**Введение**

**малошумящий усилитель конвертор транзистор**

Малошумящий усилитель. Применяется для уменьшения шума и повышения чувствительности конвертора. Выбор необходимого типа МШУ (наряду с шумовыми характеристиками) определяется следующими параметрами: полосой пропускания, стабильностью в работе уровнем насыщения, потреблением энергии, а также стоимостью, габаритными размерами, массой. Основные требования к МШУ следующие:

1) ширина полосы пропускания должна быть не менее заданной (800 МГц);

2) коэффициент усиления должен быть достаточным для эффективного уменьшения влияния шумов усилительно-преобразовательных устройств, следующих за ним (обычно составляет 25...35 дБ);

3) коэффициент шума (шумовая температура) должен быть к можно меньше (0,7-1,0 дБ);

4) уровень насыщения должен быть достаточно высоким, в противном случае могут возникнуть нелинейные искажения;

5) амплитудно-частотная характеристика должна обладать зад;

ной неравномерностью (обычно ±2 дБ), а фазочастотная - линейной

Шумовые характеристики СВЧ-устройств описываются в терминах либо шумовой температуры, либо коэффициентом шума

Наиболее широкое применение в конверторах систем НТВ получили МШУ, собранные на арсенид-галиевых полевых транзисторах. Такие усилители, выполненные на базе ГИС-технологии, можно представить в виде диэлектрической платы, на которой нанесён рисунок пассивной схемы и припаяны или приварены навесные элементы.

Входные и выходные согласующие цепи первого транзистора рассчитываются на минимальный коэффициент шума, а второй и последующие каскады - на максимальный коэффициент усиления.

Все каскады МШУ строятся как правило на несимметричных полосковых линиях передачи, которые выполняются методом напыления проводящих материалов на керамическую плату (подложку).

В СВЧ-диапазоне паразитные реактивные элементы корпуса транзистора оказывают заметное влияние на характеристику МШУ. Чтобы исключить этот эффект, транзисторы используют в виде отдельных кристаллов (чипов), которые привариваются к нужным точкам схемы с помощью тонкой золотой проволоки диаметром 15...20 мкм.

Применение активных элементов в корпусном исполнении, хотя и несколько ухудшает параметры МШУ, существенно упрощает процесс сборки, позволяет отказаться от жёсткой герметизации блока, исключить технологически сложные и дорогостоящие процессы золочения, а также заменить подложки из твёрдых диэлектриков типа поликора или кварца на мягкие фольгированные материалы типа тефлона или дюроида.

В СВЧ-диапазоне чаще всего в конверторе применяют схему включения на арсенод-галиевых малошумящих полевых транзисторах с общим истоком, обеспечивающую значительные коэффициенты усиления по напряжению и току при сохранении хороших вентильных свойств. В схемах МШУ не применяют цепей автосмещения, так как это позволяет на 0,2...0,3 дБ снизить коэффициент шума МШУ.

Входной МШУ обычно состоит из трех каскадом, собранных на полевых СВЧ-транзисторах. При реализации МШУ надо удовлетворить ряду противоречивых требований: обеспечить минимум коэффициента шума, согласование усилителя по входу, максимальный коэффициент усиления. Для трехкаскадного МШУ коэффициент шума определяется следующим соотношением: F = F1 + (F2 - 1) / k + (F3 - 1) / k1k2, где F, F1, F2,F3 —коэффициенты шума (в относительных единицах) всего усилителя, первого, второго и третьего каскадов соответственно; k1, k2—коэффициенты усиления (и относительных единицах) первого и второго каскадов.

В соответствии с приведенным соотношением можно заключить, что первый каскад МШУ надо настраивать по критерию получения минимального коэффициента шума. Второй каскад настраивается из компромиссных соображений с точки зрения обеспечения максимума усиления и минимума коэффициента шума. Влияние коэффициента шума третьего каскада практически неощутимо. Можно заключить, что первые два транзистора МШУ должны обладать особо малым шумом. Такими свойствами обладают полевые СВЧ-траизисторы, выполненные на гетероэпитаксиальных слоях сложных полупроводниковых соединений. В них подвижность электронов намного выше, чем в обычных транзисторах. Соответственно их называют транзисторы с высокой подвижностью электронов (ВПЭ). В английской терминологии их называют НЕМТ (High electonic mobility transistor). Например, американская фирма «Дженерал Электрик» создала НЕМТ на трехслойными структуре п+ AIGaAs/n-GalnAs/GaAs, полученной молекулярно-лучевой эпитаксией, Транзистор имеет коэффициент шума 3 дБ, коэффициент усиления 5 дБ на частоте 94 ГГц. На частоте 18 ГГц такой транзистор имеет коэффициент шума 0,6 дБ и коэффициент усиления 18 дБ. Это, конечно, рекордный результат, но многие фирмы США, Японии, ФРГ, КНР (по японской лицензии) крупными партиями выпускают НЕМТ с коэффициентами шума 0,8... 1,2 дБ на частотах 12... 18 ГГц. Эти транзисторы спрессовываются пластмассой либо помещаются в герметичные керамические корпуса, поэтому их можно использовать даже в негерметичной аппаратуре. Итак. классический МШУ, который выпускает любая зарубежная фирма, состоит из двух НЕМТ и одного обычного полевого СВЧ-транзистора. Коэффициент шума такого МШУ совершенно однозначно определяется шумовыми свойствами НЕМТ. Например, транзистор типа 8900 фирмы «Хитачи» имеет: коэффициент шума 0.8 дБ; коэффициент усиления 11 дБ; при напряжении исток—сток 5 и смещении на затворе 3,5 В.

