

Повышение эффективности

использования полосы радиочастот
и дальности радиосвязи

Сигнал с однополосной модуляцией занимает в радиозфере полосу частот вдвое уже, чем амплитудно-модулированный, что позволяет более эффективно использовать частотный ресурс и повысить дальность связи. Кроме того, когда на близких частотах работают несколько станций с ОМ, они не создают друг другу помех в виде биений, что происходит при применении амплитудной модуляции с неподавленной несущей частотой. Недостатком метода являются относительная сложность аппаратуры и повышенные требования к частотной точности и стабильности.

Григорий Охоткин, д. т. н.

Дмитрий Игнатев
dimaigatnev1997@mail.ru

Введение

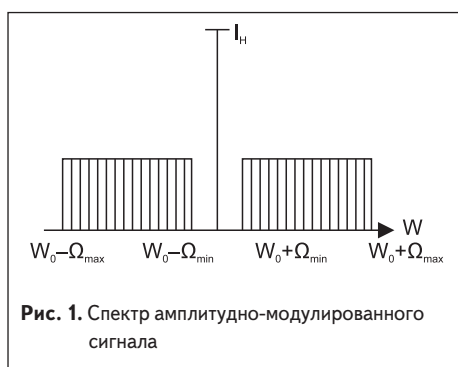
Основным недостатком амплитудной модуляции (АМ) являются чрезвычайно низкие экономические показатели. Из формулы (1) видно, что при АМ амплитуда несущей частоты остается постоянной при модуляции и без нее, а вся информация о передаваемом сигнале (его частота равна W , а его уровень характеризуется величиной m) заключена в боковых полосах:

$$i = I_n \cos wt + \frac{mI_n}{2[\cos(w + \Omega)t + \cos(w - \Omega)t]} \quad (1)$$

На рис. 1 показан спектр амплитудно-модулированного сигнала. При однополосной модуляции (ОМ) передают одну из боковых полос, например верхнюю:

$$i_B = mI_{a1n} \cos(w_0 + \Omega)t, \quad (1.1)$$

а колебания несущей частоты w_0 и второй боковой полосы ($w_0 - \Omega$) в передатчике подавляют. Для воспроизведения сигнала колебания несущей частоты восстанавливают в приемнике. В выражении (1) m не представляет собой коэффи-



циент модуляции в обычном смысле, здесь m характеризует уровень громкости.

Огибающая однополосного сигнала не воспроизводит форму сигнала информации, как это имеет место при АМ.

Радиосигнал с ОМ представляет собой колебания с амплитудно-фазовой модуляцией, хотя их полоса равна полосе модулирующего сигнала, то есть она вдвое уже полосы радиосигнала с АМ. Это позволяет увеличить число каналов связи.

При модуляции спектром частот $\Omega_1 - \Omega_n$ однополосный сигнал вида (1) представляет собой ряд независимых колебаний высоких частот:

$$\begin{aligned} w_1 &= w_0 + \Omega_1; \\ w_2 &= w_0 + \Omega_2; \\ &\dots \\ w_n &= w_0 + \Omega_n. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, спектр модулирующих частот транспонируется в область высоких частот (каждая из модулирующих частот становится выше на величину несущей частоты).

Энергетические показатели передачи на одной боковой полосе намного лучше, чем при АМ. Это объясняется многими обстоятельствами, главными из которых являются следующие:

- Переход на ОМ при линейном детектировании в приемнике дает выигрыш по напряжению (или по току) в 2 раза, что эквивалентно увеличению мощности передатчика в 4 раза.
- Переход на ОМ позволяет уменьшить полосу пропускания приемника в 2 раза, снизив тем самым отношение сигнал/помеха. Это дает выигрыш по напряжению в $\sqrt{2}$ раз и соответствующий выигрыш по мощности.

- Из-за особенностей распространения коротких волн при АМ на месте приема нарушаются фазовые соотношения между несущей и боковыми, что приводит к уменьшению напряжения звуковой частоты в $\sqrt{2}$. При ОМ этот эффект отсутствует, что дает дополнительный выигрыш по мощности.
- В передатчиках с ОМ потребление мощности намного меньше, чем при АМ.

Осуществление системы с ОМ сопряжено с немалыми трудностями, главными из которых являются необходимость строгой синхронизации частот несущей передатчика и приемника, а также высокие требования к линейности усилителя мощности однополосного сигнала.

Недостаточная синхронизация несущих частот передатчика и приемника приводит к искажениям. Для профессиональной речевой телефонной передачи допустимо нарушение синхронизма ± 10 Гц, а для радиовещания — не более 1–2 Гц. При радиовещании на частоте 30 МГц последнее может быть обеспечено при стабильности частоты порядка 10^{-7} .

Для синхронизации несущей, передатчика и несущей, восстанавливаемой в приемнике, применяют автоматическую подстройку частот гетеродина приемника, при этом в качестве опорной частоты используется передаваемый передатчиком пилот-сигнала остаток его несущей частоты.

