

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК И ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЯХ

ДЭВИД БРУБЕЙКЕР (DAVID BRUBAKER), менеджер, Texas Instruments

Повышение требований стандартов беспроводной связи к эффективности потребления энергии и качеству сигнала заставляет провайдеров услуг связи искать пути снижения стоимости развертывания и эксплуатации систем связи. В статье описывается решение компании Texas Instruments, которое позволяет существенно повысить качество выходного сигнала усилителя мощности базовой станции и увеличить зону радиопокрытия при одновременном уменьшении стоимости обслуживания системы.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост числа пользователей, а также увеличение объема цифрового контента создает большую нагрузку на беспроводную инфраструктуру, поскольку в ограниченный диапазон частот беспроводных систем требуется вставить трафик большего объема. В соответствии с этими требованиями растут расходы на эксплуатацию систем базовых станций из-за высокой потребляемой мощности. Усилители мощности обеспечивают передачу радиосигналов базовой станции и их доля в общей стоимости оборудования базовой станции может составлять до 30%. Реализация методов ограничения коэффициента амплитуды (crest factor reduction — CFR) и цифрового предискажения (digital pre-distortion — DPD) перед подачей радиосигналов на усилитель мощности базовой станции способно повысить качество сигнала и увеличить зону покрытия при одновременном уменьшении стоимости обслуживания системы.

В последние годы наблюдается значительный рост числа подписчиков услуг беспроводной связи. Более того, такие новые услуги, как загрузка музыки и доступ в Интернет с мобильных телефонов означают все большие и большие объемы передачи данных через системы беспроводной связи. При этом, однако, диапазон частот, выделенный для беспроводной связи, остается в целом постоянным и с увеличением числа пользователей и ростом объема трафика становится очень загруженным.

Это напоминает переполненную автомагистраль в час пик. Представим себе диапазон частот в виде автомагистрали,

а данные (телефонные звонки, музыка или Интернет-контент) — в виде автомобилей. Ширина автомагистрали или ряд полос представляет собой фиксированный ограниченный диапазон частот для беспроводной связи. Добавление полос в эту магистраль беспроводной передачи данных — чрезвычайно сложное дело, как и добавление новых полос в автомагистраль, поскольку нужно приобрести землю, демонтировать имеющиеся сооружения и построить новые полосы.

По всей автомагистрали движутся автомобили, и их водители хотят прибыть к месту назначения вовремя. Каждый автомобиль представляет собой фрагмент голосового сообщения или загружаемого музыкального файла; своевременное прибытие всех автомобилей к месту назначения подобно успешному завершению загрузки данных или выполнения телефонного звонка. Так же, как все большее число подписчиков службы использует беспроводные устройства для доступа к цифровому

контенту, на автомагистрали появляются все новые и новые автомобили. Когда автострада загружена слишком плотно, движение сильно замедляется. То же самое происходит и в беспроводных сетях.

Для решения этой проблемы провайдеры услуг радиодоступа переходят на стандарты беспроводной связи, более эффективно использующие частотный диапазон аналогично размещению нескольких автомобилей (следующих в одно и то же место) на платформе автотрейлера, движущегося по автомагистрали. Такой способ позволяет передавать больше данных по той же магистрали не замедляя трафик. Такие стандарты беспроводной связи, как CDMA2000, W-CDMA, TD-SCDMA, MC-GSM, WiMAX и LTE были разработаны для повышения эффективности использования диапазона частот. На рисунке 1 представлены стандарты беспроводной связи, введенные в последние годы для повышения эффективности использования диапазона частот.

