

# Применение МПО в квазивеерных фильтрах на базе ОФНП с целью улучшения избирательности

Илья Туркин  
stor007@bk.ru

## Введение

Необходимость дальнейшего улучшения избирательности фильтров на ПАВ обусловлена тем, что доступный радиодиапазон все более загружается и насыщается помехами. В особенности это касается метрового диапазона (30–300 МГц). По этой же причине возрастают и требования к прямоугольности АЧХ и ширине переходных полос на границе полос пропускания и заграждения фильтров на ПАВ.

Один из главных факторов, ограничивающих избирательность трансверсальных фильтров на ПАВ, — это паразитная ОАВ, возбуждающаяся наряду с полезной ПАВ и многократно отражающаяся от поверхностей, ограничивающих объем кристалла, и достигает выходного преобразователя.

Ранее в качестве потенциального метода улучшения избирательности в фильтрах на ПАВ применялись регулярные и секционированные МПО с разнесением акустических каналов входного и выходного преобразователей. В 1980–90-е МПО широко применялись в фильтрах с взвешенными по перекрытию

двунаправленными стандартными преобразователями [1–2]. Следует, однако, отметить, что до настоящего времени в открытой печати не было обнаружено материалов, подробно освещающих применение МПО в фильтрах на базе ОФНП, в особенности, в квазивеерных фильтрах на базе ОФНП.

В связи с этим было важно исследовать возможности включения МПО в акустическую схему современного квазивеерного фильтра на базе ОФНП, а также изучить его влияние на различные характеристики фильтра, такие как АЧХ в полосе пропускания, импульсная характеристика (ИХ), вносимые потери, уровень гарантированного затухания в полосе заграждения и другие параметры.

## Разработка топологии квазивеерных фильтров на базе ОФНП с применением МПО

МПО позволяет значительно снизить влияние объемных акустических волн на характеристики фильтра. Разнесение акустических каналов входного и выходного ВПП позволяет в значительной мере исключить влияние объемных волн, достигающих выходного преобразователя. С учетом изложенного была предложена новая структура квазивеерных фильтров на базе ОФНП с применением МПО.

Проведен эксперимент, в ходе которого получен ценный опыт такого применения. В качестве базисного был взят квазивеерный фильтр [3] на ОФНП ФП-401 140В9v1 (центральная частота 140 МГц, полоса пропускания — 9 МГц). Его схема включения в цепи 50 Ом показана на рис. 1, а измеренные частотные характеристики и параметры фильтра ФП-401 140В9v1 в несогласованном режиме — на рис. 2.

Электронный носитель топологии этого фильтра был модифицирован [4]: входной и выходной ОФНП были разнесены акустически, а между ними добавлен регулярный (рис. 3) многополосковый ответвитель (МПО), рассчитанный на частоты 170–180 МГц. (Несущие частоты МПО намеренно делают несопадающими с центральной частотой фильтра с целью исключения влияния провала АЧХ на центральной частоте МПО, обусловленного его отражающей способностью на АЧХ фильтра в полосе пропускания.) Примененный МПО имеет в своем составе 110 равных по ширине электродов, разнесенных на интервалы, равные