При недостаточной линейности усилителя мощности появляются нелинейные искажения, при этом не только искажается передаваемый

сигнал, но и расширяется спектр однополосного сигнала. Причинами этих искажений являются:

- нелинейность характеристик генераторных ламп;
- нелинейность входного сопротивления ламп при работе с сеточными токами;
- паразитные амплитудные и фазовая сигнала, которые возникают из-за изменений входной динамической емкости и комплексного входного сопротивления ламп на высоких частотах при изменении уровня сигнала и др.

Для снижения уровня нелинейных искажений построение высокочастотного тракта однополосных передатчиков имеет специфические особенности.

- Высокочастотный тракт должен содержать минимальное число каскадов.
- Генераторные лампы должны работать без сеточных токов; в тех случаях, когда это невозможно, параллельно входу лампы включают балластный безындукционный резистор, уменьшающий нелинейность входного сопротивления лампы, но снижающий ее коэффициент усиления по мощности.
- Для уменьшения нелинейных искажений, обусловленных нелинейностью характеристик ламп, предварительные каскады высокочастотного тракта должны работать в режиме колебаний класса А. Для нахождения оптимального режима ламп усилителя мощности, работающих с отсечкой анодного

тока, используют специальные методы расчета, в том числе с использованием ЭВМ, позволяющие найти условия, при которых уровень нелинейных искажений минимальный.

Формирование однополосного сигнала осуществляется в возбудителе, показанном на рис. 2. Однополосный сигнал формируют из двухполосного, модулированного по амплитуде в балансном модуляторе. Основные трудности связаны с подавлением нерабочей боковой полосы. Наибольшее распространение имеет фильтровый метод, при котором выделение рабочей боковой полосы производится с помощью фильтров и повторной балансной модуляции, в результате чего осуществляется искусственное смещение (транспозиция) боковых частот. Этот метод обеспечивает требуемое подавление нерабочей полосы и надежен в эксплуатации.

Другим методом формирования однополосного сигнала является фазокомпенсационный, при котором в балансных модуляторах создаются модулированные по амплитуде колебания, сдвинутые по фазе одно относительно другого таким образом, чтобы при суммировании колебания подавляемых боковых частот взаимно компенсировались, а рабочих — складывались. К достоинствам этого метода относятся, во-первых, возможность формирования однополосного сигнала непосредственно на рабочей частоте и, во-вторых, отсутствие фильтров. Недостаток этого способа заключается в трудности создания

