

# **Компания QSC представляет: Технология динамического суммирования мощности. (FAST)**

Оптимизация работы усилителя методом применения последовательно-параллельного объединения каналов.

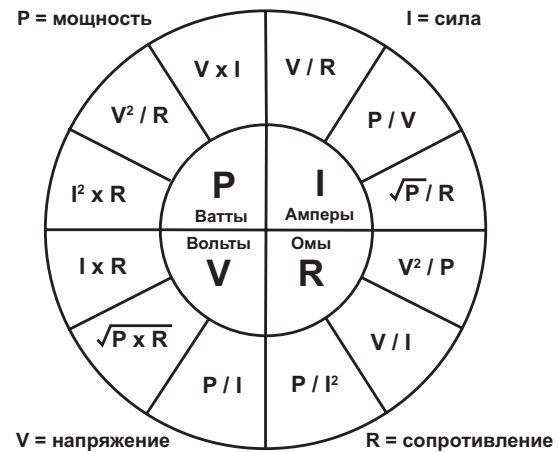
Мэтт Скогмо (Matt Skogmo) и Дэйл Сандберг (Dale Sandberg)

## Технология динамического суммирования мощности (FAST)

Компания QSC имеет большой опыт разработки и реализации новейших идей. Не всегда мы первыми выходим на рынок, но наша продукция отличается прочным и надежным дизайном, и высоким качеством, за что нас и ценят клиенты. Примером является головокружительный успех акустических систем серии K, наши новые модели усилителей CXD и PLD не являются исключением из правила.

Многие производители поставляют на рынок усилители класса D с установленными DSP, однако на деле, большинство таких продуктов не удовлетворяют пользователей как с точки зрения качества звучания, так и по удобству управления. Усилители серий CXD и PLD, созданы для простоты использования, и благодаря принципиально новой технологии обеспечивают максимальное качество звучания. Пожалуй наиболее практичным и инновационным достижением разработчиков QSC, можно назвать технологию динамического суммирования мощности (Flexible Amplifier Summing Technology FAST). Чтобы более подробно объяснить как работает система FAST необходимо сперва рассмотреть ограничения, которые действуют на любые усилители. Все усилители имеют модули, которые усиливают ток и напряжение входного сигнала. Лампы, биполярные транзисторы, узлы MOSFET, работающие в режиме триггеров, все эти элементы имеют ограничения по рабочему напряжению, по проходящему через них току, и по мощности, которая тратится на нагрев. Инженеры при разработке выбирают оптимальные комплектующие, как по стоимости, так и по рабочей мощности. Иначе говоря, если нужен усилитель, мощностью 100 Ватт при сопротивлении нагрузки 8 Ом, то не необходимости использовать компоненты рассчитанные на сотни ампер. Так какие же законы и параметры определяют данный выбор?

## Закон Ома и закон Джоуля



Мощность, поступающая на нагрузку может быть описана двумя законами: законом Ома, и законом Джоуля. Закон Ома определяет напряжение, которое необходимо для того, чтобы через нагрузку определенного сопротивления прошел ток определенной силы. Математически он выглядит так:

$$V = I \times R$$

*V=вольт, I=сила тока (амперы), и R=сопротивление в Омах.*

Закон Джоуля утверждает, что мощность, производимая схемой, описывается как произведение напряжения на схеме, умноженное на ток, проходящий через схему.

Математически это выглядит так:

$$P = I \times V$$

*P = мощность в Ваттах, V = напряжение, и I = сила тока (амперы).*

Вот это простые формулы являются основой разработки любого усилителя мощности, они

могут так же совместно использоваться для описания различных соотношений. Например, закон Джоуля может быть записан в виде  $V=P/I$ , а поскольку напряжение величина единая в двух законах, то в сочетании с законом Ома мы можем получить следующее соотношение  $P/I=I \times R$ . Легким мановением руки мы можем выразить мощность как  $P=I^2 \times R$ . Чтобы определить силу тока, необходимую усилителю для передачи 100 Ватт на нагрузку сопротивлением 8 Ом, просто подставим цифры в формулу. Простой расчет показывает, что сила тока должна быть 3,53 Ампера. Таким же образом мы можем рассчитать необходимое напряжение. Переписав уравнение в виде  $P=V^2/R$ , и подставив цифры, мы получим напряжение 28,28 Вольт на выходе усилителя.

