

Фильтруй "базар"

(с)Юрий Петелин
<http://www.petelin.ru/>

Фильтрация... Вроде бы сугубо технический термин. Но, если вдуматься, все мы постоянно, ежесекундно что-то фильтруем: одни объекты выделяем, другие отбрасываем, одни явления признаем, другие игнорируем. Да и в житейском смысле важнейшим условием нашего сосуществования является соблюдение принципа: думай, что говоришь, не говори всего, о чем думаешь. В общем, "фильтруй базар".

Ничто в обществе и в природе не содержится в чистом виде. Сплошные примеси: недоброжелатели в людском окружении, реклама в телепередачах, дым в воздухе, грязь в воде, шум в звуке. Но где взять надежный критерий разделения на белое и черное того, что по своей сути серо?

И если в социальной сфере, увы, эффективные фильтры вряд ли существуют, то в технике кое-что подходящее придумано.

Эта статья посвящена фильтрам, предназначенным для разделения аудиосигналов на полезные и мешающие компоненты. Она завершает тему, связанную со спектральным представлением аудиосигналов при их обработке на компьютере с помощью звуковых редакторов (см. Магия ПК, №6/2002).

Речь пойдет о виртуальных фильтрах - алгоритмах преобразования оцифрованного звука, которые выполняются персональным компьютером. Внутри звуковых редакторов заложена сложнейшая математика, но внешняя сторона проста и понятна: интерактивные графики, поля ввода, виртуальные ручки регулировки. Программы эти доступны. На сайтах производителей вы найдете демоверсии, а на лицензионных (и не только) дисках - полноценно работающие образцы обыкновенного компьютерного чуда. Магия же программ заключается в том, что они позволяют делать со звуком все. Все из того, на что способны приборы, стоящие тысячи долларов, а также много такого, что аппаратным прототипам просто недоступно.

Под фильтрацией применительно к обработке аудиоданных понимается процесс преобразования электрического звукового сигнала частотноизбирательными устройствами с целью изменения спектрального состава (тембра) сигнала. Задачами такой обработки могут быть:

- Амплитудно-частотная коррекция сигнала (усиление или ослабление отдельных частотных составляющих)
- Полное подавление спектра сигнала или шумов в определенной полосе частот

Например, если микрофон, акустическая система или еще какой-либо элемент звукового тракта имеют неравномерную амплитудно-частотную характеристику, то с помощью фильтров эти неравномерности могут быть сглажены. Или, скажем, если в результате анализа спектра выяснилось, что в некоторой области частот сосредоточена в основном энергия помех, а энергии сигнала совсем немного, то посредством фильтрации все колебания в этом диапазоне частот можно подавить.

Для фильтрации созданы самые различные устройства: отдельные корректирующие и формантные фильтры, устройства для разделения звука на несколько каналов по частотному признаку (кроссоверы), фильтры "присутствия", многополосные регуляторы тембра (эквалайзеры), и т. д.

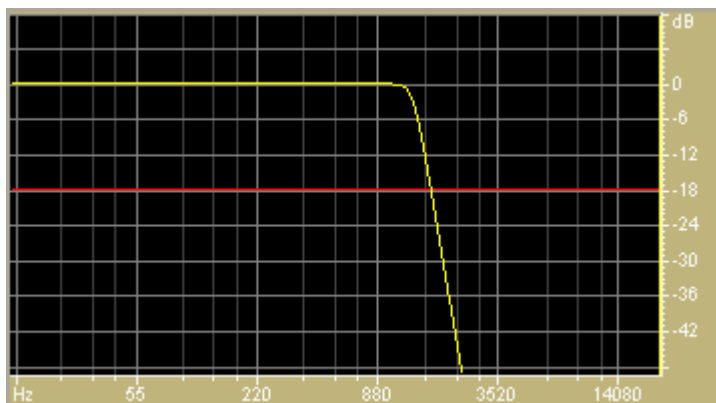
Изготавливают фильтры на основе либо колебательных звеньев, состоящих из катушек индуктивности и конденсаторов, либо так называемых гираторов, представляющих собой операционные усилители, охваченные определенными обратными связями.

Основой программных фильтров в составе звуковых редакторов служит спектральный анализ (см. Магия ПК №6/2002). Любой реальный сигнал может быть представлен в виде набора коэффициентов разложения в ряд по гармоническим функциям. Фильтрация сводится к

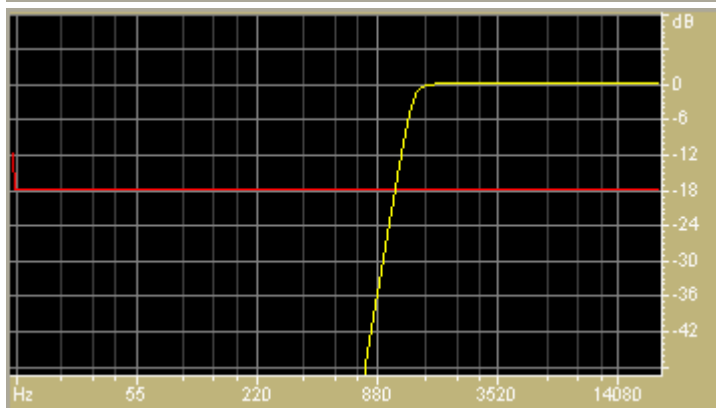
умножению спектральных коэффициентов на соответствующие значения передаточной функции фильтра. Сигнал описывается совокупностью амплитудного и фазового спектров (АС и ФС), а фильтры - амплитудночастотными и фазочастотными характеристиками (АЧХ и ФЧХ). АЧХ представляет собой зависимость коэффициента передачи фильтра от частоты, ФЧХ отражает сдвиг фазы выходного сигнала по отношению ко входному в зависимости от частоты. В этом случае фильтрация эквивалентна перемножению АС на АЧХ и алгебраическому сложению ФС с ФЧХ.

