

*Г. Г. Гринев, А. П. Качанов,  
А. П. Квачев, В. Г. Шульга  
В. А. Ядрошников*

**СОГЛАСОВАННЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ  
ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ  
С ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ФАЗОЙ**

При решении ряда задач научного и прикладного характера пользуются периодическими сигналами, сопровождающимися значительным уровнем помех (наводки, тепловые шумы). Обработка таких сигналов в зависимости от характера решения сводится к задаче обнаружения или к задаче оценки параметров сигнала. Для обеспечения достоверности решения задачи первого класса и точности решения задачи второго класса на входе устройств обработки требуется установить отношение сигнал/шум не ниже некоторого порогового для данной системы значения.

Среди способов обеспечения чувствительности (помехоустойчивости) важное место занимает применение фильтров, осуществляющих оптимальное выделение сигналов из шумовых помех. Известны устройства для селекции периодических сигналов в шумах под названием согласованные фильтры (СФ) [1, 2]. Характерной особенностью этих фильтров является «гребенчатая» частотная характеристика, реализуемая с помощью набора узкополосных усилителей либо схем с временной задержкой сигнала. При построении таких многоканальных фильтров особое внимание уделяется идентичности временных характеристик и точности выдерживания фазовых сдвигов в каналах.

При уменьшении частоты повторения сигналов техническая реализация СФ с помощью указанных устройств трудноисполнима из-за сложности и громоздкости узкополосных (0,1—1  $\mu\text{ц}$ ) резонансных низкочастотных (10—200  $\mu\text{ц}$ ) фильтров и линий задержки на 5—100  $\text{м/сек}$ ; сложности настройки схем для полу-

чения требуемых амплитудно-фазовых соотношений, обусловленной взаимным влиянием каналов.

Для решения задачи оценки параметров слабого периодического сигнала с детерминированной фазой применительно к системам регулирования с измерительными звеньями, использующими модуляционные методы получения сигналов, можно построить схему СФ, в значительной степени свободную от приведенных выше недостатков. СФ этого класса характеризуется тремя основными параметрами: периодом повторения сигнала на входе; числом гармоник сигнала, участвующих в обработке; постоянной времени фильтра (полоса пропускания лепестка частотной характеристики).

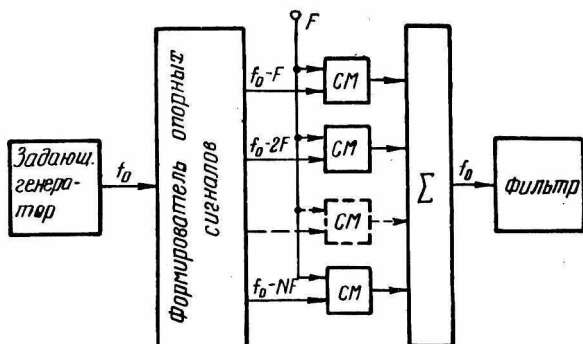


Рис. 1. Блок-схема согласованного фильтра.

С целью упрощения реализации схемы СФ для работы с низкими частотами повторения сигнала, обеспечения идентичности временных характеристик для всех гармоник сигнала, уменьшения полосы пропускания устройство выполнено как  $N$ -канальный преобразователь гармоник сигнала к резонансной частоте выходного фильтра. В качестве последнего используется резонансный усилитель, выполненный на кварцевом резонаторе.

Работа предлагаемого устройства ясна из рис. 1.  $N$  гармоник сигнала с частотами, кратными частоте повторения сигнала, преобразуются  $N$ -смесителями с помощью сетки гетеродинных сигналов  $f_0 - F \div f_0 - NF$  к частоте  $f_0$  выходного фильтра, на который поступают преобразованные сигналы после сумматора. Постоянство фазовых сдвигов в каналах и когерентность сигналов обеспечивается единым задающим генератором, используемым для формирования всех необходимых для работы устройства сигналов. В целях сужения полосы пропускания выходного фильтра последний выполняется на кварцевом резонаторе, что определяет нижнее значение частоты  $f_0 \geq 4$  кГц (минимальная частота промышленных резонаторов).