Понимание этих законов, и правильное использование необходимо любому разработчику. Усилитель, мощностью 100 Ватт, при сопротивлении нагрузки 8 Ом, содержащий компоненты, рассчитанные на ток 3,53 Ампера и производящие 28,28 Вольт, будет вести себя совершенно по другому при сопротивлении нагрузки 4 Ом. Нагрузка, сопротивлением 4 Ом, будет требовать тока большей силы, можно рассчитать, что при сопротивлении 4 Ом, и напряжении 28,28 Вольт сила тока должна составлять уже 7 Ампер. Если компоненты усилителя рассчитаны на ток 3,5 Ампер, то подключение нагрузки сопротивлением 4 Ом выведет его из строя.

Высококачественные усилители имеют встроенную защиту, которая не позволяет выйти усилителю из строя при подключении нагрузки со слишком низким сопротивлением. В основном защита строится на ограничении выходного тока. В случае нашего усилителя, мощностью 100 Ватт, защита контролирует выходной ток, подобно тому, как в автомобилях система ограничивает обороты двигателя. Таким образом, защита ограничивает ток на величине 3,53 Ампера, и нагрузка сопротивлением 4 Ома, несмотря на необходимые для работы 7 Ампер, все равно будет получать 3,53. Это в свою очередь означает, что усилитель, выдающий мощность 100 Ватт на нагрузку сопротивлением 8 Ом, на нагрузку сопротивлением 4 Ом, выдаст только 50 Ватт. Конечно в действительности

инженеры разрабатывают усилители, которые выдают максимально возможное напряжение при высоком сопротивлении нагрузки, и максимально возможный ток, при низком. Таким образом при низком сопротивлении (как правило 2 Ом или 4 Ом) мощность ограничивается по току, а при более высоком значении сопротивление – по напряжению. Теперь, в большинстве случаев проблема может быть решена, но не в случае профессионального аудио. Интеграторы, и инженеры постоянно ищут способы добиться большей мощности от одного усилителя. Чем больше мощность одного усилителя, тем меньше усилителей требуется для работы звуковой системы, как портативной, так и инсталляционной. Имея ограничения по напряжению и по току, в случае усилителя с одним каналом проблему решить невозможно. Однако, если комбинировать два или больше каналов, то некоторые ограничения можно обойти.

### **Последовательная и параллельная конфигурации**

В современной аудио индустрии часто применяется последовательное суммирование каналов усилителя (режим мост). По сути режим мост, означает, что один канал усилителя работает в противофазе по отношению к другому каналу, то есть по одному каналу сигнал идет в одной фазе, по другому – в обратной, таким образом, если брать сигнал с двух положительных клемм выходных каналов, то суммарное выходное напряжение увеличится в два раза. В случае усилителя мощностью 100 Ватт на 8 Ом суммирование двух каналов в режим мост даст напряжение 56,56 Вольт. Теоретически, это означает 400 Ватт при сопротивлении 8 Ом.

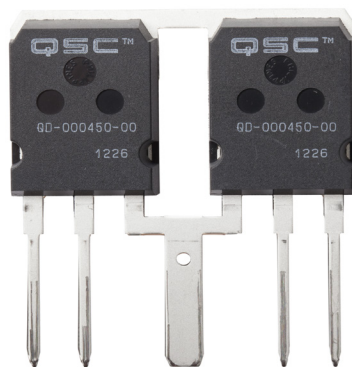
Существует ещё один способ суммирования каналов, но он редко применяется в профессиональном аудио. Способ заключается в параллельном соединении каналов, он обеспечивает удвоение выходного тока, по аналогии с режимом мост, который дает удвоение напряжения. В нашем случае 100 Ваттный усилитель, с ограничением по выходному току 3,53 Ампера будет способен выдать ток 7 Ампер,

для работы с нагрузкой сопротивлением 4 Ом. Можно задать вопрос, почему же такое комбинирование не находит широкого применения? Ответ прост, параллельное соединение каналов усилителей – не такое простое как может показаться, гораздо более сложное, чем объединение в режим мост. Как показали точные измерения, каналы усиления неравномерно распределяют между собой ток, а это вызывает проблемы.

Компания QSC разработала новейшую технологию, которая позволяет объединять каналы усилителей как в последовательном режиме (мост), получая удвоение напряжения, так и в параллельном режиме, получая удвоение выходного тока, без потерь качества. Так же, вместо простого суммирования каналов на двухканальных усилителях мы применили эту технологию в многоканальных усилителях. Это означает, что не только два канала можно объединить параллельно, но и три, или даже все четыре. В таком режиме вся мощность усилителя может быть направлена на одну нагрузку имеющую низкое сопротивление, до 1 Ом. Более того, возникает возможность работы с высокоомной нагрузкой, посредством последовательно-параллельной комбинации. Если мы имеем в распоряжении четырехканальный усилитель, то каждую пару каналов можно суммировать параллельно, и соединить их последовательно, таким образом удвоить и напряжение и ток. В результате усилитель может выдать всю свою мощность на нагрузку сопротивлением 8 Ом. Это и называется технология динамического суммирования мощности (Flexible Amplifier Summing Technology (FAST)).