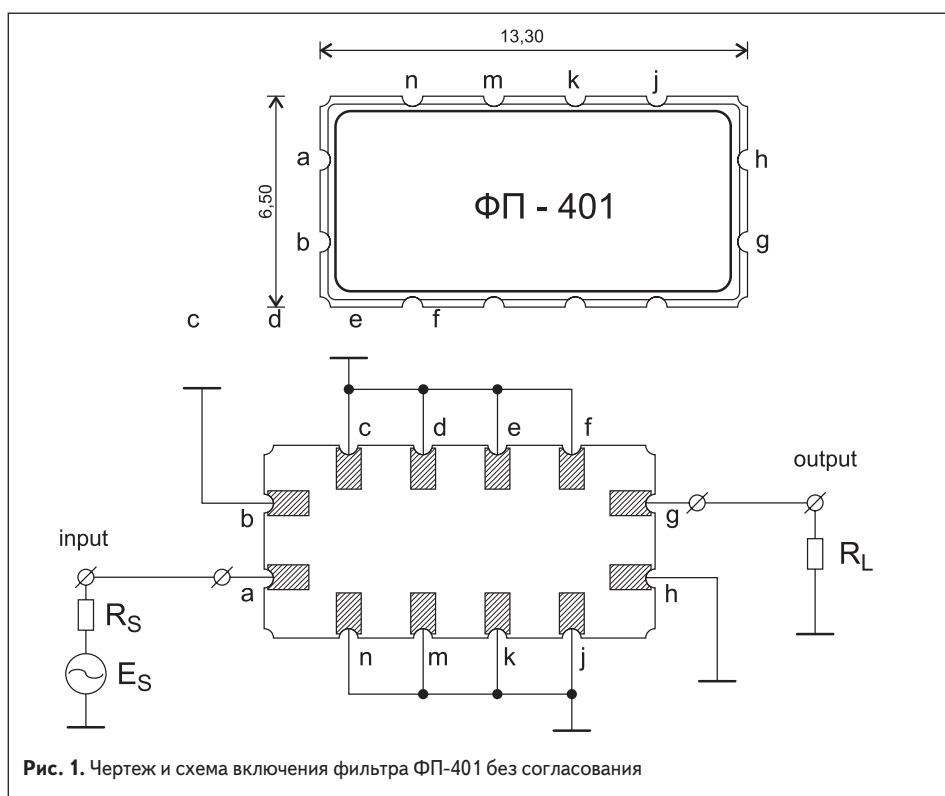
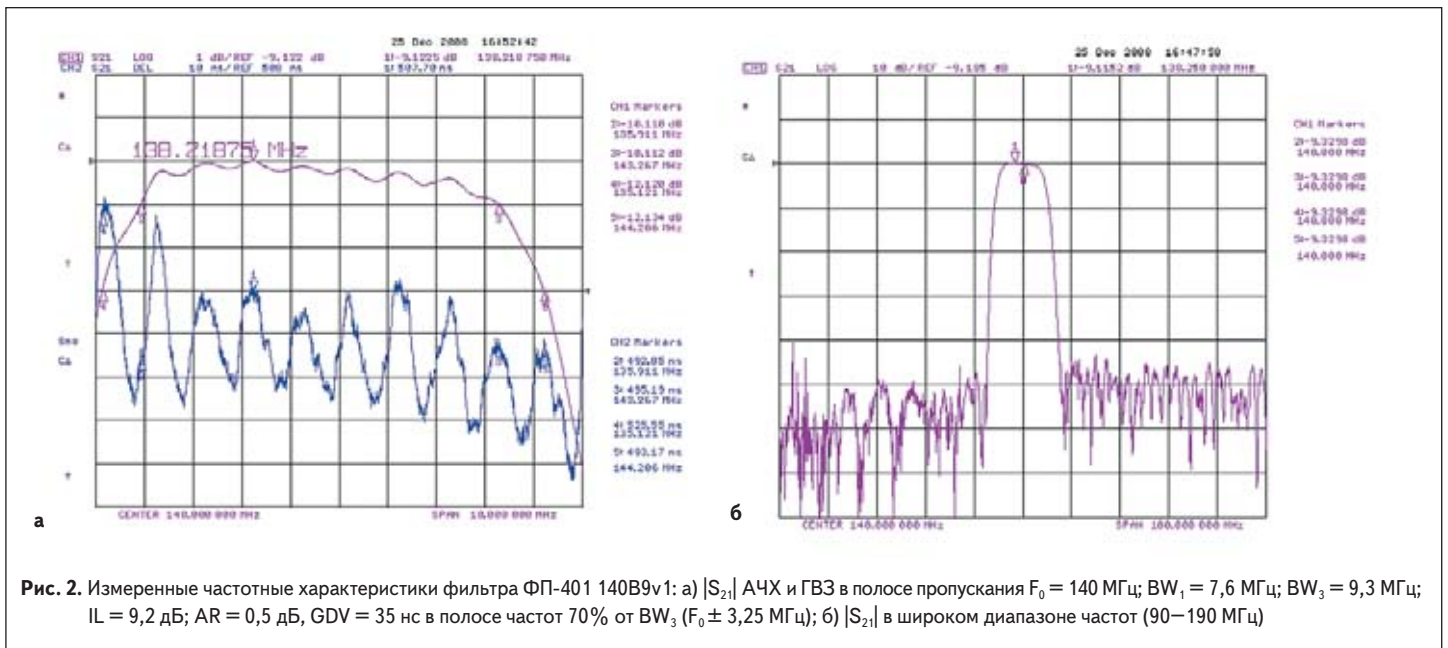


