

шее приближение $\omega_1 \approx \pm \Delta_0$ 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. Абрамян 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 радиопульсной 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 перекрывают-

ся. Переход из нижнего состояния (с частотой ω_n) в верхнее (с частотой ω_n) обеспечивается фронтом импульса накачки, а обратный переход — спадом этого импульса. В каждом из этих состояний контур сохраняет линейные свойства и может принимать сигнал в полосе, соответствующей данному состоянию. Если в одном из состояний контур принимает сигнал, то при переходе в другое состояние вынужденные колебания, наведенные сигналом, преобразуются в свободные колебания на частоте второго состояния.

При периодическом переходе такого контура из одного состояния в другое осуществляются выборки принимаемого сигнала, которые содержат информацию о всех параметрах этого сигнала в моменты перехода. Такую обработку сигнала будем называть параметрическим стробированием. Достоинством такой обработки является большое быстродействие и возможность разделения сигнала и выборки с помощью полосовых фильтров.

Принимать сигнал выгодно на нижней частоте контура, поскольку переход на верхнюю частоту сопровождается внесением энергии накачки в контур — импульсным параметрическим усилением [1]. Чтобы энергия накачки не накапливалась в контуре и не вызывала параметрического возбуждения [3], переход с верхней частоты на нижнюю должен сопровождаться импульсным параметрическим гашением. Последнее возможно, если длительность импульса накачки τ_n равна целому числу n полупериодов свободных колебаний на верхней частоте: $\tau_n = n\pi/\omega_n$. Импульсное гашение не приводит к полному параметрическому охлаждению контура [2]: из контура изымается лишь та часть энергии, которая была внесена импульсом накачки. Таким образом, свободные колебания на верхней частоте преобразуются при гашении

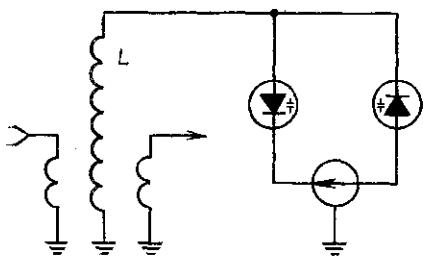


Рис. 1.

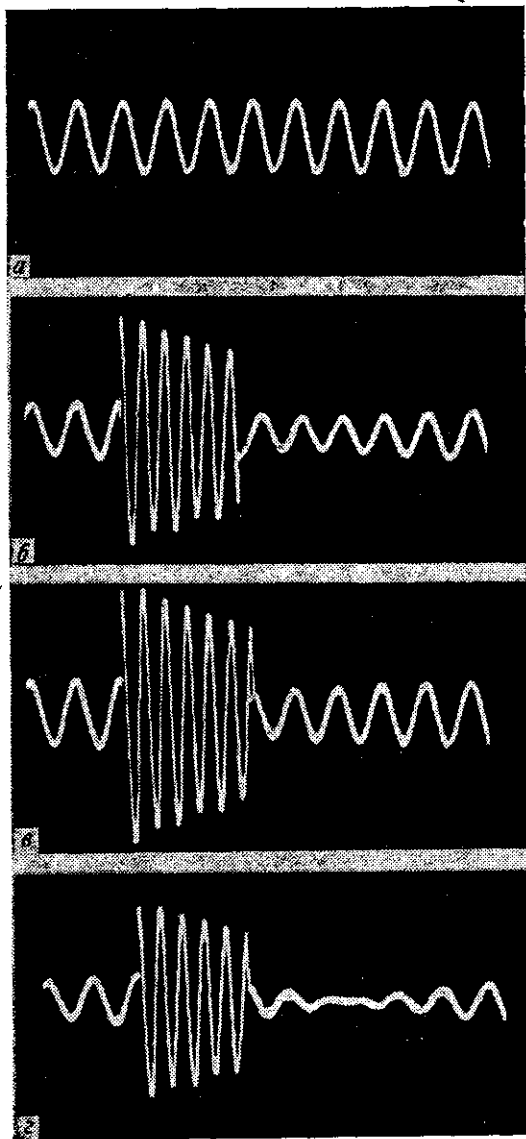


Рис. 2

выборки в свободные колебания на нижней частоте, которые будем называть переходной помехой. Энергия переходной помехи равна энергии, накопленной в контуре при приеме сигнала, за вычетом потерь на затухание.

По окончании выборки контур снова принимает сигнал. При этом взаимодействие сигнала и переходной помехи в контуре определяется разностью фаз их колебаний $\Delta\varphi = \varphi_c - \varphi_n$. Трем дискретным значениям разности фаз ($\Delta\varphi = 0$, $\Delta\varphi = \pm\pi/2$, $\Delta\varphi = \pm\pi$) соответствуют три различных режима приема непрерывного сигнала. Оптимальность того или иного режима определяется структурой принимаемого сигнала. Если

структура сигнала определена, то оптимальный режим задается длительностью импульса накачки τ_n в соответствии с определенным значением коэффициента перекрытия.

