

Принцип действия Bucket Brigade Device

Александр МАХЛИН

В далеком 1969 году в недрах исследовательской лаборатории братьев Филипс родилась идея создать линию задержки на переключаемых конденсаторах. Собственно говоря, идея лежала на поверхности, а принцип действия такого устройства, вероятно, был выведен где-то между днем «изобретения» ведра для воды и первым пожаром. Ведь его назвали Bucket Brigade Device (BBD), что переводится на русский язык как пожарная цепочка (в данном случае имеется в виду цепь людей, которые передают ведрами воду для тушения пожара). Рассмотрим этот принцип на примере электрической цепи, состоящей пока из двух конденсаторов. Она изображена на рис. 1.

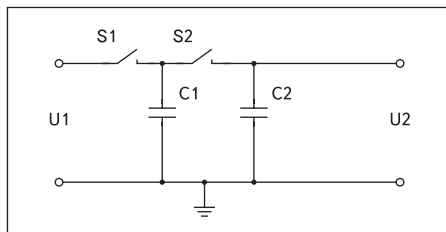


Рис. 1. Звено цепи BBD

Прежде чем начать, хотелось бы отметить, что данное устройство принадлежит к классу дискретно-аналоговых устройств. То есть сигнал в нем дискретизируется по времени, но не квантуется по амплитуде, как в цифровой технике. Итак, допустим, U_1 — это непрерывный аналоговый сигнал. Пусть в начальный момент времени ключ S_1 разомкнут, а S_2 замкнут. Оба конденсатора разряжены. В следующий момент состояние ключей меняется на противоположное. Конденсатор C_1 заряжается до среднего значения U_1 за время, пока S_1 замкнут. В третий момент времени состояние ключей снова меняется, и заряд с C_1 перетекает на C_2 . Далее цикл повторяется. Таким образом, через время T (период переключения) на выходе появляется тот же потенциал, какой был на входе.

Ни для кого не секрет, что в области обработки звука все большую популярность завоевывают цифровые эффект-процессоры, оставляя аналоговые устройства на «задворках истории». В данной статье рассказывается о нестандартном, комбинированном принципе реализации звуковых эффектов в аудиотехнике и не только.

Здесь и далее непременно следует учесть две особенности. Во-первых, сигнал является дискретным по времени и потому полностью подчиняется теореме Котельникова, то есть частота переключений должна быть как минимум в два раза выше максимальной частоты сигнала. Во-вторых, ни при каких условиях ключи не могут быть замкнуты оба одновременно.

Нетрудно догадаться, что два конденсатора не обеспечат задержку сигнала на сколь-нибудь значимое время. Поэтому применяют «пожарные цепочки», состоящие из 256, 512 и 1024 конденсаторов. А в качестве ключей применяются полевые транзисторы. Схема такого устройства изображена на рис. 2. VT1, VT3 и VT5 — ключевые транзисторы, а VT2 и VT4 — усилительные.

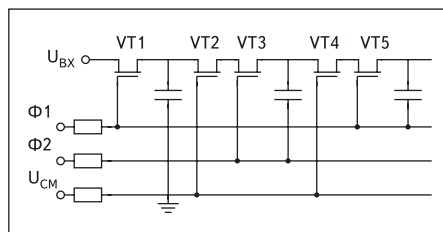


Рис. 2. Схема цепи BBD

Формула для расчета задержки в такой цепи проста: $t = N/f$, где t — время задержки, N — количество пар конденсаторов (ступеней), а f — частота переключения. Многие фирмы выпускают BBD в комплекте с двухфазным генератором, который вырабатывает неперекрывающиеся ортогональные по-

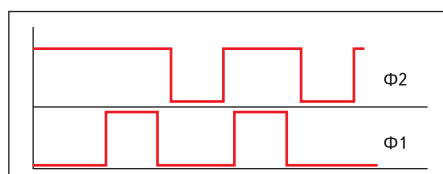


Рис. 3. Форма импульсов тактового генератора для управления BBD

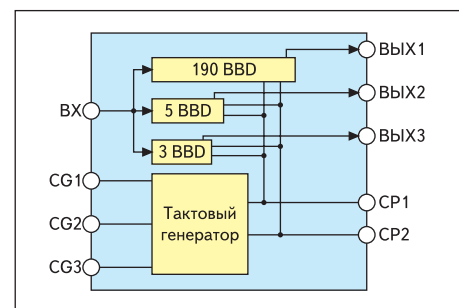


Рис. 4. Внутренняя структура микросхемы MN3012

следовательности импульсов, изображенные на рис. 3.