Рис. 1. Чертеж и схема включения фильтра ФП-401 без согласования



ширине электродов: такое количество наиболее эффективно для среза YZ кристалла LiNbO<sub>3</sub>. Каждый десятый электрод МПО заземлен для обеспечения нейтрализации паразитного статического заряда — это классическое инженерное решение, применяемое в МПО данного типа. Как уже было сказано, планарное разнесение акустических каналов входного и выходного ВШП при помощи МПО (рис. 3) позволяет снизить влияние ОАВ на выходной ВШП, так как каналы входного ВШП – МПО и выходного ВШП – МПО становятся акустически изолированными. Как следствие, увеличивается избирательность фильтра. МПО является и дополнительным широкополосным селективным элементом, что улучшает избирательность фильтра на больших отстройках частоты от несущей.

**Полученные результаты**

На основании опыта применения МПО со стандартными двунаправленными структурами предполагалось, что такие модификации должны на 5–10 дБ увеличить избирательность фильтра на ближней отстройке частоты от несущей и на 8–12 дБ на больших отстройках частоты. Предполагаемой ценой таких улучшений дол-

жно было стать увеличение потерь фильтра на 3–6 дБ. Кроме того, для уменьшения угла расходимости акустического потока было произведено увеличение в 1,2 раза апертуры квазиверных преобразователей.

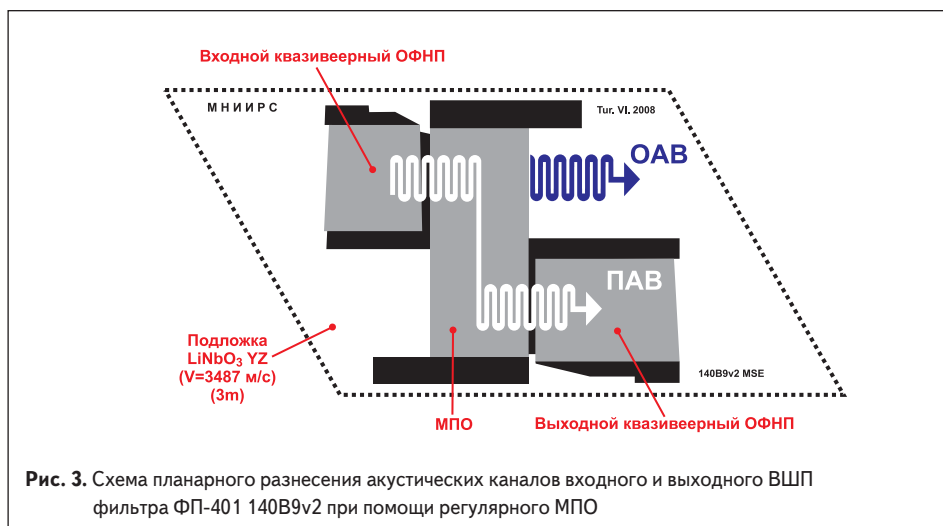
Для описанной структуры фильтра ФП-401 140В9v2 были произведены образцы фильтров и сняты характеристики с целью экспериментальной проверки эффективности примененного топологического решения. Фотография сборки фильтра в корпусе 13,3×6,5 мм приведена на рис. 4. Чип фильтра на ниобате лития среза YZ обработан и закреплен с использованием эластоцила [5] в металлокерамическом корпусе для поверхностного монтажа. Контактные площадки корпуса соединены с контактными площадками фильтра золотой проволокой диаметром 30 мкм методом диффузионной сварки (рис. 4).