В зависимости от вида АЧХ различают:

- Фильтры нижних частот (ФНЧ) (Low Pass)
- Фильтры верхних частот (ФВЧ) (High Pass)
- Полоснопропускающие (полосовые) фильтры (Band Pass)
- Полоснозадерживающие (режекторные) фильтры (Band Stop)



(1)



(2)

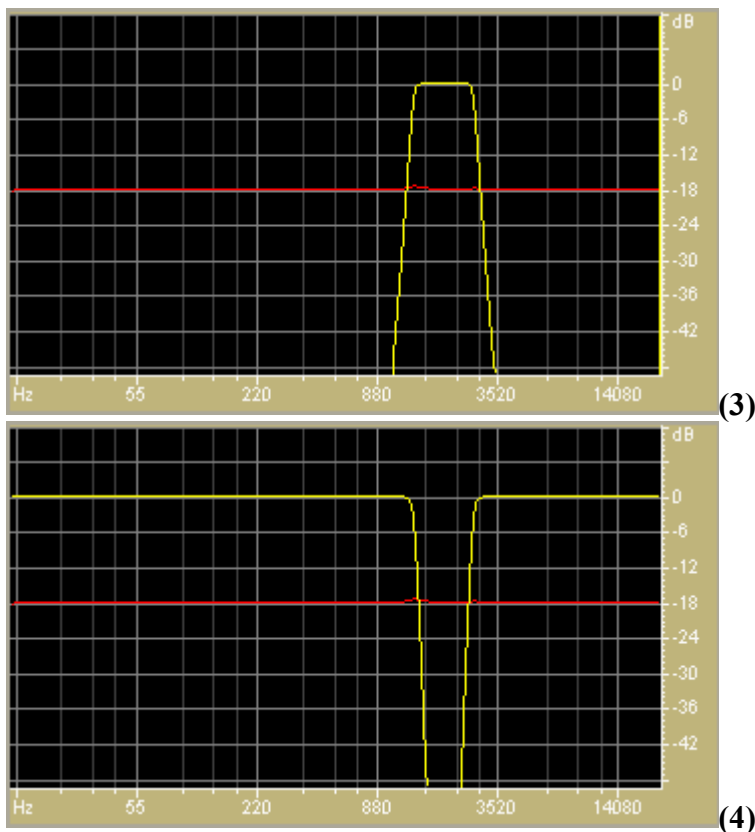


Рис. 1 - 4. АЧХ фильтров нижних частот, верхних частот, полосового и режекторного. По горизонтальным осям отложена частота, по вертикальным - значения передаточных функций

Тот участок АЧХ, где коэффициент передачи велик, приблизительно соответствует полосе пропускания фильтра. В полосе задерживания (подавления), напротив, этот коэффициент должен быть минимальным.

Реальные фильтры низких и высоких частот характеризуются такими параметрами, как частота среза (разграничивает полосы пропускания и подавления), неравномерность характеристик в полосе пропускания, крутизна ската характеристики в области перехода от полосы пропускания к полосе задерживания. Для полосового фильтра добавляются еще два параметра - ширина полосы пропускания (подавления) и добротность, то есть отношение центральной частоты фильтра к ширине полосы пропускания (подавления).

Пренебрежение влиянием фазочастотной характеристики фильтра на форму сигнала - весьма распространенная ошибка. Фаза важна потому, что сигнал, прошедший через фильтр без изменения амплитуды в полосе пропускания, может быть искажен по форме, если запаздывание при прохождении через фильтр не будет постоянным для разных частот.

Одинаковое время задержки соответствует линейной зависимости фазы от частоты.

На основе отдельных фильтров строятся эквалайзеры (equalizer, EQ), которые объединяют в себе несколько фильтров, предназначенных для изменения спектральных свойств (тембра) обрабатываемого сигнала. Существует два различных по назначению и по устройству типа эквалайзеров: графический и параметрический.

Графический эквалайзер

Это набор полосовых фильтров с фиксированными центральными частотами и переменным коэффициентом усиления, которым можно управлять при помощи слайдера (ползунка). В качестве регуляторов принято использовать именно слайдеры, так как их положение представляет собой некое подобие графика АЧХ эквалайзера. Пользователь как бы рисует слайдерами необходимую ему кривую АЧХ.

На вход группы включенных параллельно фильтров подается один и тот же сигнал, и задача каждого фильтра состоит в том, чтобы усилить или ослабить "свой" участок спектра в соответствии с положением регулятора коэффициента усиления.

