

УДК 621.372.544 + 621.3.011.72 : 681.3

С.Н. Бердышев, ст. преподаватель

И.Л. Денисов

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053.

E-mail: s.n.berdyshev@sevntu.com.ua

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ОШИБОК КВАДРАТУРНЫХ СИГНАЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИФАЗНЫХ ФИЛЬТРОВ

Проведено исследование влияния амплитудных и фазовых ошибок квадратурных сигналов на степень подавления зеркального канала в приемном тракте интегрального приемника. Осуществлено моделирование схем полифазных фильтров с различным числом каскадов. Оценен уровень подавления, который можно реализовать в реальных микросхемах с учетом влияния температурной нестабильности и технологического разброса параметров элементов микросхемы.

Ключевые слова: полифазный фильтр, подавление зеркального канала, интегральный приемник.

В настоящее время существует широкий спрос на относительно недорогие интегральные схемы (ИС) радиоприемников. Современные условия рынка требуют однокристалльного исполнения приемников с минимальным числом внешних элементов. Современные профессиональные приемники строят по схеме с двойным преобразованием частоты, поэтому важной целью является замена внешних фильтров тракта второй промежуточной частоты фильтрами в интегральном исполнении. При этом необходимо обеспечить требуемый уровень подавления зеркального канала. Одним из возможных решений является использование прямого преобразования частоты, например, с использованием нулевой промежуточной частоты. Но прямое преобразование частоты имеет много хорошо известных недостатков: сдвиг постоянной составляющей, шумы, плохое подавление сигнала гетеродина и т.д. Решение, которое позволяет избежать подобные проблемы, использует низкую промежуточную частоту, для которой фильтры могут быть реализованы в интегральном исполнении.

При малом значении промежуточной частоты, зеркальный канал находится так близко к основному, что его подавление перед смесителем требует очень высокой добротности фильтра стоящего перед смесителем. Фильтр с такой добротностью сложно реализовать в интегральном исполнении. Решением этой проблемы является использование квадратурного смесителя с подавлением зеркального канала [1]. На выходах смесителя сигналы основного и зеркального каналов оказываются на одной частоте, но являются сдвинутыми по фазе на 90° . Наличие этого фазового сдвига позволяет разделить сигналы и подавить сигнал зеркального канала.

Существует две схемы, позволяющие это сделать. Первая, предполагает подключать дифференциальные выходы квадратурного смесителя к двум фильтрам, которые не различают сигналы основного и зеркального каналов. При этом сигналы зеркального и основного каналов присутствуют в двух парах выходов смесителя и сигналы одной из пар выходов сдвинуты относительно сигналов другой пары выходов на 90° . Подавление сигнала зеркального канала достигается за счет дополнительного сдвига фазы выхода одного фильтра на 90° и сложения этого сигнала с сигналом со второго фильтра. В этом случае сигналы зеркального канала, поступающие с разных пар выходов смесителя, оказываются в противофазе и ослабляются.

Более выгодным является второй способ, предполагающий замену двух отдельных фильтров одним полифазным фильтром. Этот метод имеет три преимущества [2]. Во-первых, частотная характеристика полифазного фильтра зависит от разности фаз между его входными сигналами. Таким образом, в противоположность первому способу, он имеет полосу пропускания для основного канала и полосу подавления для зеркального. В приемниках с низкой промежуточной частотой, полоса частот передаваемого сигнала является значительной по отношению к центральной частоте фильтра. То есть фильтры должны иметь низкую добротность. Частотная характеристика обычного низкодобротного полосового фильтра не симметрична относительно центральной частоты полосы пропускания, в то время как у полифазного фильтра она симметрична. Это является вторым его преимуществом. Третье достоинство полифазных фильтров состоит в том, что для одного и того же уровня подавления зеркального канала, технологический разброс параметров элементов схемы на него влияет меньше чем на схему, использующую отдельные фазосдвигающие фильтры.

