

Переключаемый 8-ми канальный банк фильтров С-диапазона

М.И. Мартынов, А.Э. Козин, А.А. Фирсенков

ОАО «Завод Магнетон»

Аннотация: Представлены результаты разработки макета 8-ми канального банка фильтров на основе симметричных PIN-диодных переключателей и фильтров на диэлектрических резонаторах. Рассмотрены S-параметры каналов и время переключения. Каналы содержат 6 фильтров с полосой 0,5%, один фильтр с полосой 0,36% и обводной канал. Приведены результаты измерения потерь в каждом канале и изоляции между каналами.

Ключевые слова: преселектор, банк фильтров, диэлектрический резонатор, фильтр, pin-диод.

1. Введение

Основным фактором использования переключаемых банков фильтров, вместо фильтров с электрическим управлением (фильтры на ЖИГ сферах, магнитостатических волнах), является скорость переключения каналов. Лучшие образцы фильтров с магнитной перестройкой обладают временем переключения от 10 до 75 мкс [1,2]. При использовании современных pin-диодов, с малым временем жизни носителей заряда (5-10 нс), можно получать времена переключения с каналов 100 нс и менее в зависимости от требуемых полос пропускания каналов. В ОАО «Завод Магнетон», в инициативном порядке, ведутся работы по освоению в разработке переключаемых банков фильтров на основе отечественной ЭКБ.

2. Разработка и параметры банка фильтров

В основу переключаемого банка фильтров были заложены фильтры на диэлектрических резонаторах. Ключевым требованием к фильтрам стала частотная избирательность. Необходимый уровень заграждения сигнала, относительно уровня потерь полосы пропускания, при отстройке от центральной частоты составлял: 10/20 дБ при отстройке на $\pm 1\Delta f/1,5\Delta f$ (где Δf – полоса пропускания фильтра по уровню минус 3 дБ). Требуемая ширина полосы пропускания фильтров составила 36 МГц для шести фильтров в диапазоне от 6,7 до 6,9 ГГц и 25 МГц для фильтра с центральной частотой 7 ГГц, что в относительных величинах – 0,5% и 0,36%.

При разработке банка фильтров необходимо соблюдать компромисс между размером отдельного фильтра, его нагруженной добротностью и допустимыми потерями в канале. В отсутствии требований к габаритам фильтра, необходимую нагруженную добротность полосы пропускания возможно получить за счет количества звеньев. В условиях обязательной миниатюризации, возникают требования к добротности отдельного резонатора. Для достижения необходимой частотной избирательности были разработаны 3-х звенные фильтры. Диэлектрические резонаторы фильтров были изготовлены из СВЧ-керамики марки ТК-40. Высокий уровень селекции фильтров был обеспечен низкими диэлектрическими потерями ($tg\delta \leq 2.1 \cdot 10^{-4}$) данной марки керамики. Фактический размер каждого фильтра составил 52x12,5x20 мм без выводов.

Симметричные переключатели каналов банка фильтров разрабатывались исходя из суммарного поперечного размера фильтров. Для соблюдения симметрии, ширина

обводного канала была принята равной ширине фильтра. Соответственно, минимальная ширина переключателя равнялась $(n-1) \cdot 20$ мм, где n – количество каналов.

Основным элементом переключателей стал бескорпусный GaAs pin-диод PL-1050 производства АО «НПФ «Микран». К достоинствам данных диодов можно отнести: доступность необходимой технической информации, высокое пробивное обратное напряжение (40 В), малое прямое омическое сопротивление и компромиссную паразитную емкость.

Требование к изоляции между каналами и уменьшению коэффициента передачи (более 50 дБ), по выделенной команде, определило элементарную структуру переключателей. В качестве отдельного плеча использовалось последовательно-параллельное включение pin-диодов (рисунок 1).

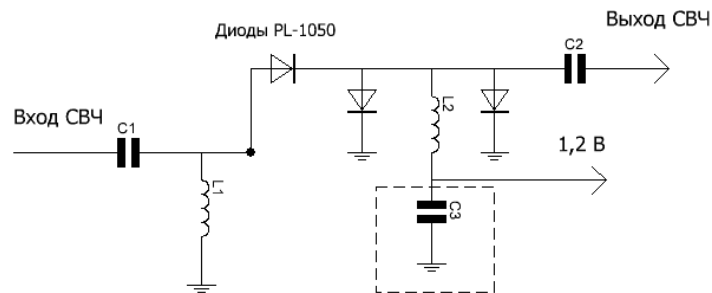


Рисунок 1. Схема включения pin-диодов в плече переключателя.

Напряжение смещения подается через индуктивность $L2$, а контур тока управления замыкается через индуктивность $L1$. Конденсаторы $C1$ и $C2$ используются для разделения напряжения управления и СВЧ тракта, а конденсатор $C3$ служит для отвода СВЧ-мощности, прошедшей через индуктивность $L2$.

