Machine Translated by Google

Нелинейность резистора – Ω – это нечто большее, чем кажется на первый взгляд

Эд Саймон

Введение

Хороший мастер использует свои навыки не только при разработке проекта, использовании инструментов и специальных знаний, но и имеет представление о том, какие детали лучше всего подходят для достижения его целей.

При создании аудиосхем мы можем использовать компьютерное моделирование рассматриваемых схем, новейшее испытательное оборудование для измерения фактической производительности и другие современные инструменты для создания нашего оборудования. Но когда мы проектируем схему, мы стараемся выбрать лучшие компоненты, доступные для этой задачи. Самым распространенным компонентом, конечно, является резистор.

Мы знаем, что резисторы бывают разных номиналов: от нескольких тысячных Ома до десятков миллиомов.

львы ом. Они также имеют номинальную мощность от милливатт до тысяч ватт. Существуют также максимальные номинальные напряжения; даже если мы не можем превышать номинальную мощность при использовании, будут ограничения на максимальное напряжение на резисторе и даже от резистора до близлежащих заземленных поверхностей. Резисторы также имеют температурные номинальные значения. Они могут варьироваться от изменения сопротивления всего лишь на 1 часть на миллион от их начального сопротивления на градус Цельсия изменения температуры до нескольких тысяч изменений PPM/C. Также существуют изменения значения с приложенным напряжением. Большая часть этой информации стандартизирована и доступна у производителей для их продукции.

Основное уравнение для резисторов — закон Ома I x R = E. Это правило было основано на наблюдении за тем, как связаны напряжение и ток. Однако, поскольку ничто не идеально, всегда есть отклонения от
правило.

Я решил провести несколько тестов, чтобы посмотреть, как настоящие резисторы ведут себя в условиях, типичных для аудиосхем.

Тестовая схема

Основной принцип теста заключается в том, что закон Ома линеен. Один Ом плюс один Ом равно 2 Омам. Если есть что-то, вызывающее искажение, оно не будет линейным. Если это вызвано напряжением на резисторе,

Machine Translated by Google

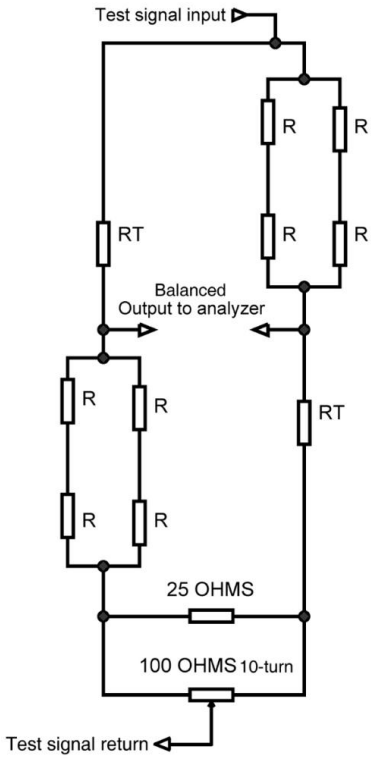

Figure 1. The Test Circuit.

чем больше напряжение, тем больше должно быть искажение. Важной характеристикой является то, что поскольку искажение не линейно, искажение, вызванное одним вольтом на резисторе, не вдвое (или наполовину) больше искажения, вызванного двумя вольтами на резисторе.

тот же резистор!

Это привело меня к тестовой схеме, показанной на рисунке 1.

В этой схеме я могу сделать все десять резисторов (R, Rt) абсолютно одинаковыми. тип и значение. Сигнал, подаваемый на вход, должен быть разделен ровно пополам, и не должно быть никакого выхода между двумя согласованными делителями напряжения! Была сделана небольшая подстройка, поскольку даже при согласованных резисторах они не будут иметь абсолютно одинаковое сопротивление. Если присутствует некоторое нелинейное искажение, то группы из четырех резисторов, имеющие только половину напряжения на каждом блоке, будут иметь меньшее искажение. Поскольку это нелинейное искажение, оно не будет точно таким же, как то, что есть на одном блоке, образующем другую половину делителя напряжения! Таким образом, искажение должно вызвать появление сигнала на выходе.

