

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОТВЕТНОГО СИГНАЛА ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА РАДИОЗОНДА НА ЗАПРОСНЫЙ СИГНАЛ РЛС

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** — В статье рассматриваются результаты исследований погрешности измерения импульсным методом наклонной дальности до радиозонда аэрологической РЛС.

## I. Введение

В радиолокационных системах радиозондирования атмосферы (СР) определение координат радиозонда (РЗ) осуществляется импульсным угломерно-дальномерным методом по уголкового отражателю, либо по ответному сигналу свехрегенеративного приемопередатчика (СПП) радиозонда. СПП по существу является приемопередающим устройством с временным разделением приемного и передающего режимов работы, при этом, передача координатной и телеметрической информации радиозонда на РЛС сопровождения осуществляется на одной несущей частоте.

## II. Модель ответного сигнала СПП

СПП генерирует последовательность радиоимпульсов с периодом  $T_c$  и длительностью  $\tau_{zc}$ . На рис. 1 изображены осциллограммы сигналов формирования первичной, вторичной и третичной реакции в СПП на интервале нескольких периодов суперизации  $T_c$ :  $U_{zc}$  - огибающая запросных радиоимпульсов;  $U_{вых1}$ ,  $U_{вых2}$  - огибающие радиоимпульсов СПП.

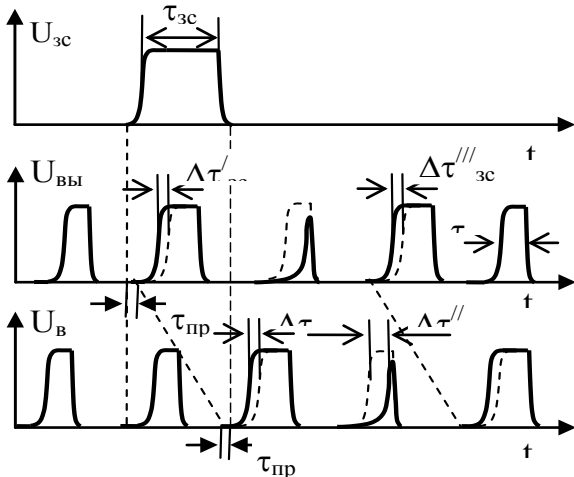


Рис. 1. Принцип формирования ответного сигнала в виде первичной и вторичной реакции СПП.

Fig. 1. The principle of formation of a reciprocal signal in the form of primary and secondary reactions of the superregenerative transceiver

СВЧ-АГ запускается в течение действия суперлирующего импульса  $\tau_c$  и выключается на интервале демпфирования  $\tau_d$ . Свехрегенеративный эффект усиления сводится к сокращению среднего времени задержки  $\tau_{3\text{cp}}$  переднего фронта радиоимпульсов СПП при совпадении по времени запросного сигнала  $U_{zc}$  с приемным интервалом  $\tau_{пр}$  СПП. Приемный интервал  $\tau_{пр}$  примыкает к моменту запуска СПП (рис. 1),

определяется максимальной восприимчивостью внешнего сигнала на некотором интервале, когда амплитуда автоколебаний СПП еще незначительно превосходит уровень флуктуационных шумов  $A_{\phi}$  [2, 3]. Длительность приемного интервала можно оценить по формуле [1]  $\tau_{пр} = \frac{4,6}{|\delta_n|}$ , (1)

где  $\delta_n$  - декремент затухания контура в режиме запуска СПП.

Формула для практических расчетов  $\tau_{3\text{cp}}$  имеет вид, в котором она была введена в работе [1]:

$$\tau_{3\text{cp}} \cong \frac{2,3(m-1)}{|\delta_n|}. \quad (2)$$

Параметр  $m$  определяется соотношением:  $m = \lg$

$$\frac{0,1A_{ст}}{A_{\phi}}, \quad (3)$$

где  $A_{ст}$  - амплитуда внешних колебаний в контуре СПП;  $A_{\phi}$  - амплитуда флуктуационных колебаний в контуре СПП.