В качестве практического примера можно рассмотреть микросхему MN3012 фирмы Panasonic. На рис. 4 изображена блок-схема MN3012. Она содержит три линии задержки по 3, 5 и 190 ступеней BBD и тактового генератора. Микросхема обеспечивает задержку от 0,475 до 10 мс при максимальных верхних частотах входного сигнала от 100 кГц до 5 кГц соответственно. (Помните о теореме Котельникова!) При этом динамический диапазон составляет 98 дБ, а нелинейные искажения — всего 0,4%. Также важно отметить, что тактовый генератор, встроенный в микросхему, позволяет менять тактовую частоту в широких пределах (от 10 до 200 кГц), изменяя сопротивление внешнего резистора.

Несколько слов о способах применения линий задержки. Само по себе довольно «скучное» устройство — линия задержки — позволяет получить целый спектр ярких и глубоких звуковых эффектов, будучи подключенной по-разному. Самая простая схема — это преобразователь моно сигнала в стерео или устройство расширения стереобазы. Если входной сигнал монофонический, то работу устройства можно описать следующим образом: сигнал, смешанный со своей задержанной копией, поступает в левый канал, а в правый канал поступает смесь исходного сигнала с инвертированной задержанной копией. В обоих каналах задержка осуществ-

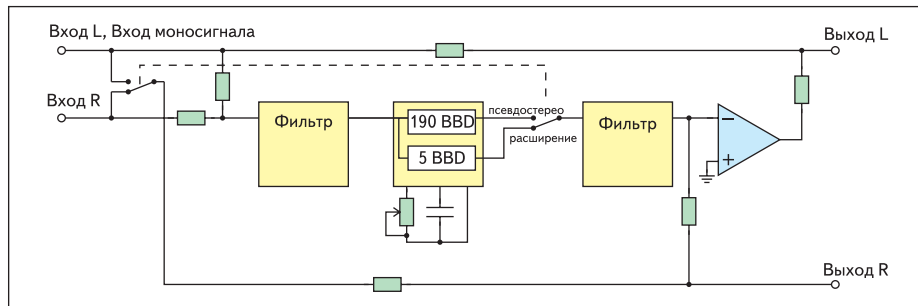


Рис. 5. Пример построения устройства звукового эффекта на MN3012

ется на 190-ступенной BBD. Этот метод позволяет достичь интересного пространственного звучания всегда монофонического музыкального инструмента. Если же входной сигнал уже стереофонический, то осуществляется задержка правого канала на пятиступенной BBD. Таким образом достигается эффект расширения стереобазы. Необходимо помнить, что верхняя граничная частота входного сигнала не должна быть больше половины частоты тактового генератора, а выходной сигнал BBD будет содержать избыточные высокочастотные составляющие, являющиеся следствием временной дискретизации. Поэтому на входе и на выходе линии задержки необходимо установить соответствующие фильтры. Практическая реализация такого устройства на микросхеме MN3012 изображена на рис. 5.

Следующее типичное применение — это построение ревербератора, устройства, ко-

торое имитирует акустику помещения. То есть когда звук многократно отражается от стен. Здесь уже необходима обратная связь с выхода на вход. Задержанный исходный сигнал приходит на вход, но уже ослабленным по амплитуде, и снова задерживается, пока не затеряется в шумах. На BBD строятся и многие другие звуковые эффекты. Эксперты отмечают более «теплое» звучание по сравнению с цифровыми эффект-процессорами. К достоинствам BBD можно отнести также низкую стоимость и простоту реализации в совокупности с высокой надежностью. Последнее позволяет использовать эти линии задержки в других приложениях с частотами сигналов до 1 МГц. Что же касается недостатков, то у Bucket Brigade Device он один, но значительный — низкое отношение сигнал/шум.

Хотелось бы отметить, что в России тоже разрабатываются микросхемы дискретно-аналоговой задержки сигналов, например,

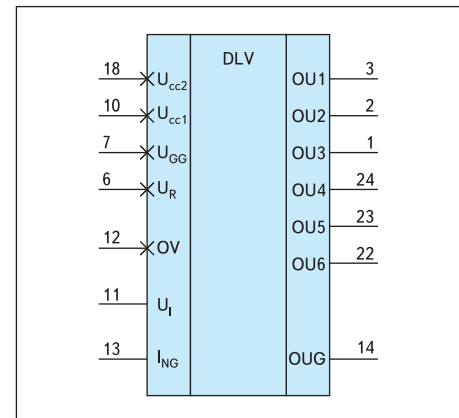


Рис. 6. Пример линии задержки российского производства

КР1016БР1. Здесь процитируем справочник: «Микросхема представляет собой дискретно-аналоговую линию задержки с шестью промежуточными выводами, обеспечивающими задержку на 196, 331, 597, 863, 1395, 1664 периода тактовой частоты, и предназначена для обработки сигналов в звукозаписывающей аппаратуре и электромузыкальных инструментах для создания звуковых эффектов реверберации и улучшения качества звучания. Содержит встроенный генератор тактовых сигналов, чем отличается от зарубежного аналога». Условное графическое обозначение показано на рис. 6. Следует отметить, что микросхема выгодно отличается от зарубежного прототипа. ■