Частоты регулирования в графических эквалайзерах унифицированы. Они выбираются из ряда стандартных частот, перекрывающих весь звуковой диапазон и отстоящих друг от друга на некоторый постоянный интервал. Этот интервал может составлять октаву, ее половину, треть. Наиболее широкие возможности, естественно, дают третьоктавные эквалайзеры.

В составе любого звукового редактора профессионального уровня обязательно найдется виртуальный графический эквалайзер.

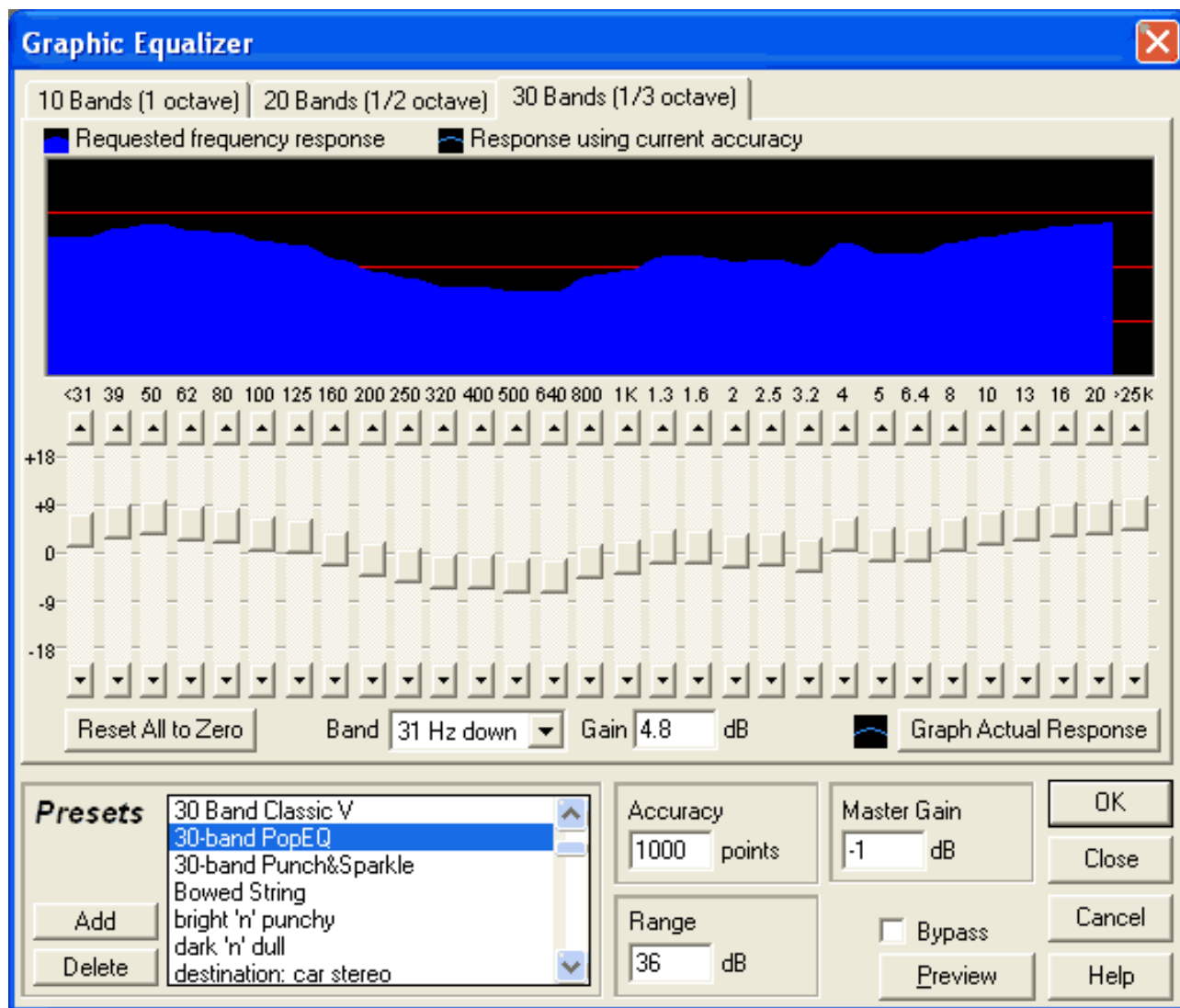


Рис. 5. Графический эквалайзер программы Cool Edit Pro 2

Графические эквалайзеры обычно применяются для "доводки" общей картины, обработки суммарного сигнала, а не отдельных составляющих. С помощью графического эквалайзера можно приблизительно сформировать необходимую АЧХ системы обработки звука или акустической системы: поднять усиление в одних областях спектра и уменьшить в других. Однако графический эквалайзер, даже многополосный, мало пригоден для ювелирной частотной коррекции. Ведь центральные частоты фильтров неизменны. Они могут и не совпадать в точности с теми частотами, на которых следует подчеркнуть или, напротив, подавить спектральные составляющие. В подобных случаях на помощь приходит параметрический эквалайзер.

Параметрический эквалайзер

Параметрический эквалайзер позволяет управлять не только коэффициентом усиления фильтра, но и его центральной частотой, а также добротностью (по сути дела, шириной полосы пропускания-подавления).

