

А. СЮГИС

### ЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗОНАНСНЫХ RC-УСИЛИТЕЛЕЙ

Потребность в резонансных RC-усилителях возникает тогда, когда LC-контуры не применимы (т. е. на частотах ниже 100 гц) или когда требуются усилители со специальными свойствами, например с плавной настройкой частоты в широком диапазоне (1:10). Особенно целесообразно их применение в широкодиапазонных спектрометрических устройствах, в частности, в шумовых спектрометрах [6]. Оказывается, что достаточно широкий диапазон частот ( $10^6 \div 10^8$  раз) можно покрыть единственной RC-схемой, не прибегая к LC-контурам даже на высшей части диапазона. С этой точки зрения построение двухканальной аппаратуры [3, 4] оказывается излишним. Резонансные RC-усилители, по сравнению с усилителями с двойным T-мостом в цепи обратной связи, обладают повышенной амплитудной стабильностью (не говоря уже о регенеративных RC-усилителях) и не требуют деталей повышенной точности и стабильности.

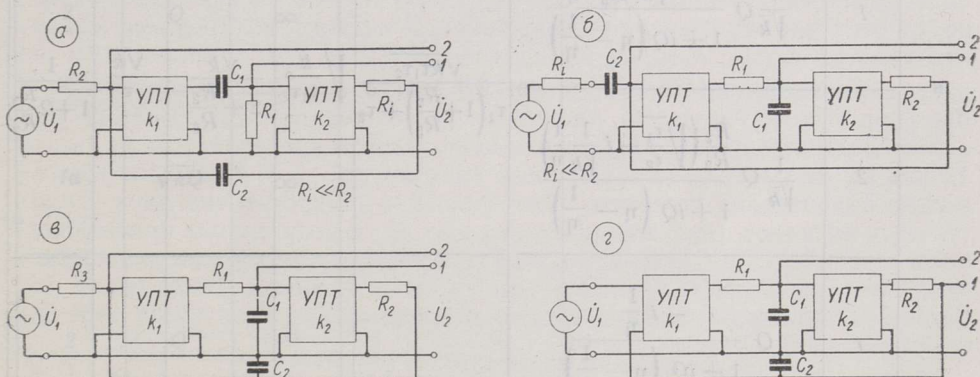


Рис. 1. Блок-схемы резонансных RC-усилителей.

В резонансных RC-усилителях [1, 5] используются RC-цепи пониженных (рис. 1 а) и повышенных (рис. 1 б, в, г) частот. Усилители постоянного тока (УПТ) на рис. 1 обладают коэффициентами усиления  $k_1$  или  $k_2$  и входной проводимостью  $Y_{вх} = 0$ . Основные показатели исследованных резонансных усилителей, изображенных на рис. 1, приведены в таблице, а частотные характеристики — на рис. 2.

Обозначения на рис. 1		Общая схема			Симметричная схема <sup>1</sup>		
Схема	Выход	$\dot{K}$	$Q$	$\omega_0$	$Q$	$\omega_0$	$K_0$
а	1	$Q \frac{k_1 \sqrt{\tau_1} \sqrt{\tau_2}}{\sqrt{k} \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$	$\frac{\sqrt{k\tau_1\tau_2}}{\tau_1 + \tau_2}$	$\frac{1}{\sqrt{k\tau_1\tau_2}}$	$\frac{\sqrt{k}}{2}$	$\frac{1}{\tau \sqrt{k}}$	$\frac{\sqrt{k}}{2}$
	2	$Q \frac{-i \frac{1}{\eta} + \frac{1}{k} \left( \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2}} + i \frac{R_i}{R_2} \eta \right)}{1 + iQ \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$					
б	1	$Q \frac{k_1 \sqrt{\tau_2}}{\sqrt{k} \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$	$\frac{\sqrt{k\tau_1\tau_2}}{\tau_1 + \tau_2 + k\tau_i}$	$\frac{\sqrt{k}}{2 + k \frac{R_i}{R_2}}$	$\frac{\sqrt{k}}{2 + k \frac{R_i}{R_2}}$	$\frac{\sqrt{k}}{2 + k \frac{R_i}{R_2}}$	$\frac{\sqrt{k}}{2 + k \frac{R_i}{R_2}}$
	2	$Q \frac{-i\eta - \frac{1}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}}}{1 + iQ \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$					
в	1	$\frac{1}{\sqrt{k}} Q \frac{-i \frac{k_1 R_2}{\sqrt{k} R_3} \frac{1}{\eta}}{1 + iQ \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$	$\frac{\sqrt{k\tau_1\tau_2}}{\tau_1 \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) + \tau_2}$	$\sqrt{\frac{k}{\tau_1\tau_2}}$	$\frac{\sqrt{k}}{2 + \frac{R_2}{R_3}}$	$\frac{\sqrt{k}}{\tau}$	$\frac{1}{1 + 2 \frac{R_3}{R_2}}$
	2	$\frac{1}{\sqrt{k}} Q \frac{\frac{R_2}{R_3} \left( \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2}} - i \frac{1}{\sqrt{k}} \frac{1}{\eta} \right)}{1 + iQ \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$					
г	1	$Q \frac{-i \frac{1}{\eta}}{1 + iQ \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$	$\frac{\sqrt{k\tau_1\tau_2}}{\tau_1 + \tau_2}$	$\frac{\sqrt{k}}{2}$	$\frac{\sqrt{k}}{2}$	$\frac{\sqrt{k}}{2}$	$\frac{\sqrt{k}}{2}$
	2	$Q \frac{k_1 \left( \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} - i \frac{1}{\sqrt{k}} \frac{1}{\eta} \right)}{\sqrt{k} \left( \eta - \frac{1}{\eta} \right)}$					

