

Использование программы SpectraLAB на практике

Глава 1. Использование программы SpectraLAB на практике

Эта статья — один из фрагментов книги «Проектирование схем на компьютере», подготовленной автором этой статьи К. С. Наседкиным в соавторстве с Е. Васильченко. Книга готовится к выпуску в издательстве «СОЛОН-Пресс». Как и эта статья, только в более широком объеме, она рассказывает не только о том, как моделировать работу схем, измерить и рассчитать их элементы, но и как заменить компьютером весь комплекс приборов, необходимых при настройке устройств.

1.1. Краткий обзор использования компьютера в радиолюбительской практике

Для моделирования работы схемы в процессе ее разработки в любительской практике часто используются программы Electronics Workbench (EWB, <http://www.interactiv.com>), Micro-Cap (<http://spectrum-soft.com>) или OrCAD (<http://www.orcad.com>) — они наиболее доступны и просты для освоения. Имеется еще много других более сложных программ моделирования, в том числе таких, которые включают в себя целый ряд специальных дополнительных функций — проектирование печатных плат, разработка сложных систем программируемой логики, моделирование микропроцессоров и их связи с периферией, разработка электронных компонентов микроволнового и СВЧ-диапазонов и т.д.

Наиболее проста в работе версия 5.12 программы EWB (более поздние версии этой программы уже значительно сложнее). Программа EWB v.5.12 [1] легко осваивается, удобна в работе. После представления на экране электронной схемы моделирование начинается щелчком обычного выключателя питания, изображенного на интерфейсе. В отличие от других программ на экран выводятся изображения измерительных приборов, максимально приближенных по внешнему виду и характеристикам к их промышленным аналогам.

Пользователю не надо изучать правила составления заданий на Моделирование. Достаточно составить схему из нужных элементов (методом «нажми и тащи»), разместить на ней измерительные приборы, и после щелчка он увидит характеристики своей схемы, все сведения о напряжениях и токах, можно получить много других данных, воспользовавшись программами анализа (Analysis) из меню EWB.

Таким образом, радиолюбитель с помощью этой программы может получить исходные данные для повторения (часто на схемах отсутствует указание режима элементов по постоянному току и практически всегда по переменному) или разработки различных схем. Следует иметь в виду, что ни одна из существующих программ моделирования схем не может обеспечить необходимой точности для выбора элементов схемы, которые бы обеспечивали «идеальную» работу усилителя. Настройку приходится выполнять уже на собранном усилителе на слух и/или с помощью других программ, например SpectraLAB.

Программы моделирования позволяют выбрать наилучшую (с точки зрения радиолюбителя) схему, понять, какие элементы и их параметры влияют на работу каскада или всей схемы. Это крайне необходимо знать при определении настроечных элементов в схеме и при «идеальной» отладке устройства. С этой задачей EWB, несмотря на ее простоту, справляется весьма успешно.

К недостаткам программы EWB относится невозможность введения в нее других математических моделей электронных компонентов, кроме заданных в программе, что несколько сказывается на точности моделирования, например, радиоламп. В результате этого низка точность определения при моделировании ламповой схемы коэффициента нелинейных искажений (опция Fourier).

Программы Micro-Cap [2] и OrCAD этого недостатка не имеют. В них можно использовать более сложные математические модели радиоламп и других компонентов, которые появились в последнее время и позволяют моделировать схемы с большей точностью (<http://www.normankoren.com/Audio>; <http://www.birotechnology.com/articles>; <http://www.next-power.net/next-tube/ru>; <http://www.duncanamps.com>; <http://www.intusoft.com> и др.).

Как правило, числовые коэффициенты математических моделей компонентов рассчитываются в математических программах Matlab, MatCAD [4] и других по значениям, определенным в ряде точек на характеристике электронного компонента. В этих же программах можно также разрабатывать отдельные каскады схемы, выбирая наиболее оптимальный режим ее работы (<http://www.next-power.net/next-tube/ru> и т. д.). Некоторые программы моделирования позволяют для отдельных электронных компонентов создавать модель по введенным в них характеристикам компонента, например Micro-Cap.

Существует целый ряд программ, предназначенных для моделирования отдельных каскадов электронных устройств, например: PSUD (схемы выпрямителей, <http://www.duncanamps.com>), TUBECAD (линейные каскады ламповых усилителей, <http://www.glass-ware.com>), SEAMPCAD (однотактные выходные каскады ламповых УНЧ, <http://www.glass-ware.com>), фильтров (Filter Wiz PRO) и т. д. Эти программы, как правило, очень удобны для моделирования, очень легки в освоении и работе, но имеют целый ряд ограничений, например в выборе схем или электронных компонентов (они, как правило, жестко заданы). Тем не менее эти программы можно использовать при моделировании схем с большой пользой, если их ограничения вам не мешают.

Программы, позволяющие производить измерения в аппаратуре и ее настройку, работают с использованием: приставок с аналого-цифровым преобразователем [3], подключаемым к последовательному или параллельному портам компьютера или через звуковую карту.

Примером программы, использующей устройство с аналого-цифровым преобразователем, может служить VirtualBench, которая содержит 10 готовых виртуальных приборов: осциллограф, динамический анализатор сигналов, генератор сигналов произвольной формы, генератор функций, цифровой мультиметр, таймер, анализатор логики, редактор формы волны, калибратор устройств. Имеется целый ряд других программ разной степени сложности, которые позволяют с помощью устройств с аналого-цифровым преобразователем измерять ток, давление, температуру, регистрировать на экране или принтере сигналы с частотой от одного измерения в миллисекунду до одного измерения в несколько дней и т. д.

Примером программ, которые используют звуковую карту компьютера, является SpectraLAB. Эта программа также предоставляет очень большие возможности для работы с радиотехническими устройствами. Недостатки программ, работающих со звуковой картой, определяются ее конструкцией: ограничение частотного диапазона (20...22000 Гц) и невозможность измерений на постоянном токе. С помощью программы SpectraLAB можно проводить измерения и отдельных деталей конструкции с неплохой точностью — трансформаторов, индуктивностей, конденсаторов.

Существуют и специальные программы для измерения деталей с использованием звуковой карты (индуктивностей, емкостей и сопротивлений), например MM (<http://www.i-adrian.home.ro>).

Программа SpectraLAB и другие используют для своей работы дуплексную звуковую карту компьютера. Карта должна быть достаточно хорошего качества и пригодна для использования при измерениях. Как правило, карты дороже \$40—50 удовлетворяют этим требованиям, а вот из более дешевых карт приходится выбирать подходящую. Измерение параметров звуковой карты можно провести в программе SpectraLAB или в специальных программах для измерения параметров карт, например RightMark Audio Analyzer (<http://audio.rightmark.org>).

Для составления программ различных расчетов, например трансформаторов или электрических цепей, чаще всего используют программу Microsoft Excel. При сложных математических расчетах в радиотехнике применяются математические программы Matlab, MatCAD и др.

Все программы для работы радиолюбитель может найти на выпускаемых в России CD-ROMах или в Интернете. Кроме того, в Интернете можно найти электронные копии вышедших книг и журналов по радиотехнике, схемы любительских и промышленных устройств, параметры электронных компонентов и многое другое.

Поиск в Интернете можно вести на поисковых сайтах, например Yahoo, Alta Vista, Rambler, Jandex, FTP Search; сайтах с программным обеспечением, например <http://www.freesoft.ru>, <http://www.freeware.ru> или на специальных радиолюбительских сайтах, например <http://qrz.ru>, <http://www.rlozman.com.ru>, сайтах радиотехнических журналов и др. Многие из них содержат страницы ссылок и софта. Поэтому достаточно найти несколько радиолюбительских сайтов по интересующей тематике, чтобы потом, следуя указаниям их ссылок, найти массу информации, которой может оказаться даже больше, чем на поисковых сайтах общего назначения по этой теме. Очень много полезных сведений можно почерпнуть также из радиолюбительских конференций NEWS.

1.2. Краткое описание программы SpectraLAB

SpectraLAB (Sound Technology Inc., ver. 4.32.13) — двухканальный (стерео) анализатор спектра и

осциллограф со встроенным генератором сигналов (рис. 1.1). В настоящее время имеются более свежие программы: SpectraPLUS (v.2.32.04), усложненная SpectraPRO (v.3.32.17) и еще сложнее SpectraLAB (v.4.32.17) (<http://www.soundtechnology.com>). Фирма предоставляет для этих программ 30 дней бесплатного использования. Программы работают со звуковыми картами в среде Windows 95/98/NT (более свежие и с Windows 2K/ME/XP), (обеспечивая опция Mode):

- Real-Time spectral analysis (спектральный анализ в реальном масштабе времени);
- Recording (регистрацию сигналов);
- Post-Processing (последующую обработку записанных сигналов).

