

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Постановление №218 от 07.04.2010) по гранту «Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета».

Список литературы

1. Иванов В.Э. Исследование импульсно-фазового метода формирования и приема ответного сигнала сверхрегенеративного приемопередатчика / В.Э. Иванов // Радиовысотометрия – 2004: Труды Первой Всероссийской науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. С. 59 – 64.
2. Левин Б.Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. Изд. 2-е. Изд-во «Советское радио», 1960.
3. Григулевич В.И. О флюктуационном характере спектра электронного автогенератора / В.И. Григулевич // Изв. вузов. Сер. Радиотехника. 1959. № 4. С. 446 - 453.
4. Свириденко С.С. Изменение фазы в процессе установления автоколебаний лампового генератора, находящегося под воздействием слабой внешней силы. Радиотехника и электроника. № 8, 1963. С. 1344-1354.
5. Иванов В.Э. Структурная схема и особенности работы РЛС, построенной на импульсно-фазовом принципе формирования и приема ответного сигнала сверхрегенеративного приемопередатчика // Радиовысотометрия – 2004: тр. Первой Всероссийской науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. С. 54 – 58.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОЗОНДОВ ТИПА МРЗ-3

С.И. Кудинов, А.В. Гусев, В. Э. Иванов

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

SOME ISSUE OF MRZ-3 TYPE DOMESTIC RADIOSONDE TRANSCIEVER THEORY

S.I. Kudinov, A.V. Gusev, V.E. Ivanov

Отечественные системы радиозондирования атмосферы (СР) построены по угломерно-дальномерному методу измерения координат, скорости и направления движения радиозонда в свободной атмосфере. Измерение угловых координат: азимута (β), угла места (ϵ), а, также, наклонной дальности (R_n) осуществляется радиоимпульсным методом с активным ответом. Особенно эффективным оказалось использование в составе радиозондов сверхрегенеративных приемопередатчиков (СПП). Интенсивное излучение СПП обеспечивает надежную

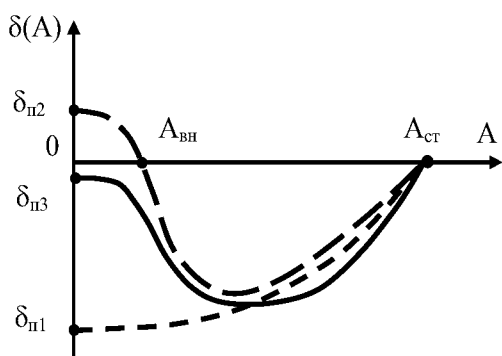


Рис. 1.

передачу телеметрической информации и сопровождение по угловым координатам. Высокая чувствительность СПП к импульсному запросу сигнала позволяет сформировать ответный сигнал по дальности в виде короткой паузы в излучении СПП при пониженной мощности передатчика запросного радиоимпульса РЛС. Весьма важным, в конечном счете, оказывается тот факт, что система определения координат и канал передачи телеметрической информации системы радиозондирования функционируют на одной несущей частоте [1].

Для пояснения основных особенностей работы СПП на рис.1 приведена зависимость затухания контура СВЧ-автогенератора (СВЧ-АГ) от амплитуды колебаний для разных режимов запуска. СВЧ-АГ СПП периодически включается в момент появления суперирующего импульса U_c и выключается по его окончании на интервале демпфирования τ_d . Рабочая частота СВЧ-автогенератора может быть установлена в диапазонах 1680 (1780) МГц. Частота суперирующего напряжения составляет 800кГц.

Колебательная система СПП в выключенном состоянии характеризуется собственным затуханием δ_0 . Изменение затухания контура в течение импульса суперизации τ_c определяет процесс развития и установления колебаний. Как известно, условия запуска и характеристики переходного процесса установления автоколебаний в СПП существенно влияют на формирование чувствительности и выходной мощности [1, 2]. Зависимость затухания на рис.1 изображена для наиболее характерных режимов установления амплитуды автоколебаний:

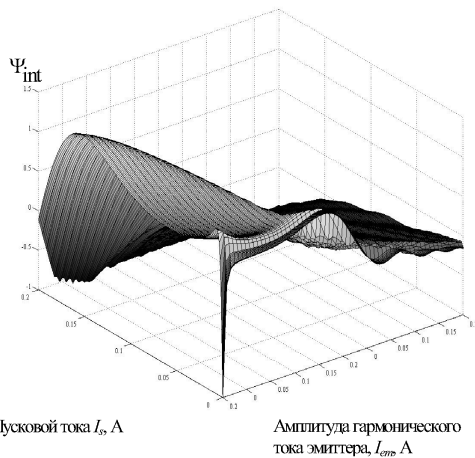


Рис.2.

