

Rebote Delay 2.5

Автор: El Doc
10.06.2010 15:11 -

Эта весьма удачная конструкция, реализующая эффект задержки (Delay), довольно давно известна среди любителей-самодельщиков благодаря доступности деталей и простоте повторения, а также своеобразному звучанию. Это лоуфайный делей, со звучанием, похожим на работу старинных пружинных и ленточных линий задержки.

Данный проект посвящен разбору некоторых особенностей работы и конструкции данного деля.

Конструкция основана на широко распространенной и доступной микросхеме PT2399 фирмы Princeton Technology corp. (<http://www.princeton.com.tw>).

Техническое описание микросхемы PT2399 можно взять [здесь](#) .



PT2399 это микросхема реализующая цифровой эффект задержки сигнала, выполненная по CMOS-технологии и содержащая в себе встроенные АЦП и ЦАП. Такая интеграция дает определенные удобства при создании своих конструкций на базе этой микросхемы, так как отпадает необходимость применения отдельных преобразователей. Также в микросхему встроен собственный генератор тактовой частоты, регулируемый внешними времязадающими цепочками, что дает возможность легко изменять в достаточно широких пределах время задержки. Если судить по фирменному описанию, то основное применение этой микросхемы – создание простых схем для реализации деля и эхо-эффекта в системах домашнего караоке. Поэтому ее параметры на самом деле не так уж и высоки, хотя в техническом описании приведены такие высокие данные, как: уровень сигнал/шум данной микросхемы не менее 90дБ, коэффициент нелинейных искажений менее 0.5%. Но эти данные приведены при использовании в стандартных включениях, что подразумевает под собой весьма небольшие значения времени задержки. В случае применения в гитарной технике во многих случаях необходимо увеличить время задержки. Соответственно и увеличатся нелинейные искажения, вносимые прибором. Однако, об искажениях вносимых этой микросхемой в случае использования в схеме Rebote 2.5 далее будет сказано отдельно.

Здесь приведена цоколевка микросхемы (корпус DIP16) и блок-схема внутренней работы микросхемы:

Рассмотрим назначение выводов и работу микросхемы.

Вывод 1 (VCC) микросхемы предназначен для подачи питающего напряжения. Так как это цифровая микросхема то напряжение ее питания 5В. Питающее напряжение, подаваемое на эту ногу рекомендуется дополнительно фильтровать, размещая конденсатор емкостью около 100мкф, зашунтированный емкостью 100нФ, как можно ближе к самой микросхеме.

Вывод 2 (REF) на котором формируется опорное напряжение, составляющее ? напряжения питания (2.5В). Это напряжение необходимо для работы операционных усилителей и прочих аналоговых частей, входящих в состав РТ2399. Делитель напряжения, формирующий его, находится внутри микросхемы. Для нормальной работы микросхемы нам остается шунтировать одно из плеч этого делителя конденсатором – для этого обычно этот вывод соединяют с аналоговой землей схемы (выводом 3) через конденсатор 47мкф.

Вывод 3 (AGND) – аналоговая земля микросхемы. Дело в том, что поскольку РТ2399 содержит в себе встроенные АЦП и ЦАП, то она работает с аналоговым сигналом на входе и выходе, однако, имеется и цифровая часть микросхемы, которая имеет свою землю (вывод 4 - DGND).

Вывод 4 (DGND) – цифровая земля РТ2399. Весьма важно представлять себе различие между цифровой и аналоговой частями прибора и о том, что их земляные проводники совершенно не равнозначны. При использовании РТ2399 и разводке собственных плат с ее применением надо обращать внимание на этот факт. Цифровая земля должна быть соединена на плате только в одном единственном месте с аналоговой землей. Для удобства этого соединения разработчики микросхемы расположили цифровую и аналоговую землю рядом – на выводах 3 и 4. Естественно, что внешние контрольные элементы цифровой части микросхемы должны быть заземлены строго на цифровую землю, аналоговые ее части – на аналоговую землю. Пример правильной разводки земель – платы, которые предлагаются Вашему вниманию в данном проекте. Далее в описании проекта на это будет еще раз обращено Ваше внимание.

Вывод 5 (CLK_0) – выход встроенного тактового генератора микросхемы. Эта опция используется довольно редко. Она необходима если только Вы захотите синхронизировать работу этой микросхемы с работой какого либо еще цифрового устройства. По крайней мере, мне не попадались схемы с использованием этого вывода. В рассматриваемом проекте не используется

Вывод 6 (VCO) – контрольный вывод встроенного генератора тактовой частоты, как следует из его названия это VCO («Voltage-Controlled Oscillator» - генератор, управляемый напряжением). Сопротивление, находящееся между этим выводом и цифровой землей прибора задает частоту работы внутреннего тактового генератора и соответственно, время задержки. Установив здесь переменный резистор мы получаем возможность оперативного контроля за временем задержки, что и используется в большинстве проектов на PT2399.