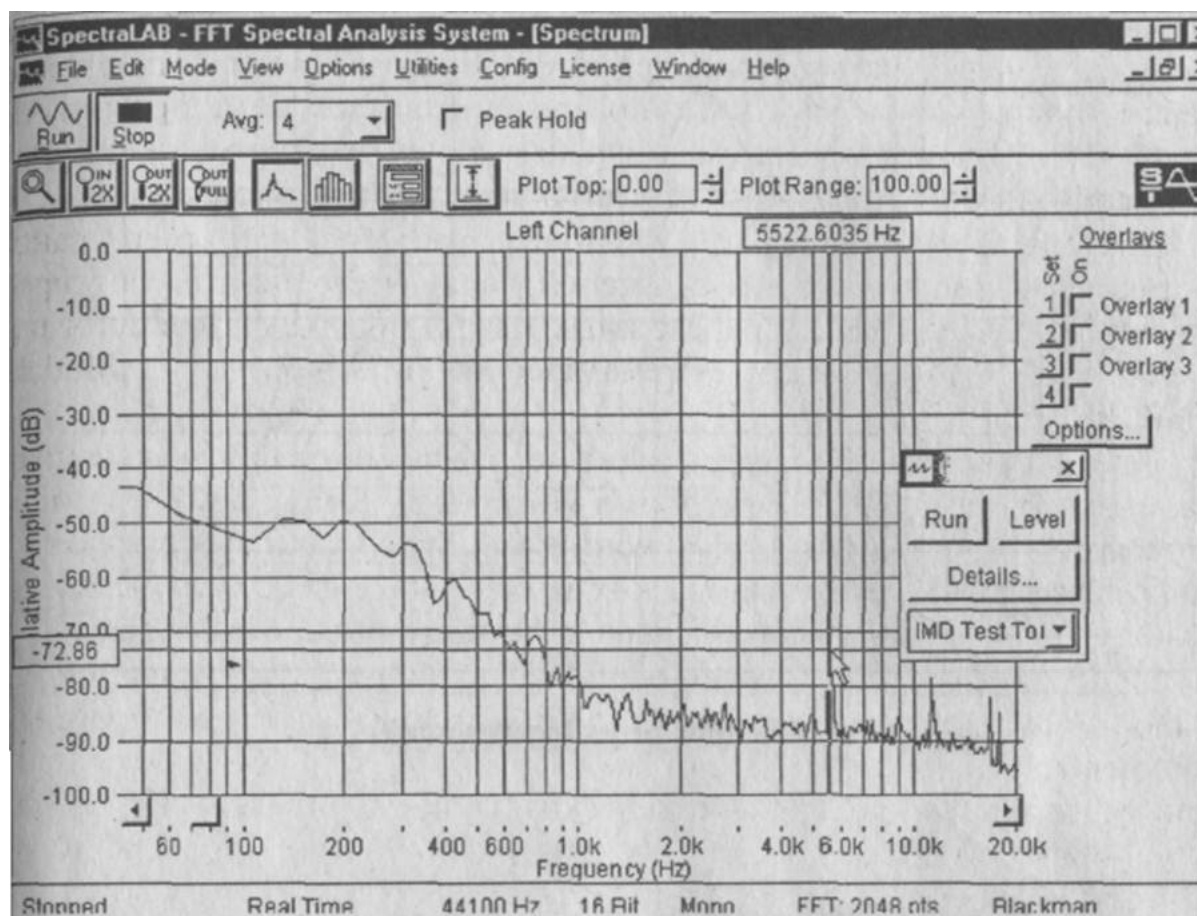


Рис. 1.1. Экран программы

Характеристики сигнала определяются по пяти графикам (опция View):

- Time Series (зависимость уровня сигнала от времени, осциллограф) (рис. 1.2);
- Spectrum (зависимость уровня сигнала от частоты, спектр сигнала и частотомер) (рис. 1.3);
- Phase (зависимость фазы сигнала от частоты) (рис. 1.4);
- Spectrogram (распределение частот сигнала во времени, уровень сигнала изображается цветом или полутонами серого) (рис. 1.5);
- 3D Surface (трехмерное изображение спектра сигнала) (рис. 1.6). SpectraLAB позволяет автоматически подсчитывать и отражать в специальных окнах (опция Utilities):
- Peak Frequency (частоту максимального сигнала, Гц);
- Peak Amplitude (максимальную амплитуду сигнала, дБ);
- Total Power (общую мощность сигнала, дБ);
- Total Harmonic Distortion (THD, коэффициент нелинейных искажений, %);

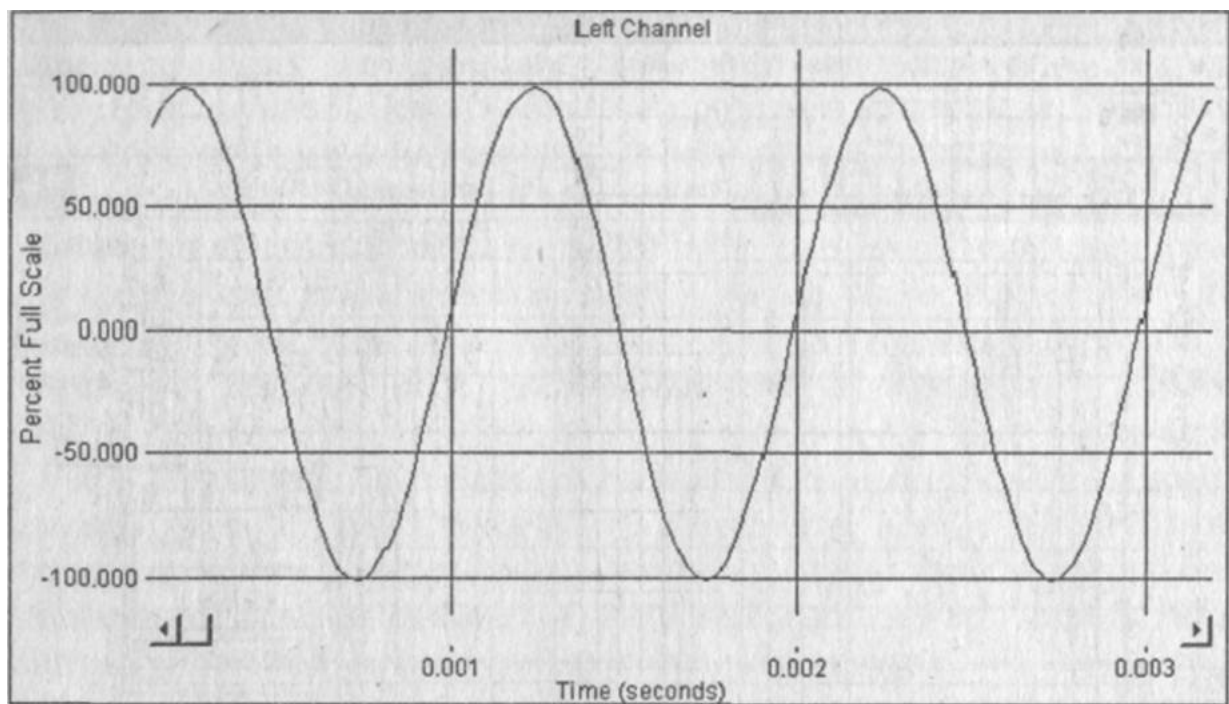


Рис. 1.2. Time Series (осциллограф)

