

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ТРАНЗИСТОРНЫХ СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКАХ

Иванов В. Э., Кудинов С. И.

УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

г. Екатеринбург, Россия

тел.: 343-3745292, e-mail: kudinoffs@mail.ru

Аннотация — Рассмотрены вопросы компьютерного моделирования влияния ударных колебаний пускового тока в колебательном контуре на развитие автоколебательного процесса в импульсных генераторах и сверхрегенеративных приемопередатчиках СВЧ диапазона.

I. Введение

Ударные колебания (УК), возникающие при запуске импульсных СВЧ-автогенераторов (СВЧ-АГ), оказывают существенное влияние на процесс развития автоколебаний и формирование выходного спектра радиоимпульсов [1, 2]. Особо важным исследованием этих явлений оказывается при анализе работы сверхрегенеративных усилителей (СУ) и сверхрегенеративных приемопередатчиков (СПП). Исследование влияния УК проводится методом численного решения дифференциального уравнения колебательной системы СВЧ-АГ.

II. Модель СВЧ-АГ СПП

Эквивалентная схема колебательной системы СВЧ-АГ (рис.1) содержит, соответственно, C_c – емкость и L_c – индуктивность контура, $R_c(t)$ – активное знакопеременное сопротивление контура, управляемое генератором тока I_e .

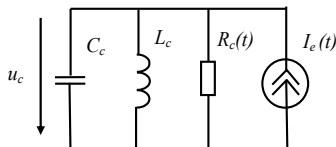


Рис. 1. Эквивалентная схема автогенератора.

Fig. 1. The equivalent scheme of the oscillator

Импульсы постоянного тока генератора, протекающие через транзистор в режиме его запуска возбуждают ударные колебания в контуре СПП. Дифференциальное уравнение, моделирующее процесс в колебательном контуре представлено в виде зависимости от постоянной составляющей тока эмиттера

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} + 2\delta(t) \frac{dU_c}{dt} + \omega^2 U_c = \frac{1}{C} \frac{dI_e(t)}{dt}, \quad (1)$$

где U_c — амплитуда напряжения на элементах контура СПП; $\delta(t) = 1/(2R_c(t)C_c)$ — декремент затухания контура; $R_c(t) = L_c/RC_c$ — активное сопротивление параллельного контура. Ток эмиттера $I_e(t)$ нарастает по экспоненциальной зависимости (рис. 2). Амплитуда УК U_m пропорциональна крутизне и амплитуде пускового тока I_s . При положительном затухании колебательной системы (декрементная система $I_e < I_b$) УК имеют затухающий характер (1, рис. 2). В случае отрицательного затухания (инкрементная система $I_e > I_b$) ударные колебания определяют экспоненциальное нарастание амплитуды автоколебаний (2, рис. 2). Амплитуда ударных колебаний достаточно мала, поэтому для осуществления численных

расчетов уравнение (1) в дальнейшем рассматривается в линейном варианте. В этом случае математическая модель диссипативной и инкрементной модели колебательной системы может быть задана в виде линейного неоднородного дифференциального уравнения с переменными коэффициентами (1). Функция тока запуска автогенератора моделируется в виде импульсов с переменной крутизной переднего фронта (рис.2)

$$I_e(t) = I_s (1 - e^{-\chi t}), \quad (2)$$

где χ — показатель степени, учитывающий крутизну нарастания тока эмиттера.

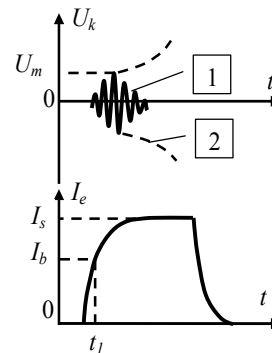


Рис. 2. Механизм ударного возбуждения колебательного контура СПП.

Fig. 2. The mechanism of shock excitation of an oscillatory contour

Нарастающий ток эмиттера активного прибора, вызывая УК, одновременно управляет затуханием контура d , устремляя его значение к нулю и далее к отрицательному значению. Поэтому необходимо получить выражение, связывающее изменение затухания контура d от тока активного элемента. Функцию фактора регенерации достаточно сложно точно представить в аналитическом виде. В данном случае, фактор регенерации допустимо и удобнее представить в виде упрощенной линейной модели (1), так, чтобы выполнялись следующие условия: при токе эмиттера $I_e = 0$ фактор регенерации равен $\psi(I_e) = -1$, а при токе, соответствующем граничному току $I_e = I_b$, фактор регенерации принимает значение $\psi(I_e) = 0$, [3]. Это соблюдается при выражении зависимости фактора регенерации от тока эмиттера в виде

$$\Psi(I_e) = (I/I_b) I_e - 1, \quad (3)$$

где $1/I_b$ — крутизна линеаризованной малосигнальной регенеративной характеристики. Затухание колебательной системы СПП можно представить в виде зависимости от величины фактора регенерации, текущего значения тока эмиттера и использовать для решения дифференциального уравнения (1). Декремент затухания контура определяется соотношением

$$\delta(t) = G_{\Sigma} / 2C_c \cdot \Psi(I_e) \cdot (4)$$

Учитывая выражение (2), декремент затухания целесообразно записать следующим образом

$$\delta(t) = (G_{\Sigma} / 2C_c) [(1/I_b) I_s (1 - e^{-\chi t}) - 1] \cdot (5)$$

