух колебаний делилось на один из сомножителей и др. Результаты таких делений практически хорошо совпадали с аналогичными аналитическими их выражениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генерирование электрических колебаний специальной формы, ч. I и II. (перевод с англ. под редакцией Л. Ю. Блюмберга и Т. Р. Брахмана). Изд-во «Советское радио», 1951.
2. А. М. Бонч-Бруевич. Радиоэлектроника в экспериментальной физике. Изд-во «Наука», 1966.
3. И. В. Лобанов. Реактивная лампа. Воениздат, 1962.