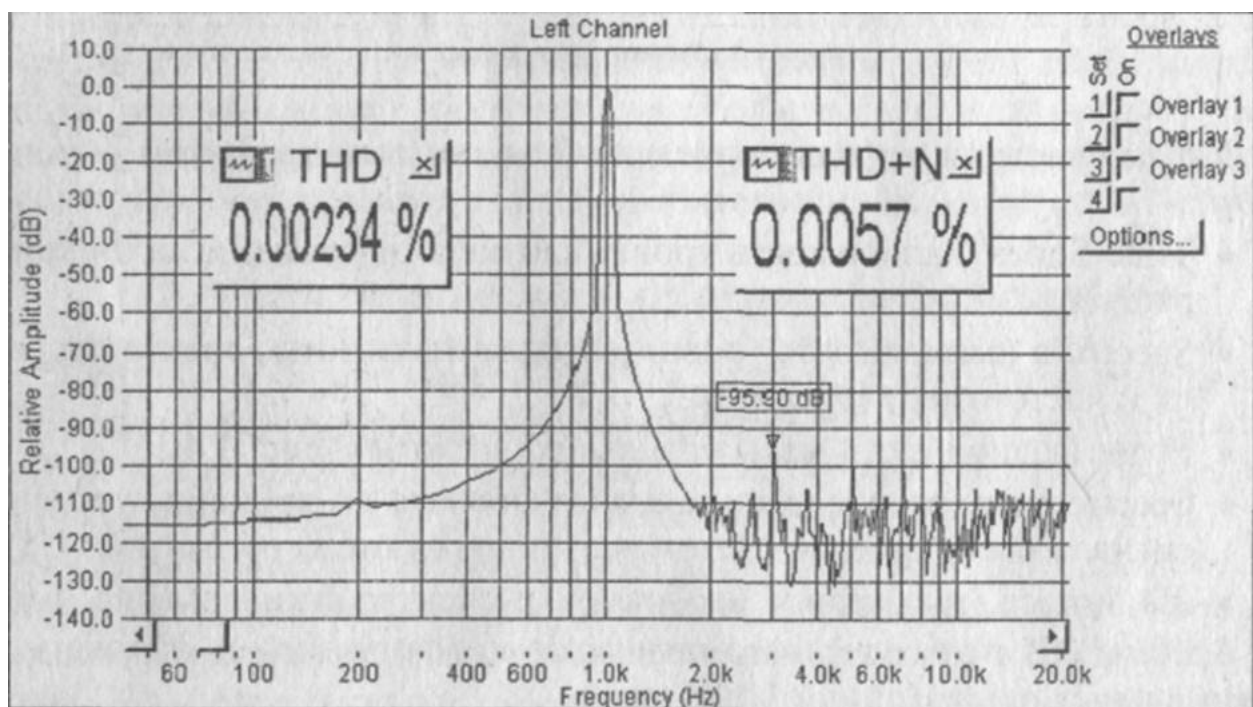


Рис. 1.3. Spectrum (спектр сигнала и измерение коэффициента нелинейных искажений)

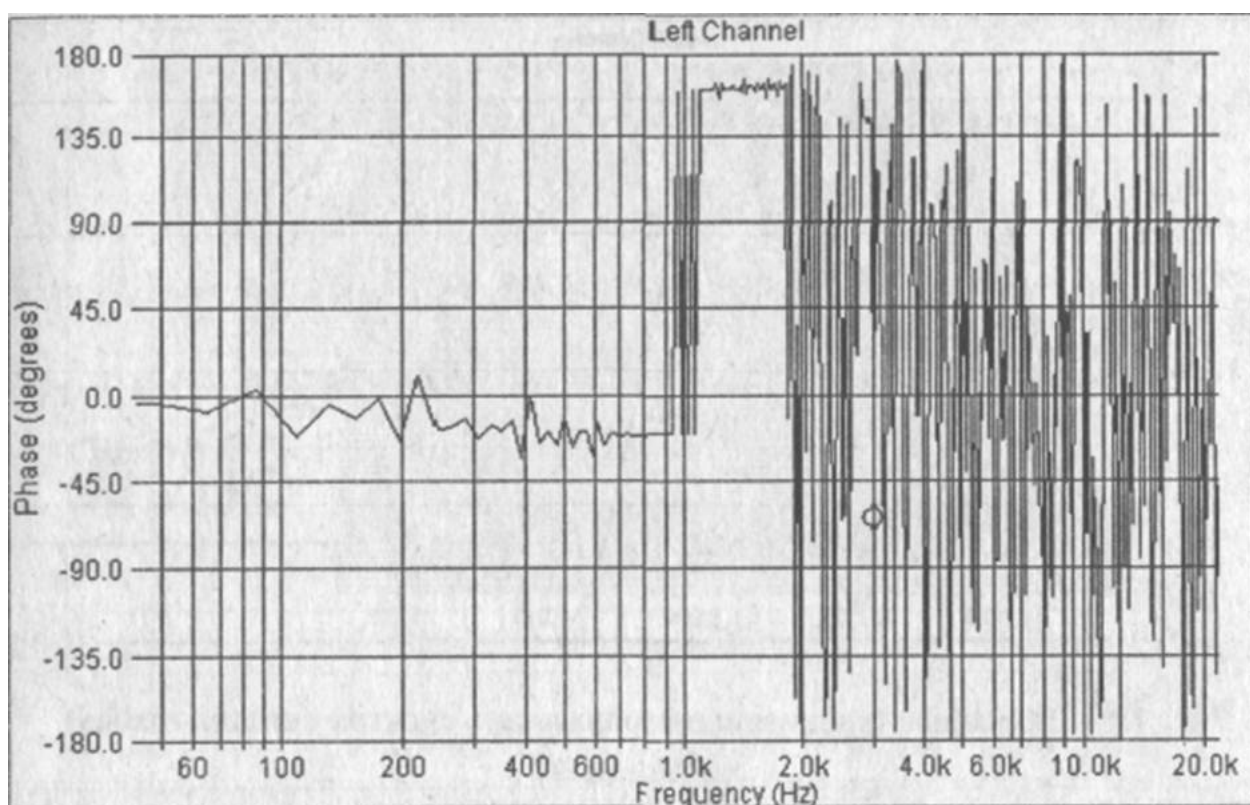


Рис. 1.4. Phase (зависимость фазы сигнала от частоты)

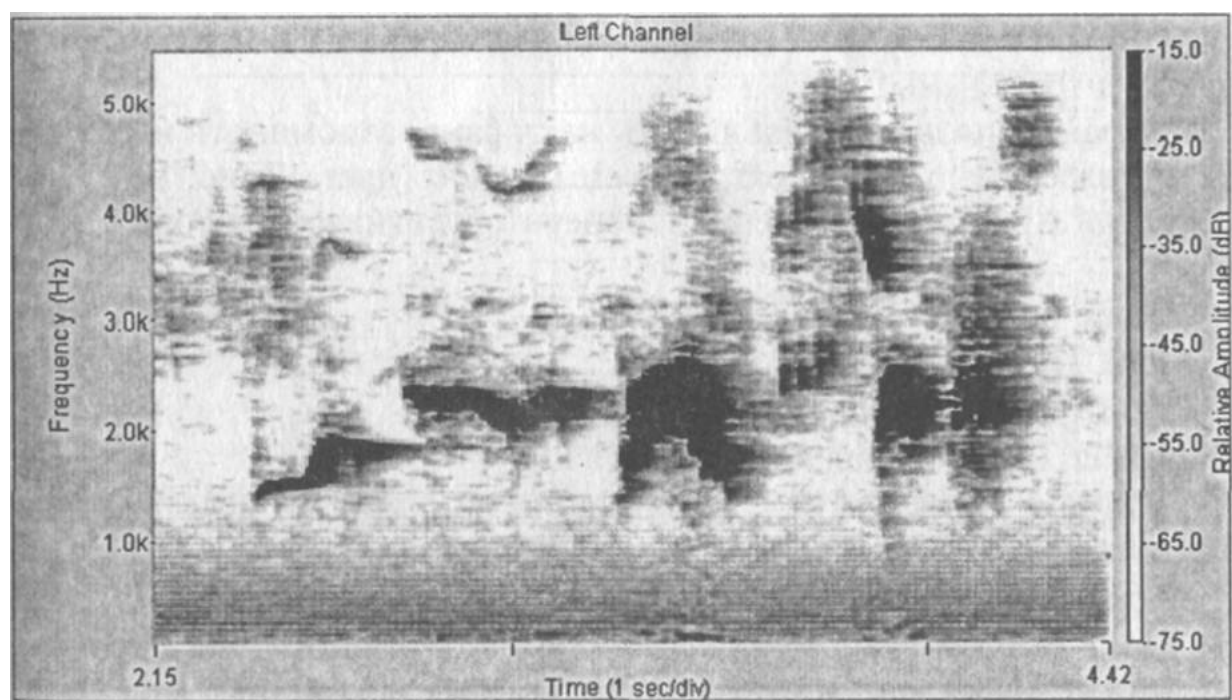
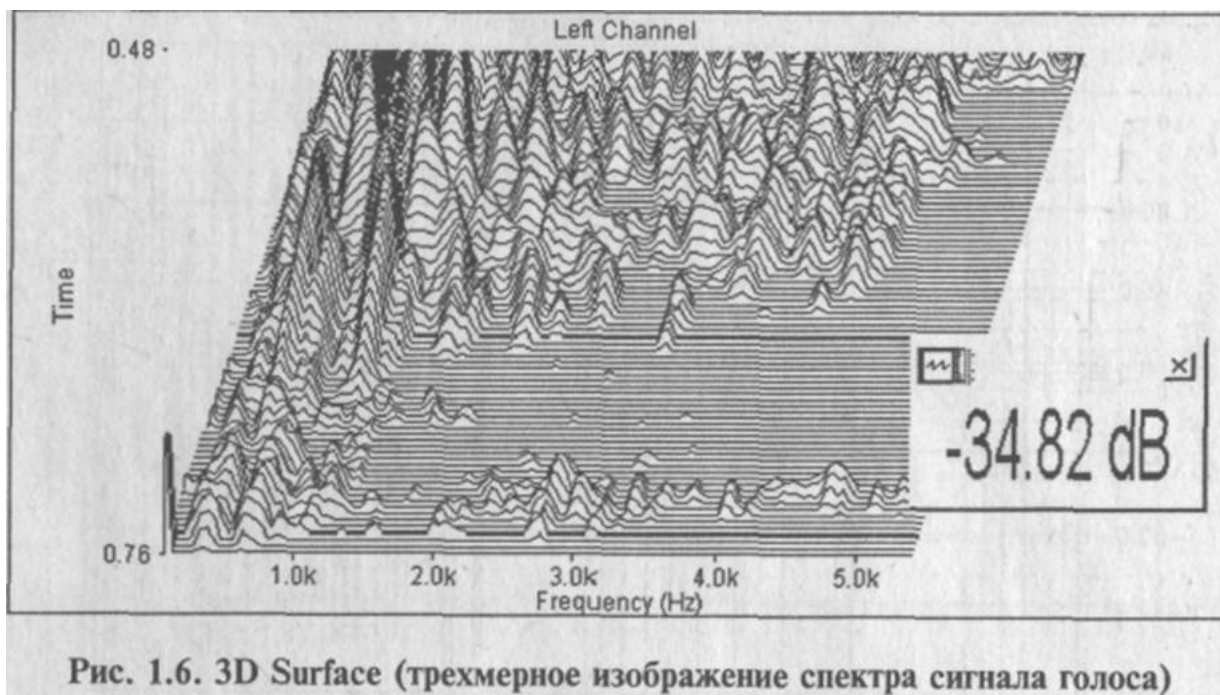


