Всем добра!

В этой статье речь будет идти об анализаторе спектра (спектроанализаторе) звукового сигнала – устройстве, которое из звукового сигнала выделяет отдельные частотные составляющие и отображает уровень каждой составляющей на индикаторе.

Этот спектроанализатор разрабатывался мной для встройки в стационарный усилитель звуковой частоты. Имеет он десять каналов выделения определенных частот из звукового спектра (32 Гц; 64 Гц; 125 Гц; 250 Гц; 500 Гц; 1 кГц; 2 кГц; 4 кГц; 8 кГц; 16 кГц), соответственно для каждого канала отводится столбик светодиодов на индикаторе. Частоты, лежащие между двух соседних каналов, подавляются не полностью и немного отображаются в обоих каналах. Также имеются два канала отображения общих уровней сигналов в левом и правом каналах усилителя. Отображаются все уровни на матричном светодиодном индикаторе.

Спектроанализатор построен на операционных усилителях, микросхемах КМОП-логики и дискретных активных и пассивных компонентах. За счет применения десяти отдельных полосовых фильтров и сумматоров было достигнуто хорошее разделение каналов, возможность независимо для каждого канала выбирать резонансную частоту, ширину полосы пропускания и усиление простым подбором резисторов и конденсаторов в соответствующих цепях входного каскада. С помощью цифровых микросхем реализована динамическая индикация, что существенно сокращает число необходимых компонентов в сравнении со статической индикацией, снижает потребляемый ток. Однако и яркость свечения светодиодов снижается пропорционально увеличению количества столбцов в матрице, генератор развертки является источником шума в сигнальном тракте, через светодиоды, хоть и недолго, течет большой ток, так что нужно внимательно подходить к выбору токоограничивающих резисторов и изучать документацию производителя светодиодов.

Для работы спектроанализатора нужен биполярный источник питания с напряжениями +5В и -5В в каждом плече соответственно. Отрицательный источник питает только входной каскад, поэтому от него потребляется сравнительно маленький ток равный 36,5 миллиамперам. С положительным источником питания дела обстоят иначе: он питает все блоки спектроанализатора и потребляемый от него ток может импульсно изменятся от 48,5 до 675 миллиампер. Чем больше светодиодов в матрице зажжено – тем больший ток потребляется. Чем больше разница в количестве зажженных светодиодов между соседними столбцами – тем круче будут импульсы потребляемого тока. Это обусловлено динамическим типом индикации.

Состоит спектроанализатор из трех основных блоков:

1. Блока входных усилителей и фильтров;
2. Блока управления индикацией;
3. Блока светодиодной матрицы.

Схема **первого блока** приведена на рисунке:

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*схема платы фильтров\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Состоит он из двенадцати отдельных каналов обработки сигнала: 10 каналов анализатора спектра и 2 канала индикатора уровня сигнала.

Звуковой сигнал от источника сигнала поступает на два входных буфера. Они развязывают источник сигнала от остальных каскадов, которые сильно нагружали бы его, искажая сигнал. С выходов буферов снимается и подается на амплитудные детекторы, общий уровень входного звукового сигнала.

Каналы анализатора спектра построены по одной схеме и отличаются лишь номиналами частотозадающих конденсаторов. Отдельный канал состоит из инвертирующего сумматора, полосового фильтра и амплитудного детектора. На рисунке приведена схема канала выделения частоты 16 кГц.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*схема 16 кГц канала\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Сумматор предназначен для объединения сигналов левого и правого каналов. На его выходе образуется сигнал с амплитудой равной сумме амплитуд сигналов из левого и правого каналов с дополнительной инверсией. Инверсия нужна потому, что следующий после него полосовой фильтр тоже построен по инвертирующей схеме. Для каждого канала анализатора спектра был применен отдельный сумматор, потому что хотелось иметь возможность регулировать усиление отдельно в каждом канале, а делать это в полосовом фильтре не влияя на его частотные характеристики не получится. Номиналы резисторов в сумматоре имеют величину в 100 кОм, что бы при параллельном соединении всех десять каналов их общее входное сопротивление было 10 кОм и несильно нагружало входные буфера.

Полосовой фильтр построен по самой классической схеме, описаний которой много в сети и литературе. Добротность каждого фильтра равна 5, что дало оптимальную ширину полосы пропускания, при которой частоты, лежащие между двух каналов, подавляются не полностью и отображаются немного в обоих каналах. Ширина полосы пропускания конкретного фильтра равна отношению его резонансной частоты к добротности. Усиление фильтра на резонансной частоте равно -1. Резисторы и конденсаторы фильтров требуют точного подбора номиналов. Если этого не сделать отклонение всех параметров фильтра может достигать 20% особенно на фильтрах с низкой резонансной частотой (это можно заметить на видеоролике в конце статьи т.к. мне лень было обмерять кучу планарных конденсаторов :Р ). При расчетах были использованы значения конденсаторов из стандартного ряда, а точные номиналы резисторов приведены в скобках рядом с ближайшим номиналом из ряда Е24.