Решение задачи формирования гетеродинных сигналов  $f_0 - F, f_0 - 2F, \dots, f_0 - NF$  путем смешивания сигналов частот  $f_0$  и  $F$  приводит к существенной сложности выполнения промежуточных фильтров, обеспечивающих спектральную чистоту гетеродинных сигналов из-за близкого расположения выходных сигналов смесителя  $f_0 + F, f_0, f_0 - F$ . Поэтому гетеродинные сигналы формируются путем двойного преобразования частоты. В формирователе вырабатываются промежуточные сигналы с частотами  $MF$  и  $(M-1)F$ . В первой ступени первого форми-

рователя гетеродинного сигнала смешиваются частоты  $f_0, MF$  и выделяется частота  $f_0 - MF$ , используемая во второй ступени для получения сигнала первого гетеродина  $f_0 - MF + (M-1)F = f_0 - F$  путем смешения с частотой  $(M-1)F$ .

Для получения следующего гетеродинного сигнала второй формирователь производит аналогичные преобразования с сигналом первого гетеродина и т. д. При этом требования к фильтрам существенно упрощаются, поскольку расстояние между спектральными состав-

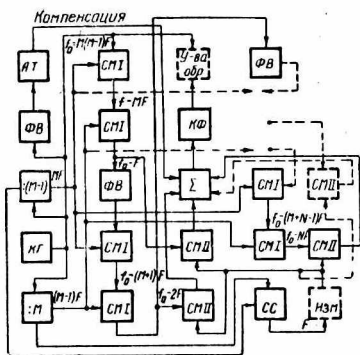


Рис. 2. Функциональная схема согласованного фильтра.

ляющими увеличилось как минимум в  $M-1$  раз.

В целях упрощения части формирователя, обеспечивающей получение промежуточных сигналов, следует наложить такое ограничение на соотношение частот  $f_0$  и  $F$  для выполнения условия  $f_0 = M(M-1)F$ . В этом случае промежуточные сигналы  $MF$  и  $(M-1)F$  формируются с помощью делителей частоты сигнала задающего генератора, а сигнал основной модулирующей частоты  $F$  может быть получен из промежуточных с помощью схемы совпадения.

В схеме совпадений (СС) наряду с сигналом основной модулирующей частоты формируется сигнал отбора, совпадающий со серединой модулирующего сигнала и служащий для точной фазовой настройки СФ.

Выходной сигнал измерительного устройства, представляющий собой смесь шумов и периодического сигнала (с частотой модуляции), поступает на входы смесителей, и в результате преобразования на входах сумматора  $\Sigma$  среди прочих сигналов появятся сигналы частоты  $f_0$  с амплитудами, пропорциональными амплитудам соответствующих гармоник сигнала измерительного устройства. Спектральные фазы гармоник сигнала устанавливаются соответствующими фазовращателями, а часть выходного сигнала фильтра, обусловленная паразитными наводками,

компенсируется подбором фазы и амплитуды сигнала  $f_0$  на входе сумматора. Выходной сигнал КФ для дальнейшей обработки направляется в схемы фазовых и амплитудных дискриминаторов с целью получения требуемой информации об измеряемой величине и образования управляющих сигналов.

Кварцевые резонаторы в КГ и КФ однотипны, а возможное несовпадение частот компенсируется соответствующими элементами схем.

При разработке СФ нет необходимости в точном знании амплитудного спектра селективируемого сигнала, поскольку его можно уточнить при помощи изготовленного и настроенного фильтра, выполняющего роль спектроанализатора сигнала. Окончательно коэффициенты передачи каналов подгоняются по результатам этих измерений.

По рассмотренной схеме выполнено три лабораторных макета согласованных фильтров для селекции сигналов ЯМР к следящему измерителю магнитного поля на частоты повторения 222, (2) гц, 111, (1) гц и 66, (6) гц. СФ на 66, (6) гц имеет следующие параметры:

$$F = 66, (6) \text{ гц};$$

$$N = 2;$$

$$\tau = 0,2 \text{ сек};$$

$$M = 16;$$

$$f_0 = 16 \text{ кгц}.$$

При разработке принципиальных схем максимально использовались гибридные микросхемы типа К2ЛБ101, принципиальная схема и условное обозначение которой приведены на рисунках. Все смесители СМ1 выполнены по схеме фазового манипулятора на шести элементах К2ЛБ101 с выделением сигнала требуемой частоты в контуре и последующей его селекции в фильтре типа резонансного усилителя. Используются типовые фазовращатели ИФ-116. Смеситель СМ11 выполнен по схеме диодного преобразователя с подавлением несущей. Выходные сигналы СМ11 и канала компенсации подаются на сумматор  $\Sigma$ , выполненный на трех К2ЛБ101 с объединенным выходом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лезин Ю. С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. М., «Сов. радио», 1963. 360 с.
2. Каневский З. М., Финкельштейн И. М. Флуктуационная помеха и обнаружение импульсных радиосигналов. М., Госэнергоиздат, 1963. 285 с.