Рис. 1.5. Spectrogram (распределение частот сигнала во времени)



- Total Harmonic Distortion + Noise (THD+N, общий коэффициент нелинейных искажений + шумы, %);
- Intermodulation Distortion (IMD, коэффициент интермодуляционных искажений, %) (рис. 1.7);
- Signal to Noise Ratio (SNR, отношение сигнал/шум, %).

Кроме того, в программе имеется система из шести маркеров, которые можно использовать для быстрого измерения на отдельных частотах спектрограммы.

Программа позволяет наблюдать на экране, запоминать и сравнивать одновременно до 4 спектрограмм (разного цвета) (рис. 1.8).

SpectraLAB имеет встроенный генератор сигналов, который формирует:

- White Noise (белый шум);
- Pink Noise (розовый шум);
- Noise Burst (шумовой всплеск);
- 1 kHz Tone (сигнал частотой в 1 кГц);
- Multiple Tones (сигнал, содержащий от одной до десяти разных частот с регулируемой амплитудой каждой);
- Tone Burst (всплеск частоты);
- IMD Test Tones (сигнал, содержащий две частоты для определения коэффициента интермодуляционных искажений, можно использовать и Multiple Tones);
- Frequency Sweep (генератор качающейся частоты) (рис. 1.9);
- Level Sweep (генератор качающейся амплитуды);
- Sawtooth (пилообразный сигнал);
- Triangular (треугольный сигнал);

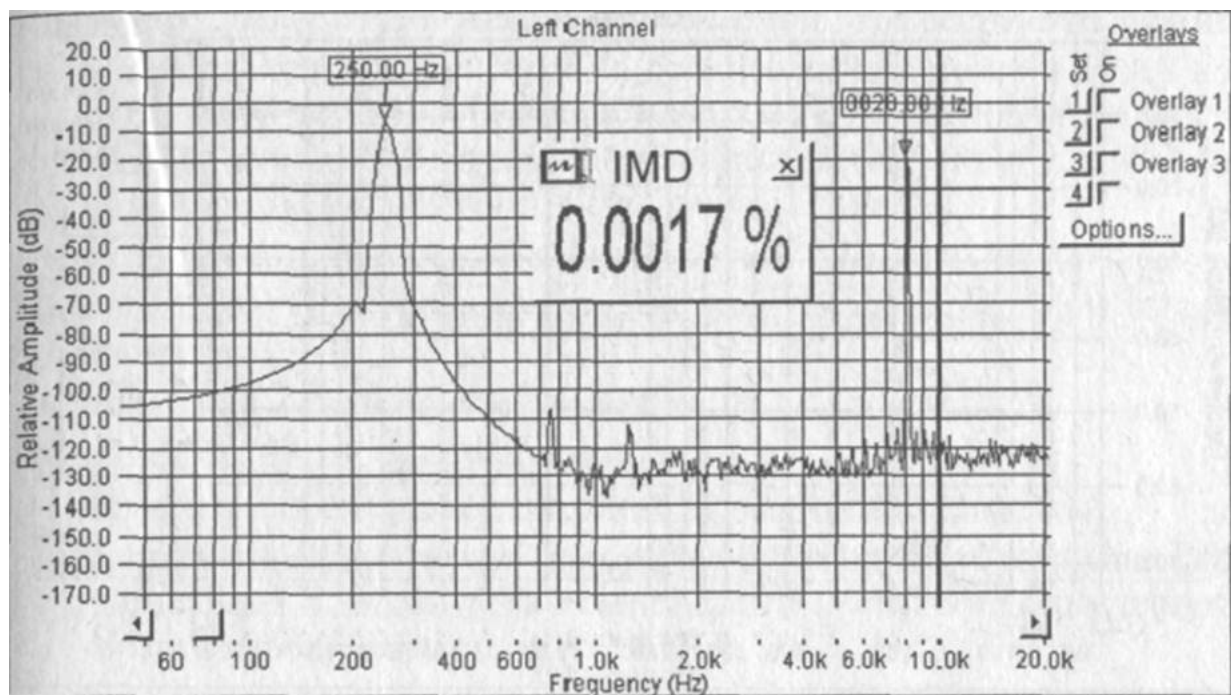


Рис. 1.7. Измерение интермодуляционных искажений (250 Гц и 8020 Гц)

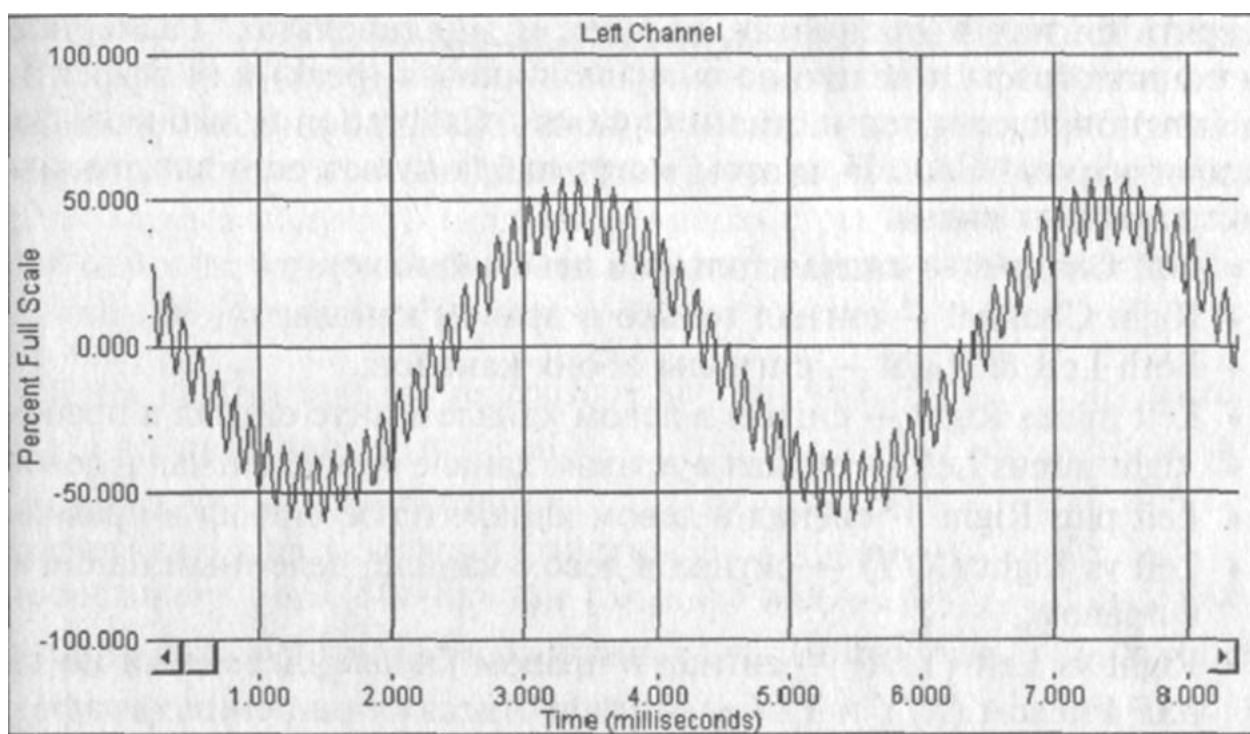


Рис. 1.8. Осциллограмма двух сигналов (250 Гц и 8020 Гц)