Амплитудный детектор также построен по классической схеме и в пояснениях особо не нуждается. Построен он на германиевых диодах Д9. Их прямое падение напряжение, в сравнении с кремниевыми диодами, существенно меньше и составляет 0,15 – 0,3 В. Амплитудно-модулированное напряжение, поступающее с выхода фильтра, проходит через прямо включенный диод, где от него отрезается отрицательна составляющая, и подается на конденсатор. Конденсатор за каждый полупериод заряжается до амплитудного значения и разряжается через параллельно включенный резистор. В результате изменение напряжения на нем по форме совпадает с изменением амплитуды, то есть является огибающей амплитудно-модулированного входного сигнала. Изменяя номиналы конденсатора и резистора можно соответственно изменять скорость нарастания столбика и скорость спадания. Конденсатор большой емкости требует больше времени для заряда, соответственно и столбик на индикаторе будет дольше подниматься. А если уменьшить сопротивление резистора, шунтирующего конденсатор, то разряжаться он будет быстрее и индикатор будет быстрее гаснуть.

Все двенадцать сигналов собираются на входах двух аналоговых мультиплексоров. Адресные входы обоих мультиплексоров соединены так, что оба они работают как один мультиплексор с шестнадцатью входами. В зависимости от управляющего кода, генерируемого схемой управления индикацией, производится выбор одного конкретного канала и его сигнал подается дальше на схему аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Мультиплексоры размещены на плате входного каскада для того, чтобы не тянуть далеко 12 проводников с аналоговым сигналом. Цифровой код управления мультиплексорами более устойчив к помехам и требует меньше проводников для передачи сигнала.

**Второй блок** управляет процессом отображения значений амплитуды каждого сигнала на соответствующем месте индикатора. Состоит он из двух основных частей: АЦП в левом нижнем углу и схемы развертки в правом верхнем углу. Схема его показана на рисунке:

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*схема блока индикации\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Аналого-цифровой преобразователь построен по самой простой схеме – прямого преобразования. 16 операционных усилителей сравнивают сигнал, который приходит от мультиплексоров на инвертирующие входы, с опорным напряжением, которое формируется резисторами R88 – R105 и стабилитроном VD25. В состоянии покоя на выходах всех ОУ напряжение близкое к напряжению питания и транзисторы VT1 – VT16 закрыты. Как только входное напряжение начинает нарастать и превысит порог срабатывания нижнего по схеме ОУ, напряжение на его выходе станет близким к потенциалу общего провода и транзистор VT16 откроется. Ток от источника питания потечет через переход эмиттер-коллектор транзистора, токоограничивающий резистор и поступит аноды нижнего ряда светодиодов. При дальнейшем увеличении входного напряжения вышеописанные действия произойдут и с другими ячейками АЦП. Опорные напряжения для каждого ОУ выбраны так, что уровню 0 дБ соответствует сигнал с амплитудой в 1 В, а пределы шкалы индикатора по вертикали составляют от -39 дБ до +4 дБ. Резисторы, которые задают опорные напряжения для операционных усилителей, так же нужно выбрать максимально близко к указанному на схеме значению. Без подбора отклонение шкалы может достигать ±2 дБ.

Схема развертки формирует управляющие сигналы для мультиплексоров и дешифраторов двоичного кода. Состоит она из генератора прямоугольных импульсов частотой 300 Гц на элементах DD1.2 – DD1.4 и двоичного счетчика DD2. Двоичный счетчик по спадающему фронту тактового сигнала, формирует на своих выходах прямоугольные импульсы с частотой меньше входной в два, четыре и восемь раз. В результате на контактах разъема XP3.2 и на адресных входах дешифраторов имеется двоичный код. Сигнал на 9 контакте этого разъема находится в противофазе с сигналом на контакте 8. Пара этих сигналов поступает соответственно на нижние и верхние, по схеме, мультиплексоры и дешифраторы и является сигналами разрешения их работы.

Пара двоично-десятичных дешифраторов управляет столбцами светодиодной матрицы. Их входы соединены также как и у мультиплексоров, и работают они так же в паре. В соответствии с кодом на входах на одном выходе дешифратора появляется напряжение логической единицы, которое открывает транзистор, и катоды светодиодов соответствующего столбца подключаются к общему проводу. Если при этом транзисторы на выходах АЦП были открыты, то светодиоды в столбце зажгутся. На выводе 1 нижнего дешифратора формируется сигнал сброса счетчика. После того как последний, двенадцатый, канал будет опрошен, логическая единица на короткое время перейдет с выхода o3 дешифратора DD6 на выход o4, что приведет к сбрасыванию счетчика и цикл опрашивания каналов начнется сначала. Переключение столбцов, а соответственно и выбор каналов мультиплексорами, происходит с частотой 50 Гц. При меньшей частоте глаз начнет замечать переключение столбцов светодиодной матрицы, особенно при искусственном освещении, а при большей частоте яркость светодиодов будет снижаться из-за уменьшившегося времени свечения.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*диагармма\*\*\*\*\*\*\*\*\*

На диаграмме видно как происходит переключение столбцов светодиодной матрицы. Светодиоды в столбце вспыхивают на 1.666 миллисекунды каждые 20 миллисекунд, а значит, почти 92% времени светодиоды не горят. Это дает возможность подавать на светодиод ток значительно больший от номинального – время свечения светодиода очень мало и он просто не успеет сгореть от перегрева.

