

ПОСТРОЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ

ст. пр. Короткова Лариса Александровна

Аннотация: В статье представлены требования достаточно высокого и регулируемого коэффициента усиления при малой потребляемой мощности.

Ключевые слова: Минимизация коэффициента шума, аналоговых усилителях, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), намагничивания магнитопроводов трансформаторов.

При построении широкополосных приемников и УВ систем, кроме традиционного требования обеспечения низкого значения коэффициента шума усилителя и широкой полосы пропускания. Выполнение согласования входа активного элемента по шумам при малой потребляемой мощности возможно, но при этом увеличивается значение эквивалентного шумового сопротивления - возрастает коэффициент шума. Когда основным требованием реализации приемника является получение наибольшей чувствительности, то это достигается использованием многокаскадного усилителя. При этом в первом каскаде обеспечивается согласование входа МШУ с источником сигнала по минимуму коэффициента шума. Затем проводится оптимизация коэффициента усиления второго каскада при минимальной потребляемой мощности.

Когда решается задача получения большого усиления или малого уровня шумов каскада, то для этого увеличивают напряжение смещения на транзисторе, что сопровождается увеличением потребляемой мощности. Задача еще более усложняется для широкополосных систем, когда кроме малого уровня шума и потребляемой мощности требуется обеспечить высокий коэффициент усиления и широкополосность усилителя одновременно. Минимизация коэффициента шума и режим согласования на входе МШУ обеспечивается известными методами, но они не работают при ограничении уровня мощности, потребляемой устройством. Если принять в качестве исходного условия уровень потребляемой мощности, то выбором параметров цепей согласования и режимов работы транзисторов можно обеспечить

компромисс между величиной коэффициента шума и коэффициентом согласования АЭ одновременно. Наиболее перспективным в достижении всех перечисленных показателей считается применение схемы с последовательным питанием транзисторов (технология current-reused).

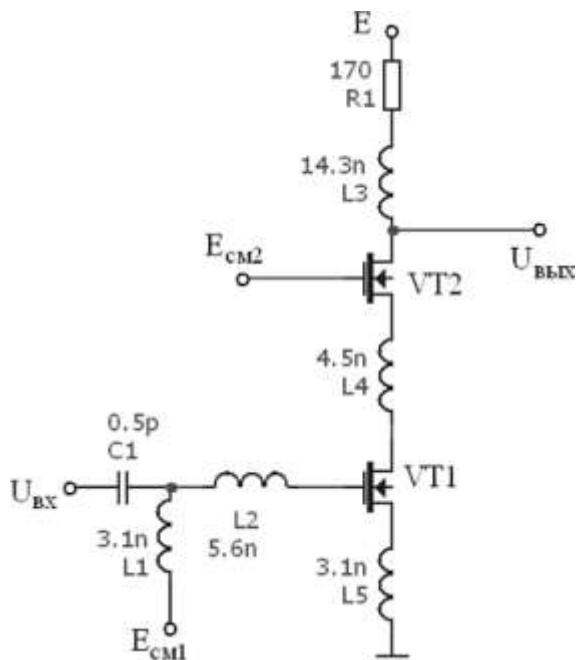


Рис.1. Схема с последовательным питанием.

Для достижения низкого уровня шумов и высокого коэффициента усиления по сравнению с обычной структурой на входе усилителя, реализованного на МОП транзисторах VT1 и VT2, включают контур $C1$ (фильтр верхних частот). При этом контур, с учетом входной реактивности транзистора VT1, должен обеспечивать полосу пропускания не меньше ширины, занимаемой спектром входного сигнала. Включение такого контура компенсирует реактивную проводимость (обеспечивая режим согласования) и одновременно решает задачу достижения максимального усиления и минимума коэффициента шума. Использование архитектуры питания пониженным током current reused и одного источника питания требуемые значения напряжения смещения получаются делением напряжения источника питания) можно минимизировать потребляемую МШУ мощность. При условии пренебрежения значением емкости исток-затвор и выходным сопротивлением транзистора выражение для мало сигнального коэффициента усиления имеет вид:

$$\frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} = -\frac{S_1 S_2 (R1 + L1)}{(p^2 C_{m1} L5 + p S_1 L5 + 1) \cdot (S_2 + p C_{m2})} \quad (1)$$

Коэффициент усиления.