- Pulse (импульсный сигнал прямоугольной формы);
- Square (последовательность импульсных сигналов прямоугольной формы);
- User Defined (сигнал, параметры которого определяются пользователем)

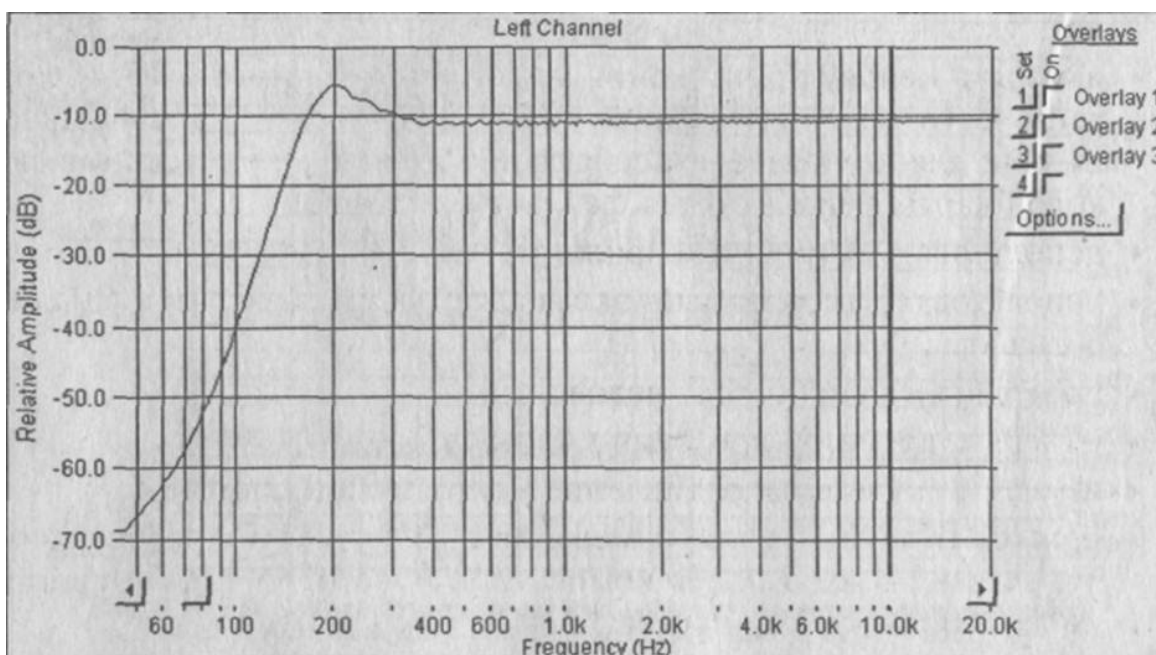


Рис. 1.9. Измерение полосы пропускания с помощью Frequency Sweep

Time Series (осциллограф) позволяет наблюдать форму сигнала и измерять сигнал в процентах, вольтах и милливольтх. Размерность оси осциллографа и величина сигнала: пиковая (peak) или эффективная (rms) определяются в опции Options / Calibration и выбором файла калибровки *.CAL. При этом могут наблюдаться осциллограммы и спектрограммы видов:

- Left Channel — сигнал только в левом канале;
- Right Channel — сигнал только в правом канале;
- Both Left & Right — сигналы обоих каналов;
- Left minus Right — сигнал в левом канале минус сигнал в правом;
- Right minus Left — сигнал в правом канале минус сигнал в левом;
- Left plus Right — сигнал в левом канале плюс сигнал в правом;
- Left vs Right (X/Y) — сигнал в левом канале, деленный на сигнал в правом;
- Right vs Left (Y/X) — сигнал в правом канале, деленный на сигнал в левом (X/Y и Y/X — фигуры Лиссажу на осциллографе), и другие.

В программе предусмотрено 9 различных способов обработки сигнала (Options / Settings / Smoothing Window).

SpectraLAB записывает при необходимости все сигналы, в том числе и формируемые генератором, в звуковые файлы типа *.WAV. Результат работы SpectraLAB может быть получен в текстовой табличной форме (например, для обработки другими программами), скопирован в графический файл или в файл типа *.OVL.

Кроме указанных уже измерений, с помощью SpectraLAB можно:

- измерять полосу пропускания усилителя, например в RIAA корректоре (измерение верхних частот УНЧ ограничено частотой 24 кГц; для компенсации собственной полосы пропускания звуковой карты используются файлы типа *.M1C);
- использовать встроенные фильтры при анализе сигнала;
- использовать встроенный эквалайзер (корректор) при анализе сигналов;

- проводить анализ голоса человека;
- измерять время реверберации сигнала;
- измерять полное сопротивление акустической системы;
- проводить акустические измерения с помощью микрофона (предусмотрена возможность компенсации частотной характеристики микрофона файлом типа *.M1C);
- проводить измерения частоты и амплитуды вибраций различных механизмов и т. д.

1.3. Параметры звуковых карт для работы с программой SpectraLAB

При правильном выборе звуковой карты для радиолюбительских измерений с программой SpectraLAB даже на сравнительно недорогих картах можно получить следующие параметры измерительной системы с использованием линейных входа и выхода карты (выход карты соединен со входом):

Выходное напряжение (от генератора SpectraLAB).....не менее 1 В

Полоса пропускания карты ($\pm$ дБ).....25...21000 Гц

Измеряемая полоса пропускания

устройств при использовании файлов

компенсации *.M1C (с точностью $\pm 0,2...0,5$ дБ).....1,5...23000 Гц

Коэффициент нелинейных искажений карты (мин.)0,005...0,01%

Интермодуляционные искажения карты (мин.).....0,01...0,03%

Различие сигналов в каналах.....0,2...0,5 дБ

Амплитуда шума (RMS).....-90...-100 дБ (в полосе 1,5...24000 Гц)

Средний уровень шума (RMS). . . -120...-140 дБ (в полосе 100...10000 Гц) Напряжение шумов (RMS).....10...30 мкВ (в полосе 1,5...24000 Гц)

Минимальный сигнал, уверенно

наблюдаемый на экране осциллографа

программы SpectraLAB.....0,1...0,3 мВ ($10 \times 10...30 \times 10 = 100...300$ мкВ)

1.4. Развязывающее устройство для звуковой карты

Программа SpectraLAB использует для своей работы дуплексную звуковую карту компьютера. Так как входные и выходные параметры звуковых карт весьма ограничены и их предельные возможности, как правило, неизвестны, то для предохранения звуковой карты от неправильных включений, коротких замыканий выхода (весьма опасно) и повышенных постоянных напряжений, например в ламповых схемах (абсолютно безопасное для входа карты напряжение < 5 В), приходится между картой и измеряемой схемой включать развязывающее устройство.

Схемы простейших развязывающих устройств приведены на рис. 1.10 и 1.11.

Наличие градуированных ступенчатых регуляторов позволяет использовать после калибровки осциллограф (Time Series) программы SpectraLAB в качестве милливольтметра (в режимах амплитудных или эффективных значений — peak или rms). Для переключателей использованы 16-штырьковые панельки от микросхем с замыкателями. Плавное изменение величины сигнала осуществляется с использованием регулятора опции Установить аудиопараметры/Свойства Аудио/Воспроизведение (Запись) программы Windows (фирменный регулятор карт иногда имеет менее удобную шкалу). Потенциометры и делители проградуированы в дБ по SpectraLABy.

На входе и выходе развязывающих устройств (1, 2, 3 и 1, 2) могут быть установлены 5-штырьковые «магнитофонные» разъемы (три на входе и два на выходе).

Диоды D1, D2, D3 и D4 (любого типа при LineIn (макс.) < 100 мВ карты) установлены для ограничения входного переменного сигнала на карту (при ошибочных включениях).