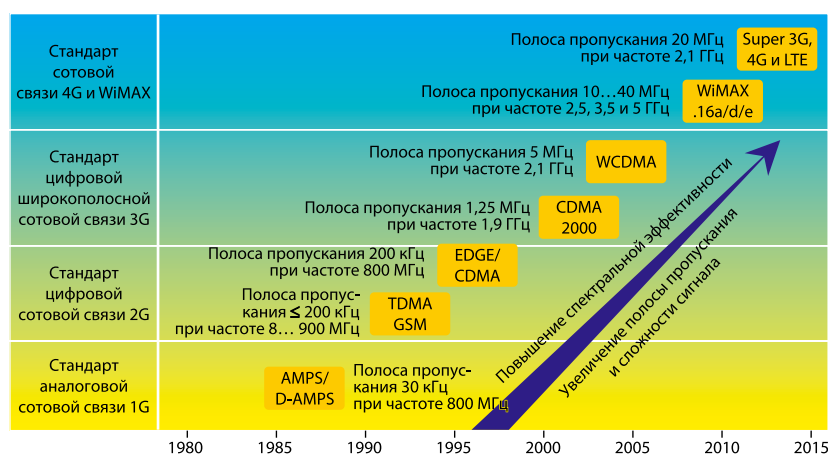


Рис. 1. Эволюция стандартов беспроводной связи

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИГНАЛА

Эти новые стандарты беспроводной связи позволяют передавать больше данных в фиксированном диапазоне частот, но также имеют и недостаток — очень высокую чувствительность к искажениям усилителя мощности базовой станции. Эти искажения ухудшают качество сигнала и уменьшают трафик данных. Для компенсации этого эффекта провайдеры услуг беспроводной связи должны ограничивать мощность усилителей или приобретать намного более мощные усилители для обеспечения радиопокрытия той же зоны. Разумеется, провайдеры услуг беспроводной связи должны поддерживать радиопокрытие определенной зоны. Поэтому они приобретают более мощные и более дорогие усилители мощности. Однако более мощные усилители потребляют больше электроэнергии, что увеличивает эксплуатационные расходы.

Переход к спектрально эффективным стандартам беспроводной связи существенно повысил стоимость развертывания и эксплуатации услуг беспроводной связи. Решение проблемы стоимости особенно важно для провайдеров, желающих снизить цены на предоставляемые услуги при одновременном улучшении качества сигнала. Компания Texas Instruments предложила метод, сочетающий адаптивное цифровое предсказание (DPD) с ограничением коэффициента амплитуды (CFR) и направленный на решение этих проблем.

Хотя такие применявшиеся в прошлом методы, как РЧ-коррекция с прямой связью, РЧ-коррекция с обратной связью, РЧ/ПЧ-предсказание и последующая коррекция улучшили характеристики усилителей мощности и уменьшили искажения, схемы адаптивного DPD оказались на практике самыми экономически эффективными и гибкими. Решение DPD/CFR компании TI улучшает характеристики усилителя мощности для всех современных стандартов беспроводной связи и наиболее распространенных схем построения усилителей мощности, в том числе усилителей класса A/B, усилителей Догерти и даже для находящейся в стадии разработки архитектуры усилителя мощности с отслеживанием огибающей. В таблице 1 метод DPD сравнивается с другими технологиями улучшения линейности усилителей мощности.

СВОЙСТВА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Технологии DPD и CFR представляют собой два метода обработки сигнала, предусматривающие измерение характеристик входного и выходного сигналов и препятствующие возникновению

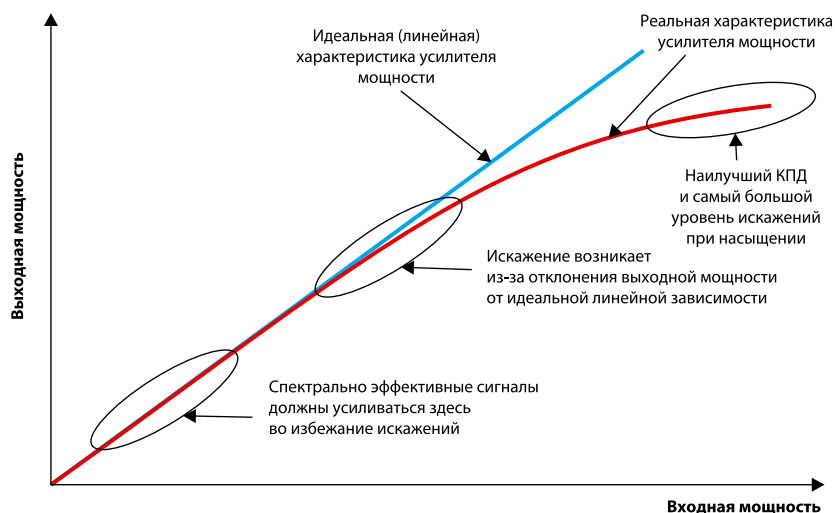


Рис. 2. Характеристика входа/выхода усилителя мощности

искажений в выходном радиосигнале усилителя мощности. Это позволяет получить практически линейную выходную характеристику в расширенном диапазоне работы усилителя мощности. Для того чтобы избежать искажений у верхней границы его рабочего диапазона не требуется ограничивать выходную мощность усилителя. Это увеличивает эффективность потребления энергии усилителя мощности, что, в свою очередь, обеспечивает снижение требований к системе охлаждения базовой станции и уменьшает эксплуатационные расходы.

Чтобы понять, как работает усилитель мощности, рассмотрим рисунок 2. Идеальный усилитель мощности имел бы линейную (с коэффициентом 1) характеристику, показанную голубой линией. В этом случае увеличение входной мощности на 10% повышает выходную мощность также на 10%. Характеристика реального усилителя мощности представлена кривой черного цвета. Она совпадает с характеристикой идеального усилителя мощности при низком уровне выходной мощности, но отклоняется вниз от идеальной зависимости при более высоких уровнях выходной мощности. Например, увеличение входной мощности реального усилителя на 10% может привести к увеличению выходной мощности лишь на 9%. В конечном счете, наступает такой момент, когда выходная мощность усилителя больше не возрастает, хотя входная мощность продолжает увеличиваться.