## Как разрабатывалась технология FAST

При создании технологии FAST инженерам пришлось преодолеть несколько технических трудностей. Необходимо, чтобы выходной каскад был точно настроен, надо было заставить выходной ток распределяться по каналам равномерно, И конечно же добиться высокого качества выходного сигнала при всех возможных конфигурациях.



*QSC Proprietary MOSFET Circuits*

Первая проблема заключалась в построении надежного каскада. С усилителями малой мощности это достаточно просто, поскольку компоненты мощностью до 150 Ватт

широко доступны. Однако, существующие варианты высоко мощных комплектующих не соответствуют стандартам качества, принятым в QSC. Для преодоления этой проблемы инженеры QSC работали напрямую с производителями комплектующих, и разработали транзистор по технологии MOSFET, который в состоянии работать на высоких напряжениях и токовых нагрузках, ну и конечно прекрасно подходящий для усиления аудио сигналов. Далее, специально разработанный узел по технологии MOSFET, был объединен с парой высокоскоростных диодов, практически не вносящих потерь тока, и установлен на общую основу. Ну и под конец сборка диодов и блока, в спарке с аналогичным дублирующим сетом заключается в общий корпус, образуя «Power Module» компании QSC, который в состоянии выдавать до 1250 Ватт мощности.

Вторая проблема была в обеспечении равномерного распределения тока между каналами суммированными параллельно.

Существующие решения требуют большого количества комплектующих, чрезвычайно сложны и дороги. Чтобы избежать использования активных компонентов для контроля силы тока инженеры компании QSC применили другой подход. В первую очередь необходимо убедиться, что все стадии усиления получают одинаковый управляющий сигнал. Классическая топология усилителя класса D включает в себя входной каскад, за которым находится модулятор, который переводит аналоговый сигнал в вид последовательности прямоугольных импульсов, которые усиливаются, и проходят через фильтр высоких частот. Используя один модулятор, сигнал с которого распределяется между усиливающими модулями дает возможность быть уверенными в том, что все модули получают один и тот же управляющий сигнал. Таким образом достигается минимальное отличие в силе тока между модулями. Как упоминалось ранее, последняя секция усилителя класса D – это выходной фильтр. Этот фильтр усредняет ширину модулированного сигнала, восстанавливает его аналоговый вид, и блокирует проникновение токов высокой частоты.

Если одна из секций выходного модуля откроется раньше другой, то выходной фильтр блокирует ток между секциями, таким образом достигается максимальное совпадение между работой модулей. С помощью управляющего сигнала достигается минимальный уровень отклонения в работе модулей, примерно на уровне 60 наносекунд, выходные фильтры блокируют любые блуждающие нежелательные токи. Таким образом, добившись эффективной синхронизации мы добились того, что усилительные модули срабатывают одновременно, а поскольку они идентичны, то можно быть точно уверенным, что сила тока, подаваемого на нагрузку будет идентична от каждого канала.

Последняя трудность заключалась в достижении надлежащего качества выходного сигнала. В большинстве случаев каждый усилитель имеет встроенную петлю обратной связи, которая делает выходной сигнал более мощной копией входного сигнала, без каких-либо искажений. Правильно разработанная петля обратной связи будет компенсировать изменения в нагрузке, неточности срабатывания выходного фильтра,

погрешности работы источника питания, и другие возможные источники неполадок. При суммировании двух или более каналов параллельно, необходимо определиться с тем какая из петель обратной связи будет работать. В следствии отличия значений параметров комплектующих, от которых невозможно избавиться, может возникнуть ситуация при которой петли обратной связи начнут «сражаться» друг с другом, что в лучшем случае приведет к ухудшению качества звука и неравномерному распределению выходного тока, а в худшем – к нестабильной работе усилителя и его неминуемой поломке. Инженеры компании QSC обратились к блоку питания. Поскольку блоки питания на всех четырех модулях идентичны, соответственно можно предположить с большой долей вероятности, что источники возможных ошибок так же являются общими. Соответственно реакция отдельно взятой петли обратной связи будет одинакова, вне зависимости от модуля на котором она установлена. Инженеры компании QSC разработали глобальную петлю обратной связи, которая контролирует усилительные модули, суммированные параллельно. Отключая ненужные петли обратной связи, и четко отслеживая и исправляя возможные ошибки в работе усилительного модуля, данная система позволяет поддерживать качество звука на самом высоком уровне при любом комбинировании каналов.