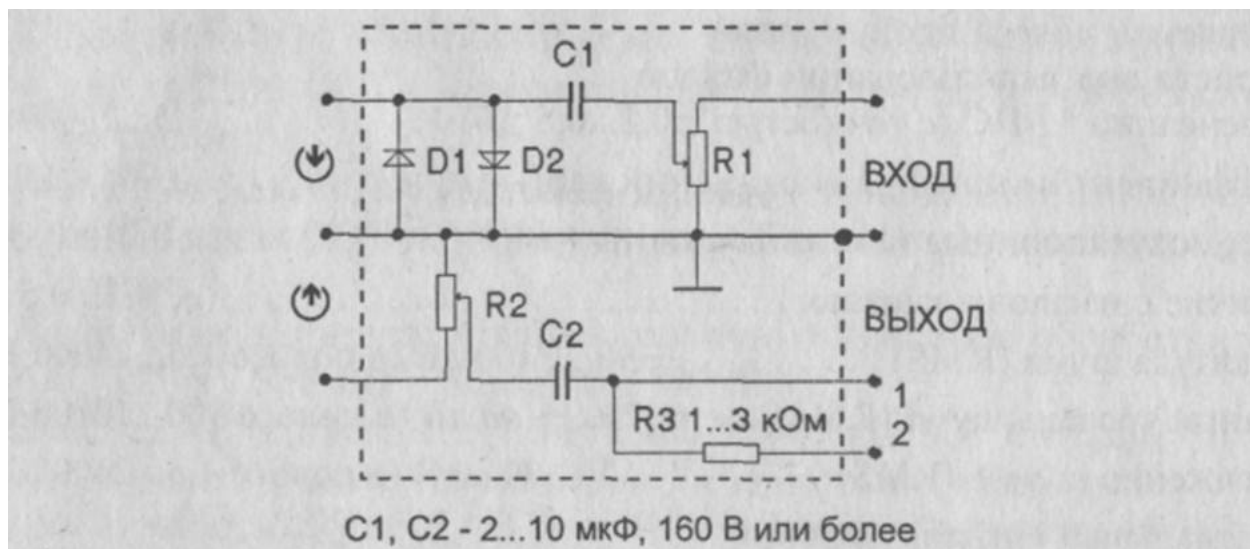
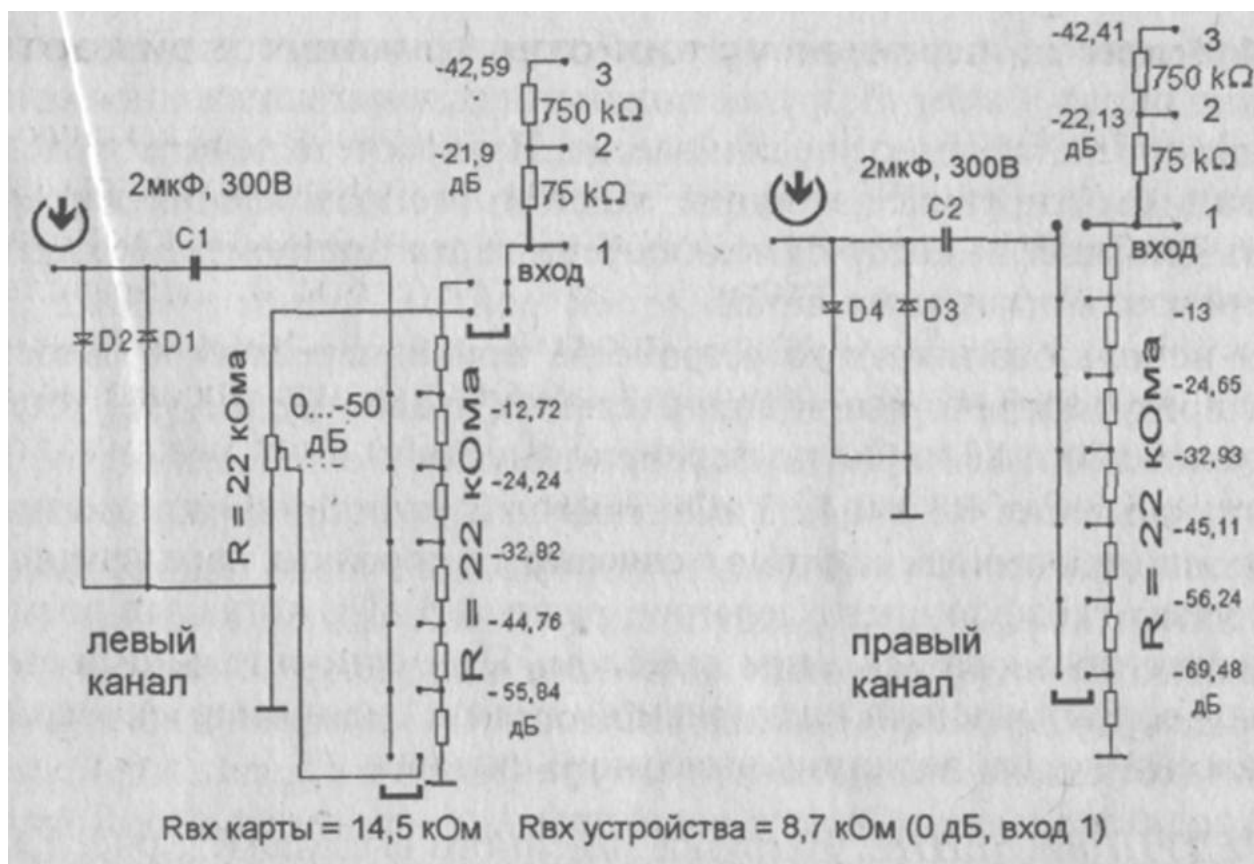
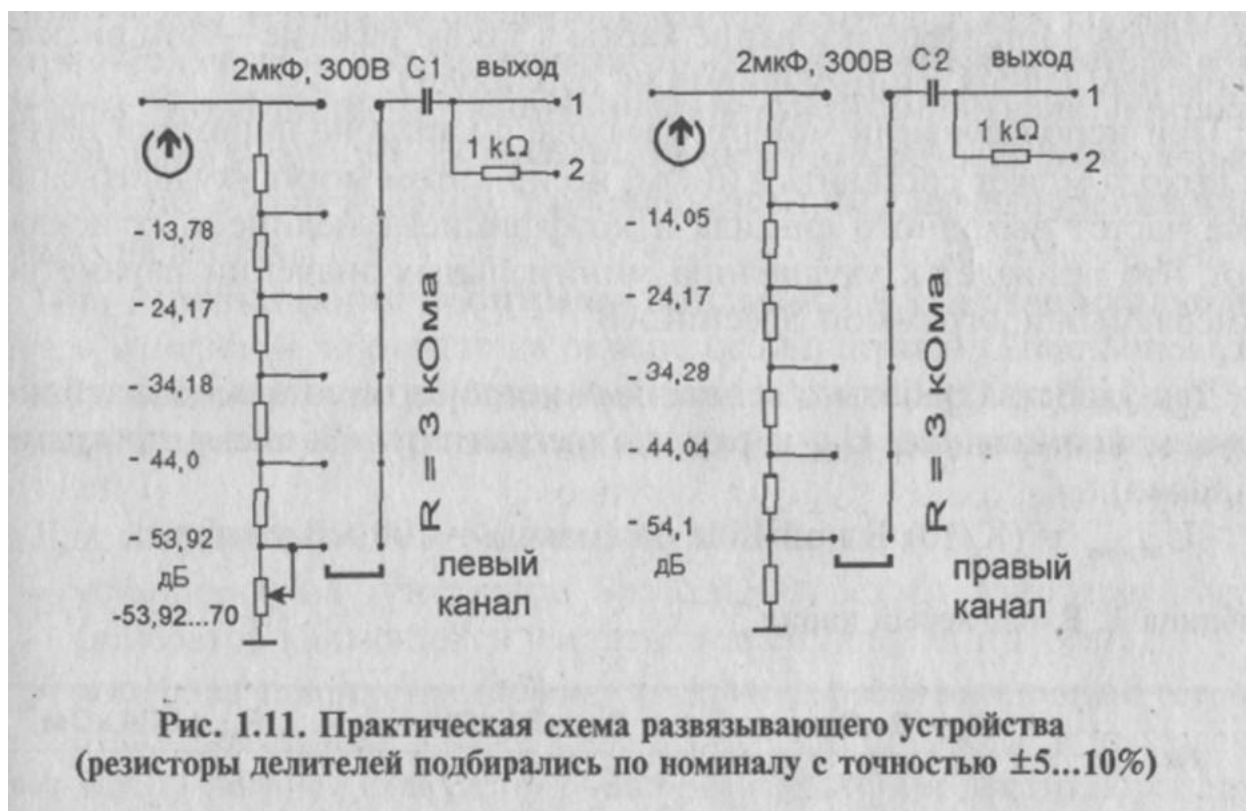


Рис. 1.10. Принципиальная схема одного канала развязывающего устройства





Конденсаторы C1 и C2 применены для возможности подключения устройства к цепям с большим постоянным напряжением. Они могут быть взяты большей емкости и на большее напряжение.