Быстрый тест был проведен, как показано на рисунке 2. Использовалось десять недорогих 1%-ных металлопленочных резисторов мощностью ¼ Вт. Тестовый сигнал 1000 Гц был подан на уровне 15,81 вольта. Это дало бы 62,5 милливатт на одиночные резисторы или ¼ их номинальной мощности. Здесь показаны два теста. Один с 1000-герцовым тестовым сигналом, максимально обнуленным (показано смещение), а другой с гораздо меньшим подавлением. Внимательный взгляд показывает, что искажение третьей гармоники почти не изменилось.

Для изменения нуля более чем на 60 дБ вторая гармоническая дис-кручение изменилось на меньшее чем 5 дБ. Также есть довольно много артефактов от постоянно присутствующих 60 Гц гармоник линии электропередач. Я думаю, что они помогают придать графикам реальность проверьте еще раз.

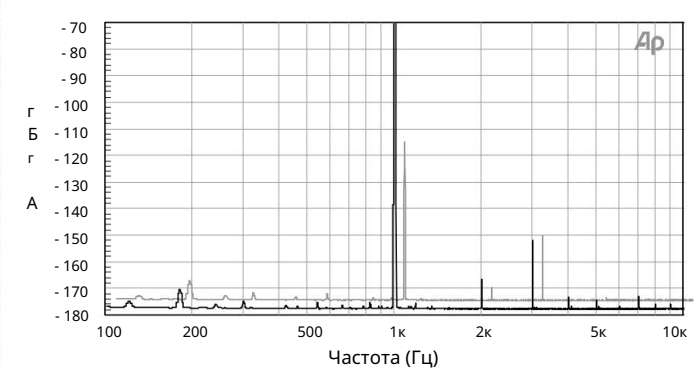

Рисунок 2. Доказательство концепции

Machine Translated by Google

Результаты теста.

Возник вопрос, не вызвано ли искажение самонагревом резисторов. При изменении частоты тестового сигнала время нагрева должно меняться, а значит, и искажение.

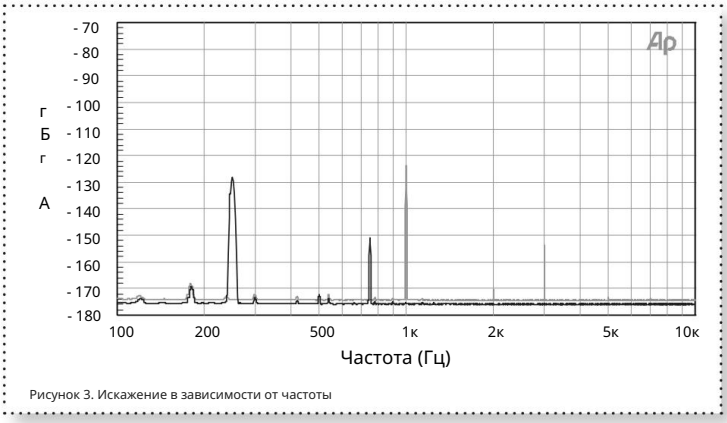

Рисунок 3. Искажение в зависимости от частоты

Рисунок 3 показывает эти тесты. Тест на более высокой частоте 1 кГц имел более низкое искажение 3-й гармоники. Следующим шагом было определение типа резисторов с самым низким искажением. Если бы я мог найти идеальные резисторы, их можно было бы использовать для групп из четырех в тестовой схеме, и мне нужно было бы только изменить два других для гораздо более простого метода тестирования. Многие аудиоэксперты предпочитают резистор Vishay S102K «Nude» (TX2352). Я использовал десять из них в своей тестовой установке и получил результаты, показанные на рисунке 4.