В общем случае  $\tau_{3\text{cp}}$  может изменяться под действием внешнего сигнала, изменяющего параметр  $m$ , либо из-за изменения затухания  $|\delta_n|$  [1]:

$$d\tau_3 = 2,3 \left( \frac{dm}{|\delta_n|} - \frac{m-1}{|\delta_n|^2} d|\delta_n| \right). \quad (4)$$

Первый член в (4) описывает *первичную реакцию*

$$\text{СПП: } \Delta\tau'_3 = \tau_{3\text{cp}} \frac{m-m'}{m-1}, \quad (5)$$

где  $m = \lg \frac{0,1A_{ст}}{A_{\phi} + A_c}$ ;  $A_c$  - амплитуда сигнала.

Второй член в (4) описывает *вторичную реакцию* СПП. Далее следует пояснить процесс формирования ответного сигнала в виде паузы. Для этого необходимо определить количественную связь между первичной  $\Delta\tau'_3$  и вторичной  $\Delta\tau''_3$  реакциями в СПП. На рис. 1 показаны первичная реакция, вызывающая сокращение  $\tau_{3\text{cp}}$  на величину  $\Delta\tau'_3$  первого радиоимпульса, и вторичная реакция, приводящая к увеличению  $\tau_{3\text{cp}}$  на величину  $\Delta\tau''_3$ , т.е. к уменьшению длительности (энергии) второго радиоимпульса. После вторичной реакции разряд емкости цепи авто смещения приводит к увеличению пускового тока при следующем запуске СПП, что также вызывает сокращение времени задержки  $\tau_{3\text{cp}}$  (третичную реакцию) на величину  $\Delta\tau''_3$  и увеличение длительности и энергии очередного радиоимпульса. Можно показать, что связь между приращением напряжения  $\Delta\tau'_3$  и приращением времени задержки  $\Delta\tau''_3$  в упрощенном виде определяется следующим образом [1]:

$$\Delta T'_3 = \tau_{3\text{cp}} K_6 \Delta T'_3, \quad (6)$$

где  $K_6$  - коэффициент передачи цепи автосмещения.

Совместный анализ соотношений (4), (5) и (6) показывает, что увеличение уровня запросного сигнала  $A_c$  приводит к монотонному нарастанию  $\Delta T'_3$  и  $\Delta T''_3$  вплоть до полного подавления второго ответного радиоимпульса при выполнении условия  $\Delta T''_3 \geq \tau_{и\text{cp}}$  и формирования ответной паузы в излучении СПП. На выходе приемного устройства РЛС ответный сигнал воспринимается как изменение амплитуды огибающей несинхронизированных радиоимпульсов СПП. Учитывая рассмотренный выше принцип формирования ответного сигнала, сопоставляя различные положения запросного сигнала относительно характерных интервалов работы в течение периода  $T_c$  (рис.1) можно определить временные параметры ответной реакции СПП. Например, для СПП серийного аэрологического радиозонда типа МРЗ-3 при номинальном уровне запросного сигнала  $P_{зс} = -86\text{дБ/Вт}$  и суперирующей частоте  $F_c = 800 \pm 11\text{кГц}$ , усредненные временные характеристики сигнала СПП имеют значения:  $T_c = 1,25 \pm 0,05\text{мкс}$ ;  $\tau_c = 0,65 \pm 0,03\text{мкс}$ ;  $\tau_{3\text{cp}} = 0,30 \pm 0,05\text{мкс}$ ;  $\tau_{пр} = 0,05 \pm 0,0\text{мкс}$ . Необходимо отметить, что при уменьшении длительности радиоимпульса запросного сигнала  $\tau_{зс}$  параметры ответного сигнала СПП будут соответственно изменяться. Можно показать, что при  $\tau_{зс} = 0,6\text{мкс}$  длительность ответного сигнала в виде паузы будет составлять  $\tau_{оп} = 0,5-0,6\text{мкс}$ . При этом задержка переднего фронта ответной паузы относительно заднего фронта радиоимпульса запросного сигнала в СПП составляет порядка  $\tau_{3\text{оп}} = 1,25\text{мкс}$ . Следует подчеркнуть, что мгновенное значение длительности и энергетического центра ответной паузы изменяется в зависимости от временного положения запросного импульса. В этом случае предельное равновероятное смещение центра ответной паузы составляет величину:  $\Delta T_{см\text{оп}} = \Delta T_{оп\text{изм}} / 2 = 0,65\text{мкс}$ .