Чтобы понять значение технологий CFR и DPD для применения в существующих и перспективных системах беспроводной связи, необходимо ознакомиться с тремя фундаментальными свойствами усилителей мощности. Во-первых, выходная мощность усилителя определяет область распространения радиосигнала. При большей выходной мощности обеспечивается большая зона радиопокрытия для базовой станции. Во-вторых, КПД усилителя по мощности растет с увеличением выходной мощности и достигает самого высокого значения около уровня насыщения. Если исходить из этих двух свойств, то становится очевидным, что для обеспечения наилучшего распространения сигнала и наивысшей эффективности потребления энергии, лучше всего эксплуатировать базовую станцию при самой высокой выходной мощности.

Прежние стандарты беспроводной связи позволяли провайдерам эксплуатировать базовые станции при уровне выходной мощности, близком к максимальному, что обеспечивает самые низкие капитальные затраты (меньшее число базовых станций для покрытия той же площади) и самые низкие эксплуатационные расходы (меньшие расходы на электроэнергию). Однако, огромный рост числа пользователей и объема данных, передаваемых в системах беспроводной связи, ограничили эту возможность в связи с еще одним свойством усилителей мощности: при увеличении выходной мощности искажения возрас-

Таблица 1. Сравнение распространенных методов, применяемых для улучшения линейности усилителей мощности

| Метод | Эффективность компенсации | Полоса пропускания | КПД | Сложность | Надежность |
|--|---------------------------|--------------------|---------|------------|------------|
| РЧ-коррекция с обратной связью | Хорошая | Узкая | Средний | Средняя | Средняя |
| РЧ-коррекция с прямой связью | Хорошая | Широкая | Средний | Высокая | Низкая |
| РЧ-предсказание | Наилучшая | Средняя | Высокий | Средняя | Средняя |
| Адаптивное цифровое предсказание (DPD) | Наилучшая | Широкая | Высокий | Наименьшая | Высокая |



Рис. 3. Предысказание расширяет линейный диапазон усилителя мощности, компенсируя нелинейность его характеристики

тают и достигают существенных значений, когда характеристика усилителя мощности начинает отклоняться от идеальной (линейной) кривой.

Это третье свойство является очень важным, поскольку требования к уровням искажений сигналов в современных стандартах беспроводной связи намного более жесткие. А это значит, что усилители мощности на базовых станциях для того, чтобы обеспечить приемлемое качество сигнала должны работать при выходной мощности намного ниже уровня насыщения. При таких значениях мощности значительный процент входной энергии рассеивается в виде тепла, а не передается в выходной сигнал.

Это напоминает ситуацию, когда у вас есть автомобиль с большим и мощным мотором, но вы не имеете возможности ездить на нем с той скоростью, которую он позволяет развивать. Автовладелец вынужден переплачивать за бензин, поскольку большой двигатель — это повышенный расход топлива, но не в состоянии воспользоваться преимуществом в мощности двигателя. В идеальном случае, если бы двигатель был очень экономичным, то владелец мог бы наслаждаться мощным автомобилем при низких расходах на бензин. Аналогично, идеальный усилитель мог бы иметь на выходе мощный сигнал, работая в области, близкой к уровню насыщения, и в то же время искажение сигнала было бы очень невелико. Такой усилитель также отличался бы высокой эффективностью потребления энергии, поскольку работал бы около уровня насыщения. Именно так технологии DPD и CFR улучшают характеристики усилителя мощности. Они увеличивают линейность выходной мощности усилителя, снижая, таким образом, потребление энергии.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

С помощью метода адаптивного DPD можно расширить область линейности характеристики широкополос-

ных радиочастотных (РЧ) усилителей мощности в намного большей степени, чем это достигается обычно. Как было сказано выше, выходная мощность начинает отклоняться от идеальной линейной характеристики при ее увеличении. Именно в этот момент и появляются искажения в выходном сигнале усилителя мощности, что приводит к ухудшению качества сигнала и помехам. В методе DPD искаженный выходной сигнал усилителя мощности сравнивается с неискаженным входным сигналом. Затем к входному сигналу добавляется сигнал, в точности противоположный искажению выходного сигнала, что обеспечивает эффективную компенсацию помех. Поскольку метод DPD расширяет область линейности характеристики усилителя мощности, он называется методом линеаризации (см. рис. 3).