Для формирования АЧХ сложного вида применяются многополосные параметрические эквалайзеры, параметры каждого из них можно изменять независимо. В качестве примера приведу

семиполосный параметрический эквалайзер, реализованный в программе Cool Edit Pro 2. Эквалайзер с АЧХ, представленной на рисунке, позволяет реализовать интересный эффект: из обрабатываемого аудиосигнала выделяются колебания с частотами, которые соответствуют нотам для пяти соседних октав.

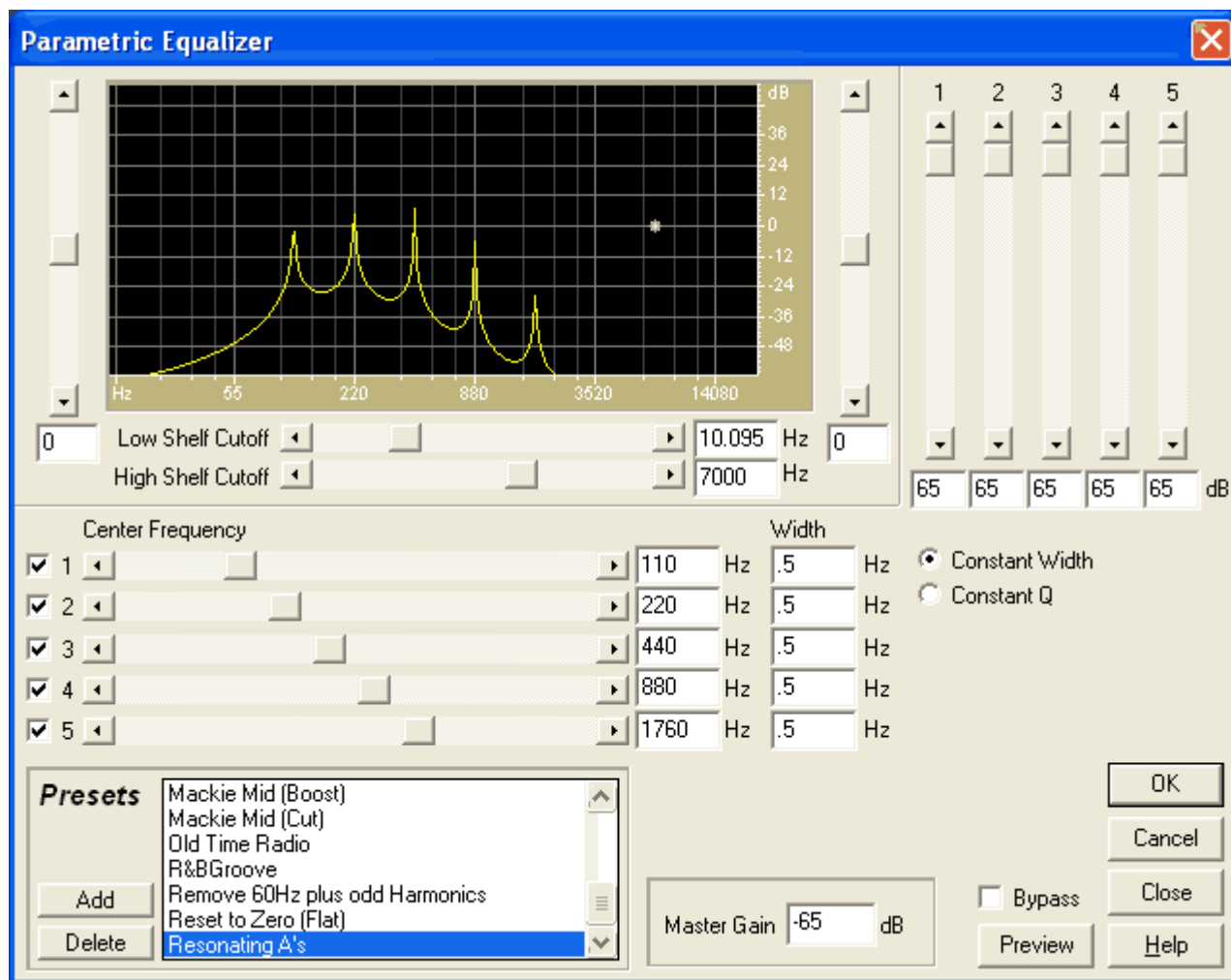


Рис. 6. Параметрический эквалайзер программы Cool Edit Pro 2

При наличии некоторого опыта вы сможете точно устанавливать значения параметров эквалайзера таким образом, чтобы подчеркнуть звук отдельного инструмента или удалить нежелательную помеху с минимальным влиянием на остальные элементы звукового образа.

В продвинутых современных звуковых редакторах можно задавать любую АЧХ эквалайзера, просто рисуя ее график. Для этого щелчками нужно создать на графике узловые точки, которые затем следует перетаскивать в пределах координатного поля. На рисунке показан фильтр, основанный на быстром преобразовании Фурье (БПФ). Представленная АЧХ позволяет подавить в записанном сигнале фон электросети (колебание с частотой 50 Гц и ряд его гармоник). Отдельные полосы подавления здесь столь узки, а скаты АЧХ столь круты, что составляющие полезного сигнала будут практически не затронуты, в то время как фон исчезнет полностью.

