

Квадратурная модуляция в радиовещании как альтернатива традиционной АМ

В.Т. Поляков

Автономная некоммерческая организация высшего образования Российский Новый Университет. Институт Информационных Систем и Инженерно-Компьютерных Технологий. г Москва, ул. Радио, д. 22

Рассмотрены преимущества квадратурной модуляции в радиовещании по сравнению с традиционной АМ. Показано, что при равной пиковой мощности передатчика его радиус действия возрастает вдвое, а энергетическая эффективность – десятикратно. Но для внедрения требуется массовое производство простых и дешевых гетеродинных синхронных радиоприемников, радикально отличающихся от существующих.

The advantages of quadrature modulation in broadcasting compared to traditional AM are considered. It is shown that with equal peak transmitter power, its radius of action doubles, and the energy efficiency tenfold. But for implementation, mass production of simple and cheap heterodyne synchronous radio receivers, radically different from the existing ones, is required.

В докладе предложен проект новой системы радиовещания на длинных, средних и коротких волнах (ДСВ), основанной не на традиционной амплитудной модуляции АМ, а на квадратурной амплитудной модуляции, КвАМ, КАМ или QAM. Новое – хорошо забытое старое, и все узлы предлагаемой системы давно известны и практически отработаны. Однако, собранные вместе, они могут дать неожиданный и замечательный результат: энергетическая эффективность АМ передатчика повышается многократно (при тех же мощности передатчика и полосе частот в эфире), а соответственно и дальность действия. Приемники (а они должны быть синхронными) получаются проще, а воспроизводимый ими сигнал – качественнее.

Квадратурная модуляция сейчас широко используется в цифровой связи и считается одной из самых помехоустойчивых и перспективных. Там ее правильнее бы назвать манипуляцией. Например, BPSK – Binary Phase Shift Keying, предусматривает манипуляцию фазы сигнала на 180° , причем несущая оказывается подавленной. При QPSK используют вторую, квадратурную (сдвинутую по фазе на 90°) несущую, манипулируемую другим цифровым сигналом, поступающим с той же тактовой частотой. Вторая несущая тоже оказывается подавленной. Общая скорость передачи при QPSK вдвое выше, чем при BPSK, но и требуемое отношение сигнал/шум при приеме на 3 дБ выше.

Давно известно, что при АМ тоже возможно передавать вторую программу на квадратурной несущей без расширения занимаемой полосы частот, но эта возможность никогда не была реализована из-за слишком высоких требований к точности фазового сдвига. Так, для достижения переходного затухания каналов 60 дБ требуется точность установки 90° сдвига фазы несущих (и гетеродинного сигнала в приемнике) лучше $0,1^\circ$.

Мир пошел по другому пути: в радиосвязи перешли на однополосную модуляцию, ОБП или SSB, а РВ осталось на традиционной АМ с ее низкой эффективностью, о чем подробно рассказано в [1...8]. В статьях [7, 8] описан упрощенный вариант аналоговой КАМ, предлагаемый для замены АМ в радиовещании. Структурная схема передатчика с КАМ показана на рис. 1.

Звуковой сигнал подается на балансный модулятор. На его выходе получается двухполосный ДБП или DSB сигнал с подавленной несущей. Он подается на сумматор и складывается с сигналом несущей, сдвинутым по фазе на 90° относительно подавленной несущей в балансном модуляторе. Амплитуда несущей может быть значительно меньше пиковой амплитуды DSB сигнала. Зачем вообще нужна эта несущая? Для работы ФАПЧ или АПФ в синхронном приемнике и для радионавигации.

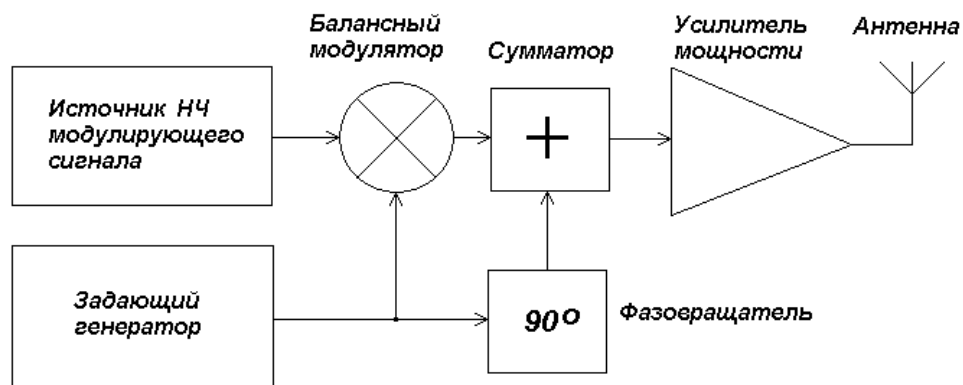


Рис. 1. Структурная схема передатчика с КАМ.