Выводы 7 и 8 (CC0 и CC1) ответственны за дельта-сигма модуляцию/демодуляцию сигнала. ЦАП и АЦП PT2399 однобитные, наличие этих выводов позволяет получать доступ к каждому биту информации. В большинстве приложений этой микросхемы они не используются и шунтируются об аналоговую землю конденсаторами по 100нФ.

Выводы 9 и 10 (11 и 12) (OP1-IN /OP1-OUT и OP2-IN/OP2-OUT) образуют интеграторы входного и выходного сигнала. С вывода 12 (OP2-OUT) обычно снимается продукт работы микросхемы – аналоговый задержанный сигнал. Для нормальной работы PT2399 выводы 9-10 и 11-12 обычно замкнуты конденсаторами 82-100нФ.

Выводы 13 и 14 (15 и 16) (LPF2-IN/LPF2-OUT и LPF1-IN/LPF1-OUT) являются входами на встроенные в PT2399 операционные усилители и выходами с них соответственно. Обычно входной буфер собирают на LPF1-IN/LPF1-OUT, при этом с вывода 15 сигнал сразу поступает на АЦП микросхемы, на выходной же буфер на вывод 13 сигнал надо подать самим с вывода 12 (OP2-OUT). Кроме буферизации сигнала эти выводы носят название «Low-Pass Filter» (LPF), так как фактически между выводами IN/OUT образуется цепь обратной связи, которую можно сконструировать в зависимости от необходимых потребностей. Обычно в аудио-приложениях в качестве цепей обратной связи используются конденсаторы 560-1000 пФ, устраняющие избыток ВЧ частот, ухудшающий работу и само восприятие эффекта задержки.

В целом, рассмотрев работу микросхемы PT2399 надо признать, что ее разработчикам удалось создать весьма и весьма гибкий инструмент в виде одной интегральной микросхемы, за счет локализации вне корпуса большого числа функций контроля за ее работы.

Ниже представлено стандартное включение PT2399, взятое нами из технического описания фирмы Princeton Technology corp. Обратите особое внимание на различие обозначения на схеме аналоговой и цифровой земли и их расположение на схеме. На буферных выводах 15-16, 14-13 построены LPF фильтры. Резистор R является регулятором времени задержки.

Rebote Delay 2.5

Автор: El Doc

10.06.2010 15:11 -

Для данного включения РТ2399 имеется таблица характеристик, показывающая зависимость значения времени задержки (td, мс), частоты тактового генератора (fclk, МГц) и коэффициента нелинейных искажений (THD) в зависимости от значения сопротивления резистора R (Ком).

R	27.6K	21.3K	17.2K	14.3K	12.1K	10.5K	9.2K	8.2K
fclk	2.0МГц	2.5МГц	3.0МГц	3.5МГц	4.0МГц	4.5МГц	5.0МГц	5.5МГц
td	342мс	273мс	228мс	196мс	171мс	151мс	136.6мс	124.1мс
THD	1.0%	0.8%	0.63%	0.53%	0.46%	0.41%	0.36%	0.33
R	7.2K	6.4K	5.8K	5.4K	4.9K	4.5K	4K	3.4K
fclk	6.0МГц	6.5МГц	7.0МГц	7.5МГц	8.0МГц	8.5МГц	9.0МГц	10МГц
td	113.7мс	104.3мс	97.1мс	92.2мс	86.3мс	81мс	75.9мс	68.1мс
THD	0.29%	0.27%	0.25%	0.25%	0.23%	0.22%	0.21%	0.19
R	2.8K	2.4K	2K	1.67K	1.47K	1.28K	1.08K	894
fclk	11 МГц	12 МГц	13 МГц	14 МГц	15 МГц	16 МГц	17 МГц	18 МГц
td	61.6мс	56.6мс	52.3мс	48.1мс	45.8мс	43мс	40.6мс	38.5мс
THD	0.18%	0.16%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.14%	0.14
R	723	519	288	0.5				
fclk	19 МГц	20 МГц	21 МГц	22 МГц				
td	36.6мс	34.4мс	32.6мс	31.3мс				
THD	0.14%	0.13%	0.13%	0.13%				

