

УДК 621.397.6

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

ЛИСТОПАД Н. И., ЖЕРНОСЕКОВ Р. А., НАДОЛЬСКИЙ А. Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: listopad@bsuir.by

Аннотация. Рассмотрен пример использования усилителя мощности по схеме Догерти для построения телевизионных передатчиков.

Abstract. An example of using a Dougherty power amplifier for building television transmitters is considered.

Введение

Повышение эффективности работы передающего устройства - одна из важных задач, решаемых уже на протяжении достаточно большого периода времени. Речь идет о таких параметрах, как КПД и линейность выходных характеристик. Для решения поставленной задачи авторами предлагается использовать в телевизионных передатчиках усилители, построенные по схеме Догерти. Следует отметить, что усилители подобного типа используются в основном для радиовещания и малоизучены для передачи телевизионных сигналов [1].

Привлекательность схемного решения Догерти обусловлена присущей ему эффективностью управления входными сигналами с высоким отношением пиковой к средней мощности, которое характерно для современных систем связи. Усилитель, построенный по схеме Догерти, имеет более высокий КПД по сравнению с аналогами за счет более рационального использования транзисторов по току. Классический вариант усилителя по схеме Догерти изображен на рис. 1.

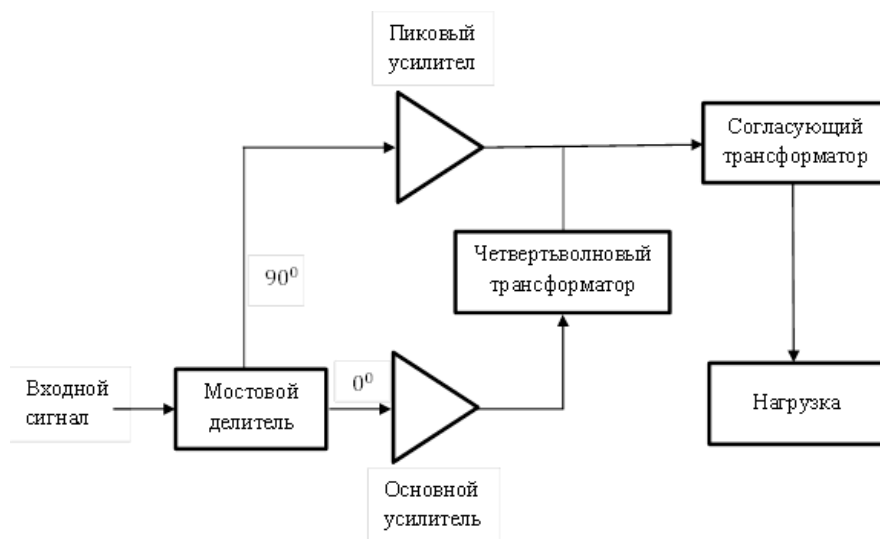


Рис.1. Усилитель по схеме Догерти

Усилитель несущей частоты подключен к нагрузке через четвертьволновую линию и согласующий трансформатор. Входное сопротивление согласующей линии начинает уменьшаться в связи с уменьшением выходного импеданса пикового усилителя. Поэтому, в пределах от 6 дБ до максимума мощности усилитель несущей частоты работает при максимальном уровне выходного напряжения, соответствующего критическому режиму с теоретическим КПД = 78,5 %. В результате получаются два пика мощности с КПД = 78,5% на 6 дБ уровне отстройки от максимального значения и на максимальной мощности, когда оба усилителя работают в режиме максимального КПД класса В (угол отсечки для пикового усилителя будет близок к 90 градусам при большом выходном сигнале).

Однако, наличие класса С и класса В в реальных условиях приводят к сильным нелинейным искажениям сигналов. Поэтому, обычно усилитель несущей частоты смещается в режим класса АВ с небольшим током покоя, а цепь смещения пикового усилителя настраивается на оптимальное смещение, при котором обеспечиваются постоянные коэффициент усиления и фаза всей системы. В этом случае можно получить некоторое улучшение КПД, однако трудно обеспечить высокий уровень линейности. Кроме того, необходимо учитывать потенциальные изменения напряжения питания и технологических разбросов параметров в диапазоне температур окружающей среды.

Основная часть

Рассмотрим, как обеспечивается согласование выходного сопротивления схемы Догерти с нагрузкой. Так как выходное сопротивление усилителя равно 50 Ом, сопротивление четвертьволновой линии подбирается таким образом, чтобы ее сопротивление также было равным 50 Ом. При выключении пикового усилителя выходное сопротивление основного усилителя будет равным 100 Ом и с 50-омной четвертьволновой линией оно трансформируется по формуле [2]:

$$Z_{\Sigma 1} = \frac{Z_{\lambda/4}^2}{Z_{\text{вых.у1}}}, \quad (1)$$

где $Z_{\lambda/4}$ - сопротивление четвертьволновой линии, $Z_{\text{вых.у1}}$ - сопротивление основного усилителя.

При одновременной работе двух усилителей, в точке суммирования имеет место параллельное включение двух 50-омных сопротивлений

$$Z_{\Sigma} = \frac{Z_{\text{вых.1}} \times Z_{\text{вых.2}}}{Z_{\text{вых.1}} + Z_{\text{вых.2}}} \quad (2)$$

Таким образом, общее сопротивление двух усилителей мощности сопротивлениями в 50 Ом будет равным 25 Ом и для согласования этого сопротивления с нагрузкой в 50 Ом используется ещё один отрезок четвертьволновой линии/ Таким образом общее всей системы из двух усилителей можно определить по следующей формуле:

$$Z_{\text{общ.}} = \sqrt{Z_{\Sigma}} \times Z_{\text{н}}, \quad (3)$$

где Z_{Σ} - суммарное сопротивление усилителей, а $Z_{\text{н}}$ - сопротивление общей нагрузки.