Частотные характеристики (см. рис. 2)			Диапазон <sup>2</sup>	Примечания
№	$\frac{K_0}{K_H}$	$\frac{K_0}{K_B}$	Гц	
1	$\infty$	$\infty$	1 · 10 <sup>-4</sup> ÷ 5 · 10 <sup>2</sup>	$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}$ — полное усиление Q — добротность $\omega_0$ — резонансная частота K <sub>0</sub> — резонансное усиление K <sub>H</sub> — усиление при $\eta \ll 1$ K <sub>B</sub> — усиление при $\eta \gg 1$ $\frac{\omega}{\omega_0} = \eta; k_1 k_2 = k;$
2a	Q	$kQ \frac{R_2}{R_i}$		
1	$\infty$	$\infty$		R <sub>1</sub> C <sub>1</sub> = τ <sub>1</sub> ; R <sub>2</sub> C <sub>2</sub> = τ <sub>2</sub> ; R <sub>i</sub> C <sub>2</sub> = τ <sub>i</sub> <sup>1</sup> Т. е. k <sub>1</sub> = k <sub>2</sub> = $\sqrt{k}$ и τ <sub>1</sub> = τ <sub>2</sub> = τ.
3	$\infty$	Q		<sup>2</sup> Q = 10 ÷ 15, схема подобна рис. 3; C <sub>1</sub> и C <sub>2</sub> до 20 мкф и R <sub>1</sub> и R <sub>2</sub> до 5 мом.
2	Q	$\infty$	5 · 10 <sup>-2</sup> ÷ 5 · 10 <sup>6</sup>	
1a	$\sqrt{k}Q$	$\infty$		
2	Q	$\infty$		
1a	$\sqrt{k}Q$	$\infty$		

Усилители пониженных частот целесообразно осуществить не одним УПТ [2, 5], а с разделением усиления между двумя УПТ (см. рис. 1 а), что намного снижает дрейф нуля усилителя, а общее усиление, требуемое для достижения той же добротности  $Q$ , в 1,6 раза ниже. При  $Q = 10 \div 15$  вместо трехкаскадного усилителя получается схема с двумя усилительными каскадами; дрейф устраняется, а предельная частота повышается

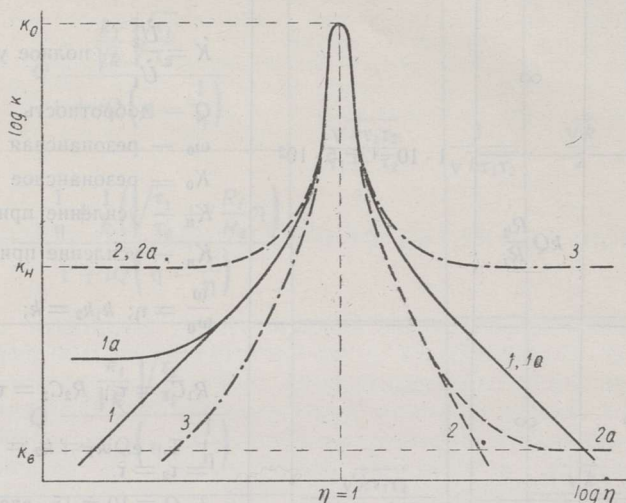


Рис. 2. Частотные характеристики усилителей (см. табл.).

примерно со 100 до 500 гц. Это объясняется уменьшением склонности к паразитному самовозбуждению за счет сокращения числа каскадов.