## **Главный результат**

Естественно, ни один технологический прорыв, и ни одна новая идея не является важной, пока она не принесет ощутимую выгоду конечному пользователю. Конечно, разрабатывать новые системы усиления, это очень важно и необходимо, но не менее важно иметь очевидные преимущества для конечного пользователя, в случае новых серий PLD и CXD пользователь получает реальный, гибкий усилитель. Как упоминалось ранее, все усилители имеют ограничения по выходному напряжению и по

току, и эти ограничения и определяют мощность, которую усилитель может выдать на определенную нагрузку. График (рисунок А) показывает как себя ведет «обычный» усилитель. Усилители PLD и CXD в состоянии выдавать 100 Вольт (RMS) на нагрузку и 17,7 Ампер (RMS).

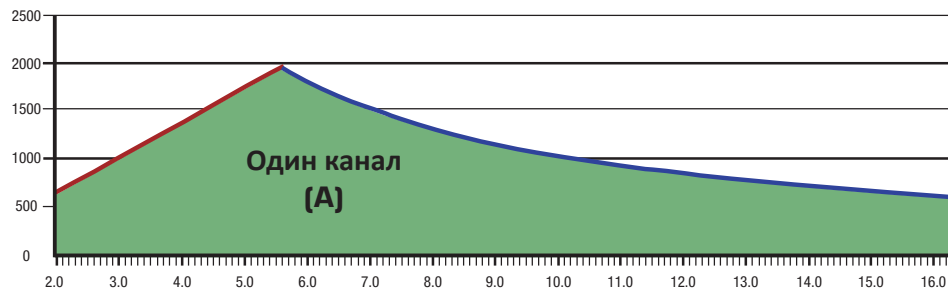


Рисунок А

Рисунок А показывает ограничение усилителя по выходному току и напряжению. Красная линия – показывает ограничения по току, синяя – по напряжению. На этом графике видно, что усилитель может выдать всего 600 Ватт при сопротивлении нагрузки 16 Ом, поскольку он имеет ограничение по напряжению. Тот же самый усилитель может выдать 600 Ватт на нагрузку сопротивлением 2 Ом, потому что имеет ограничение по выходному току. Иначе говоря, рабочая зона усилителя находится ниже этих двух кривых. Если мы объединяем два канала в режиме мост (последовательно), получая удвоение напряжения, синяя линия смещается вверх и вправо, как показано на рисунке В). Это означает увеличение мощности на более высоких сопротивлениях нагрузки, но не дает никакого прироста мощности при низком сопротивлении. Когда два канала суммируются параллельно, это удваивает выходной ток. Это показано на кривой синего цвета 100 Вольт RMS. В этом случае красная кривая смещается вверх и становится круче, давая возможность получать большую мощность на нагрузке с низким сопротивлением (Рисунок С).

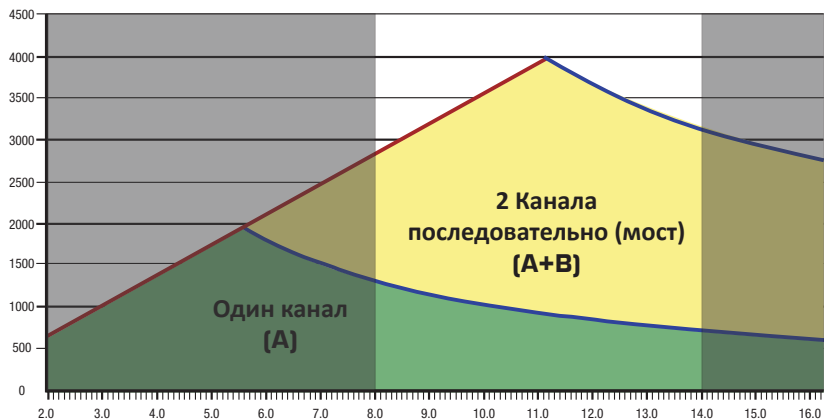


Рисунок В

3 или 4 канала параллельно (АВС, АВСD)