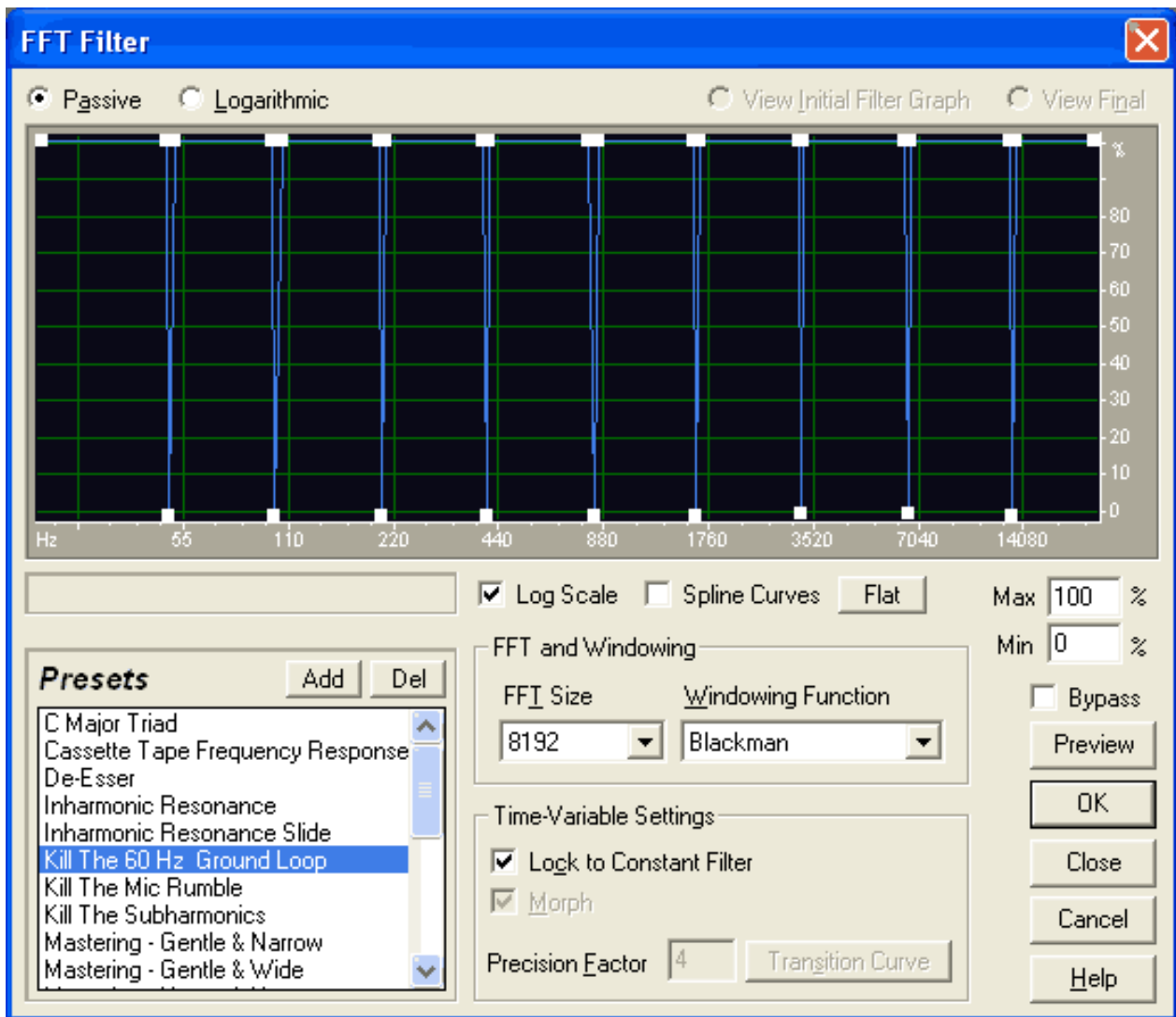


Рис. 7. БПФ-фильтр программы Cool Edit Pro 2

Программным путем реализованы и такие фильтры, "железные" аналоги которых либо вовсе не существуют, либо стоят бешеных денег. Вот только один пример - параметрический эквалайзер с динамическим управлением частотой настройки, усилением и полосой пропускания, входящий во все тот же звуковой редактор Cool Edit Pro 2.