Усилители повышенных частот (см. рис. 1 б, в, г) обладают различными свойствами. Схема, приведенная на рис. 1 б, хотя и имеет на выходе 1 частотную характеристику, подобную характеристике LC-контра, но требует для ограничения уменьшения  $Q$  низкого внутреннего сопротивления на входе:  $R_i \leq R_2 : k$ . Схемы на рис. 1 в, г эквивалентны по частотным характеристикам; при этом схема на рис. 1 в имеет в  $1,5\sqrt{k}$  раз (при  $R_2 = R_3$ ) меньшее, но не зависящее от  $k$  (при  $k \gg 1$ ) общее усиление. Если при одном УПТ предельная частота составляет лишь около 10 кгц [5], то разделением усиления (как на рис. 1 б, в, г) этот предел можно значительно повысить. При  $Q = 10 \div 15$  достаточно двух усилительных каскадов (как, например, на рис. 3); в этом случае присоединением емкостей  $C_1$  и  $C_2$  непосредственно к анодам ламп можно полностью исключить паразитный фазовый сдвиг в анодных цепях. Тогда схема работает без самовозбуждения вплоть до уменьшения  $C_1$  и  $C_2$  до нуля на частоте порядка 5 мгц.

Существует также резонансный RC-усилитель «средних» частот [7, 8], состоящий из двух интеграторов (с суммарным усилением  $k = k_1 k_2$ ) и усилителя-фазовращателя (с усилением  $k_3$ ). Здесь  $\omega_0$  не зависит от  $k$ :

$$\omega_0 \sim \frac{\sqrt{k_3}}{\tau} \quad \text{и} \quad Q \sim \frac{\sqrt{k k_3}}{2}.$$

В качестве примера рассмотрим схему на рис. 3, имеющую  $Q = 12 \div 14$ , и соответствующую блок-схеме рис. 1 г. В диапазоне 0,05 — 500 гц переключатель в положении 1, и резонансная частота опре-

деляется произведениями  $R_g C_1$  и  $R_g C_2$ ; в диапазоне 5 гц — 5 мгц переключатель в положении 2, и ту же роль играют произведения  $R_a C_1$  и  $R_a C_2$  (внутреннее сопротивление пентода  $R_i \gg R_a$ ). Режим ламп исключительно стабилен, так как схема охвачена 100%-ной отрицательной обратной связью по постоянному току. Переменные сопротивления  $R_k$  служат для подгонки резонансной частоты. Подстроечный конденсатор  $C_k$  служит для выравнивания усиления на частотах выше 1 мгц, где уже появляется фазовый сдвиг в катодных цепях. Ферритовые трубки  $\Phi$  на сеточных проводах устраняют возможность паразитных УВЧ-колебаний.

Все описанные блок-схемы могут быть осуществлены подобно рассмотренному примеру. Вариант рис. 1 г применен в приборе для исследования спектра шума полупроводников [6].

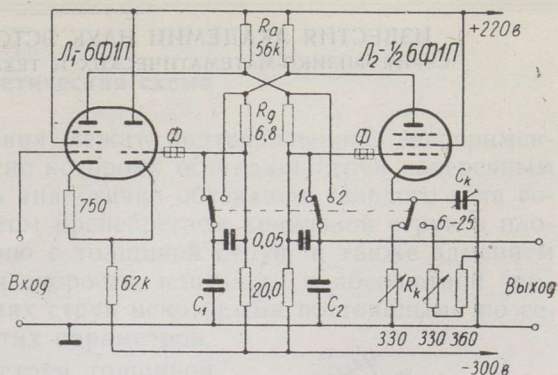


Рис. 3. Резонансный усилитель (вариант рис. 1 г).

ЛИТЕРАТУРА

1. Schneider E. E., Phil. Mag., 36, 271 (1945).
2. Hyde F. J., Wireless Engr, 33, 271 (1956).
3. Shulman C. I., Phys. Rev., 98, 384 (1955).
4. Van Vliet K. M., Van Leeuwen C. J., Blok J., Ris C., Physica, 20, 481 (1954).
5. Сааков Е. О., Теория и расчет избирательных RC-систем, М.-Л., 1954.
6. Кукк П. Л., Сюгис А. Ю., Варвас Ю. А., Липпмаа Э. Т., Тр. Таллинск. политехн. ин-та (в печати).
7. McVey P. J., Electronics Rec., 112, 1263 (1965).
8. Sutcliffe H., Electronics Rec., 112, 301 (1965).

Институт кибернетики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
21/VI 1965

A. SUGIS

### RC-RESONANTSVÖIMENDAJATE SAGEDUSOMADUSED

Artiklis analüüsitakse RC-resonantsvõimendajate sagedusarakteristikaid. Eriolist tähelepanu pööratakse laiaribalistele skeemidele sageduspiirkonnas 0,05 Hz — 5 MHz. Selliseid võimendajaid on otstarbekas kasutada lairiba-müra-spektromeetrites.

A. SUGIS

### FREQUENCY RESPONSE FEATURES OF RESONANT RC-AMPLIFIERS

Frequency response of resonant RC-amplifiers has been analysed in this paper. Especial attention has been paid to circuits for a broad frequency range from 0.05 c/s to 5 Mc/s. These circuits have been used in broad-band noise spectrometers.