В рамках проведенных исследований рассматривались следующие вопросы:

— определялась зависимость уровня ослабления зеркального канала от числа каскадов фильтра;

— анализировалось влияние амплитудных и фазовых ошибок сигналов в квадратурных каналах на выходах квадратурного смесителя на степень подавления зеркального канала;

— определялось оптимальное число каскадов полифазного фильтра;

— оценивался уровень подавления, который можно достигнуть в микросхемах с учетом влияния температурной нестабильности и технологического разброса параметров элементов интегральной схемы.

Исследование проводилось для моделей пассивных фильтров, построенных только на резисторах и конденсаторах. Пример трехкаскадного полифазного фильтра изображен на рисунке 1.

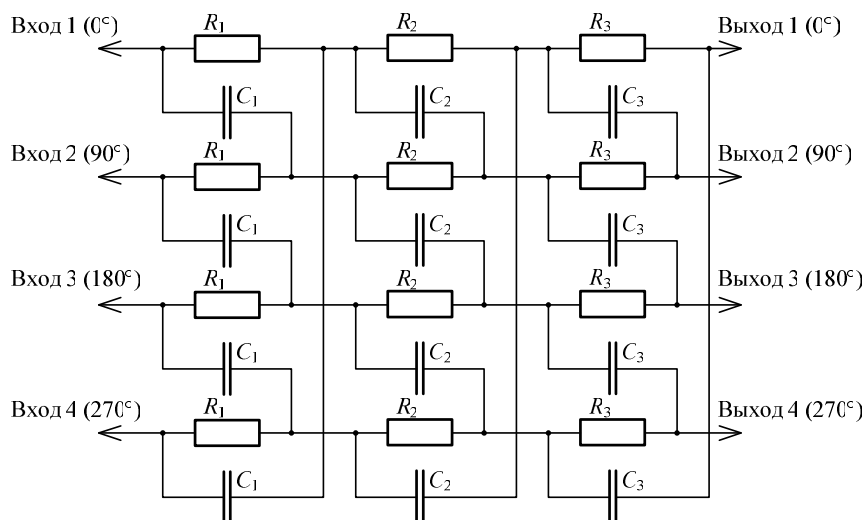


Рисунок 1 – Принципиальная схема трехкаскадного полифазного фильтра

Моделирование осуществлялось в пакете *Cadence IC*. Для проведения исследований были промоделированы схемы фильтров с различным числом каскадов (от одного до пяти). Промежуточная частота была выбрана равной стандартному значению 10,7 МГц.

Частотные характеристики моделируемых схем показаны на рисунке 2. Частоты минимумов частотной характеристики можно определить с помощью выражения $f = 1/(2\pi RC)$, где R и C – сопротивление резистора и емкость конденсатора, входящих в каскад, который формирует минимум. Однако, так как программная модель учитывает влияние паразитных элементов схемы, то частоты оказываются немного смещенными [3]. Кроме того, на положение минимумов влияют температурная