Так как входное сопротивление использованной звуковой карты (Creative Sound Blaster 16 PCI) составляет 14,5 кОм, то при сопротивлении делителя 22 кОм (коэффициент деления, равный 0 дБ) входное сопротивление по переменному току развязывающего устройства будет равно около 9 кОм. В других положениях делителя входное сопротивление соответственно увеличивается. При расчете делителя следует учитывать шунтирующее влияние входного сопротивления карты на ту часть делителя, к которой подключена карта (например, вести подбор делителя в программе EWB).

Для использования этого устройства при измерениях в ламповых схемах предусмотрено два дополнительных входа — 2 и 3 ($R_{ВХ}$ устройства, равные 84 и 834 кОм по переменному току).

Сопротивление R3 в 0,1...3 кОм (выход 2 устройства) предназначено для защиты выхода карты от случайных коротких замыканий. Во всех случаях (коэффициент деления, равный 0 дБ), когда это возможно, следует пользоваться этим выходом. При относительно больших входных сопротивлениях измеряемой схемы, например на лампах, оно мало влияет на величину выходного сигнала.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Нагрузка линейного выхода (R2, рис. 1.10) в диапазоне 0...3 кОм может оказаться слишком низкой для некоторых типов карт. Использование карты в таком режиме — это риск пользователя (таких данных фирма не публикует).

При использовании мощного выхода с карты на динамики нагрузка выхода может составить >10 Ом, но при этом могут ухудшиться полоса частот выходного сигнала и коэффициент нелинейных искажений, что приведет к ухудшению минимальных значений параметров, измеряемых программой SpectraLAB.

Для удобства работы с делителями устройства составлены таблицы (при максимальном $U_{ВХ}$ карты по регулятору «Запись» программы Windows).

"Цимакс = (K/10) В при Line_in (макс.) = 100 мВ у карты.

Таблица 1. Вход, левый канал

№	$R_{ВХ} = 9\text{кОм}$		$R_{>X} = 84\text{кОм}$		$Y_{\text{вн}} = 834\text{кОм}$	
	дБ	К, раз	дБ	К, раз	дБ	К, раз
1	0	1	-21,9	12,45	-42,59	134,74
2	-12,72	4,36	-27,82	24,6	-47,64	240,99
3	-24,24	16,29	-37,77	77,36	-57,13	718,62
4	-32,82	43,75	-48,03	252,05	-67,1	2264,6

Наличие в Windows хорошего калькулятора и других программ позволяет не подбирать сопротивления делителей с точностью до $\pm 1...2\%$ (мощность сопротивлений делителя $> 0,5\text{ Вт}$), а просто измерять SpectraLABoM получившееся затухание. Такие таблицы (К, раз) быстрее всего составить в программе MS Excel, а потом рассчитывать входное или выходное напряжения на калькуляторе по этой таблице в той же программе MS Excel или в другой.

Оба устройства (IN и OUT) собраны в экранированных корпусах. Все соединительные провода (к карте и измеряемой аппаратуре) выполняются экранированным проводом.

Калибровка шкал осциллографа программы SpectraLAB осуществляется вручную для пиковых (амплитудных) или эффективных значений напряжения (peak или rms). При использовании автоматической калибровки программы (Options/Calibration/Digital Signal Level/Measure Input Signal) следует проверить ее правильность милливольтметром, внести соответствующие корректировки в Options/Calibration/Digital Signal Level/Detected Levels Left & Right и записать этот файл калибровки *.CAL. Измерять следует выходной сигнал 1 кГц со звуковой карты — сначала на экране осциллографа, а потом его же милливольтметром. Коэффициент нелинейных искажений сигнала при этом должен быть $< 0,5\%$. Не забудьте умножить показания милливольтметра, которые в эффективных значениях, на 1,41 для калибровки в пиковых значениях.

При использовании программы SpectraLAB в качестве милливольтметра измерения проводят на экране осциллографа (Time Series указателем программы по вершинам кривой на экране (рис. 1.12). Полученные значения в милливольтках следует умножить на коэффициент К (табл. 1).

Для создания файла компенсации *.M1C надо:

- установить на генераторе SpectraLAB режим Frequency Sweep (генератор качающейся частоты, максимальная полоса);
- измерить полосу пропускания карты с развязывающим устройством, соединив между собой провода от входа и выхода — ABCD на рис. 1.12 (установившиеся значения достигаются примерно за 1 минуту);
- отметить опцию Overlay 1 и нажать кнопку Set 1 в левой части экрана;
- открыть окно Options под опциями Overlay;
- записать Overlay 1 как Mic Comp Files (*.MIC) в подкаталог MICCOMP программы SpectraLAB;
- использовать этот файл в Options / Scaling при работе.



Для измерения входного сопротивления устройства или карты (например, для левого канала):

- собрать схему по рис. 1.12, а;
- установить на генераторе программы SpectraLAB частоту 1 кГц и режим осциллографа с окном измерения коэффициента нелинейных искажений (при измерении входного сопротивления он должен быть $<1\%$);
- вывести полностью реохорд ($R = 0$) и измерить по экрану осциллографа напряжение (U_{BX});
- увеличивать сопротивление реохорда, пока на экране осциллографа напряжение не станет равным $U_{BX}/2$;
- замерить сопротивление реохорда — это и будет величина входного сопротивления устройства или карты.

Достоинства устройства:

- большая простота и легкость изготовления;
- выходное напряжение равно выходному напряжению карты;
- не меняется коэффициент нелинейных искажений;
- не повышается уровень шума.

Недостатки устройства:

- меньшая защищенность карты от коротких замыканий по выходу (выход 1).

Устройство можно использовать и в качестве развязки при проигрывании и записи музыки между картой и УНЧ.

Из других типов развязывающих устройств известны три: на звуковых трансформаторах; на микросхемах; на оптронах.

Устройства на трансформаторах

Их можно рекомендовать только при наличии уже готовых подходящих звуковых трансформаторов, так как они сложны в изготовлении, создают относительно большую нагрузку на измеряемую цепь по постоянному току и чувствительны к магнитным наводкам на трансформатор (требуют более сложной экранировки).

Устройства на микросхемах

Устройства на микросхемах позволяют получить: большее выходное напряжение (зависит от напряжения источника питания); большую мощность выходного сигнала и больший коэффициент усиления входного сигнала. Однако они требуют более тщательной настройки для получения необходимой минимальной величины коэффициента нелинейных искажений входного и выходного сигналов.

Пример таких развязывающих устройств для выхода звуковой карты приведен в статье И. Петрухина «Акустическая лаборатория аудио-фила-радиолюбителя» (Радиолюбитель, 2002. № 3), но, к сожалению, в ней отсутствуют сведения о коэффициенте нелинейных искажений этих устройств.

Устройства на оптронах

Две схемы таких устройств были опубликованы в журнале Радиолюбитель № 5, стр. 16, за 2001 г. Несомненным их достоинством является полная развязка входной цепи от выходной, что, по мнению авторов, позволяет избавиться от помех из-за «грязной» цифровой «земли» компьютера (при использовании нескольких независимых источников питания).

1. «Активный оптический аудиоизолятор» С. Кэтта очень прост по конструкции, но в статье, к сожалению, не приводятся никаких параметров, которые бы помогли оценить его пригодность для измерительных работ.

2. «Оптический аудиоизолятор Ярослава Белза» имеет более сложную конструкцию (четыре транзистора и оптрон на канал). В статье приведены параметры:

- полоса пропускания: 10...40000 Гц на уровне -1 дБ;
- коэффициент нелинейных искажений равен 0,15%, но не известно, при каких входных или выходных переменных напряжениях он измерен (такая величина явно недостаточна для измерительных целей). Устройства предназначены для развязки только выхода звуковой карты. Для развязки входа карты надо собрать еще одну линию этих устройств в «перевернутом» виде. Входное сопротивление таких развязок будет относительно низким.

1.5. Пример применения программы SpectraLAB для измерения параметров компонентов устройств

Измерение индуктивности

Кроме описанных в Help программы измерений, можно выполнять и другие работы. Например, измерять индуктивности, емкости, частоту и т. д. Для измерения емкостей или индуктивностей собирают схему по рис. 1.13, а.