На основе таких цепей были разработаны каскадные переключатели SPDT-2-SP4T, что обеспечило переключение на 8 независимых каналов. Такой способ включения позволяет уменьшить шунтирующую емкость последовательно включенных pin-диодов, просачивание из канала в канал, а также потери на распространение.

Каналы переключателей были физически разделены для увеличения экранирования. Итоговый размер банка фильтров составил 146 x 172 x 50 мм. Управление каналами и питание было реализовано через один разъем СНП268 (DB-9). Управление осуществлялось параллельным трехбитным кодом, а напряжение питания составило $15 \div 27$ В при токе потребления менее 300 мА. Фото переключаемого банка фильтров и фильтра на диэлектрических резонаторах представлены на рисунке 2.

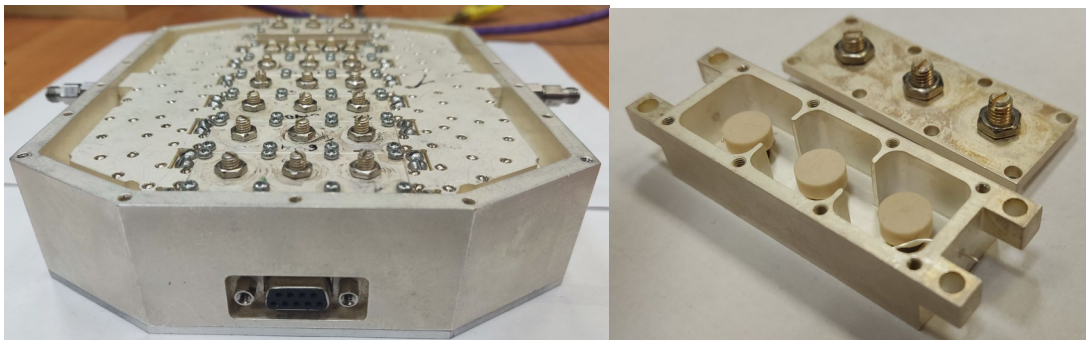


Рисунок 2. Фото переключаемого 8-ми канального банка фильтров и фильтра на диэлектрических резонаторах

Потери в каждом канале банка фильтров определяются правильно подобранными

цепями смещения, прямым омическим сопротивлением последовательных p-n-диодов и паразитной емкостью шунтирующих p-n-диодов. Реактивное сопротивление цепей смещения определяет просачивание СВЧ-мощности в сторону цепей управления. Прямое омическое сопротивление определяет мощность потерь в переключателях. Паразитная емкость диодов определяет прямую утечку СВЧ сигнала «на землю», за счет токов утечки.

Измеренные АЧХ каналов с фильтрами изображены на рисунке 3. Видно, что потери в каналах не превышают 8 дБ даже для фильтра с полосой 25 МГц.

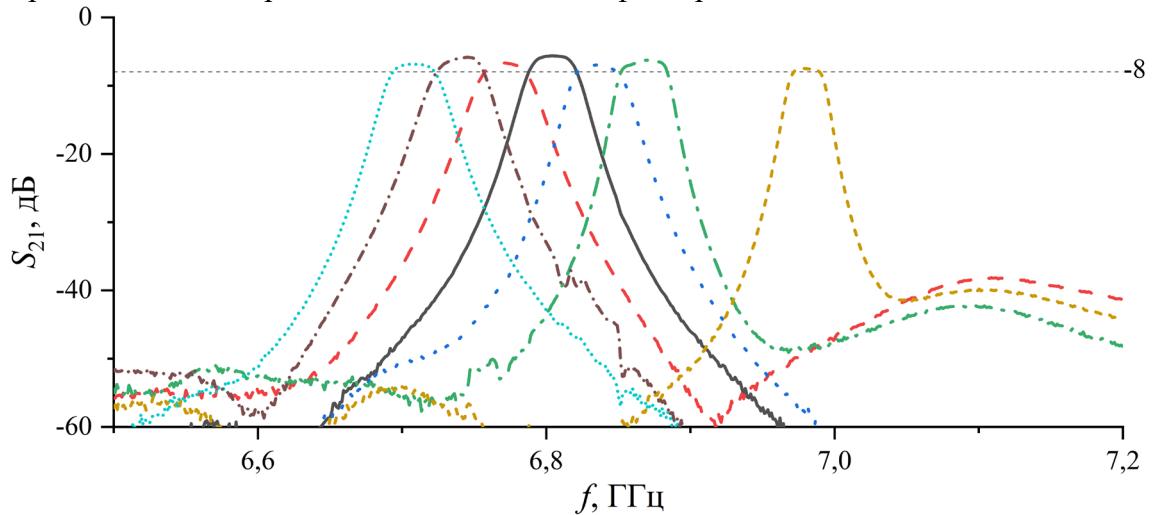


Рисунок 3. АЧХ семи фильтрующих каналов.