Как видим нелинейные искажения имеют тенденцию к росту с ростом времени задержки. Как можно догадаться, это обусловлено ограниченным объемом ОЗУ микросхемы РТ2399. Очевидно, что РТ2399 не имеет фиксированной частоты семплирования, что потребовало бы соответствующего роста ОЗУ при увеличении времени задержки. Частота семплирования в таком случае определяется как отношение размера памяти и частоты тактового генератора, и она весьма невысока, особенно при большом времени задержки. Если размер памяти РТ2399 действительно 44К (как заявлено в техническом описании фирмы-производителя), то соответственно при задержке в 100мс мы получим всего лишь $44\text{K}/0.1 = 440 \text{ Кбит/с}$ (440000 одноканальных выборок в секунду, что дает при сравнении с 16 битной звуковой картой частоту дискретизации всего лишь 27.5кГц). Используя приведенную выше таблицу можно взять, например, значение времени задержки 171мс и тогда частота семплирования составит $44\text{K}/0.171 = 257\text{Кбит/с}$ (уже всего лишь 16кГц при сравнении с 16 битной звуковой

картой). Кстати частота семплирования (f_s) обычно кратна частоте тактового генератора f_{clk} и связана с ним соотношением $f_s = f_{clk}/16$. Это соотношение наблюдается для всех значений, приведенных в данной таблице.

Чтобы лучше понять значение параметров, приведенных в таблицу их взаимосвязь можно отобразить графически.

На данном графике приведена зависимость времени задержки от роста сопротивления R .

На данном графике приведена зависимость изменения тактовой частоты (в МГц) PT2399 от роста сопротивления R .

На данном графике приведена зависимость роста коэффициента нелинейных искажений THD (в процентах) от роста сопротивления R .

Из приведенных графиков можно сделать вывод, что нарастание времени задержки с ростом сопротивления резистора R происходит линейно (соответственно для регулировки потребуется переменное сопротивление с линейной характеристикой, группы В), кроме начального периода значений (до 1к), где изменение этой характеристики происходит логарифмически. С ростом сопротивления резистора R частота дискретизации падает в логарифмическом соотношении. Зависимость роста коэффициента нелинейных искажений THD от увеличения сопротивления R линейна (очевидно, только в области малых значений R , исследуемых нами).

Для создания полноценного гитарного деполя необходим диапазон задержки не менее 500-550 мс. Ясно, что такой диапазон регулировок нам может обеспечить применение в качестве резистора R переменного сопротивления номиналом около 50к. Применяя наши теоретические выкладки о линейной зависимости времени задержки от величины сопротивления R при его значениях больших 1к получим максимальное время задержки 630мс, что уже весьма немало. Коэффициент нелинейных искажений в данном случае

будет по нашим расчетам около 2%, на деле он все же повышается где-то до 3-5%.

Значения времени задержки менее 40мс обычно не представляют интереса при применении в качестве гитарной задержки, поэтому целесообразно ограничить этот диапазон постоянным резистором 1к поставленным последовательно с переменным сопротивлением.

В целом из указанных рассуждений можно сделать вывод о том, что делей, построенный на PT2399, будет довольно таки «лоуфайным», то есть повторения, даваемые микросхемой, будут отличаться от оригинального сигнала, это будут довольно таки значительные отличия, различимые ухом, степень искажения повторений будет возрастать с ростом времени задержки.

Однако если посмотреть на предпочтения музыкантов, то выяснится, что идеалом звучания многих являются винтажные конструкции типа пружинного или ленточного делея. Они звучат, по мнению большинства музыкантов, «мягко», «ненавязчиво», в отличие от мощных хороших современных цифровых делейев, которые буквально «стреляют», «выплывают» повторенный сигнал. В чем же тут дело?

На самом деле пружинный ревербератор, и в особенности, ленточный – это своеобразные «ухудшатели» звука. Принцип передачи сигнала и получения задержек в пружинном ревербераторе обязательно приводит к сужению динамического и частотного диапазона пропущенного через него сигнала. Это же касается и ленточного ревербератора (особенно характерно после определенного периода использования, когда в негодность приходят считывающие и записывающие головки и истирается постоянно прокручиваемое в нем кольцо магнитной ленты). Именно такие искажения повторяемого сигнала, значительное уменьшение в повторяемом сигнале высоких частот, его «замыливание» и приводит к формированию указанного звучания, столь ценимого музыкантами. В дорогих высококачественных цифровых процессорах, например G-Major есть специальные функции, при включении которых жесткий резкий звук цифрового делея «замыливается» и «смягчается».

Мягкость повторений (хотя если прислушаться на больших значениях задержки, то повторения сами по себе совершенно потусторонние, во многом состоящие из каких-то дующих шумов) – это исключительное отличие от BOSS DD-3 и Yerasov DM-5, с звучанием которых была возможность сравнить Rebote Delay 2.5. Повторения не выстреливают и не лезут в уши, изрядно напоминая старинный пружинный ревербератор.

Теперь перейдем от рассмотрения основных принципов и особенностей работы PT2399 и принципов построения линий задержки на ней непосредственно к самой конструкции Rebote Delay 2.5. Автором конструкции является Francisco Pena, основной схемой для нас послужит .pdf-документ, выложенный им на www.tonepad.com.

