пературы резонатора указывает на наличие пика затухания, имеющего место при температуре ниже 120° К. Этот пик при $T \approx 35°$ К, свидетельствующий о релаксационном процессе, наблюдался, например, в работах [5, 6]. Тот факт, что характер наблюдаемого нами низкотемпературного поведения затухания в образце плавленного кварца высокого качества совпадает с поведением затухания в образцах плавленного кварца с относительно большим содержанием примесей [7], подтверждает данное в [6, 8] объяснение низкотемпературных потерь в плавленном кварце структурной релаксацией.

Авторы благодарят В. Б. Брагинского за постоянные консультации и внимание к работе, а также А. А. Парменова за предоставление образцов высококачественного плавленного кварца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weber J. Phys. Rev. Lett., 17, 1228, 1966.
2. Braginsky V. B. 56-th course, International School of Physics «E. Fermi» (Italy), 1972.
3. Смагин А. Г. «Вопросы радиоэлектроники», вып. 11, 1964.
4. Смагин А. Г., Ярославский М. И. Пьезоэлектричество кварца и кварцевые резонаторы. М., 1970.
5. Fine M. E., Van Duyne H., Kenney N. T. J. Appl. Phys., 25, 402, 1954.
6. Anderson O. L., Bommel H. E. J. Am. Ceram. Soc., 38, 125, 1955.
7. Marx J. W., Sivertsen. J. Appl. Phys., 24, 81, 1953.
8. Strakna R. E. Phys. Rev., 123, 2020, 1961.

Поступила в редакцию
30.3 1973 г.

Кафедра
физики колебаний

УДК 621.375.933

А. А. БЕЛОВ, Л. С. ЛЕПНЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНОГО ВИДЕОУСИЛИТЕЛЯ С БИГАРМОНИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ

Известно, что сверхрегенеративные параметрические видеоусилители [1—3] обладают такими важными для практики свойствами, как большой коэффициент усиления и широкая полоса пропускания. В данной работе исследуется стабильность коэффициента усиления параметрического сверхрегенеративного видоиусилителя с бигармонической накачкой [3].

Выражение для коэффициента усиления K по напряжению такого усилителя получено в работе [4]. Для частот сигнала, стремящихся к нулю, оно имеет вид

$$K = k_g \frac{A_1 \vartheta}{4U(\vartheta + m_0)} \left(1 + \frac{m_0 \Phi^2}{2\bar{\vartheta}} \frac{\xi^2}{\vartheta^2 - m_0^2}\right) \frac{e^{-\frac{\alpha}{\beta}\sin\psi} I_0\left(-j\frac{\alpha}{\beta}\sin\psi\right)}{\vartheta + m_0 \sin\psi}, \tag{1}$$

где k_g — коэффициент передачи фазового демодулятора, A_1 — амплитуда первой гармоники напряжения накачки, ϑ характеризует затухание колебательного контура усилителя, $\bar{\vartheta} = \vartheta - m_0$ — среднее значение затухания регенерированного колебательного контура, U — напряжение смещения параметрических диодов, m_0 и α характеризуют закон изменения коэффициента модуляции m-емкости параметрических диодов $\left(m = 2m_0\left(1 + \frac{\alpha}{m_0}\sin \Omega t\right)\right.$, где Ω — частота суперизации), ξ — относительная расстройка колебательного контура усилителя относительно частоты ω первой гармоники накачки, $\beta = \frac{\Omega}{\omega}$, $I_0\left(-j\frac{\alpha}{\beta}\sin\psi\right)$ — функция Бесселя от чисто мнимого аргумента, ψ — сдвиг фаз между первой и второй гармониками напряжения накачки, $\Phi = \psi + \frac{\pi}{2}$. При оптимальной настройке усилителя (максимум K при заданных величинах коэффициентов модуляции емкости параметрических диодов) выполняются соотношения

$$\Phi = \xi = 0. \tag{2}$$

В дальнейшем будем считать, что $k_g = 1$, и, кроме того,

$$A_1 \ll U \text{ и } A_2 \ll U. \tag{3}$$

В этом случае величина $r = \dfrac{\alpha}{m_0}$ равна коэффициенту модуляции напряжения второй гармоники накачки под действием источника суперизации. Будем считать также, что настройка усилителя близка к оптимальной, т. е. $\psi \ll \dfrac{\pi}{2}$; $\xi \ll 2\overline{\vartheta}$.

Чувствительность коэффициента усиления по отношению к изменениям величины какого-либо параметра P удобно характеризовать величиной

$$S_k^P = \frac{dK}{dP}\,\frac{P}{K}. \tag{4}$$

Используя (1) и (4) и считая, что выполнены соотношения (2), для чувствительностей K к изменениям величин U, ψ, ξ, A_1, A_2 и r найдем

$$S_k^U = -\frac{1}{2}\left(4\frac{\alpha}{\beta} + 3\frac{m_0}{\overline{\vartheta}} + \frac{1}{2}\right),\ S_k^\psi = 0,\ S_k^\xi = 0,\ S_k^{A_1} = 1,$$

$$S_k^{A_2} = -1 + \frac{m_0}{\overline{\vartheta}} + 2\frac{\alpha}{\beta},\ S_k^r = 2\frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{2}. \tag{5}$$