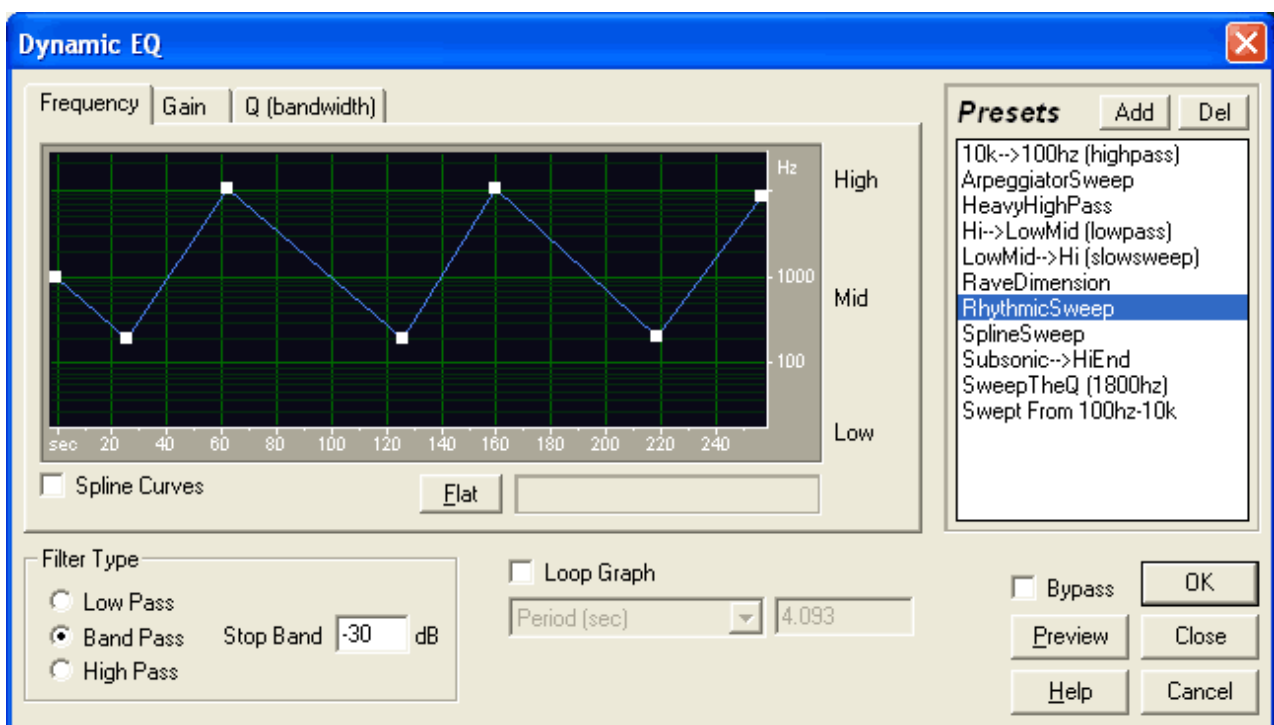


Рис. 8. Фильтр Dynamic EQ программы Cool Edit Pro 2

Графики изменения трех параметров фильтра должны нарисовать вы, а вот временной интервал, на который распространяется его действие, программа установит сама в соответствии с протяженностью выбранного участка фонограммы.

Практикум

Эквалайзеры применяют практически на любом этапе любого процесса обработки звука - от записи живого концерта до сведения многоканальной студийной записи. В основном их используют для того, чтобы исправить звуковой сигнал, который не соответствует определенным требованиям.

Специалисты советуют придерживаться нескольких золотых правил применения эквалайзера:

1. Маловероятно получение высокого качества звучания за счет изменения АЧХ в больших пределах. Таким путем звук можно только испортить.
2. Если какой-то из инструментов в миксе звучит неразборчиво, попробуйте "прибрать" определенные частоты в сигналах других треков.
3. Мешающие друг другу треки можно разделить, подчеркивая и вырезая в них частоты разных диапазонов.
4. Из треков, которые звучат "высоко" (например, гитара или железо ударной установки), обычно приходится вырезать высокие частоты и частоты выше средних, добавляя низкие и "низкие средние" частоты.
5. В звуке бас-гитары и бас-барабана есть смысл поднимать средние и высокие частоты. Это необходимо для того, чтобы их было слышно на системах с маломощными дешевыми динамиками.
6. Малый барабан и гитары будут звучать "теплее", если убрать высокие частоты и добавить немного низких средних.
7. Струнные и фортепиано редко нуждаются в обработке. Вырезать низкие и средние частоты из них есть смысл лишь в том случае, если инструменты исполняют фоновую партию.

Целесообразность применения эквалайзера для обработки голоса определяется характером вокала. Обычно приходится немного приподнимать средние и высокие средние частоты, а также вырезать определенные участки средних частот у звука гитар (на фоне гитар вокал "теряется").

Частотный спектр человеческого голоса можно условно разделить на три диапазона согласно входящим в них звукам - взрывным, гласным и шипящим. Взрывные звуки лежат в диапазоне от 125 до 250 Гц и обеспечивают разборчивость речи. На долю гласных, которые лежат в диапазоне от 350 до 2000 Гц, приходится максимальное количество голосовой энергии. Шипящие в диапазоне от 1500 до 4000 Гц несут сравнительно мало энергии, однако от них также зависит четкость и разборчивость речи.

Уменьшая уровень сигнала в области низких частот и поднимая его в диапазоне 1-5 кГц, можно повысить субъективно воспринимаемую четкость и разборчивость речи или вокала. Подъем частотной характеристики в области 100-250 Гц делает вокал гулким и "грудным".

Вырезание участка 150-500 Гц приводит к тому, что голос начинает звучать "как в трубе", открыто и пусто. "Провалы" отдельных участков АЧХ в диапазоне 500--1000 Гц делают голос жестче, а подъемы в области 1 и 3 кГц придают вокалу металлический "носовой" оттенок. Вырезание участков в диапазоне 2-5 кГц делает голос вялым, безжизненным и неразборчивым, а усиление частот 4-10 кГц приводит к появлению яркости.