Эти резисторы Vishay также показали, что искажение увеличивается с уровнем и уменьшается с частотой. Очень важный урок заключается в том, что увеличение уровня на 6 дБ увеличивает искажение на 12 дБ! Из рис. 3 следует, что увеличение на основе частоты приблизительно равно квадратному корню из отношения частот. Таким образом, теперь можно проектировать для целевого искажения, если вы знаете интересующие вас частоты и уровень сигнала. Более высокие значения сопротивления или более высокие ваттные блоки должны показывать меньшее искажение третьей гармоники, пределом для использования этих резисторов при высоких значениях, вероятно, будет тепловой шум.

Я также решил попробовать резисторы Dale RN65 с очень хорошим температурным коэффициентом (25 PPM). Так как это были военные типы, они намного больше, чем другие резисторы, рассчитанные на ¼ Вт, поскольку они, как ожидается, будут использоваться при более высоких температурах. На рисунке 5 показано эти.

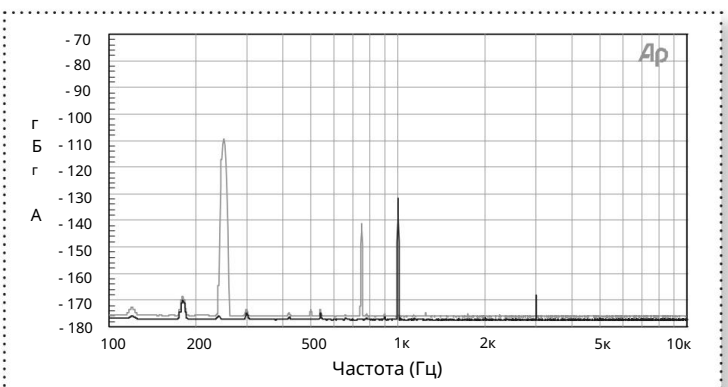

Рисунок 4. Резисторы Vishay S102 1K 1/4W

Интересная особенность RN65, как и S102, не только низкий уровень искажений, но вторая гармоническая дис- кручение. Второй порядок дис- кручение часто воспринимается как более музыкальное

Machine Translated by Google

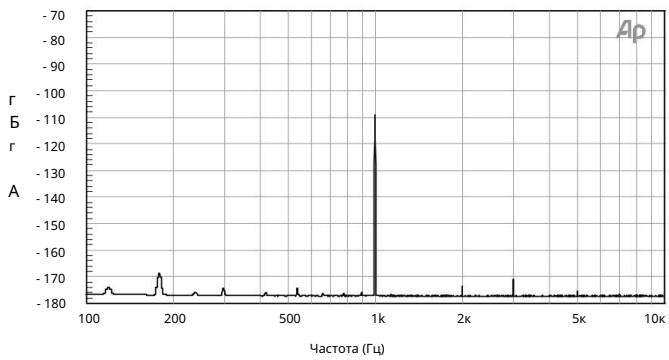

Рисунок 5 Dale RN65E S102 25PPM военный. Обратите внимание на низкие искажения, но также и на 2-ю гармонику. 15,8 В/1 кГц.