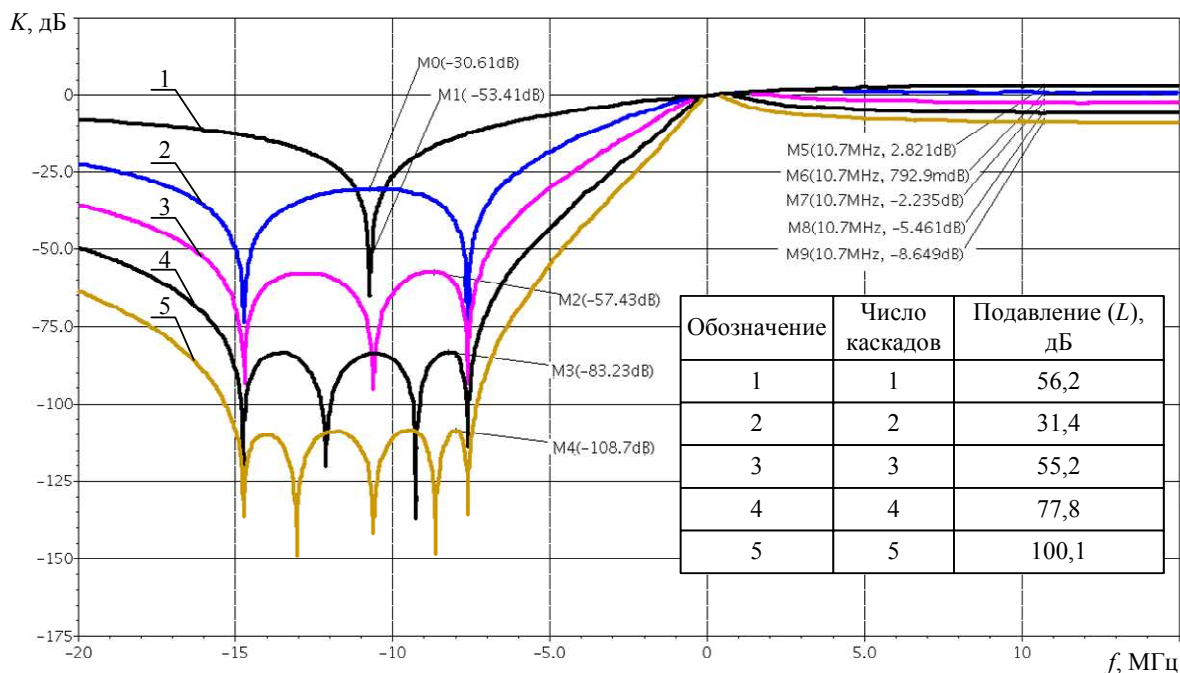


Рисунок 2 – Амплитудно-частотные характеристики полифазных фильтров с различным числом каскадов

нестабильность и технологический разброс параметров элементов схемы. Поэтому, частоты крайних минимумов выбирались таким образом, чтобы при максимальном отклонении частотной характеристики, они оказывались на центральной частоте ($-10,7$ МГц). В этом случае, значительный разнос по частоте крайних минимумов ухудшает уровень подавления зеркального канала для идеального случая, но с учетом технологического разброса параметров элементов схемы, данный уровень оказывается максимальным.

Частоты средних минимумов рассчитаны таким образом, чтобы уровни максимумов в полосе подавления были одинаковыми.

Как видно из рисунка 2, увеличение числа каскадов приводит не только к увеличению уровня ослабления зеркального канала, но и к большему ослаблению основного канала, которое необходимо учитывать при расчете коэффициента подавления по зеркальному каналу (L).