Приведенные временные характеристики ответного сигнала СПП позволяют определить потенциальную точность измерения наклонной дальности до радиозонда. Период повторения запросных радиоимпульсов РЛС равен  $T_n = 1,8\text{мс}$ , что соответствует частоте  $F_n = 555\text{Гц}$ . Период осреднения информации в канале дальности РЛС составляет  $T_{cp} = 1\text{с}$ . Поскольку усредненное отклонение центра ответной паузы обратно пропорционально количеству измерений  $N^{1/2}$  за время приема сигнала, поэтому при  $F_n = N = 555$  на выходе приемного устройства РЛС величина случайного отклонения центра ответной паузы равна  $\Delta T_{см\text{оп}} = 0,65/23 = 0,028\text{мкс}$ . Дополнительную ошибку вносят флуктуации фронтов радиоимпульсов СПП порядка  $\tau_{ф} = 0,02\text{мкс}$ . Таким образом, потенциальная предельная ошибка измерения наклонной дальности из-за флуктуации параметров ответной паузы СПП в оперативном радиусе действия РЛС составляет величину, не превышающую  $\Delta R = 0,04 \cdot 150 = \pm 6,0\text{м}$ .

### III. Результаты

В качестве алгоритма поиска ответного сигнала СПП по дальности был выбран корреляционный анализ исходных данных. Алгоритм вычисления взаимно-корреляционной функции (ВКФ) оптимизирован для обработки ответного сигнала СПП. Построенный таким образом цифровой радиодальномер обеспечивает суммарную погрешность определения наклонной дальности  $\pm 25\text{м}$  на расстоянии не менее  $250\text{км}$  при импульсной мощности передатчика запросного сигнала РЛС не более  $200\text{Вт}$ .

### IV. Заключение

Проведено исследование ответного сигнала СПП радиозонда в виде изменения энергии ответных радиоимпульсов. Чувствительность к запросному сигналу СПП повышается при увеличении времени задержки переднего фронта радиоимпульсов и коэффициента передачи цепи автосмещения. 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] Иванов В. Э. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств / В.Э. Иванов, М.Б. Фридзон, С.П. Ессяк. Под ред. В.Э. Иванова. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 596 с. ISBN 5-7691-1513-0.
- [2] Иванов В. Э., Кудинов С. И. Моделирование влияния ударных колебаний в транзисторных сверхрегенеративных приемопередатчиках / Иванов В.Э., Кудинов С.И. // 21-я Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» Севастополь, 12-16 сентября 2011 г.: матери конф. в 2 т. - Севастополь: Вебер, 2011. – С.253-254. ISBN 978-966335356-2.
- [3] Иванов В. Э., Кудинов С. И. Влияние флуктуаций затухания сверхрегенеративного приемопередатчика на параметры приемного режима. / Иванов В.Э., Кудинов С.И. // 21-я Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» Севастополь, 12-16 сентября 2011 г.: матери конф. в 2 т. - Севастополь: Вебер, 2011. – С.438-439. – ISBN 978-966335356-2.

## RESEARCH OF THE RECIPROCAL SIGNAL OF THE TRANSCEIVER OF THE RADIOSONDE ON THE RADAR REQUEST SIGNAL

Ivanov V. E., Kudinov S. I.  
Ural Federal University named after the first president of Russia B. N. Yeltsin  
Yekaterinburg, Russia  
Ph.343-3745292, e-mail: kudinoffs@mail.ru

*Abstract* — The results of researches of an error of measurement by means of the pulse method of an inclined range to the aerological radar radiosonde are considered.