мягкий характер установления колебаний реализуется зависимостью с пусковым затуханием $\delta_{п1}$; жесткий характер установления автоколебаний с пусковым затуханием $\delta_{п2}$ возможен за счет ударных колебаний с амплитудой, превышающей $A_{вн}$; зависимость с пусковым затуханием $\delta_{п3}$ обеспечивает самовозбуждение и жесткий характер установления автоколебаний. Этот режим далее рассматривается как наиболее эффективный для реализации в СПП.

Для анализа режимов работы СВЧ-АГ вводится обобщенная регенеративная характеристика (ОРХ) [2]. Значение постоянного тока эмиттера, при котором выполняются условия самовозбуждения, называется граничным током СВЧ-АГ $-I_b$.

Ток запуска, задаваемый внешними условиями, при котором осуществляется режим самовозбуждения, определяется как пусковой ток $-I_s$. Регенеративные свойства СВЧ-АГ описываются с помощью безразмерного параметра – фактора регенерации

$$\Psi_{int} = \frac{\omega C_k}{G_\Sigma} |\text{Im } \dot{\alpha}_{int}| - 1, \quad (1)$$

где $G_\Sigma = G_L + \omega^2 C_k^2 r_k$ – суммарная проводимость потерь контура и нагрузки, C_{ke} – емкость коллектор – эмиттер, C_k – емкость коллектора, r_k – сопротивление коллектора.

Зависимость фактора регенерации (1) от величины постоянного и переменного тока эмиттера позволяют построить ОРХ СВЧ-АГ (рис.2). Запуск автогенератора осуществляется при условии $\Psi_{int} \geq 0$, а установление стационарных колебаний происходит при амплитудах, где выполняется условие $\Psi_{int} = 0$. Сверхрегенеративный эффект усиления сводится к сокращению времени задержки τ_3 переднего фронта радиоимпульсов СВЧ-АГ на величину $\Delta\tau_3$ при появлении внешнего сигнала U_{3c} в течение приемного интервала работы $\tau_{пр}$, примыкающего к моменту запуска СПП. Соответственно возрастает длительность радиоимпульса и его энергия. Уровень выходного сигнала СПП в зависимости от уровня запросного сигнала в режиме первичной реакции можно оценить с помощью выражения [1]:

$$\Delta \tau_3 = \tau_3 \frac{m - m'}{m - 1}, \quad (2)$$

$$\text{где } -m = \lg \frac{0.1 A_{cm}}{A_{\Sigma}} ;$$

$$m = m' = \lg \frac{0.1 A_{cm}}{A_{\Sigma} + A_c} ; \quad \tau_3 \cong \frac{2,3 (m - 1)}{|\delta_n|} ;$$

A_{Σ} – эффективная амплитуда шумов в контуре СПП в момент запуска; A_c – амплитуда внешнего сигнала.

Таким образом эффект усиления $\Delta\tau_3$ в основном определяется величиной пускового затухания δ_n . [2]. Для определения предельных значений чувствительности и минимальной эффективной полосы пропускания СПП требуется рассмотреть влияние ударных колебаний (УК), флуктуаций пускового тока и флуктуации затухания контура автогенератора вблизи его нулевого значения [3].

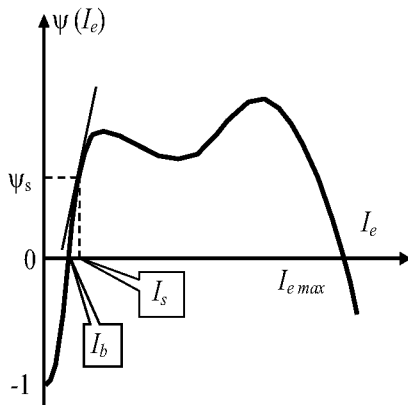


Рис.3.