Потери в обводном канале и уменьшение коэффициента передачи по команде изображены на рисунке 4. Потери «на проход» не превышают 6 дБ в рабочем диапазоне частот, а изоляция банка фильтров превышает 60 дБ. Сравнивая два данных рисунка, можно заметить, что изоляция по команде превышает уровень просачивания в диапазоне 7,0-7,2 ГГц. Данное явление вызвано наличием щелей в макете между экранирующими стенками каналов и крышками переключателей.

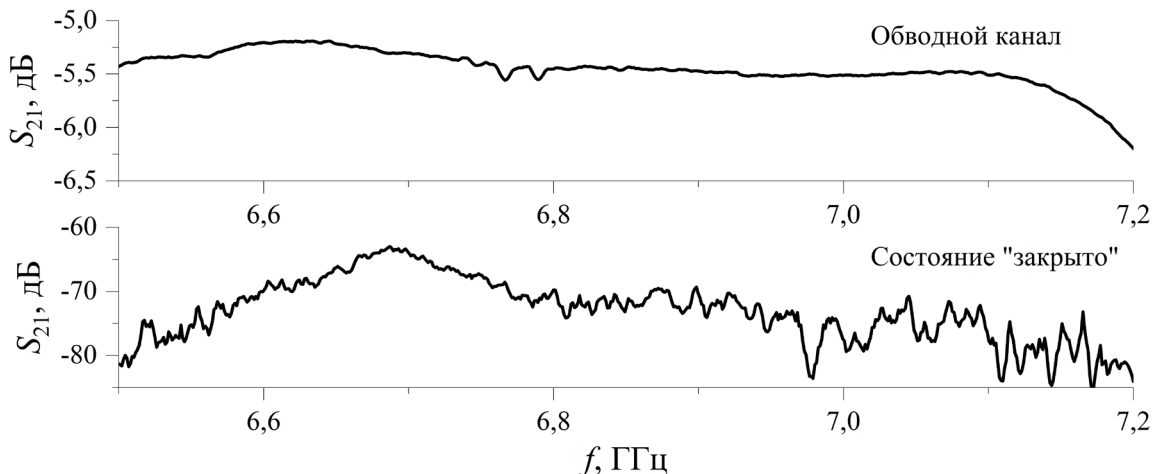


Рисунок 4. Потери в обводном канале и коэффициент передачи в закрытом состоянии банка фильтров.

Степень согласования каналов банка фильтров можно оценить по рисунку 5, на котором изображены графики КСВН для каждого канала с фильтром (штрих-линия) и обводного канала (сплошная). В полосе пропускания каждого фильтра, каналы хорошо согласованы (КСВН менее 1,4), а в обводном канале КСВН не превышает 1,6. Данный

уровень КСВН определяется явно выраженной резонансной природой полос пропускания фильтров в каналах. Подключение фильтров в каналы осуществлялось, напрямую, без использования развязывающих вентилей. В случае неправильного включения добротного фильтра в канал, характеристика полосы пропускания сильно исказится и увеличатся потери за счет нагрузки на крайние звенья. Поэтому, согласование реактивностей в каждом канале является необходимым условием для «набора» узкополосных фильтров в банк.

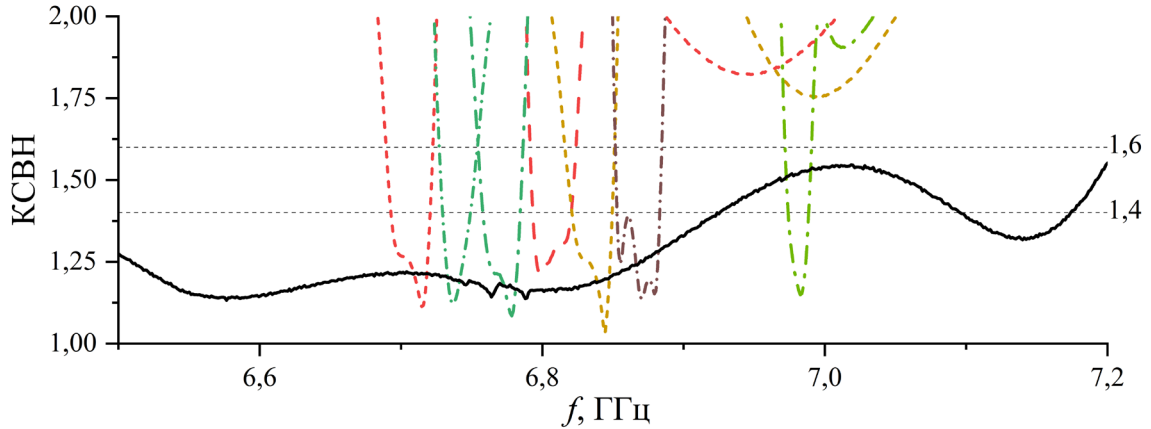


Рисунок 5. КСВН семи фильтрующих каналов (штрих) и обводного канала (сплошная).