**Третий блок** не содержит ничего особо интересного. Это просто матрица 16х12 из 192 светодиодов.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*схема блока индикаторов\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Анодами светодиоды соединены в ряды, а катодами - в столбцы. Если ток будет втекать, например, в 4 ряд и вытекать через 7 столбец, то светодиод на месте их пересечения будет гореть. Соответственно, быстро переключая ряды снизу вверх и столбцы слева направо, на индикаторе увидим линию по диагонали.

Собран девайс на трех платах 58.95 х 195.5 мм, которые соединяются стопкой посредством разъемов PLS-PBS. Печатные платы проектировались «под себя». Их размеры и расположение некоторых элементов и узлов были продиктованы условиями эксплуатации. В частности на палате светодиодных индикаторов имеется посадочное место под инфракрасный приемник сигналов ПДУ, а также 13 посадочных мест под светодиоды индикации различных режимов работы и состояния блоков УНЧ. Платы двухсторонние, большинство используемых компонентов рассчитано на поверхностный монтаж. Разводились платы в Sprint Layout 5.0. Ниже можно лицезреть скриншоты плат из редактора, а также фотографии уже готовых плат, переживших несколько уже несколько переработок и модификаций. Изготовление каждый раз новой платы требует слишком много времени и материалов, поэтому на свободных, от компонентов и проводников, местах я оставляю полигоны меди, на которых потом вручную можно вырезать дорожки распаять небольшие узлы.

**Настройка** прибора производится после запайки всех элементов, проверки качества соединений и правильности установки каждого компонента. Далее необходимо соединить платы первых двух блоков (блока входных фильтров и блока управления индикацией). После можно подавать питающие напряжения (+5 В и -5 В), включив последовательно в цепи питания пару миллиамперметров и контролируя потребляемый ток, он должен быть в пределах от 30 до 50 мА по каждому из источников питания. Далее необходимо установить частоту генератора развертки, подсоединив осциллограф к 4 контакту разъема XP3.2, подстроечным резистором R138 устанавливаем частоту импульсов равной 300 Гц, их амплитуда должна составлять 5 В, а скважность – 50%.

Для проверки работы дешифраторов и транзисторных ключей на их выходах необходимо между коллектором любого из транзисторов VT17 – VT28 и источником положительного питания включить резистор сопротивлением 1 кОм. Подключив осциллограф, параллельно этому резистору (плюсом входа к источнику положительного питания, а минусом входа к коллектору транзистора) на экране должны появиться короткие импульсы длительностью 1,666 мс и частотой 50 Гц.

Проверка работы АЦП начинается с установки резистором R105 опорного напряжения 1,584 В на выводе 3 микросхемы DA7. Это можно сделать двумя способами: припаять на месте R105 подстроичный резистор сопротивлением 2 кОм, установить им требуемое напряжение, а потом, измерив его сопротивление, заменить его постоянным резистором соответствующего, или близкого, номинала; или же измерить точное значение напряжения на стабилитроне и отняв от него 1,584 В, рассчитать сопротивление резистора R105 при помощи закона Ома. Когда опорное напряжение на выводе 3 DA7 будет установлено, нужно убедиться, что опорные напряжения на остальных операционных усилителях соответствуют значениям, указанным на схеме. После можно подать на выводы 1 – 3 разъема XP3 небольшое напряжение, 0,05 – 1 В, и убедится что на выводах разъема XS4 появляется +5В.

После проведения вышеописанных проверок можно, предварительно отключив оба источника питания, наконец, подключить плату со светодиодным индикатором. После подключения платы одновременно подаем оба питающих напряжения, при этом вся матрица светодиодов, на полсекунды, загорится и быстро погаснет сверху вниз. Если дотронуться пальцем до контактов входного разъема на индикаторе должны зажечься светодиоды в нижних рядах, это будет свидетельством исправной работы устройства. Наконец, можно подать на вход звуковой сигнал с максимальной амплитудой в 1 В и убедится в работе сепктроанализатора. Также можно подать на оба входа синусоидальный сигнал, амплитудой 500 мВ и изменяя его частоту от 20 Гц до 20 кГц проверить соответствие резонансных частот фильтров.

На этом настройку можно считать законченной, а спектроанализатор готовым к внедрению в усилитель звуковой частоты или другое прибор работающий со звуком.