Так, если стробирование ведется с частотой большей полосы контура, то при приеме АМ-сигнала, полоса которого согласована с полосой контура на частоте приема, оптимальным является первый режим, так как при $\Delta\varphi=0$ колебания переходной помехи и сигнала в контуре складываются и осуществляются коррелированные выборки. При $\Delta\varphi=\pm\pi/2$ осуществляются некоррелированные выборки, поскольку колебания сигнала и переходной помехи ортогональны. При $\Delta\varphi=\pm\pi$ энергия сигнала расходуется на подавление переходной помехи.

Экспериментальные исследования проводились на балансном параметрическом контуре, схема которого показана на рис. 1. В качестве управляемой емкости контура:

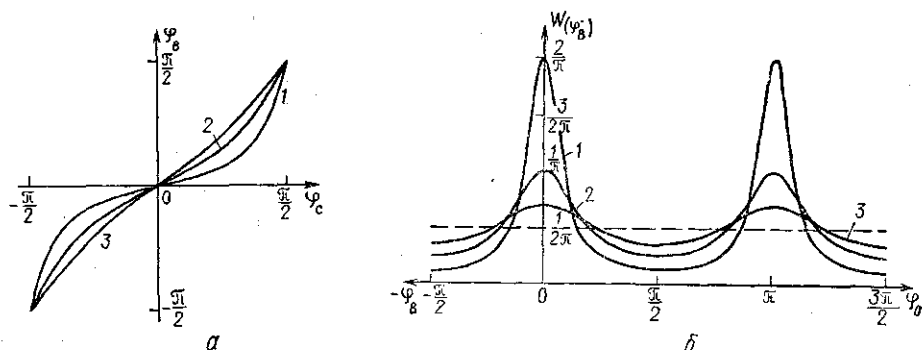


Рис. 3

использовалась пара идентичных МДП-варикапов с коэффициентом перекрытия $K=4$: ($C_{\max}=84$ пФ, $C_{\min}=21$ пФ). Значения собственных частот контура: $f_n=250$ кГц и $f_s=500$ кГц. На рис. 2 показаны осциллограммы преобразования непрерывного радиосигнала (рис. 2, а) при параметрическом стробировании в трех режимах, определяемых длительностью импульса накачки: $\tau_n=12$ мкс и $\Delta\varphi=0$ (рис. 2, б), $\tau_n=11$ мкс и $\Delta\varphi=\pi/2$ (рис. 2, в), $\tau_n=10$ мкс и $\Delta\varphi=\pi$ (рис. 2, г). Длительность фронта и спада импульса накачки была не более 50 нс.

Поскольку при параметрическом стробировании осуществляется усиление косинусной составляющей напряжения, такой контур обладает фазоселективными свойствами. Фазы выборки и сигнала связаны между собой соотношением $\sqrt{K} \operatorname{tg} \varphi_s = \operatorname{tg} \varphi_c$. На рис. 3, а показана зависимость фазы выборки φ_s от фазы сигнала φ_c в момент стробирования для различных значений коэффициента перекрытия K . Острота фазовой селекции тем больше, чем больше величина K ($1-K=16$, $2-K=4$, $3-K=2$).

При равномерном распределении фазы стробируемого сигнала распределение фазы в выборках имеет два максимума — при $\varphi_c=0$ и $\varphi_c=\pi$. Это видно из графика рис. 3, б, на котором показано распределение фаз выборок $W(\varphi_s) = \sqrt{K}/2\pi(K \sin^2 \varphi_s + \cos^2 \varphi_s)$ для различных значений K при равномерном распределении фазы стробируемого сигнала $W(\varphi_c)=1/2\pi$ (показано пунктиром).

Проведенные исследования показали, что параметрический контур с импульсной накачкой можно использовать в качестве быстродействующего коммутируемого фильтра, например, в фазовой телеграфии. Фазоселективные свойства такого контура можно использовать для предварительной обработки сигнала при квантовании фазы на два уровня 0 и π , например, с помощью ПКФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комолов В. П., Рознятовский В. А. «Вестн. Моск. ун-та. Сер. физ., астроном.», 1977, 18, № 1.
2. Комолов В. П., Трофименко И. Т. Квантование фазы при обнаружении радиосигналов. М., 1976.
3. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. М., 1964.

Поступила в редакцию
21.6 1977 г.

Кафедра
радиофизики СВЧ