При подстановке выражения для декремента затухания (5) и тока эмиттера (2) в формулу (1), уравнение автогенератора можно представить в виде

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} + \frac{G_{\Sigma}}{C_c} [(1/I_b) I_s (1 - e^{-\chi t}) - 1] \frac{d U_c}{dt} + \omega^2 U_c = \frac{1}{C_c} \frac{d I_s (1 - e^{-\chi t})}{dt} \cdot (6)$$

Изменяя величину тока эмиттера в соответствии с выражением (2) от нуля до установившегося пускового значения I_s , можно рассчитать амплитуду УК для различной формы и величины импульсов тока. Следует подчеркнуть, что в решении уравнения будет учитываться соответствующее изменение затухания контура в процессе нарастания тока, как для декрементного, так и для инкрементного режимов работы СВЧ-АГ.

III. Результаты

В качестве исходных данных, позволяющих моделировать различные начальные условия расчета, вводятся: $d_0=0,04$, начальное затухание контура; $f_0=1,68$ ГГц, частота колебаний в контуре; $\chi=1e7$, степень экспоненты, характеризующая скорость нарастания тока; $C_c=5e-12$ Ф, емкость коллекторного контура; $I_b=2,95$ мА, граничный ток; $I_s=3,00$ мА, амплитуда импульсного тока запуска. Компьютерное моделирование процесса развития УК и перехода к автоколебаниям проводилось для транзисторного СПП, работающего на частоте 1,68 ГГц при различных значениях начального затухания нерегенерированного контура – $d_0=(0,01...0,1)$. Пусковой ток I_s выбирался для транзистора КТ637А-2 в диапазоне значений $I_s=(1...10)$ мА, в соответствии с расчетами ОРХ, выполненными ранее [3]. Показатель крутизны нарастания тока импульса запуска χ выбирался в диапазоне значений ($10^6...10^8$). Пусковое значение тока I_s устанавливалось на (0,05...0,1) мА больше значения граничного тока I_b .



Рис. 3. Зависимость амплитуды УК и автоколебаний контура СПП от собственного затухания d_0 .

Fig. 3. Dependence of shock oscillations amplitude and self-oscillations of a contour on own attenuation d_0

На рис. 3 представлен результат компьютерного моделирования воздействия УК на развитие автоколебаний в СПП.

При начальном затухании контура $d_0=0,03$ УК не спадают до пренебрежимо малых значений флуктуа-

ционных колебаний в момент достижения током запуска граничного тока, а переходят в инкрементной области в автоколебания СПП. УК определяют фазу автоколебаний и маскируют внешний сигнал, снижая реальную чувствительность устройства [2].

При большем начальном затухании контура $d_0=0,09$ амплитуда УК снижается быстрее и при некотором достаточном интервале времени спадают до уровня флуктуационных колебаний на момент достижения током запуска граничного значения $I_s=I_b$. В этом случае УК не определяют ни начальную величину автоколебаний, ни их фазу, т.е. не оказывают существенного влияния на реальную чувствительность приемного режима СПП.

Расчет УК для одного значения граничного тока, но с разными значениями пусковых токов показывает, что величина превышения пускового тока над граничным существенным образом не влияет на уровень УК.

IV. Заключение

Разработанная модель и результаты расчетов показывают, что уровень УК увеличивается в соответствии с нарастанием крутизны χ пускового тока и его превышением граничного значения I_b .

Проведенный анализ показывает, что для снижения уровня УК необходимо выбирать длительность диссипативного интервала регенерации ($I_s < I_b$) таким образом, чтобы их амплитуда в момент выполнения условий самовозбуждения была минимальной. В этом случае достигается максимальная чувствительность СПП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по программе «Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета».

V. Список литературы

- [1] *Сверхрегенераторы* / М. К. Белкин, Г. И. Кравченко, Ю. Г. Скоробутов, Б. А. Стрюков. — М.: Радио и связь, 1983. 248 с.
- [2] *Иванов В. Э., Фридзон М. Б., Ессяк С. П.* Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 596 с. ISBN 5-7691-1513-0.
- [3] *Иванов В. Э., Кудинов С. И.* Исследование регенеративной характеристики СВЧ-автогенератора на биполярном транзисторе // 20-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13—17 сент. 2010 г.). Севастополь: Вебер, 2010. С. 220—221.

MODELING OF INFLUENCE OF SHOCK FLUCTUATIONS IN TRANSISTOR MICROWAVE OSCILLATORS

Ivanov V. E., Kudinov S. I.
The Urals Federal University Named After
the First President B. N. Yeltsin
Yekaterinburg, Russia
Ph.: 343-3745292, e-mail: kudinoffs@mail.ru

Abstract — The problems of computer modeling concerning the influence of shock fluctuations of starting current in the oscillatory contour upon auto-oscillatory process development in pulse generators and super-regenerative transceivers are considered.