Практическая схема модулятора для КАМ дана на рис. 2. Балансный модулятор собран на полевом транзисторе VT1, включенном в режиме управляемого активного сопротивления, без питания. Несущая поступает на выход через малую емкость C3. На низком выходном сопротивлении модулятора происходит суммирование квадратурных токов ДБП сигнала и несущей. Выходная Г-образная резонансная цепь L1C4 согласует низкое выходное сопротивление модулятора со входом усилителя мощности КАМ передатчика. Другие его узлы традиционны.

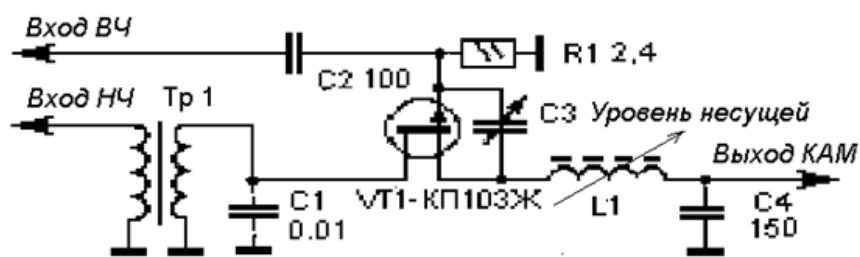


Рис. 2. Модулятор передатчика с КАМ.

Эффективность КАМ.

Если при АМ передатчик использует лишь 30% своей мощности для передачи боковых полос (собственно, и несущих информацию) на пиках модуляции при $m = 1$, и лишь 4,5% в среднем, при $m = 0,3$, то при КАМ этот показатель приближается к 100%. Предположим, что мы установили амплитуду несущей 0,1 от пиковой амплитуды сигнала. Мощность пропорциональна квадрату амплитуды, следовательно, на несущую будет тратиться лишь 1% пиковой мощности передатчика. А в среднем (при $m = 0,3$) это составит порядка 10%. Так что 90% мощности идет на пользу, что в 20 раз больше, чем в среднем у АМ передатчика. Отметим также экономичность радиостанции с КАМ – потребляемая от сети мощность значительно уменьшается при тихих звуках и, особенно, в паузах, когда АМ передатчик продолжает потреблять полную мощность.

По этим скромным оценкам КАМ станция мощностью 50 кВт должна звучать так же, как мегаватная с АМ! А что такое 50 кВт? Мощность мотора легковой малолитражки!

Здесь уместно дать небольшое отступление о большой лжи, распространяемой в СМИ противниками радиовещания на ДСВ: «Обслуживание радиостанций сложно и дорого, и они потребляют много электроэнергии». Современные передатчики, собранные из транзисторных блоков, практически не требуют настройки и имеют высокий КПД, особенно, если использован ключевой режим выходных транзисторов. В любом случае КПД выше, чем у УКВ передатчиков.

Предположим, что надо обслужить территорию радиусом 400 км. УКВ передатчик мощностью 1 кВт даже со 100-метровой мачтой антенны имеет радиус действия 40 км, а обслуживаемая им площадь пропорциональна квадрату радиуса. Следовательно, нужно 100 передатчиков и 100 высоких мачт. Даже если каждую станцию будут обслуживать 2 человека (техник и ведущий), набирается коллектив в 200 человек, разбросанных по огромной территории. Одна СВ станция с одной (!) такой же мачтой, и при равной мощности (100 кВт) обслужит ту же и даже большую территорию, а 200 человек, собранных в одном месте, будут работать гораздо эффективнее. Появятся и техники, и ведущие, и корреспонденты, и редакторы программ, что абсолютно недоступно двоим на УКВ станции. Так что же проще и дешевле? А более высокое качество сигнала при ЧМ реализуется только в стационарных музыкальных центрах, а не в портативных приемниках.

Приёмники.

Возможно создание линейки синхронных приемников, от самых простейших, не требующих батарей и питаемых энергией поля местной радиостанции, до сложных, с ЖК дисплеем, часами, синтезатором настройки, памятью, навигатором и графикой. К сожалению, имеющийся у населения парк АМ приемников для КАМ не подходит, хотя возможна переделка – добавление детектора КАМ. Он представляет собой смеситель на полевом транзисторе. КАМ сигнал подается на исток, а в цепь затвора включается высокочастотный контур, пьезо- или кварцевый резонатор. Он выделяет несущую и поднимает ее уровень. Фазовый сдвиг несущей на 90° получается при слабой емкостной связи затвора с истоком. Со стока транзистора снимается демодулированный звуковой сигнал.

