

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.373

В. В. Карпов
М. Е. КвасовУСИЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА
СИНХРОНИЗИРОВАННОГО
АВТОГЕНЕРАТОРА

В настоящем сообщении рассматриваются процессы в синхронизированном автогенераторе при действии на него внешнего сигнала с частотой, близкой к частоте синхронизации, и амплитудой, малой по сравнению с амплитудой синхронизирующей внешней силы. Подобная задача рассматривалась в [1, 2]. Однако результаты одной из работ противоречат результатам другой, кроме того, в работах обойден вопрос об устойчивости получившихся при чисто теоретическом исследовании режимов.

Уравнение движения в автогенераторе при многочастотном воздействии на основном тоне представимо в виде

$$\ddot{x} + 2\delta(x)\dot{x} + \omega_0^2 x = \omega_0^2 \sum_{l=1}^N P_l \cos \omega_l t. \quad (1)$$

При кубической аппроксимации характеристики нелинейного активного элемента $\delta(x) = \delta_0 + \delta_2 x^2$, $\delta_0 < 0$, $\delta_2 > 0$.

При исследовании воздействия малого внешнего сигнала на синхронизированный автогенератор $N=2$, и решение уравнения (1) следует искать в виде [3]

$$x = \sum_{i=1}^2 [A_i \sin(\omega_i t - \varphi_i) + A_{ki} \sin(\omega_{ki} t - \varphi_{ki})], \quad (2)$$

где $\omega_{k1} = 2\omega_1 - \omega_2$, $\omega_{k2} = 2\omega_2 - \omega_1$.

Следуя методике, описанной в [3, 4], получим систему укороченных уравнений для амплитуд и фаз компонентов спектра. Из предположения о малости амплитуды внешнего сигнала P_2 по сравнению с амплитудой синхронизирующего P_1 и из результатов работ [3 и 4] следует, что $A_1 \gg A_{k1}$, A_{k2} и $A_1^2 \gg A_2^2$. Пренебрегая членами второго порядка малости в укороченных уравнениях и ограничиваясь исследованием стационарных режимов, получим систему трансцендентных уравнений для стационарных значений амплитуд и фаз компонентов спектра. Предложенные упрощения приводят к тому, что амплитудно-частотная характеристика синхронизированного автогенератора в первом приближении не зависит от параметров малого сигнала. Из оставшихся шести уравнений системы легко получить уравнение для a_2 :

$$\begin{aligned} a_2^6 \left[\left(1 + \frac{2a_1^2 b^2}{\sigma_{k2}^2 + b^4} \right)^2 + \left(\frac{2a_1^2 \sigma_{k2}}{\sigma_{k2}^2 + b^4} \right)^2 \right] + 2a_2^4 \left[\frac{2a_1^2 \sigma_{k2}}{\sigma_{k2}^2 + b^4} \left(\sigma_2 - \frac{\sigma_{k1} a_1^4}{\sigma_{k1}^2 + b^4} \right) - \right. \\ \left. - b^2 \left(1 + \frac{2a_1^2 b^2}{\sigma_{k2}^2 + b^4} \right) \left(1 - \frac{a_1^4}{\sigma_{k1}^2 + b^4} \right) \right] + a_2^2 \left[b^4 \left(1 - \frac{a_1^4}{\sigma_{k1}^2 + b^4} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(\sigma_2 - \frac{\sigma_{k1} a_1^4}{\sigma_{k1}^2 + b^4} \right)^2 \right] - \frac{1}{4\delta_0^2 M^2 K^2} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

и выражения для a_{ki} :

$$a_{k1}^2 = \frac{a_1^4 a_2^2}{\sigma_{k1}^2 + b^4}, \quad a_{k2}^2 = \frac{a_2^4 a_1^2}{\sigma_{k2}^2 + b^4}, \quad (4)$$

где

$$a_1 = A_1/A_0, \quad \sigma_1 = (\omega_1 - \omega_0)/\delta_0, \quad M = A_0/P_1, \quad K = P_1/P_2, \\ b^2 = 1 - 2a_1^2, \quad A_0 = \sqrt{-4\delta_0/\delta_2}.$$