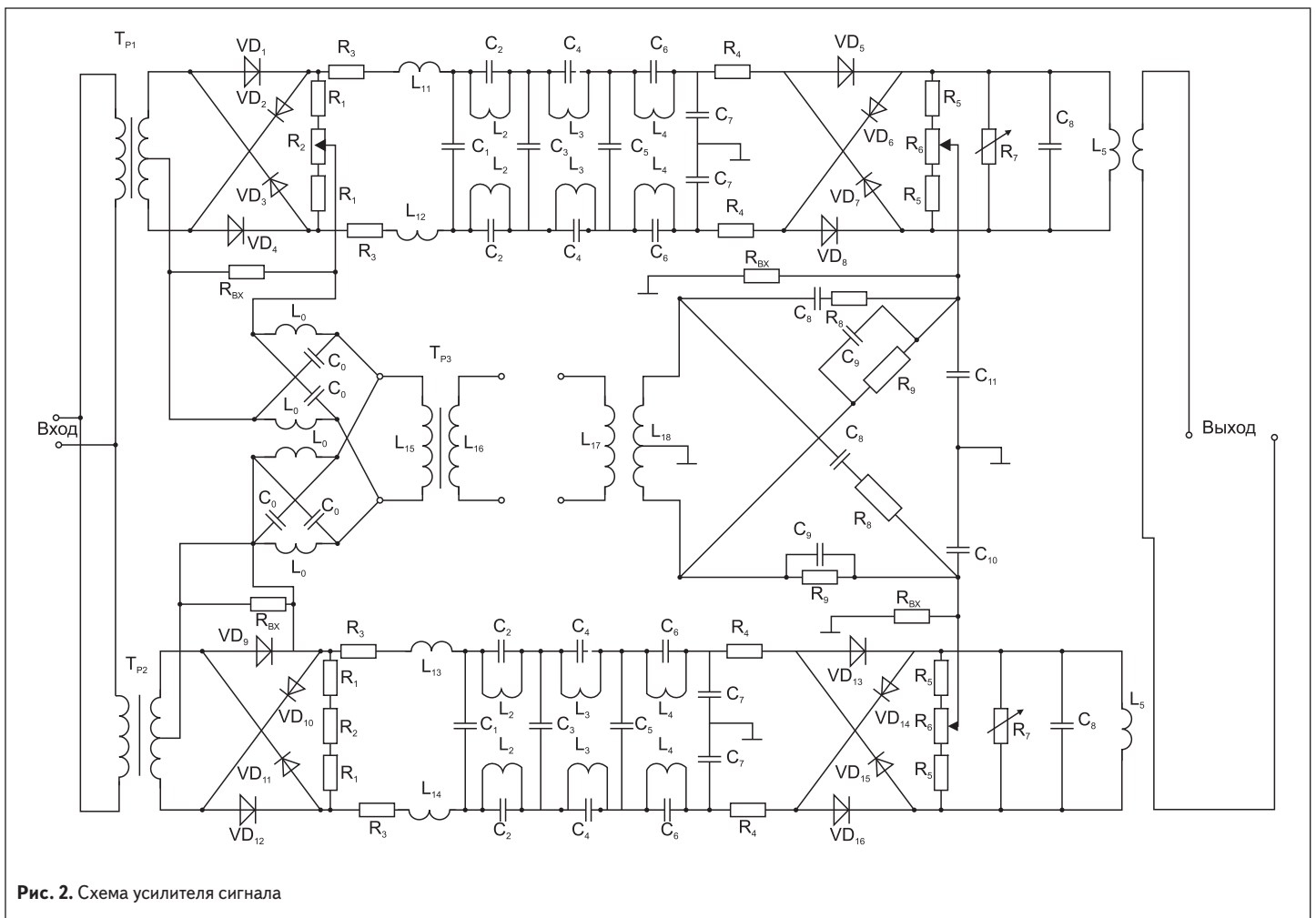


Рис. 2. Схема усилителя сигнала

широкополосного фазовращателя для модулирующих сигналов низкой частоты.

Усилитель мощности однополосного сигнала обычно рассчитывают на максимальную мощность P_{\max} , в граничном режиме коэффициент использования по анодному напряжению даже принимают равным $(0,9-0,95\xi_{\text{кр}})$. В процессе ОМ режим усилителя изменяется, его средние энергетические показатели определяются статическими характеристиками модулирующего сигнала. Для речевого сигнала «среднюю» амплитуду усиливаемого однополосного сигнала принимают равной $U_{\text{ср}} = m_{\text{ср}}$, где $m_{\text{ср}} = 0,425$. При этом средняя мощность, излучаемая передатчиком, составляет:

$$P_{\text{ср}} = m \times 2_{\text{ср}} = 0,18 P_{\max}.$$

Таким образом, средняя мощность однополосного сигнала намного меньше максимальной, следовательно, лампа усилителя мощности используется неэффективно. Средний КПД анодной цепи усилителя составляет:

$$\eta_{\text{ср}} = m_{\text{ср}} P_{\max} = 0,425 m_{\text{ср}} P_{\max},$$

то есть и он значительно меньше максимального.

Полученные соотношения свидетельствуют об относительно низкой эффективности усили-

телей мощности сигнала с ОМ и неполном использовании генераторных ламп. Для повышения эффективности передатчиков с ОМ применяют раздельное усиление огибающей и частотно-модулированного заполнения однополосного сигнала (метод Кана) и другие специальные методы, один из них — автоматическая регулировка режима усилителя мощности (АРР), при которой в соответствии с амплитудой передаваемого сигнала изменяют напряжение на аноде генераторной лампы. Одновременно с этим соответствующим образом изменяют и напряжение на ее управляющей сетке так, чтобы уровень нелинейных искажений оставался допустимым. При АРР электронный КПД $\eta_{\text{ср}}$ увеличивается почти вдвое.

При многоканальной работе однополосного передатчика для неискаженного усиления требуется, чтобы амплитуда напряжения возбуждения на сетке любого каскада усилителя мощности не превышала величину $U_{\text{г}\max}$, соответствующую граничному режиму лампы данного каскада. Поэтому предельное значение первой гармоники анодного тока лампы I_{a1} , создаваемое каждым из n каналов, не должно превышать величину $I_{a1\max}/n$, где $I_{a1\max}$ — первая гармоника анодного тока в граничном режиме при одноканальной работе.

Выводы

Таким образом, при многоканальной работе общая колебательная мощность на выходе однополосного передатчика уменьшается в n раз по сравнению с максимальной мощностью при одноканальной работе, а мощность, приходящаяся на один канал, уменьшается в n^2 раз. Следовательно, мы занимаем меньше полосу частот в эфире и увеличиваем дальность радиосвязи. ■

Литература

1. Правила по охране труда при работах на радиорелейных линиях связи — ПОТ РО-45-010-2002.
2. Хенне И., Торвальдсен П. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости. Берген, Nera Telecommunications, 1994.
3. Афонасова М. А., Мотошкин В. В., Сербин Э. Ф. и др. Руководство по дипломному проектированию. Учебно-методическое пособие. Томск, 2000.
4. Система сигнализации ОКС № 7. М.: Радио и связь, 2002.
5. Справочник по радиорелейным системам. Бюро радиосвязи Женева, 1996.
6. Крук Б. И., Попантопуло В. Н., Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 1. Учеб. пос. Изд. 2-е, испр. и доп. Новосибирск: Наука РАН, 1998.