где S_1, S_2 - передаточная проводимость (крутизна) транзисторов R1 и L1, C_{m1}, C_{m2} - емкости затвор-исток транзисторов S_1 и S_2 , $R1$ U - являются нагрузкой МШУ, а $L5$ - индуктивность отрицательной ОС в цепи истока. Коэффициент усиления может расти с увеличение нагрузки. Однако при увеличении нагрузки усилитель быстрее переходит в режим насыщения, что ограничивает его динамический диапазон. Нагрузка так же определяет устойчивость каскада. Рассматривая конструкцию усилителя, как два последовательно включенных каскада, выбором напряжений смещения на затворах транзисторов и ширины затворов обеспечиваем наибольшую крутизну в рабочей точке транзисторов при минимально допустимом значении выходной мощности. Более того, включение межкаскадной индуктивности $L4$ реализует согласование между схемами включения транзисторов: с общим истоком (транзистор VT1) и общим затвором (транзистор VT2). Следовательно, максимально значение мощности, которое можно достичь, определяет шумовые характеристики усилителя. Поскольку шумовые свойства каскадного соединения транзисторов определяются первым каскадом, то выполнение одновременного условия минимума шума и требуемой выходной мощности можно обеспечить подбором параметров компонентов цепей согласования, а также выбором режима транзистора (VT1) для заданных технологических характеристик на конкретной рабочей частоте.[4]

Аналоговые и цифровые входы широкополосного усилителя различаются по способу обработки сигналов.

В аналоговых усилителях аналоговый входной сигнал усиливается каскадами аналоговых усилителей. Затем выходной аналоговый сигнал отправляется на аналоговую нагрузку без цифрового преобразования.

В цифровых усилителях после аналогового усиления входного аналогового сигнала каскадами аналоговых усилителей аналого-цифровой преобразователь

(АЦП) преобразует аналоговый сигнал в цифровой сигнал (код), соответствующий напряжению входного аналогового сигнала.

В аналоговых усилителях аналоговый входной сигнал усиливается каскадами аналоговых усилителей. Затем выходной аналоговый сигнал отправляется на аналоговую нагрузку без цифрового преобразования.

В цифровых усилителях после аналогового усиления входного аналогового сигнала каскадами аналоговых усилителей аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует аналоговый сигнал в цифровой сигнал (код), соответствующий напряжению входного аналогового сигнала.[2]

У цифровых усилителей есть дополнительные достоинства и возможности в отличии от их аналоговых конкурентов — это цифровая обработка сигнала, не ухудшающая качество звука, к примеру, любая обработка сигнала (регуляторы тембра и прочее) в аналоговом усилителе неизбежно негативно отразится на качестве звучания). В зависимости от производителя и модели цифрового усилителя виды обработки сигнала колеблется от элементарной регулировки тембров и частот, до сложнейших алгоритмов по коррекции акустики помещения и амплитудно-частотных характеристик всей системы. Кроме того, цифровые усилители самые экономичные по энергопотреблению, имеют самый высокий КПД, обладают внушительной мощностью, огромным коэффициентом демпфирования акустических систем и практически не нагреваются при работе. [3]

Широкополосный усилитель — это электронное устройство, которое усиливает электрические сигналы в широком диапазоне частот. Функция устранения искажений в широкополосном усилителе заключается в уменьшении количества искажений в усиленном сигнале. Искажение является функцией амплитуды входного сигнала, и уменьшение амплитуды входного сигнала может помочь уменьшить искажения.

Существуют различные типы широкополосных усилителей, например селективные усилители, которые предназначены для работы на высоких радиочастотах и используют колебательные контуры.

Широкополосные усилители мощности используются для усиления высокочастотных сигналов и предназначены для удовлетворения типичных критериев производительности, таких как линейность в диапазоне частот, выходная мощность и эффективность.

Для устранения искажений, вносимых усилителем, используется специальное устройство для разделения линейного сигнала на две полуволны.

Линейные и нелинейные искажения:

Одним из требований, предъявляемых к усилителю, является усиление сигналов без искажений. Однако усилитель при усилении сколько изменяет форму усиливаемых сигналов.[1]

Отклонения формы выходного сигнала от формы входного называют искажениями.

Различают два типа искажений: линейные и нелинейные.

а) Линейные искажения

Наличие в усилительных каскадах реактивных элементов (разделительные, конденсаторы, конденсаторы связи, разделительные трансформаторы, дроссели, конденсаторы в цепях термостабилизации рабочей точки, а также паразитные индуктивности ёмкости) приводит к тому, что различные гармоники, входящие в спектр входного сигнала, усиливаются по-разному с разным коэффициентом усиления и фазовым сдвигом.

Это приводит к тому, что входной сигнал, проходя через усилитель, искажается, т.е. форма сложного по спектральному составу сигнала на выходе будет отличаться от формы входного сигнала. Таким образом, усилитель вносит искажения несмотря на то, что с элементами работают в линейном режиме. Поэтому такие искажения называются *линейными искажениями* (т. к. их возникновение связано с линейными элементами электрической цепи).