При действии малого внешнего сигнала на синхронизированный автогенератор почти во всей области расстроек спектр на выходе имеет вид (2). Лишь в случае, когда частота ω_1 синхронизированного генератора расположена около границы полосы синхронизации, действие малого внешнего сигнала с частотой ω_2 , находящейся в небольшой области вблизи $\omega_2 = \omega_1$, приводит к изменению спектра колебания автогенератора. Границы этой области нетрудно определить, так как при решении на ЭЦВМ системы укороченных уравнений внутри области измененного спектра устанавливаю-

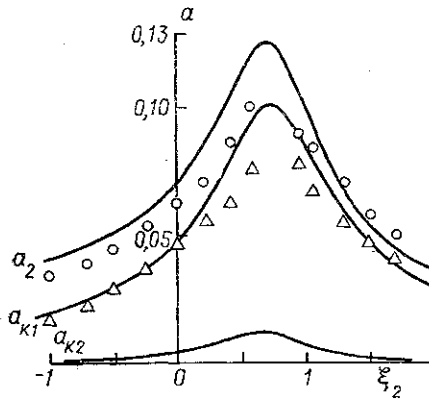


Рис. 1. Теоретические и экспериментальные зависимости амплитуд компонентов спектра от ξ_2 при $M=50$, $K=10$, $\xi_1 = -0,75$ (○ — экспериментальные значения a_2 , Δ — экспериментальные значения a_{k1})

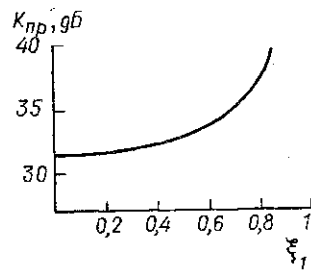


Рис. 2. Теоретическая зависимость максимального значения $K_{пр}$ от ξ_1 при $M=50$, $K=10$

щиеся амплитуды и фазы спектра (2) не достигают стационарных значений, а изменяются периодически во времени.

Используя параметры автогенератора и начальные условия, указанные в [3 и 4], и полагая $M=50$, $K=10$, определим области со спектром (2) при помощи решения системы укороченных уравнений. Внутри определенных таким образом областей расчет амплитуд компонентов спектра можно проводить, используя (3) и (4). При этом отпадает необходимость вывода аналитических условий устойчивости, так как при решении системы дифференциальных уравнений методом численного интегрирования в нашем случае реализуются только устойчивые стационарные режимы.

Зависимости амплитуд компонентов спектра от расстройки $\xi_2 = \sigma_2/\sigma_0$ ($\sigma_0 = \Delta_0/\delta_0$, Δ_0 — полуширина полосы синхронизации автогенератора внешней силой P_1) при $\xi_1 = -0,75$ и $K=10$ (рис. 1) получены как численным интегрированием системы укороченных уравнений, так и решением уравнения (3) с последующим расчетом по формулам (4). Получившиеся в результате установления стационарные значения a_1 зависят от ξ_2 , причем кривая $a_1 = f(\xi_2)$ имеет минимум вблизи $a_2 = a_{2 \max}$. Однако отклонение амплитуды a_1 при изменении ξ_2 от ее постоянного значения при $\xi_1 = -0,75$ в отсутствие малого внешнего сигнала не превышает 2%. Амплитуды a_2 , a_{k1} и a_{k2} , найденные решением системы укороченных уравнений и из (3), (4), практически совпадают. вследствие малости изменения a_1 зависимость $a_1(\xi_2)$ на рис. 1 не изображена. При увеличении K или уменьшении ξ_1 , $a_1 = \text{const}$, и расчеты амплитуд компонентов спектра можно проводить по (3), (4) с ошибкой, не большей 3%.

Из рис. 1 видно, что при приближении частоты малого внешнего сигнала к частоте ω_1 синхронизированного автогенератора происходит увеличение амплитуды a_2 . Частота, соответствующая $a_{2 \max}$, находится в интервале (ω_0, ω_1) вблизи ω_1 . Изменение a_{k1} почти аналогично изменению a_2 . Уменьшение величины $a_2 - a_{k1}$ при $\xi_2 > \xi_1 > 0$ связано с попаданием частоты $2\omega_1 - \omega_2$ в полосу пропускания резонансного контура. При приближении частоты синхронизированного генератора к границе полосы синхронизации ($\pm \Delta_0$) $K_{пр} = A_2/P_2$ малого сигнала растет. Из рис. 2 следует, что изменение расстройки от 0 до 0,85 при $K=10$ приводит к увеличению $K_{пр}$ на 15,5%. Дальней-

шее приближение $\omega_1 k \pm \Delta_0$ приводит к изменению спектра колебания генератора. Отметим, что при $\xi_1 = 0,75 K_{\text{пр}}$ практически не зависит от K .