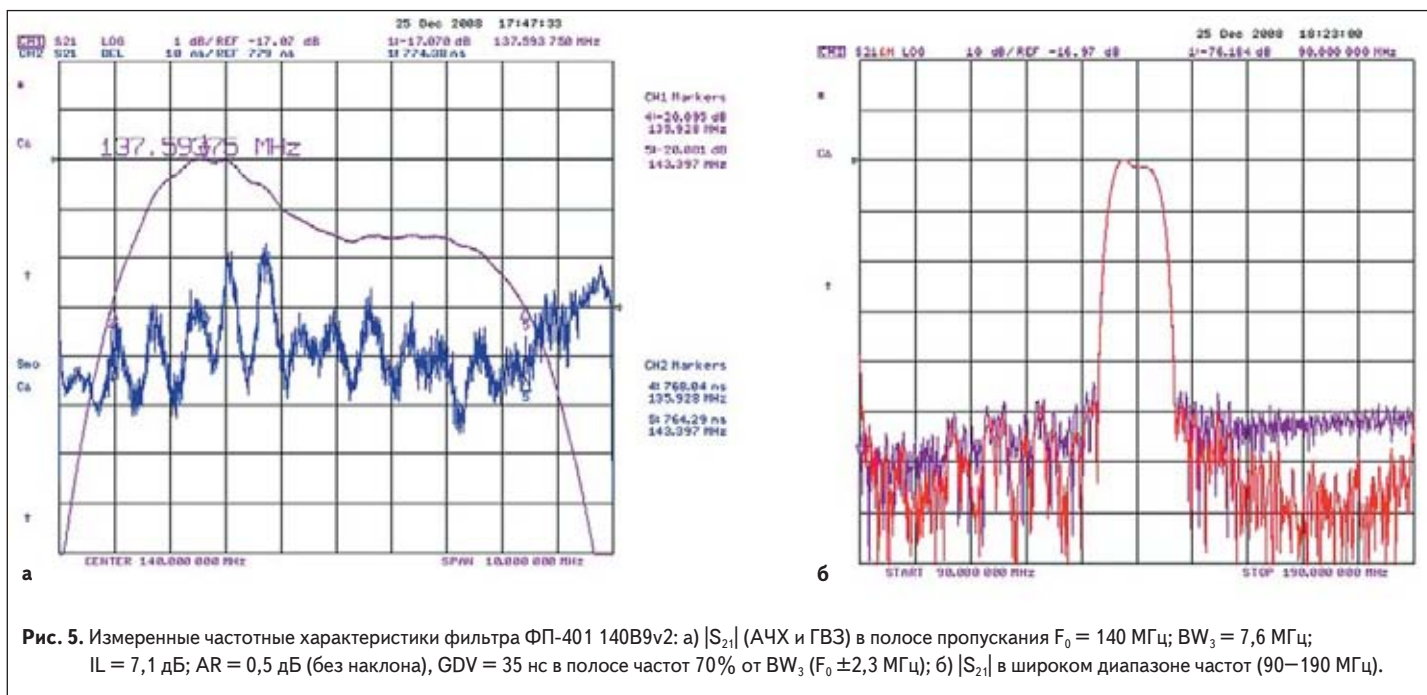
Типичные частотные характеристики полученных образцов ФП-401 140В9v2 показаны на рис. 5. Из приведенных характеристик ясно, что предложенная топологическая схема вполне работоспособна. Избирательность фильтра увеличилась на 5–7 дБ, что особенно заметно в ВЧ-части АЧХ (150–190 МГц). Следует отметить и такие изме-

нения в АЧХ, как увеличение вносимых потерь на 7–8 дБ, уменьшение полос пропускания  $BW_3$  и  $BW_{40}$  на 1,7 и 1 МГц соответственно. При устранении паразитного ЭМ сигнала средствами анализатора цепей, на некоторых участках АЧХ избирательность значительно улучшается (красный и сиреневый графики на рис. 5б). Также замечено, что при увеличении ГВЗ сигнала с 0,5 до 0,77 мкс пульсации ГВЗ остались на том же уровне — 35 нс, а на участке 139–143 МГц даже уменьшились — до 20 нс. Необходимо отметить, что обычно с увеличением расстояния между преобразователями пульсации растут. По всей видимости, в данном случае имеет место некое выравнивание фронта распространения ПАВ многополосковым ответвителем.

Сравнительные параметры фильтров ФП-401 140В9v1 и ФП-401 140В9v2 приведены в таблице.

Значительное увеличение потерь здесь, по всей видимости, является неучтенным взаимодействием МПО с квазиверным ОФНП. Предположительно, это результат смещения фаз ПАВ различных субканалов. Таким образом, суммирование сигналов всех субканалов входного и выходного квазиверных ОФНП при помощи МПО вносит значительно большие потери сигнала и искажения, чем при взаимодействии МПО с обычными регулярными ВШП. Следует также обратить внимание на появление аномального прогиба и наклона АЧХ в полосе пропускания на 1,5 дБ. Последнее





может быть следствием взаимодействия квази-вернерных ВШП, имеющих некоторую угловую расходимость потока энергии ПАВ, с МПО, являющимся регулярным и рассчитанным на одну определенную частоту. Также это может быть следствием не совсем верно выбранного соотношения центральных частот МПО и фильтра. Очевидно, что при изменении центральной частоты МПО ФМПО в пределах допустимого (ФМПО может колебаться в пределах порядка  $\pm 20\%$  от  $1,5 \cdot F_0$  среднеполосного фильтра) характер вариативности будет меняться. Для более точного изучения этого эффекта требуются дополнительные эксперименты и анализ.