Основной же тип приемника в предлагаемой системе – это гетеродинный с ФАПЧ (рис. 3). Схем подобных приемников разработано много, и они описаны в книгах [2...5]. Почти все схемы УКВ ЧМ приемников годятся и для КАМ, нужно лишь перемотать две УКВ катушки (входную и гетеродинную) на диапазоны СВ и ДВ, и увеличить постоянную времени (номиналы) RC цепочки пропорционально-интегрирующего фильтра (ПИФ). Входным контуром может служить ферритовая магнитная антенна.

Для гетеродинного приема КАМ колебания гетеродина должны быть в квадратуре с несущей. При этом они будут в фазе с боковыми полосами КАМ сигнала, что и требуется для синхронного детектирования. Но синхронный детектор лучше использовать балансный или дважды балансный (кольцевой), как в приемниках прямого преобразования (гетеродинных), это значительно расширит динамический диапазон и увеличит помехоустойчивость.

Входной сигнал с КАМ от антенны, предварительно отфильтрованный преселектором (входным контуром) от мощных внедиапазонных помех, поступает на балансный смеситель. На другой его вход подан сигнал гетеродина, работающего на той же частоте. Схемотехника смесителей (балансных модуляторов) и других узлов гетеродинных приемников хорошо отработана и подтверждена многолетней практикой

[2...5]. Возможно применение смесителей на встречно-параллельных диодах или полевых транзисторах с гетеродинами, работающими на половинной частоте сигнала, обладающих рядом достоинств.

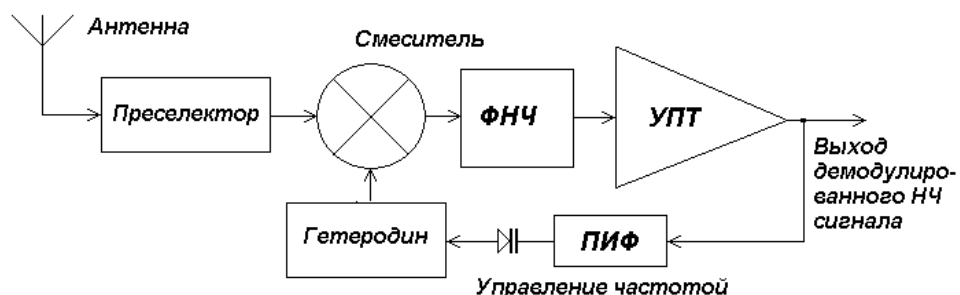


Рис. 3. Гетеродинный приемник для КАМ.

Далее, как и в обычном гетеродинном приемнике, демодулированный сигнал проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза 3...10 кГц. Он обеспечивает селективность по соседнему каналу. Низкочастотный усилитель приемника должен обеспечить передачу постоянной составляющей демодулированного сигнала, поэтому его надо выполнить по схеме усилителя постоянного тока (УПТ) с непосредственной связью между каскадами. Хорошо подойдут операционные усилители (ОУ), широкий ассортимент которых теперь освоен промышленностью.

Демодулированный сигнал поступает на выход приемника, к которому можно подключить оконечный усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ) или телефоны. Постоянная составляющая сигнала через пропорционально-интегрирующий фильтр (ПИФ) подается на варикап, управляющий частотой гетеродина, замыкая петлю фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Частота среза ПИФ выбирается ниже звукового диапазона, порядка единиц-десятков герц.

Подобные приемники автор разрабатывал для приема УКВ станций с ЧМ [4], но там задача была намного сложнее, поскольку петля ФАПЧ должна была отслеживать значительные и быстрые изменения частоты сигнала при девиации до ± 50 кГц в диапазоне 66...74 МГц или ± 75 кГц в диапазоне 88...108 МГц. Здесь же все гораздо проще – необходимо лишь синхронизировать гетеродин с несущей сигнала на фиксированной частоте и отследить возможные медленные (в основном, температурные) уходы частоты гетеродина приемника, не превосходящие единиц, в худшем случае, десятков герц.