Слишком большой подъем АЧХ в области 315 Гц-1 кГц приводит к неестественному "телефонному" звучанию, а в области 2-4 кГц может привести к маскированию таких звуков, как "М", "Б", "В".

Проще всего подчеркнуть голос, подняв в нем участок в области 3 кГц и вырезав этот же участок в звуке остальных инструментов.

Для любых частотных коррекций голоса следует пользоваться параметрическими эквалайзерами.

Кроссовер

Хотя кроссоверы и не являются эквалайзерами в строгом значении этого слова, их работа основана на тех же принципах. Кроссовер - это набор полосовых фильтров, который разделяет входной сигнал на несколько выходных, со своим строго определенным диапазоном частот.

Как известно, практически невозможно создать громкоговоритель, который одинаково хорошо воспроизводит бы частоты всех диапазонов - и высокие, и средние, и низкие. Поэтому для качественного воспроизведения звука во всем диапазоне обычно требуется несколько разных громкоговорителей. В простейшем варианте большой служит для воспроизведения низких частот, а маленький - для высоких. В высококачественных акустических системах к ним добавляется третий, воспроизводящий средние частоты. Естественно, на каждый необходимо подавать сигналы только в том диапазоне частот, на который он рассчитан. Для разделения широкополосного сигнала на несколько полос с разными частотами и применяются кроссоверы.

Пассивные кроссоверы (фильтры из конденсаторов, катушек индуктивности и резисторов) включают между выходом усилителя и громкоговорителями. Активные электронные кроссоверы (цифровые или аналоговые, построенные на операционных усилителях) обрабатывают сигнал, поступающий, как правило, с линейного выхода микшера, выхода устройства воспроизведения аудиосигнала или микрофонного усилителя. Сигналы с выходов кроссовера поступают на входы отдельных усилителей и только затем - на громкоговорители. Такие кроссоверы позволяют эффективно использовать мощность усилителей и акустических систем.

Без кроссовера не обойтись, если вы хотите получить звук высокого качества в концертном зале или на дискотеке. Однако, если учесть, что усиливаемый сигнал нужно подвергнуть динамической обработке и обработке эффектами, весь комплекс приборов оказывается очень и очень дорогим. Не на каждой концертной площадке и не всякая группа музыкантов может себе такое позволить. Что же делать? Естественно, применять компьютер. О программах для динамической обработки аудиосигнала я рассказал в одной из предыдущих статей, о виртуальных эффектах надеюсь рассказать в будущем.

Кроссовер появился в мультитрековом режиме звукового редактора Cool Edit Pro 2. Это виртуальный кроссовер способен распределять спектр сигнала на несколько частотных полос (от двух до восьми). Границы раздела полос вы можете ввести в соответствующих полях. Для того чтобы применить этот кроссовер, первым делом нужно импортировать трек, содержащий композицию, в мультитрековый редактор, затем выделить обрабатываемый блок и открыть окно Frequency Band Splitter.

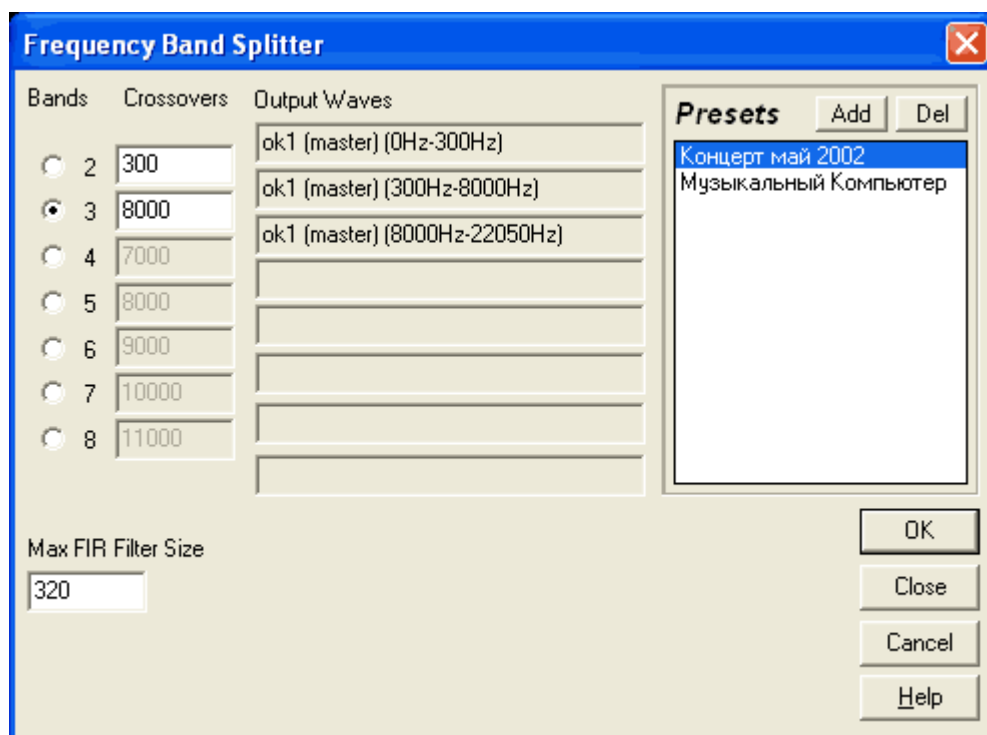


Рис. 9. Окно Frequency Band Splitter

Выбрав количество полос и необходимые значения граничных частот, нажмите ОК. После завершения расчетов в окне мультитрекового редактора один под другим появятся новые треки, соответствующие сигналам отдельных полос.