Учитывая высокий КПД транзисторных усилителей мощности, работающих по схеме Догерти, предлагается использовать такие усилители в цифровых телепередатчиках, так как схема Догерти позволяет уменьшить энергопотребление передатчика, а также увеличить КПД в 1,5 раза по сравнению со значением КПД передатчиков, используемых в настоящее время.

Несомненными преимуществами усилителя Догерти являются:

- высокая энергетическая эффективность;
- линеаризация выходного каскада, что особенно важно при усилении сложно-модулированных сигналов;
- возможность каскадирования с целью получения высоких значений выходных мощностей;
- использования различных классов усилителей для выбора оптимального режима работы.

Как известно [1] усилитель мощности описывается рядом характеристик, среди которых – коэффициент усиления, уровень выходной мощности, линейность, КПД, входной и выходной коэффициенты стоячей волны по напряжению (КСВН) и коэффициент шума. Рабочая полоса конкретного усилителя определяется его способностью сохранять значения указанных параметров в требуемом диапазоне частот.

Выходная мощность является функцией входного уровня мощности, коэффициента усиления и допустимого уровня компрессии на выходе усилителя. Для большинства усилителей мощности миллиметрового диапазона выходная мощность указывается для точки компрессии в 1 дБ (обычно обозначается как P1dB). Добиться большей мощности можно, увеличив уровень входного сигнала, но это приведет к ухудшению линейности выходных характеристик усилителя.

С появлением цифровых схем модуляции увеличились и значения параметра отношения пиковой мощности к средней мощности передаваемых сигналов. Это означает, что усилитель мощности работает в режиме компрессии и только рабочую точку усилителя смещают ниже точки компрессии.

Высокая линейность большинства усилителей мощности достигается при работе на уровнях мощности входного сигнала ниже максимального — таким образом, усилитель мощности не переходит в режим компрессии. С другой стороны, КПД усилителей максимален при работе именно в режиме компрессии, а именно, в точке, где режим работы усилителя мощности считается насыщенным и его выходная мощность максимальна. Однако обеспечение высокой линейности обычно достигается в ущерб энергоэффективности. Так, например, в классах, А или АВ усилители постоянно включены и потребляют энергию для того, чтобы избежать нелинейных режимов работы.

Для увеличения КПД и обеспечения заданной линейности выходных характеристик усилителя мощности существуют различные методы. Одним из таких методов является использование схемы Догерти. Как видно из рисунка 1 в схеме используются два усилителя различных классов. Для увеличения КПД усилителей используются различные методы отслеживания огибающей, позволяющие гибко изменять подачу питания на усилитель с тем, чтобы поддерживать значение выходной мощности на нужном уровне.

Для обеспечения высокой линейности усилителя мощности при сохранении достаточного КПД часто используются методы цифровой коррекции предискажений. Поскольку усилитель обладает наибольшим КПД в области точки насыщения, цифровая коррекция позволяет изменять форму модулированных сигналов таким образом, чтобы он работал с высоким КПД, но без искажений или повышенной нелинейности.

Для получения ещё большей эффективности усилителя мощности используются не только схемотехнические решения, но и проводятся исследования возможности использования полупроводниковой техники.

Кремниевые LDMOS-усилители (металл-оксидные полупроводники с поверхностной диффузией) традиционно используются в роли высокоомощных активных устройств в телекоммуникационном оборудовании. Кремниевые усилители со структурой «кремний-на-изоляторе» способны обеспечить требуемые уровни мощности при конфигурации нескольких транзисторов в многоуровневую структуру. Полученные выходные мощности с высокой степенью линейности усиления свидетельствуют о принципиальной применимости этих относительно недорогих в производстве структур для использования в усилителях мощности.

Перечисленные ниже материалы показали своё превосходство над кремнием и являются перспективными для создания усилителей мощности используемого диапазона волн. На этих материалах были изготовлены различные структуры транзисторов, включая гетеробиполярные транзисторы (НВТ), полевые транзисторы с затвором Шоттки (MESFET) и транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT). Каждая из структур обладает определёнными усилительными и мощностными характеристиками.

Нитрид галлия (GaN) в последнее время становится предпочтительным материалом для многих разработчиков усилителей мощности, в том числе и для применения в миллиметровой области. В то время как SiGe-, InP- и GaAs-транзисторы обладают частотой среза до 300 ГГц и выше, GaN обеспечивает значительно более высокие уровни допустимой мощности, тем самым позволяя создавать усилители на дискретных элементах или монолитные интегральные схемы усилителей мощности меньшего размера и большей мощности по сравнению с другими материалами [11].

Заключение

Таким образом, использование усилителя мощности по схеме Догерти показывает свою высокую эффективность, хорошую линейность, повышенную мощность и в сочетании с использованием технологических решений посредством выбора соответствующего полупроводникового материала может быть рекомендовано для построения телевизионных передатчиков.

Список использованных источников

1. Савенков Г. Г., Морозов Ю. В., Цыкунов А. В. Анализ режимов функционирования усилителя мощности по схеме Догерти в цифровых телевизионных передатчиках. *Perspective Innovations in science, education, production and transport'2013/ Технические науки – электротехника, радиотехника, телекоммуникации и электроника*, Новосибирск, 2013, с. 15-61.
2. Карлинер М. М. *Электродинамика СВЧ: Курс лекций*. 2-е изд./ Новосибир. Гос. Ун-т, Новосибирск, 2006.- 258с.
3. <https://www.soel.ru/online/problemy-proektirovaniya-ustroystv-dlya-setey-5g-millimetrovogo-diapazona/>.