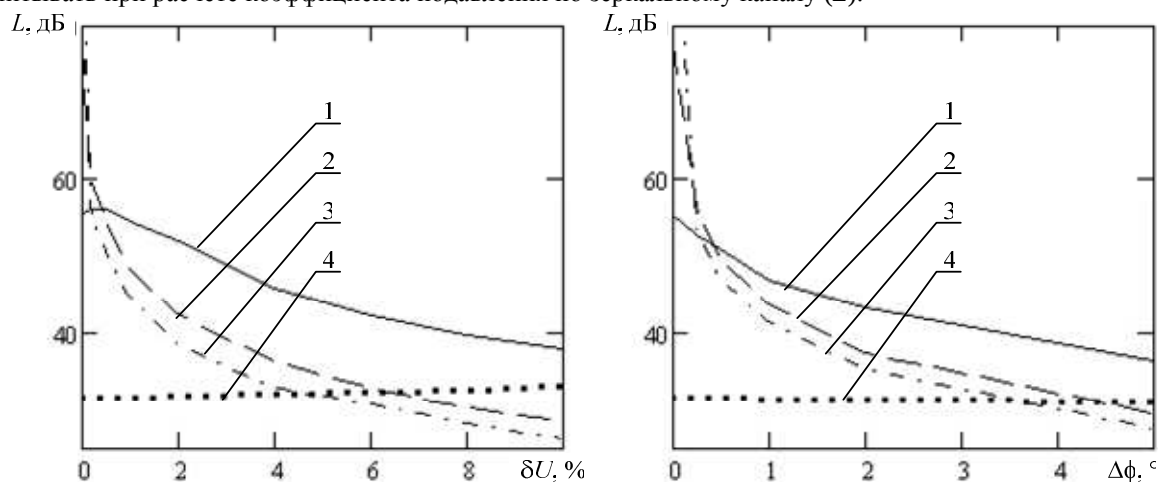


Рисунок 3 – Зависимости уровня подавления от ошибок амплитуды и фазы для фильтров с различным числом каскадов (1 — 3 каскада; 2 — 4 каскада; 3 — 5 каскадов; 4 — 2 каскада)

Также проводилось исследование влияния амплитудных и фазовых ошибок квадратурных сигналов на уровень подавления зеркального канала. Для этого на один из входов полифазного фильтра, подавался сигнал с дополнительным амплитудным (а затем фазовым) приращением. Результаты этого моделирования показаны на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что амплитудные и фазовые ошибки оказывают сильное влияние на уровень подавления зеркального канала. Наиболее чувствительными к ним оказались полифазные фильтры, состоящие из четырех и пяти каскадов. На рисунке 4 показано влияние амплитудных и фазовых ошибок

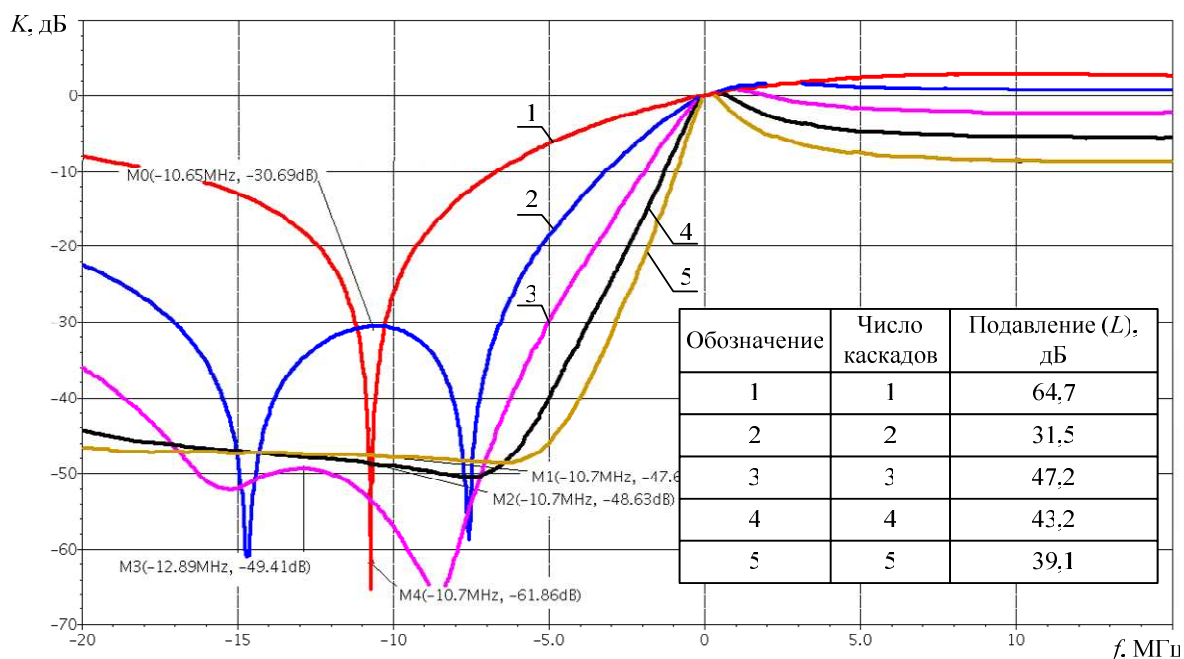


Рисунок 4 – Амплитудно-частотные характеристики полифазных фильтров при амплитудной ошибке равной 1% и фазовой ошибке — 1°

квадратурных сигналов на АЧХ полифазных фильтров. Уже при ошибке амплитуд равной 1 % и фазовой ошибке равной 1°, ослабление по зеркальному каналу у фильтров с четырьмя и пятью каскадами оказывается меньшим, чем для трехкаскадного фильтра. В связи с этим, их использование является нецелесообразным. Наиболее оптимальным с точки зрения устойчивости к ошибкам амплитуды и фазы квадратурных сигналов является трехкаскадный фильтр, поэтому, для него и проводились дальнейшие исследования.

