
УДК 551.508

Е. Г. ПРОШКИН, канд. техн. наук, *С. Ф. СИМОВСКАЯ*, канд. техн. наук,
В. Г. МИХАЙЛОВА

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕГО ФИЛЬТРА С ЦИФРОАНАЛОГОВЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ В СИСТЕМЕ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
АТМОСФЕРЫ**

Цифровая аппаратура позволяет применять цифровую узкополосную фильтрацию сигналов в системе радиоакустического зондирования атмосферы (РАЗ).

При использовании метода радиоакустического зондирования атмосферы наиболее эффективным способом определения параметров атмосферы является исследование частотного спектра рассеянной электромагнитной волны. Скорость распространения излученного акустического импульса измеряется доплеровской радиолокационной станцией. Для слежения за спектром частот доплеровского сигнала в приемнике системы РАЗ используется следящий фильтр с автоматической подстройкой частоты [1]. Спектр сигнала преобразуется в область вспомогательной (промежуточной) частоты, где осуществляется фильтрация сигнала от шумов при использовании гетеродина, управляемого выходным напряжением схемы АПЧ.

Радикальным методом снижения минимально допустимого отношения сигнал-шум на входе измерителя частоты сигнала является ограничение полосы пропускания фильтра доплеровских частот до ширины спектра частот сигнала на входе измерителя. Поскольку спектр сигнала перемещается по шкале частот, такие

устройства, осуществляющие узкополосную фильтрацию сигнала, строятся по типовой следящей системе и выполняют функции поиска, захвата и слежения за спектром сигнала.

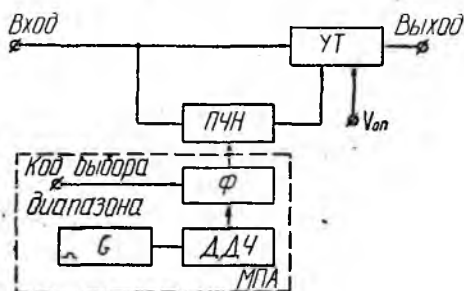
Так как возможности аналоговых методов построения фильтров ограничены, перспективной является реализация узкополосной оптимальной фильтрации цифровыми методами. Однако необходимость использования аналого-цифровых преобразователей, цифровая весовая обработка ограничивают быстродействие при работе в реальном масштабе времени и усложняют конструкцию фильтров. При обработке сигналов конечной длительности применяются цифроаналоговые фильтры, не имеющие перечисленных недостатков. Перестраиваемый полосовой фильтр с цифроаналоговым управлением сочетает в себе элементы цифровой и аналоговой техники. Он прост в настройке и функционировании, имеет небольшое число используемых для его построения элементов.

Для обеспечения требуемой узкой полосы пропускания и высокой избирательности приемника радиоакустической локационной станции рассмотрим следящий фильтр с цифроаналоговым управлением [2].

Полосовой следящий фильтр создается на базе управляемого трансформатора (УТ) с преобразователем частота — напряжение (ПЧН) в цепи прямой связи, синхронное управление узлами которого осуществляется микропрограммным автоматом (МПА) (рисунок). Основным узлом полосового фильтра является управляемый трансформатор (УТ), построенный на базе двух типовых микромодульных трансформаторов ММТИ-100.

Принцип действия основан на изменении коэффициента передачи УТ в зависимости от частоты входного переменного напряжения под действием управляющего сигнала, формируемого преобразователем частота — напряжение (ПЧН). Функционирование ПЧН основано на подсчете числа периодов входного переменного напряжения за эталонный промежуток времени с последующим преобразованием полученного двоичного кода в пропорциональное ему постоянное напряжение.

Синхронное управление всеми узлами ПЧН осуществляет микропрограммный автомат, в состав которого входят последовательно соединенные генератор прямоугольных импульсов с кварцевой стабилизацией частоты (G), декадные делители частоты (ДДЧ), и формирователь импульсов (Φ). От частоты тактовых импульсов, поступающих на вход формирователя импульсов Φ , зависит длительность эталонного промежутка времени и соответственно верхняя граничная частота рабочего диапазона частот следящего фильтра. В приемнике системы РАЗ частота тактовых импульсов,



поступающих с декадных делителей частоты на вход Φ , равна 10 Гц, что соответствует длительности эталонного промежутка времени 0,1 с и верхней граничной частоте рабочего диапазона доплеровских частот — 10 кГц.