**Заключение**

В ходе исследований потенциальных возможностей улучшения характеристик фильтров на ПАВ была разработана и реализована новая схема квазивернерного фильтра на базе ОФНП с применением многополоскового ответвителя для увеличения избирательности.

Экспериментально была доказана работоспособность этой схемы, выявлены ее особенности. Главным преимуществом данной схемы является значительное улучшение избирательности (эксперимент показал улучшение этого параметра на 5–7 дБ) квазивернерных фильтров на ОФНП. Среди недостатков данной топологической схемы следует отметить увеличение вносимых потерь (эксперимент показал ухудшение этого параметра на 7–8 дБ), ухудшение коэффициента прямоугольности (с  $K3/40 = 1,58$  у 140В9v1 до  $K3/40 = 1,8$  у 140В9v2) и некоторое искажение АЧХ в полосе пропускания, требующее дальнейшего изучения.

В целом предложенная топологическая схема оправдала предположения о возможности ее использования на практике для улучшения избирательности среднеполосных квазивернерных фильтров и показала неплохие результаты, несмотря на то, что были зафиксированы и некоторые ухудшения АЧХ, которые должны обязательно учитываться при проектировании других квази-вернерных фильтров с применением МПО.

Автор выражает благодарность сотрудникам технического центра функциональной электроники (ТЦФЭ) ОАО «МНИИРС» за предоставленные материалы по фильтрам на ПАВ и технологической базы для проведения соответствующих экспериментов.

**Список использованных сокращений:**

- ПАВ (SAW) — поверхностная акустическая волна (surface acoustic wave).
- АЧХ — амплитудно-частотная характеристика.
- ГВЗ (GDT) — групповое время запаздывания (group delay time).
- ВШП (IDT) — встречно-штыревой преобразователь (interdigital transducer).
- МПО — многополосковый ответвитель.
- ОФНП (SPUDT) — однофазный однонаправленный преобразователь (single phase unidirectional transducer).
- ПЧ — промежуточная частота.
- AR (Amplitude Ripple) — пульсации амплитуды в полосе пропускания.
- UR (Ultimate Rejection) — гарантированное затухание в полосе заграждения.
- BW (Bandwidth) — полоса пропускания (обычно дается по определенному уровню дБ).

**Таблица.** Сравнение характеристик базового фильтра и его модификации с МПО (результаты измерений на анализаторе цепей)

Наличие МПО	Отсутствует МПО	Регулярный МПО
	Фильтр	
Параметр	ФП-401 140В9v1	ФП-401 140В9v2
Центральная частота $F_0$ , МГц	140	140
Вносимые потери, дБ	9,2	17,0
Полоса пропускания по уровню -1 дБ, МГц	7,6	—
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	9,3	7,6
Полоса пропускания по уровню -40 дБ, МГц	14,7	13,7
Неравномерность АЧХ в полосе частот 70% от $BW_3$ , дБ	0,5	1,0
Неравномерность ГВЗ в полосе частот 70% от $BW_3$ , нс	35	35
Затухание в полосе заграждения, дБ	40	48
Температурный коэффициент, ppm/°C	-90	-90
Рабочая температура, °C	-55/+85	

**Литература**

1. Фильтры на поверхностных акустических волнах. Расчет, технология, применение / Под ред. Г. Мэттьюза. М.: Радио и связь, 1981.
2. Орлов В. С., Бондаренко В. С. Фильтры на ПАВ. М.: Радио и связь, 1984.
3. Морган Д. Устройства обработки сигналов на ПАВ М.: Радио и связь, 1990.
4. Туркин И. А. Фильтры на ПАВ — ускоренные методы проектирования // Электроника НТБ. 2008. № 2.
5. Туркин И. А. Влияние эффектов отражения на АЧХ фильтров на ПАВ // Беспроводные технологии. 2008. № 2.