Сравнение выходного и входного сигналов известно как обратная связь и наиболее эффективно реализуется цифровым способом. Поскольку условия эксплуатации, например, окружающая температура, могут изменяться, цифровая обратная связь обеспечивает необходимую информацию для адаптации предсказания к изменяющимся условиям. Цифровая реализация предсказания и обратной связи намного более надежна, универсальна и технологична, чем аналоговая. Метод DPD может расширить линейную характеристику усилителя мощности на 2...3 дБ, а это существенный прирост, учитывая рабочий диапазон усилителя мощности.

Поскольку линейность выходной характеристики усилителя мощности обеспечивается на большем участке его рабочего диапазона, то эксплуатационным требованиям системы смогут удовлетворять менее дорогие усилители мощности более низкого класса. Кроме того, усилитель мощности с более линейной рабочей характеристикой отличается большей эффективностью потребления энергии. Это снижает расходы на электроэнергию и уменьшает стоимость

развертывания системы, поскольку она рассеивает меньше энергии в виде тепла, что снижает требования к системе охлаждения.

Технология CFR — это еще один метод внесения цифрового предсказания. Он повышает рабочую выходную мощность усилителя, ограничивая отношение пиковой к средней мощности (peak-to-average — PAR) входных сигналов. Чтобы понять принцип действия метода CFR, рассмотрим снова рисунок 2 и нашу прежнюю аналогию с автомобилями, установленными на автотрейлере, когда обсуждался вопрос о возможности увеличения объема данных, передаваемых по беспроводным сетям. На рисунке 2 показано, что при увеличении входной мощности до определенного предела происходит насыщение выходной мощности, и усилитель больше не обеспечивает роста выходной мощности. Это напоминает туннель, через который должен проехать автотрейлер. Если на автотрейлере установлено слишком много автомобилей, и высота их размещения превышает размеры туннеля, то верхние автомобили останутся на автомагистрали и задержат трафик. Более того, когда автотрейлер прибывает к месту назначения, некоторые автомобили будут отсутствовать. Эти пропавшие автомобили представляют собой отсутствующие фрагменты разговора по телефону.

Если продолжить эту аналогию, то алгоритм CFR анализирует высоту каждого «автотрейлера» и определяет, не слишком ли она велика для проезда через туннель. При необходимости уменьшается размер каждого «автомобиля» настолько, чтобы «автотрейлер» мог проехать сквозь туннель, и все «автомобили» были доставлены к месту назначения. Метод CFR автоматически ограничивает пиковые значения сигналов и позволяет им проходить через усилитель мощности без ограничений или искажений.

Алгоритм CFR, реализованный компанией TI, является уникальным, поскольку чрезмерно высокие пиковые значения сигнала компенсируются путем добавления сигнала с противоположным знаком, а не просто срезаются во входном сигнале, когда последний достигает пикового значения. Срезание входного сигнала полезно лишь в очень ограниченных пределах, так как фактически вносит некоторое искажение в выходной сигнал вместо того, чтобы его устранить.

Решение компании TI обеспечивает снижение PAR и, в то же время, поддерживает качество выходного сигнала. Ограничивая PAR входного сигнала, можно линейно увеличивать выходную мощность усилителя. Например, снижение PAR на 3 дБ позволит повысить рабо-

чую точку усилителя мощности на 3 дБ, увеличивая, таким образом, КПД усилителя. Повышение рабочей точки усилителя мощности на 3 дБ фактически представляет собой удвоение его выходной мощности без повышения потребления энергии. Представьте себе автомобиль, имеющий мощный 8-цилиндровый двигатель, но с расходом топлива как у небольшого 4-цилиндрового мотора.

Базовые станции в целом потребляют очень большое количество энергии. Поэтому многие провайдеры услуг беспроводной связи предъявляют еще более строгие требования в отношении эффективности своих базовых станций, не только с целью снижения эксплуатационных расходов, но и из экологиче-

ских соображений. Решение DPD/CFR компании TI может повысить рабочую точку (выходную мощность) усилителя мощности в 10 раз при одновременном повышении эффективности потребления энергии в четыре раза, что отвечает требованиям некоторых современных станций беспроводной связи. Благодаря таким характеристикам метод компании TI обеспечивает значительное снижение издержек, связанных с развертыванием и эксплуатацией базовых станций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компания TI реализовала инновационные адаптивные алгоритмы DPD и CFR в виде однокристалльного специализированного полупроводникового

устройства (ASSP) для систем беспроводной связи. Процессор GC5322 компании TI позволяет усилителю мощности базовой станции работать при более высокой выходной мощности и обеспечивает решение двух наиболее важных проблем беспроводных базовых станций: снижение стоимости и повышение эффективности потребления энергии. Микросхема GC5322 также поддерживает цифровое преобразование с повышением частоты (DUC) и отвечает требованиям таких перспективных стандартов беспроводной связи, как W-CDMA, WiMAX, LTE и MC-GSM, представляя собой наиболее полное решение для процессоров передачи радиосигналов на сегодняшний день.