Экспериментальное исследование проводилось на автогенераторе на туннельном диоде. Подробно установка описана в [5]. Как видно из рис. 1, закономерности изменения a_2 , a_{n1} качественно соответствуют расчетным ($a_1 = \text{const}$). Из (3) следует, что $K_{\text{пр}}$ зависит от M и K . В целях повышения качества измерений (получения достаточно большой полосы синхронизации) $M_{\text{экс}} < M_{\text{теор}}$. Поэтому экспериментальные значения $K_{\text{пр}}$ лежат в иной, чем расчетные, области, однако закономерности изменения $K_{\text{пр}}(\xi_1)$ соответствуют рассчитанным. При $|\xi_1| > 0,85$ ($K=10$) в некоторой области вблизи $\omega_2 = \omega_1$ наблюдается значительное усложнение спектра колебаний автогенератора. При этом перекачка энергии с частоты ω_1 (уменьшение a_1) приводит к такому увеличению амплитуд компонентов спектра, что $a_2 \approx a_1$. В этом случае число различных компонентов спектра достигает десяти.

Итак, при использовании синхронизированного автогенератора в качестве усилителя для получения большого значения $K_{\text{пр}}$ желательно, чтобы частота ω_1 синхронизирующей внешней силы P_1 была отстроена от частоты автоколебаний ω_0 на $0,75 - 0,85 \Delta_0$. Расстройка частоты ω_2 малого внешнего сигнала относительно ω_0 должна быть меньше расстройки частоты синхронизирующего на $0,04 - 0,06 \Delta_0$. При этом малый сигнал может быть АМ или ЧМ, но ширина его спектра не должна превышать 50% полосы синхронизации автогенератора силой P_1 . Тогда при $K \geq 10$ можно получить преимущества неискаженного приема АМ и ЧМ сигналов по сравнению с непосредственным их воздействием на генератор [6].

Авторы благодарны И. И. Минаковой за руководство работой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малорацкий Л. Г. «Радиотехника», 1966, 21, 1.
2. Эпштейн Г. — Тр. ТИИЭР, 1973, 61, 11.
3. Карпов В. В., Минакова И. И. «Вестн. Моск. ун-та. Сер. физ., астроном.», 1976, 17, № 3.
4. Абгарян В. В., Карпов В. В., Минакова И. И. «Вестн. Моск. ун-та. Сер. физ., астроном.», 1976, 17, № 4.
5. Вексин С. И., Карпов В. В., Минакова И. И. «Радиотехника и электроника», 1977, 22, 12.
6. Мартыненко Д. П., Хохлов Р. В. «Радиотехника и электроника», 1957, 2, 8.

Поступила в редакцию
10.10 1977 г.
Кафедра
физики колебаний

УДК 537.867:621.376

В. П. Комолов
В. А. Рознятовский

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛА В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ С ИМПУЛЬСНОЙ НАКАЧКОЙ

Для многих практических задач радиоприема большое значение имеет развитие техники когерентной цифровой обработки радиосигналов, в том числе совершенствование устройств для преобразования радиосигналов в форму, удобную для такой обработки. Одной из операций такого преобразования является дискретизация сигнала во времени.

В работе [1] рассматривалась аналоговая модель LC-контура, емкость которого менялась скачкообразно от C_{max} до C_{min} под действием управляющего напряжения прямоугольной формы с длительностями фронта и спада импульса $\tau_{\text{фр}} \approx \tau_{\text{сп}} \ll \sqrt{LC_{\text{min}}}$. Было показано, что такой параметрический контур с импульсной накачкой обладает свойствами существенно отличающими его от параметрического квантователя фазы (ПКФ) с радиои импульсной накачкой [2].

При большом коэффициенте перекрытия емкости $K = C_{\text{max}}/C_{\text{min}}$ контур с импульсной накачкой обладает двумя устойчивыми состояниями, в которых собственные резонансные частоты (нижняя — $\omega_n = 1/\sqrt{LC_{\text{max}}}$ и верхняя — $\omega_v = 1/\sqrt{LC_{\text{min}}}$), существенно различны, а соответствующие им полосы прозрачности не перекрываются.