Как известно, в коэффициент шума МШУ аддитивно добавляются потери во входной согласующей цепи, волиоводно-полосковом переходе и потери в цепях автосмещения, если оно используется. Раздельное питание на сток и затвор позволяет выиграть 0,15...0,3 дБ в коэффициенте шума конвертора, поэтому в редких случаях в МШУ применяют автосмещение. В МШУ с полосой рабочих частот менее 15% (а в конверторах она не превышает 10%) при двухполярном питании практически всегда удается получить коэффициент шума усилителя на волноводном фланце лишь на 0,15...0,25 дБ больше, чем коэффициент шума входного транзистора. В редких случаях в конверторах применяют охлаждение входного транзистора с помощью миниатюрного термоэлектрического элемента, при этом охлаждение на 50° С снижает коэффициент шума примерно на 20%.

Наибольшее распространение в МШУ получила схема с общим истоком, так как она обладает лучшей устойчивостью по сравнению с другими способами включения полевых транзисторов. Успех реализации усилительного каскада МШУ зависит от качества проектирования согласующих цепей (СЦ). В сантиметровом диапазоне СП выполняются обычно из отрезков микрополосковых линий и печатных катушек индуктивности. Для обеспечения безусловной устойчивости выходные СЦ обычно выполняют в индс ФНЧ, включающих диссипативные элементы (тонкопленочные резисторы). Разработаны эффективные методы синтеза оптимальных СЦ одно- и многокаскадных МШУ на полевых транзисторах.

Анализ устойчивости МШУ производится по тем же методикам, что и для УВЧ-тюнеров, и поэтому не рассматривается.

Опыт разработки авторами МШУ на полевых транзисторах показал, что чисто аналитическими средствами трудно спроектировать усилитель, который будет воспроизводим в серийном производстве, а его параметры будут близки к теоретически оптимальным. К МШУ наиболее подходит популярная у разработчиков, СВЧ-узлов поговорка: «Устройство должно работать не в принципе, а в корпусе». Поэтому и начнем с корпуса. МШУ должен размещаться в отдельном отсеке конвертора либо лучше в автономном миниатюрном корпусе, в котором он заранее монтируется и настраивается, а уж затем устанавливается в конвертор. Отсек для МШУ либо внутренний объем автономного корпуса должны представлять собой запредельный волновод. Надо учитывать, что часть этого волновода заполнена поликором иным диэлектриком, поэтому его сечение будет меньше, чем у полого запредельного волновода. По опыту авторов можно рекомендовать ширину отсека делать менее 10 мм, а его высоту — менее 8 мм. Известны конструкции зарубежных конверторов, где МШУ экранируется П- или С- образным экраном из фольги. Поскольку истоки полевых транзисторов должны иметь эффективное заземление, то для этого либо сверлят диэлектрические подложки, либо размещают транзисторы между двух диэлектрических подложек.

После того как разработчик выбрал тип диэлектрической подложки, способ установки н режим работы транзисторов (они различны для обеспечения минимума коэффициента шума и максимума коэффициента усиления), он должен провести измерения параметров и шумовых параметров для партии транзисторов, смонтированных на тестовых платах избранным способом при нужных электрических режимах. Эти параметры обычно существенно отличаются от сообщаемых изготовителем транзисторов ввиду того, что учитывают специфику монтажа.

После того как определены S-параметры или в крайнем случае входные и выходные сопротивления н модули коэффициентов передачи транзистора, можно перейти к проектированию СЦ. Лучше всего это делать на ЭВМ, использовать специальные программы. Мы же рассмотрим упрощенную методику.

Согласование, обеспечивающее максимум коэффициента усиления, называется сигнальным согласованием. В этом случае с. помощью реактивных СЦ обеспечивается минимум КСВ на входе и выходе усилительного каскада в рабочей полосе частот. Второй вариант согласования называется шумовым согласованием, когда при достаточно высоком входном КСВ находится импедапс генератора, обеспечивающий минимальный коэффициент шума каскада при приемлемом усилении.

Рассмотрим сигнальное согласование. Сопротивление источника сигнала при этом должно быть комплексно согласовано с входным сопротивлением траизистора, а сопротивление нагрузки с его входным сопротивлением.