Линейные искажения оценивают с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) или просто частотной характеристики, которая представляет собой зависимость модуля коэффициента от частоты:

$$K_u = f(\omega). \quad (2)$$

Рассмотрим типовую АЧХ усилителя переменного тока (RC -усилителя), на вход которого подается гармонический сигнал.

Границный коэффициент усиления (передачи), определяется как

$$|K_{U_{tp}}| = \frac{K_{U_{max}}}{\sqrt{2}} \cong 0,707 K_{U_{max}}. \quad (3)$$

Частота, на которой $K_u = K_{igr}$ называется граничной частотой.

f_n - нижняя граничная частота, f_b - верхняя граничная частота.

Диапазон частот, в пределах которого $K_u \geq K_{igr}$ называется полосой усиления (пропускания) или рабочим диапазоном частот.

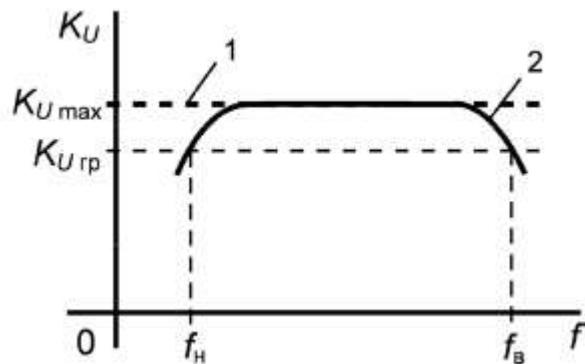


Рис.2. Рабочий диапазон частот -от f_n до f_b ,

АЧХ усилителя переменного тока:

1 – идеального усилителя;

2 – реального усилителя

Диапазон частот, где $K_u < K_{igr}$ называется полосой подавления в пределах которой усилитель не усиливает либо усиливает с малым K_u .

Видно, что:

1. АЧХ реального усилителя неравномерная, т.е. коэффициент усиления для разных частот неодинаков.

2. Нелинейные искажения.

Нелинейными искажениями называют искажения формы выходного сигнала, обусловленные нелинейностью входных и выходных характеристик усилительных элементов (транзисторов).

Кроме того, нелинейность может появляться из-за нелинейности кривых намагничивания магнитопроводов трансформаторов и дросселей, применяемых в усилителях в качестве элементов связи.

Нелинейные искажения оценивают с помощью коэффициента гармоник:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U_1}. \quad (4)$$

$$K_{\Gamma}, \% = 100 \cdot K_{\Gamma} \quad (5)$$

Коэффициента гармоник.

где I_i, U_i – действующее, либо максимальное значение высших гармоник, входящих в спектр рассматриваемого сигнала;

I_1, U_1 – действующее, либо максимальное значение первой (основной) гармоники рассматриваемого сигнала.

В лучшем случае $K_{\Gamma}=0\%$.

Допустимая величина коэффициента гармоник зависит от назначения усилителя. Так, в усилителях для высококачественного усиления речи и музыки допустимый коэффициент гармоник порядка 1-2%; в таких же усилителях среднего качества –5-8%. Где выходное напряжение ограничивается при положительной и отрицательной полярности. Это связано с тем, что при усилении усилитель заходит в область насыщения и поэтому наступает ограничение. [4]

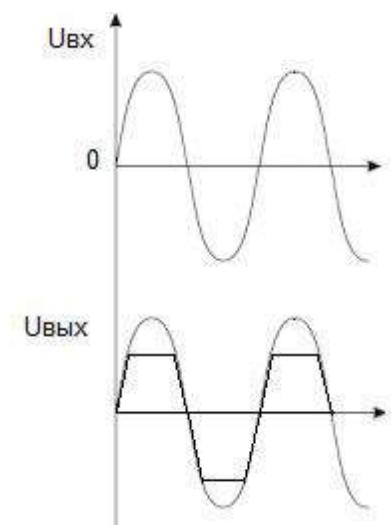


Рис.3. Пример возникновение нелинейных искажений

Литература

1. Павлов, В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : учеб., пособие для студ. высш. учеб., заведений / В. Н. Павлов. - М. : Издательский центр «Академия», 2022
2. Методические указания «Проектирование широкополосных и импульсных усилителей (Расчёт элементов коррекции и термостабилизации)» 2019г.
3. Алгоритм расчёта транзисторного широкополосного усилителя с двухполюсниками комбинированной обратной связи научной статьи по специальности. «Электротехника, электронная техника, информационные технологии». Якушевич. Г.Н
4. Гусев В. Г. Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. –М.: Высш. шк., 2023.–798с.