Любопытно отметить, что подобный приемник для АМ сделан давным-давно [10,11], описание дважды опубликовано в радиоловительском журнале «Радио» и на множестве сайтов в сети, а от повторивших его поступали только положительные отзывы. Но система ФАПЧ обладает свойством устанавливать фазу гетеродина в квадратуре с несущей, и в АМ приемнике приходится делать два квадратурных канала и ставить фазовращатель. Ничего этого не нужно для КАМ (рис. 3), и приемник оказывается почти вдвое проще, чем для АМ.

Перспективы.

Система радиовещания с КАМ может внедряться самостоятельно [8, 9] и имеет много достоинствами. Передатчик с КАМ, в отличие от АМ, не боится перемодуляции и не создает искажений, кроме возможного мягкого ограничения пиков в усилителе мощности, которого ухо слушателя почти не замечает. Радиус действия передатчика

при равной пиковой мощности почти вдвое, а энергетическая эффективность на порядок выше. Приемник также не создает искажений, поскольку сигнал демодулируется на малом уровне в линейном элементе – смесителе. Селективность его выше за счет ФНЧ, устраняющего внеполосные помехи. Помехоустойчивость также выше, поскольку половина внутриполосных помех, квадратурных с сигналом, отсеивается сразу, а остальные становятся разнополярными и слабее воспринимаются на-слух. Синхронный приемник КАМ совершенно не боится селективных замираний при дальнем приеме, временами искажающих АМ сигнал до неузнаваемости.

При синхронизации передатчиков от Госстандарта времени и частоты [6, 9], синхронные приемники превращаются в навигаторы, если оснастить их синтезатором частот настройки, измерителем фазы и калькулятором с дисплеем для определения своего местоположения. Высокоточные часы и система оповещения при ЧС здесь самоочевидны. Эти идеи были высказаны на Муромских чтениях двух предыдущих лет [12, 13], подробно изложены в [9], но пока еще не получили должного отклика.

Литература:

1. Поляков В.Т. Техника радиоприема. Простые приемники АМ сигналов. — М.: ДМК Пресс, 2001. 266 с., ил. Электронный ресурс: <http://amfan.ru/>
2. Поляков В.Т. Гетеродинный прием. В сб. Радиоежегодник 1988. — М.: Изд. ДОСААФ, 1988, с. 16 – 38. Электронный ресурс: <http://news.cqham.ru/articles/detail.phtml?id=707>
3. Поляков В.Т. Упорядочение эфира и когерентная связь. В сб. Радиоежегодник 1989. — М.: Изд. ДОСААФ, 1988, с. 6 – 17.
4. Поляков В.Т. Радиовещательные ЧМ приемники с фазовой автоподстройкой. — М.: Радио и связь, 1983, 98 с., ил.
5. Поляков В. Т. Радиолюбителям о технике прямого преобразования. — М.: изд. «Патриот», 1990, 264 с., ил..
6. Поляков В. Приемник эталонной частоты. — Радио, 1988, № 5, с. 38-40. Электронный ресурс: http://radioway.ru/1988/05/priemnik_yetalonnoi_chastoty.htm
7. Поляков В. QAM, экспериментаторы! CQ-QRP # 52 (осень 2015). Электронный ресурс: <http://qrp.ru/cqgrp-magazine/1165-cq-qrp-52>
8. Поляков В. Т. Квадратурная модуляция как альтернатива АМ в радиовещании и связи. Вестник РосНОУ, Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, выпуск 1, с. 20 – 25. Электронный ресурс: <http://vestnik-rosnou.ru/сложные-системы-модели-анализ-и-управление-complex-systems-models-analysis-management/2017/1/20>
9. Поляков В. Продолжение проекта: РВ без АМ. CQ-QRP # 64 (осень 2018). С. 3–12. Электронный ресурс: <http://qrp.ru/cqgrp-magazine/1432-cq-qrp-64>
10. Поляков В. Синхронный АМ приемник / Радио, 1984, № 8. С. 31 - 34;
11. Поляков В. Синхронный АМ приемник / Радио, 1999, № 8. С. 16 - 17.
12. Поляков В.Т. Концепция объединения систем радиовещания и радионавигации длинноволнового диапазона. VII Всероссийские Арmandовские чтения. Труды Всероссийской научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции радиоволн. Муром, 2017. Электронный ресурс: <http://www.mivlgu.ru/conf/armand2017/rmdzs-2017/pdf/S3>
13. Поляков В.Т. О некоторых возможностях длинноволнового радиовещания с фазовой синхронизацией. / VIII Всероссийские Арmandовские чтения. Труды Всероссийской научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции радиоволн. Муром, 2018. Электронный ресурс: <http://www.mivlgu.ru/conf/armand2018/programma-2018.pdf>