Как уже упоминалось, на положение минимумов частотной характеристики оказывает влияние разброс параметров схемы. Ранее использование схемы полифазного фильтра было затруднительно из-за недостаточной точности повторения параметров его элементов при изготовлении. В настоящее время технология изготовления интегральных схем позволяет создавать элементы с малым разбросом параметров. Для моделирования данной схемы были выбраны интегральные резисторы и конденсаторы с наиболее высокой точностью изготовления. Относительные погрешности изготовления элементов определяются формулами:

$$\sigma\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = \frac{AR}{\sqrt{WL}}; \quad (1)$$

$$\sigma\left(\frac{\Delta C}{C}\right) = \frac{AC}{\sqrt{WL}}, \quad (2)$$

где AR и AC — технологический параметр разброса для резисторов и конденсаторов соответственно, показывающий зависимость разброса от площади элемента [4].

Как видно из формул (1) и (2), разброс параметров можно уменьшать за счет увеличения площади элементов (таким образом, уменьшается относительный разброс номиналов). За счет этого есть возможность немного увеличить и уровень подавления зеркального канала. Однако значительное увеличение площади элементов невозможно, так как это ведет к увеличению размеров самого кристалла и, соответственно, цены микросхемы. Так в [3] описывается микросхема, имеющая уровень подавления 60 дБ и площадь 2 720 000 мкм², в то время как анализируемая схема при выбранных размерах элементов с учетом разброса параметров может обеспечить уровень подавления зеркального канала равный 50 дБ при площади кристалла 6 760 мкм².

Результаты моделирования схем полифазных фильтров с разным числом каскадов показали, что увеличение числа каскадов ведет к росту ослабления зеркального канала. Анализ влияния амплитудных и фазовых ошибок квадратурных сигналов на степень подавления зеркального канала показал, что наиболее оптимальным, с точки зрения устойчивости к этим ошибкам, является трехкаскадный фильтр. Для выбранных размеров элементов уровень подавления зеркального канала составляет 50 дБ. Так как в схеме помимо полифазного фильтра существуют и другие избирательные цепи, стоящие перед смесителем, то уровень подавления зеркального канала может быть достигнут не менее 60 дБ.

Использование полифазного фильтра позволяет отказаться от применения внешнего фильтра тракта второй промежуточной частоты, и соответственно, освободит дополнительные четыре (так как в микросхемах обычно используются дифференциальные схемы) контакта микросхемы, которые могут быть использованы в других целях, например для контроля параметров схемы, или для расширения ее функциональных возможностей.

В дальнейших исследованиях планируется создание топологии схемы, анализ и моделирование с учетом рассмотрения паразитных элементов топологии, рассмотрение возможности использования схемы для формирования квадратурных сигналов.

Библиографический список

1. Razavi B. RF microelectronics / B. Razavi. — Upper Saddle River : Prentice Hall PTR, 1998. — 346 p.
2. Hornak T. Using polyphase filters as image attenuators / T. Hornak // RF Design. — 2001. — Vol. 6. — P. 26–34.
3. Behbahani F. CMOS Mixers and Polyphase Filters for Large Image Rejection / F. Behbahani // IEEE Journal of Solid-State Circuits. — 2001. — Vol. 6. — P. 873–886.
4. Daly J. Analog BiCMOS design / J. Daly, D. Galipeau. — Boca Raton [et al.] : CRC Press, 2000. — 224 p.

Поступила в редакцию 20.05.2009 г.