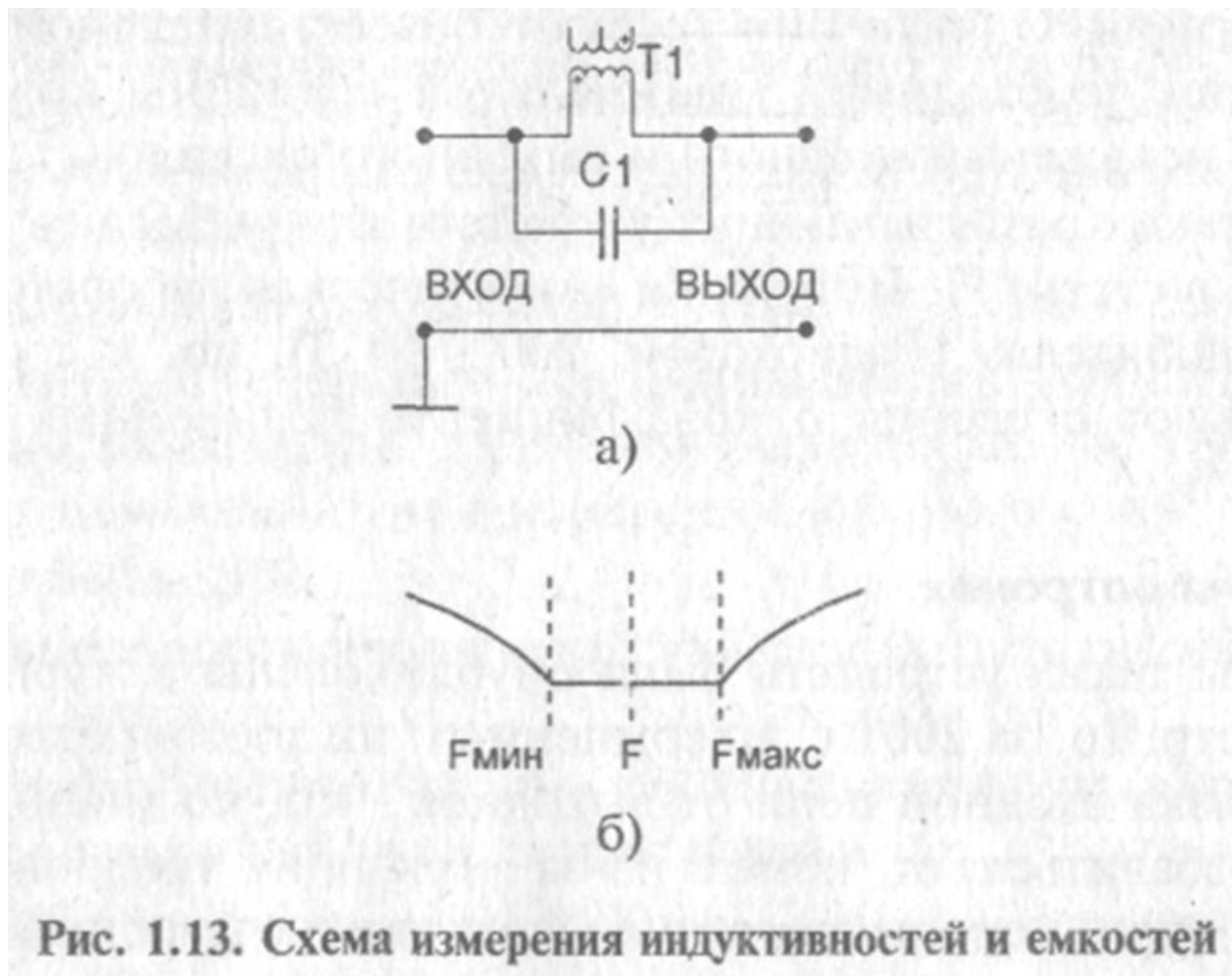


Рис. 1.13. Схема измерения индуктивностей и емкостей

На «ВХОД» подают сигнал с выхода звуковой карты (развязывающего устройства), а «ВЫХОД» соединяют с входом карты (развязывающего устройства).

Измерение сводится к нахождению частоты резонанса параллельного контура в программе SpectraLAB при измерении полосы пропускания (рис. 1.14) в режиме Frequency Sweep генератора и расчету нужных величин L и C по формулам (одна из величин должна быть образцовой):

$$L = \frac{159^2}{f^2 \cdot C}, \quad C = \frac{159^2}{f^2 \cdot L}.$$

Здесь L в Гн, C в мкФ, f в Гц.

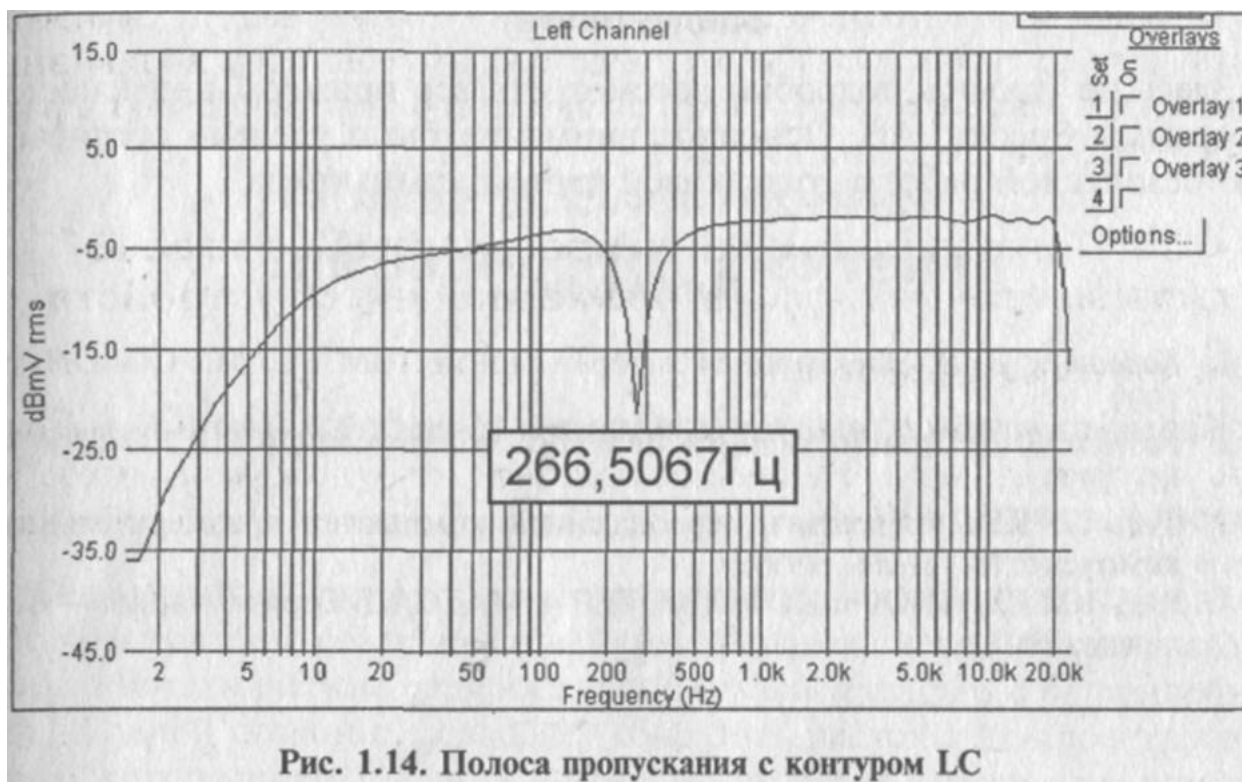


Рис. 1.14. Полоса пропускания с контуром LC

Точность замера определяется добротностью элементов, а значит, остротой резонансной кривой. Величина затухания при резонансе зависит также от входного и выходного сопротивлений измерительной цепи. На рис. 1.13, б приведен пример части резонансной кривой при низкой добротности контура. Для расчета следует брать значение $P[(P_{\text{макс}} + P_{\text{мин}})/2]$, а для удобства пользоваться опцией *Zoom in along frequency axis* программы SpectraLAB.

Как правило, можно не вводить компенсирующий файл *.M1C, если измерения проводятся в диапазоне 30...20000 Гц.

При практическом использовании этого метода погрешность измерения составила $\pm 1...5\%$ (в зависимости от добротности).

Такое измерение индуктивности дает «идеализированное» значение, аналогичное результатам, которые дают серийные приборы для измерения L. Индуктивность, например, трансформатора, в реальной схеме изменяется в зависимости от величины действующих переменного и постоянного напряжений.

В качестве образцовой индуктивности для измерения емкостей можно рекомендовать дроссель, намотанный на железе Ш20х25, Ш20х32, ШЛ20х25 или ШЛ20х32 проводом ПЭШО 0,15 внавал до заполнения (~6 Гн). Такой дроссель обеспечивает измерение с точностью примерно $\pm 1...2\%$ в диапазоне 0,005...2 мкФ, что вполне достаточно, например, для измерения емкостей фильтра R1AA.

Заключение

Здесь не удалось подробно рассмотреть все примеры применения программы SpectraLAB. Основное внимание было уделено обеспечению безопасной работы со звуковой картой компьютера.

Литература

1. Карлашук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. М., СОЛОН-Р. 1999.
2. Разевиг В. Д. Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP V. М., 1997
3. Гель П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс. М., ДМК, 1999.
4. РАДИОТЕХНИКА + КОМПЬЮТЕР + МАТСАД. Горячая линия - Телеком, 2001.