Входные и выходные сопротивления транзистора легко вычисляются по S-параметрам по известным формулам. В упрощенном виде входное сопротивление полевого транзистора можно представить последовательно соединенными сопротивлением и емкостью, а выходное — параллельным.

В МШУ сантиметрового диапазона обычно используют нерезонансные входные СЦ, причем, учитывая то, что рабочие полосы этих усилителей невелики, вполне достаточно согласующих цепей второго порядка. Для МШУ конверторов предпочитают, чтобы схема обладала максимально плоской характеристикой. Ее расчет сводится к определению параметров фильтра —прототипа gi для расчета которого необходим вспомогательный параметр х.

Кроме того при расчетах используются обратная величина относительной полосы пропускания δ = F0 / (Fверх Н - Fниж Н) и коэффициент трансформации

kтр = Z0 / Rвх, где Zo—волновое сопротивление СВЧ-тракта; Rвх — активная составляющая входного сопротивления транзистора. Имея δ и α1 = αс вх, можно определить g1 = l / α1δ

Описанная СЦ отлично зарекомендовала себя в МШУ конверторов. Она трансформирует действительную часть входного сопротивления транзистора или эквивалентное шумовое сопротивление вверх, как правило, к 50 0м. Входную индуктивность реализуют или в виде высокоомной МПЛ, или путем специфического монтажа транзистора.

Рассмотрим теперь вопрос проектирования выходных согласующих цепей. Она содержит отрезок регулярной МПЛ, компенсирующий выходную емкостную проводимость и четвертьволновый трансформатор, согласующий активное выходное сопротивление с волновым сопротивлением выходной полосковой линии (обычно 50 0м). Здесь вначале стоит четвертьволновой МПЛ трансформатор, преобразующий активное выходное сопротивление транзистора в 50 0м. После этого трансформатора (т. е. в точке А) выходная реактивность транзистора трансформировалась из емкостной в индуктивную, поэтому к точке подключается компенсирующий разомкнутый МПЛ шлейф. Согласующие цепи (рис. 7.8 и 7.9) обеспечивают широкополосность 15 ... 20%, чего вполне достаточно даже для двухдиапазонных конверторов.

Обычно разработчики СВЧ-усилителей предпочитают входное и выходное сопротивления любого транзисторного каскада согласовывать со стандартным СВЧ-трактом, равным 50 0м. Это облегчает отработку как отдельных каскадов, так и многокаскадных усилителей и вполне приемлемо для МШУ конверторов. В случае широкополосных (полоса более 50%) многокаскадных СВЧ-усилителей задачи построения межкаскадных СЦ осложняются, но это не мешает созданию СВЧ-усилителей сантиметрового диапазона с широкополосностью октава и более.

Итак, качество МШУ, а следовательно, и конвертора в целом определяется СВЧ-транзисторами. Пока разработчики транзисторов занимались их совершенствованием, наметился прогресс и в области ИМС СВЧ.

Практика изготовления МШУ конверторов по технологии ГИС показала, что достаточно критичным элементом являются проходные конденсаторы, включаемые в микрополосковый тракт. При использовании навесных чип-конденсаторов, во-первых, требуются тонкие монтажные работы, во-вторых, потери в этих конденсаторах и КСВ тракта меняются от образца к образцу и даже от количества припоя. Поэтому довольно распространенным для конверторов является использование встречно-штыревых конденсаторов (ВШК). Конструкция ВШК требует очень малого зазора между полосковыми проводниками, что чревато замыканиями в процессе эксплуатации из-за миграции атомов металла проводников и технологически сложно. Полоса рабочих частот такого конденсатора шире, чем у других типов ВШК. Существует ВШК, выполненный из 4 штырей. В нем зазор шире, чем у двухштыревого ВШК, однако буквально на центральной расчетной частоте возникают резонансные потери, так как два соседних нечетных (или четных) штыря образуют полуволновый резонатор камертонного типа. Поэтому длину четырехштыревого ВШК надо делать немного короче или немного длиннее четверти длины волны.

Необходимо отметить, что СВЧ полевые транзисторы весьма чувствительны к воздействию света, даже через керамический корпус свет может изменить режим работы транзисторов усилителя, что следует учитывать при настройке.

Второй момент, о котором необходимо упомянуть,— чувствительность полевых транзисторов к статическому электричеству. Руки оператора, паяльник, монтажный инструмент, измерительные приборы должны быть очень хороню заземлены. Нежелательны пластмассовые сиденья стульев, линолиумные полы, синтетическая одежда на монтажнике и настройщике. Воздух в помещении, где работают с СВЧ-транзисторы, не должен быть очень сухим. Оптимальная относительная влажность 70%.

**Литература**

1. Бушминский И. П., Тюхтин М. Ф. «Приёмные системы спутникового телевидения», М. «Р и С», 1993 г.

2. Шелухин О. И. «Индивидуальный и коллективный приём спутникового телевидения», М., 1995 г.