Приведем также необходимое в дальнейшем выражение для величины S_k^U, справедливое и в том случае, когда настройка усилителя слегка отличается от оптимальной:

$$S_k^U = -\frac{1}{4}\left[3 + \frac{x}{4m_0\overline{\vartheta}} + \frac{12m_0^2Q_э^2x^2}{\overline{\vartheta}^2(4+Q_э^2x^2)^2}\right] - \frac{m_0}{\overline{\vartheta}} -$$

$$-\frac{1}{2}\left(4\frac{\alpha}{\beta} + \frac{m_0}{\overline{\vartheta}} - 1\right)\left[1 + \frac{4Q_э^2x}{(4+Q_э^2x^2)^2}\right]. \tag{6}$$

Здесь $x = \dfrac{\Delta U}{U_0}$, где ΔU — отклонение U от величины U_0, соответствующей оптимальной настройке усилителя, $Q_э = \dfrac{1}{2\overline{\vartheta}}$ — эквивалентная добротность контура усилителя.

При проведении эксперимента:

$$\frac{m_0}{\overline{\vartheta}} \approx 15,\ \frac{\alpha}{\beta} \approx 5,\ Q_э \approx 2{,}5\cdot 10^3,\ K = 6\cdot 10^3. \tag{7}$$

S_k^P	S_k^U	S_k^ψ	S_k^ξ	$S_k^{A_1}$	$S_k^{A_2}$	S_k^r
Теория	0	0	0	1	26	10
Эксперимент ($K = 6000$)	0	0	0	1	30	10
Эксперимент ($K = 80$)	1,2	0,5	0	1,8	17	—

Результаты расчетов по формулам (5) с учетом соотношений (7) приведены в первой строке таблицы. Как видим, при оптимальной настройке усилителя K совсем не зависит от небольших изменений ξ и ψ. В рассматриваемом режиме работы усилителя его коэффициент усиления сравнительно слабо зависит от A_1 и r. K обладает наибольшей чувствительностью к изменениям U и A_2, что объясняется изменением степени параметрической регенерации колебательного контура усилителя.

Однако из (6) следует, что S_K^U — знакопеременная функция, это объясняется тем, что при изменении U изменяются не только коэффициенты модуляции емкости параметрических диодов, но и ξ. Последний эффект становится доминирующим после того, как x превысит некоторую критическую величину. Из (6) также следует, что значение U, при котором $S_K^U=0$ практически совпадает со значением, соответствующим точной настройке контура усилителя в резонанс на частоту каначки. Так при $K>10^3$ условие $S_K^U=0$ выполняется при $x\approx10^{-6}$, тогда как для изменения K на 10% за счет увеличения расстройки требуется изменение U, более чем на два порядка превышающее указанную величину.

Результаты экспериментального исследования стабильности сверхрегенеративного параметрического видеоусилителя, полученные при $K=6\cdot10^3$, приведены во второй строке таблицы. В третьей строке таблицы приведены результаты измерения стабильности того же усилителя, но в отсутствие сверхрегенерации, когда усилитель работает в обычном регенеративном режиме [4] с К-80. Из таблицы следует, что результаты экспериментального исследования сверхрегенеративного параметрического видеоусилителя подтверждают выводы теории и показывают, что использование сверхрегенерации в параметрических видеоусилителях позволяет повысить коэффициент усиления при том же порядке стабильности усилителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов А. А., Ченятин Ю. И. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 4, 426—431, 1970.
2. Белов А. А. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 5, 563—567, 1971.
3. Белов А. А. «Радиотехника и электроника», **16**, 1716—1821, 1971.
4. Белов А. А. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 2, 31—37, 1969.

Поступила в редакцию
30.5 1972 г.

Кафедра
физики колебаний

УДК 62—501.224—501.7—508

Г. А. БЕНДРИКОВ, В. В. ВОЛКОВ

НОВЫЕ АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРАЕКТОРИЙ КОРНЕЙ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

В работе [1] методом траекторий корней рассмотрены одноконтурные системы с характеристическим уравнением вида

$$\Phi_n(p)\,e^{p\tau}+K\Psi_m(p)=0, \tag{1}$$

где Φ_n и Ψ_m — полиномы с действительными коэффициентами от $p=\delta+j\omega$ целых степеней n и m соответственно, K — коэффициент усиления, являющийся свободным параметром, τ — время запаздывания. Если в качестве свободного выбирается другой параметр, а также для многоконтурных систем с одним блоком запаздывания, характеристическое уравнение в общем случае приводится к виду

$$\Phi_n(p)\,e^{p\tau}+\Lambda_q(p)+\rho\,[\Psi_m(p)\,e^{p\tau}+\Theta_l(p)]=0. \tag{2}$$

Здесь Λ_q и Θ_l — полиномы степеней q и l, ρ — любой линейный параметр.

В уравнении (1) имеется $n+m$ основных (начальных и предельных) точек в конечной области комплексной плоскости p плюс бесконечное число их, находящихся в бесконечности. Поэтому существенным свойством траекторий корней уравнения (1) является наличие горизонтальных асимптот. Для уравнения (2) начальные ($\rho=0$) и предельные ($\rho\to\pm\infty$) точки определяются из уравнений

$$\Phi_n(p)\,e^{p\tau}+\Lambda_q(p)=0, \tag{3}$$

$$\Psi_m(p)\,e^{p\tau}+\Theta_l(p)=0. \tag{4}$$