На приемном интервале регенеративная характеристика может быть представлена линейной зависимостью (рис.3), следовательно, допустимо суммировать воздействие токов ударных и флуктуационных колебаний $I_{n\Sigma}$. Уравнение СПП для данных условий запуска можно записать в виде

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} + 2\delta(t) \frac{dU_c}{dt} + \omega^2 U_c = \frac{1}{C_c} \frac{d(I_e(t) + I_{n\Sigma})}{dt}. \quad (3)$$

где U_c – амплитуда напряжения на элементах контура СПП; $\delta(t) = \frac{1}{2R_c(t)C_c}$ – декремент затухания

контура; $R_c(t) = \frac{L_c}{RC_c}$ – резонансное сопротивление параллельного контура; R – сопротивление потерь контура.

Функция тока запуска автогенератора моделируется в виде импульсов с переменной крутизной переднего фронта

$$I_e(t) = I_s (1 - e^{-\lambda t}), \quad (4)$$

Суммарные флуктуации тока $i_{n\Sigma}$ в приемном режиме СПП определяются флуктуациями тока начальных условий $i_{n,b}$, связанных с граничным током I_b , и флуктуациями тока вынужденных колебаний $i_{n,s}$, связанных с пусковым током I_s . Определение флуктуаций затухания регенерированного контура СПП осуществляется с помощью малосигнальной регенеративной характеристикой СВЧ-АГ – зависимости фактора регенерации от тока эмиттера транзистора, являющейся частным случаем обобщенной регенеративной характеристики СВЧ-АГ, рис.3. Далее используется линейное приближение для описания фактора регенерации в виде

$$\psi(I_e) = \psi(I_e = I_s) + [d\psi/dI_e]_{(I_e=I_s)} \cdot (I_e - I_s). \quad (5)$$

Приближение (5) позволяет считать, что распределение флуктуаций пускового тока подчиняется нормальному закону, а среднеквадратичное значение флуктуаций фактора регенерации равно:

$$\sigma_{\psi} = [d\psi/I_e]_{(I_e=I_s)} \cdot i_{n\Sigma}, \quad \sigma_f = f_0 \cdot [d\psi/dI_e]_{(I_e=I_s)} \cdot i_{n\Sigma}. \quad (6)$$

Минимальная эффективная полоса пропускания колебательного контура Δf_n на границе самовозбуждения при $I_s = I_b$ определяется, как $\Delta f = 2\sigma_f$. Таким образом, минимальное затухание регенерированного контура СПП в течение приемного интервала в соответствии с (6) определяется эффективным значением флуктуаций пускового тока из-за естественных и технических шумов. Соответственно минимальная полоса пропускания контура СПП в приемном режиме определяется эффективным значением флуктуаций затухания контура СПП. Влияние ударных колебаний (УК) 1-го и 2-го рода можно оценить путем вариации величины

и крутизны нарастания тока эмиттера в соответствии с выражением (2) от нуля до установившегося пускового значения I_s . 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. Оптимизация величины пускового тока и скорости его нарастания позволяет снизить влияние ударных колебаний до уровня флуктуационных колебаний [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Постановление №218 от 07.04.2010) по гранту «Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета».

Литература

1. Иванов В.Э., Фридзон М.Б., Ессяк С.П. «Радиозондирование атмосферы. / Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств». // Под ред. В.Э.Иванова. Екатеринбург. УрО РАН. 2004. 596с. ISBN 5-7691-1513-0.
2. Иванов В.Э., Кудинов С.И. Обобщенная регенеративная характеристика транзисторного СВЧ-автогенератора. Доклады. III Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь». Москва, изд. ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 2009. В 2-х томах. Том 2. С.134-137.
3. Иванов В.Э., Кудинов С.И. Исследование ударных и флуктуационных колебаний в транзисторных СВЧ-автогенераторах. Сборник докладов III Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и радиосвязь». Москва, изд. ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 2009. ПРИЛОЖЕНИЕ. Электронное издание. С.776-783.