Схема Rebote Delay 2.5

Рассматривая схему можно заметить, что она состоит из PT2399, использованной в практически стандартном включении, и двух буферов, выполненных на сдвоенном операционном усилителе IC2.

Схема питается от источника 9В (адаптер или батарея). Для создания 5В, необходимых для питания микросхемы PT2399, использован интегральный малогабаритный стабилизатор напряжения 78L05

На первой половине сдвоенного операционного усилителя IC2 (в качестве него используется TL072) собран входной буфер. Ку его порядка 1, имеется «антизвонная» коррекция в ОС в виде 5пФ. С него сигнал подается на вторую половину ОУ (IC2a), а также на входной буфер линии задержки на PT2399. IC2a включен как сумматор напряжений, на котором происходит сложение прямого сигнала и продуктов работы задержки PT2399. Схема фильтра, собранная на входном и выходном буфере PT2399, имеет частоту среза фильтра около 1.7кГц. На выходе находится потенциометр REP (repeat или feedback), через который часть задержанного сигнала отправляется снова на входной буфер PT2399. Сразу после него задержанный сигнал поступает через регулятор громкости повторений LEVEL на суммирующий каскад на IC2a. Уровень основного сигнала и его частотные характеристики при прохождении через педаль практически не изменяются, поэтому на выходе педали отсутствует регулятор общей громкости.

Печатные платы

В [архиве](#) содержатся две печатные платы – оригинальная плата Rebote Delay 2.5, с Топерад перерисованная в формате Sprint Layout 5.0 и плата Long Manul, разработанная автором проекта.

Новые варианты печаток - [здесь](#) .

Особенности платы Long Manul – проект оформлен по принципу «все на плате» - то есть на плате помещаются и потенциометры и разъемы, как сигнальные, так и разъем питания, а также светодиод и кнопка. Плата рассчитана под установку в корпус Gainta G0124 (www.gainta.ru) и рассчитана на применение кнопки 3PDT. Переменные

резисторы устанавливаются на плате при помощи проволочных ножек (см. проект [G2D MORPHEUS](#)

). В отличие от оригинального проекта вместо двух конденсаторов по 47мкф на выводе 1 (VCC) микросхемы PT2399 установлен один конденсатор 100 мкф. Вместо электролитических конденсаторов по 1мкф применены пленочные. Исключена возможность питания от батарейки (отсутствие места в корпусе G0124).

Обратите внимание на то, как на оригинальной плате с Tonepad и плате Long Manul выполнена разводка земли – как проходят цифровая земля и аналоговая (обозначенные на принципиальной схеме как DGND и AGND), и в какой точке они соединяются между собой.

Будет довольно сложно найти в продаже конденсаторы емкостью 0.082мкф, как указано на оригинальной схеме, а также номиналом 0.027мкф. Вместо них с успехом можно использовать 0.1мкф и 0.022мкф соответственно (это, правда, несущественно снизит частоту среза фильтра). Можно вместо них поставить параллельно по две емкости – 68 нф + 22 нф, и 22 нф + 5.1(5.6) нф. Оригинальная печатная плата практически полностью рассчитана на использование низковольтных керамических конденсаторов (судя по размерам), что может сказаться не лучшим образом на звучании собранной конструкции.

Список деталей:

Резисторы

2 – 1k
1 – 2k7
8 – 12k
1 – 15k
3 – 24k
1 – 33k
1 – 47k
1 – 100k
1 – 240k
2 – 510k
1 – 1M

Резисторы переменные

1 – B25k – Repeat
1 – B50k – Delay
1 – B100k – Level

Конденсаторы

1 – 5п
1 – 51п
1 – 560п
1 – 1н
4 – 10н
1 – 22н (27н)
3 – 100н (82н)
4 – 100н
3 – 1мкф пленочные (либо электролиты 1.0 мф * 10В)

Rebote Delay 2.5

Автор: El Doc

10.06.2010 15:11 -

- 3 – 47 мф * 10В (5 шт. в случае оригинальной платы)
- 1 – 100мф * 10В (не нужен в случае оригинальной платы)

Операционники

- 1 – TL072

Цифровая линия задержки

- 1 – PT2399

Остальное

- 1 – 3PDT кнопка
- 1 – панель под микросхему DIP 8 pin
- 1 – панель под микросхему DIP 16 pin
- 2 – гнезда jack
- 3 – ручки
- 1 – разъем низковольтного питания, впаивающийся на плату
- 1 – светодиод 3мм яркий

Разметка отверстий на корпусе G0124 под установку платы Long Manul (чертеж не является разверткой для печати и засверливания по ней, размечайте согласно приведенным размерам!).

Внешний вид готового Long Manul