Время переключения банка фильтров можно определить, как:

$$t = \tau_{gp} \cdot k_d + t_{упр} + \tau_{пер}, \quad (1)$$

где τ_{gp} — групповое время задержки в канале, k_d — коэффициент затягивания шунтирующими диодами (>1), $t_{упр}$ — время задержки в цепи управления, $\tau_{пер}$ — длительность переходного процесса переключения.

В случае представленного банка фильтров, групповое время задержки в каналах, определяется групповым временем задержки в фильтрах. Из-за высоких значений добротности, задержка в каждом фильтре составила не менее 20 нс. На рисунке 6 представлены осциллограммы переключения «с канала на канал» по фронту и спаду управляющего сигнала. Сверху изображено напряжение на детекторе осциллографа, снизу управляющее напряжение.

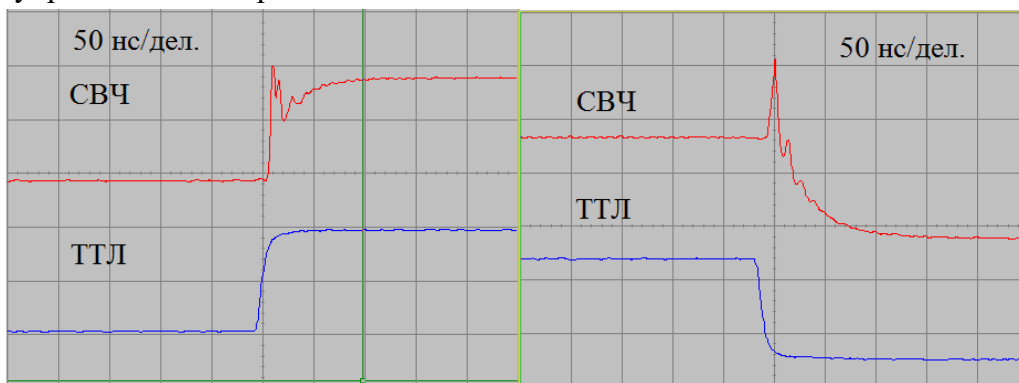


Рисунок 6. Осциллограммы переключения каналов по фронту(слева) и спаду (справа) управляющего сигнала.

Цена деления развертки составляет 50 нс. На полученных кривых видно переходной процесс, индуцируемый обратным током pin-диодов, причем амплитуда переходного процесса выше «на выключение» канала, из-за двух шунтирующих диодов в плече, против одного, включенного последовательно. Также явно видно

затягивание, вызванное рассасыванием заряда обратно смещенных диодов.

При использовании одноконтурного смещения диодного плеча, как в данном случае, максимальный ток через диоды определяется одним и тем же участком схемы управления, как для последовательного диода, так и для двух шунтирующих. Последовательный диод получает большую крутизну управления и в два раза больший прямой ток. Такое деление токовой нагрузки приводит к увеличению времени смещения шунтирующих диодов, в соответствии с их ВАХ и различиям во временах на включение/выключение канала.

3. Заключение

Представленный макет банка фильтра обладает потерями не более 8-ми дБ в фильтрующих каналах, 6-ти дБ в обводном канале и временем переключения ~100 нс. Изоляция прибора по команде превышает 60 дБ в рабочем диапазоне частот. Межканальная изоляция требует незначительной конструктивной доработки. Полученные характеристики реализованы преимущественно на отечественной ЭКБ, с исключением в виде СВЧ-ламинатов и скоростной логики управления. Макет банка фильтров был успешно испытан в составе макета приемного тракта в АО "НИИП имени В.В. Тихомирова" на предмет величины коэффициента шума (менее 3,4 дБ) и подавления помехи на отстройке в 36 МГц от центральной частоты канала.

Список литературы

1. Ермаков А. М. и др. Разработка быстро перестраиваемых полоснопропускающих фильтров (ППФ) дециметрового и сантиметрового диапазонов частот на магнитостатических спиновых волнах (МСВ) с высокоскоростной цифровой системой управления //28-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии"(КрыМиКо'2018). – 2018. – С. 706-711..
2. Дубовой В. А., Мартынов М. И. Расширенные параметры фильтров на магнитостатических волнах //Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2021. – Т. 1. – С. 531-534.