Электрически перестраиваемый полосовой фильтр в приемнике системы РАЗ позволяет осуществлять слежение за спектром доплеровских частот. Положение этого спектра на оси частот характеризуется средней частотой

$$F_{д\text{ ср}} = \frac{1}{P_c} \int_0^{\infty} F G_c(F) K^2(F) dF,$$

где P_c — мощность входного доплеровского сигнала; $G_c(F)$ — энергетический спектр сигнала; $K(F)$ — амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра.

Для полосового фильтра на базе управляемого трансформатора [3]

$$K(F) = \frac{k_1 F}{1 + \gamma^2 (F - F_0)^2}. \quad (1)$$

Здесь F_0 — частота, соответствующая максимальному значению АЧХ; k_1 — коэффициент, характеризующий схемно-конструктивные параметры фильтра; γ — числовой коэффициент, $\gamma = \beta k_f \omega_y / l R_y$; k_f — коэффициент передачи преобразователя, численно равный отношению напряжения на его выходе и входной частоте; l — длина средней силовой линии сердечника трансформатора; β — числовой коэффициент; ω_y , R_y — число витков и сопротивление управляющей обмотки.

Центральная частота полосы пропускания фильтра в силу асимметрии его АЧХ отличается от частоты $F_0 = E_{оп} \omega_{оп} R_y / k_f \omega_y R_{оп}$ на величину $\delta F = |F_{\phi} - F_0| = R_{оп} / \sqrt{2} \gamma E_{оп} \omega_{оп}$, где $E_{оп}$, $R_{оп}$, $\omega_{оп}$ — напряжение, сопротивление и число витков опорной обмотки трансформатора.

Из-за неравномерности АЧХ фильтра искажается форма спектра сигнала, что вызывает смещение средней частоты $\Delta F_{см} = F_{дс} - F_{д\text{ ср}}$ и погрешность измерения частоты Доплера $\delta F_{д} = \Delta F_{см} / F_{д}$.

Энергетический спектр сигнала на входе фильтра можно описать законом Гаусса:

$$G_c(F) = \frac{P_c}{\Delta F_{д}} \exp \left\{ -\pi (F - F_{дс})^2 / \Delta F_{д}^2 \right\}.$$

Здесь $\Delta F_{д}$ — эффективная ширина спектра доплеровского сигнала. Тогда смещение средней доплеровской частоты с учетом вида АЧХ фильтра (1)

$$\Delta F_{см} = \Delta F_p \Delta F_{д}^2 / (\Delta F_{\phi}^2 + \Delta F_{д}^2),$$

где F_p — расстройка частоты, $\Delta F_p = F_{дс} - F_{\phi}$; ΔF_{ϕ} — полоса пропускания фильтра.

Смещение средней частоты сигнала увеличивается с ростом расстройки частоты сигнала относительно частоты настройки фильтра и уменьшается при расширении полосы пропускания фильтра.

Так, относительное смещение частоты снижается в 3,45 раза при увеличении $\Delta F_{\text{ф}}/\Delta F_{\text{д}}$ в 2 раза в случае $\Delta F_{\text{д}}/F_{\text{д}}=0,01$, $\Delta E_{\text{р}}/d=5$.

Для уменьшения полосы пропускания усилительного тракта приемника, которая обеспечит допустимую погрешность измерения частота Доплера, используется схема автоматической подстройки частоты и рассматриваемый электрически перестраиваемый полосовой фильтр.

Полосовой следящий фильтр с цифроаналоговым управлением можно реализовать по схеме, описанной в работе [2]. Основными структурными единицами фильтра являются два управляемых трансформатора, преобразователь частота — напряжение, синхронное управление узлами которого осуществляется микропрограммным автоматом. В состав микропрограммного автомата входят последовательно соединенные генератор прямоугольных импульсов с кварцевой стабилизацией частоты, декадные делители частоты и формирователи импульсов по фронту входного сигнала. Диапазон задается двухразрядным двоичным кодом.

Описанный полосовой фильтр с цифроаналоговым управлением имеет относительную ширину полосы пропускания порядка 1 %.

Список литературы: 1. Система радиоакустического зондирования атмосферы сантиметрового диапазона волн / С. И. Бабкин, В. И. Куценко, Ю. А. Пахомов и др. // V Всесоюз. симпозиум по лазерному и акустическому зондированию атмосферы: Тез. докл. Томск, 1976.— Ч. 3.— С. 143—146. 2. Глузман П. Л., Дворсон А. И. Электрически перестраиваемый полосовой фильтр с цифро-аналоговым управлением // Приборы и техника эксперимента.— 1982, № 4.— С. 149—151. 3. Дворсон А. И. Исследование характеристик полосового фильтра на базе управляемого трансформатора // Радиотехника.— 1981.— 31, № 10.— С. 60—63.

Поступила в редколлегию 26.06.85.