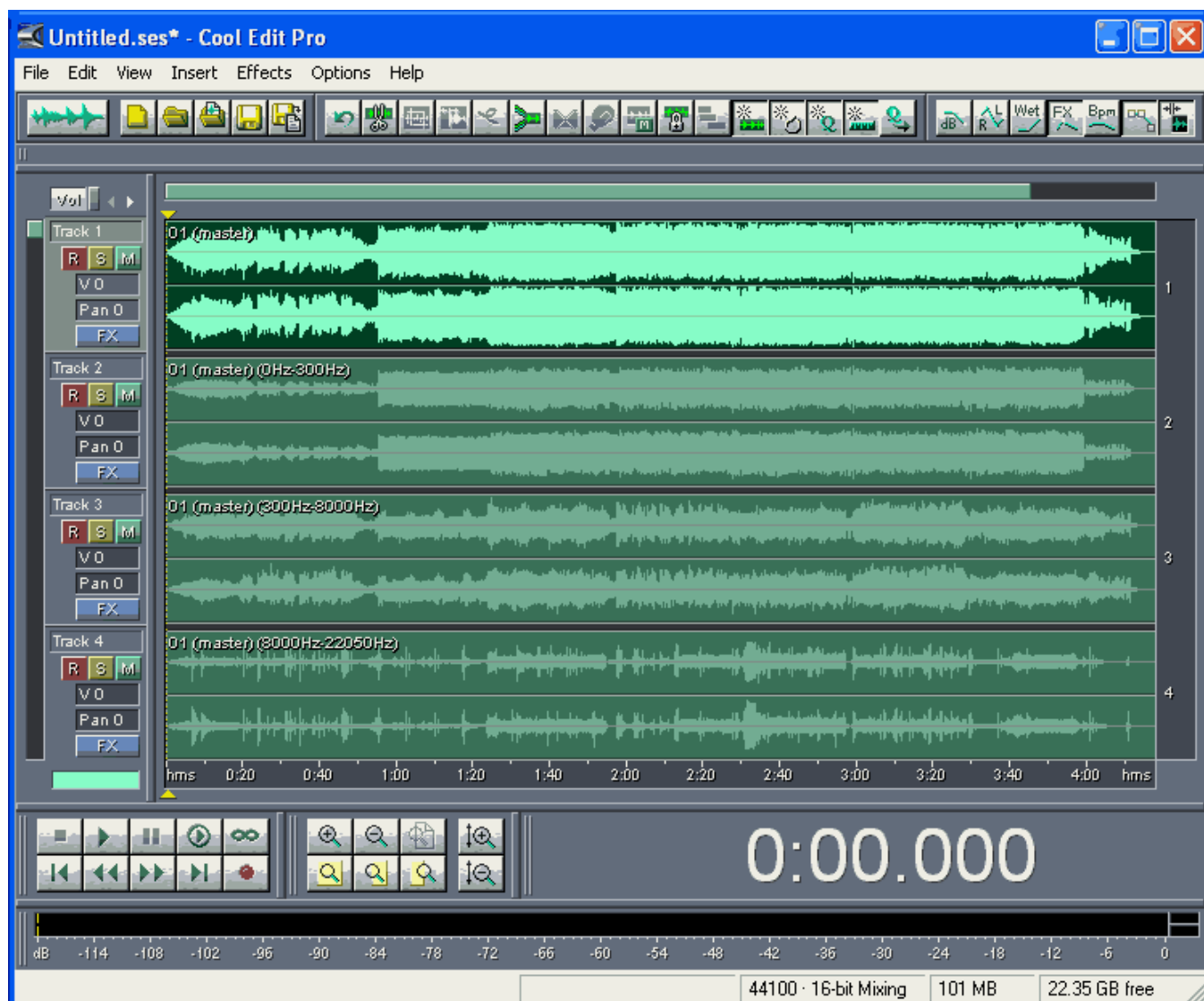


Рис. 10. Результат работы кроссовера: сверху трек с исходным сигналом, ниже - треки низкочастотной, среднечастотной и высокочастотной составляющих

Громкость звучания компонентов в каждой полосе можно регулировать независимо, добиваясь необходимого баланса. Для каждого трека нужно выбрать свой порт вывода аудиосигнала. Ясно, что одной обычной звуковой карты в данном случае недостаточно. Применять такой кроссовер можно только, если в компьютере установлена плата, содержащая многоканальный цифроаналоговый преобразователь. Подобные относительно недорогие устройства в продаже имеются.

Подробности о фильтрах и о записи музыки в домашних условиях вы найдете в книге "Cool Edit Pro 2. Секреты мастерства", а ответ на любой вопрос, касающийся применения ПК в музыкальном творчестве, - на нашем форуме.

Copyright © 2000-2003 WebSound.Ru