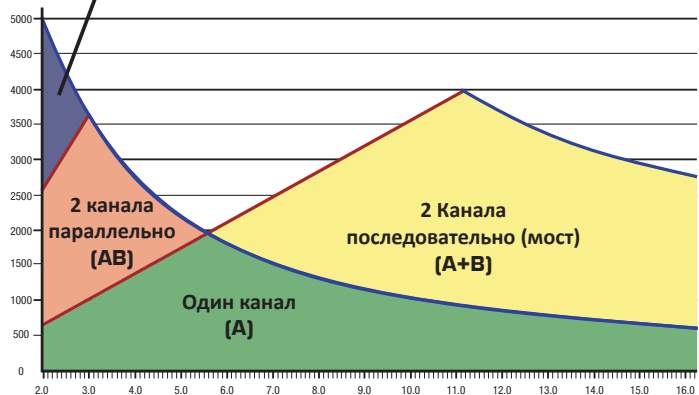


Рисунок С

В этом случае доступная мощность возрастает с 600 Ватт на 2 Ом до почти 2500Ватт. Аналогично в случае параллельного суммирования трех или четырех каналов. На самом деле в случае параллельного суммирования четырех каналов усилитель теоретически может безопасно работать с нагрузкой сопротивлением даже 10Ом.

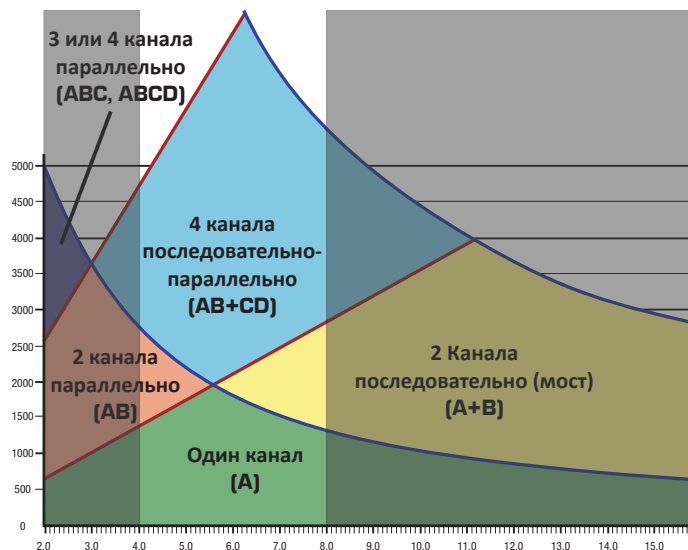


Рисунок D

Рисунок D иллюстрирует, что произойдет если суммировать каналы параллельно-последовательно, получив при этом удвоение как тока, так и напряжения. Этот режим дает возможность направить всю мощность на нагрузку сопротивлением от 4 Ом до 8 Ом. Это означает, что усилитель может эффективно работать с нагрузками сопротивлением 8 Ом, 4 Ом, и 2 Ом, только благодаря различным конфигурациям выходных каналов. Ну и рисунок E показывает, что блок питания усилителей серии PLD и CXD, может выдавать до 5000 Ватт мощности.

### Заключение

Подведем итог, технология динамического суммирования мощности (Flexible Amplifier Summing Technology (FAST) является сочетанием нескольких технологических новшеств, включая специально разработанный модуль усиления, единый модулятор, универсальная обратная связь, и точная синхронизация работы узлов. Сочетание этих новшеств дает возможность использования одного усилителя самыми разными способами, и на самых различных нагрузках сопротивлением 8 Ом, 4 Ом, 2 Ом, и даже 1 Ом. Усилители серий PLD и CXD являются первыми усилителями компании QSC, которые сочетают в себе столько технологических новинок.

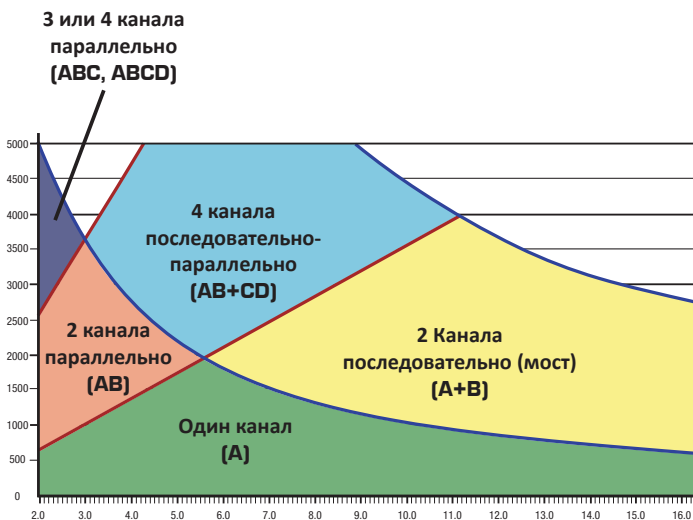


Рисунок E