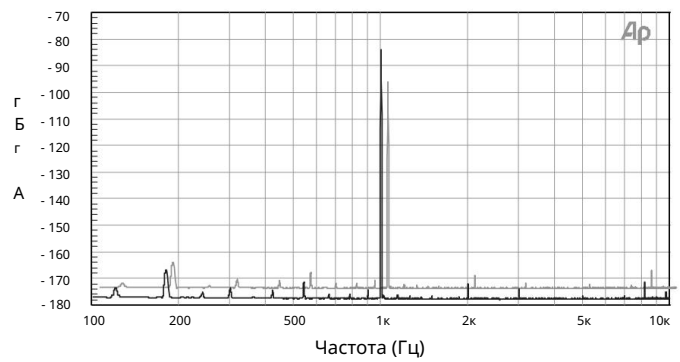

Рисунок 6 RN65C, вверху (смещение 10 дБ); RN65D, внизу

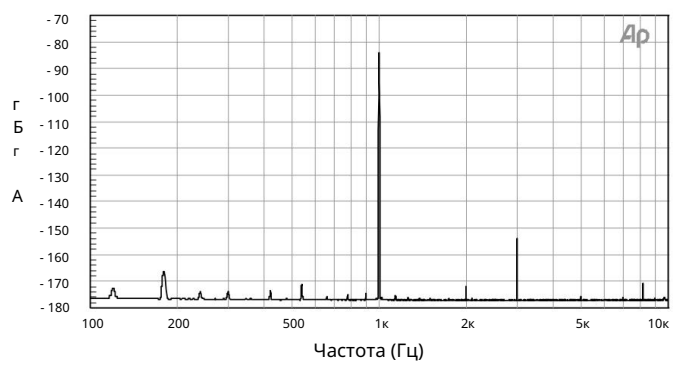

Рисунок 7. Мини-корпус Dale Commercial Metal Film

чем нечетные заказы и является
не особенно неприятно даже на
высоких уровнях.

Еще одна особенность, на которую следует обратить внимание, это
низкий уровень шума. Это
не только по базовой линии, но и
по отсутствию расширения базы
на частоте 1 кГц.
Поскольку это, казалось, были
лучшие резисторы, которые у меня были, они
стал эталоном для
тестовая система.

Я сейчас исправил свой тестовый блок
с 8 Дейл RN65E
резисторы в качестве эталона и
начал пробовать другие
резисторы. Dale RN65C (50PPM)
и RN65D (100PPM) были
попробовал с финальной тестовой схемой
cuit. Я использовал 15,81 вольта как
мой эталон 0 дБ.

Оба показали отличные результаты
производительность (рисунок 6).
Затем я попробовал тот же тип
резистора, но в ком-
коммерческий диапазон, то есть
они были рассчитаны на ¼ Вт при
более низкой температуре и
были намного меньше по размеру.
На рисунке 7 показаны результаты,
меньшая способность рассеивания
тепла привела к ожидаемому
увеличение третьей гармоники
Искажение. Второе
гармоника, казалось, была
характеристика ма-
териал используется. Так что есть

Machine Translated by Google

ценный урок здесь: эти
резисторы являются превосходным
выбор при условии, что уровни мощности
остаются достаточно низкими или при
использовании более высоких значений
сопротивления.

Затем я попробовал Holco H4 ½
ватт резистор еще один поп-
выбор аудио ular. Это
показано на рисунке 8. Хороший
чистый пример аудиорезистора,
хотя при мощности ½ Вт можно
было бы ожидать третью гармонику
быть на 6 дБ ниже
равноценный по качеству блок мощностью ¼ Вт.

Другая часто используемая деталь
— это ¼ -ваттный 1% металлический
Пленочный резистор от Xicon.
Это показано на рисунке 9.
Они не показали второго
гармоничный, но немного более
третье, чем «аудио» сопротивление-
tors. Другие типы металлических пленок
показал некоторую вторую хар-
моник искажение поэтому
Xicon был немного лучше, чем
большую часть дешевого металла
типы пленок на втором
но имеет больше третьего
гармоничнее некоторых.

Многие аудиолюбители любят использовать
проволочные резисторы, поэтому
образец Mills MRB-5-
Ni также был протестирован. Это
показано на рисунке 10

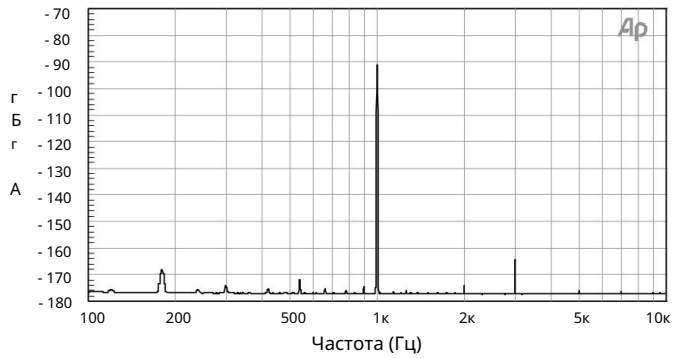

Рисунок 8 Holco H4 ½ Вт

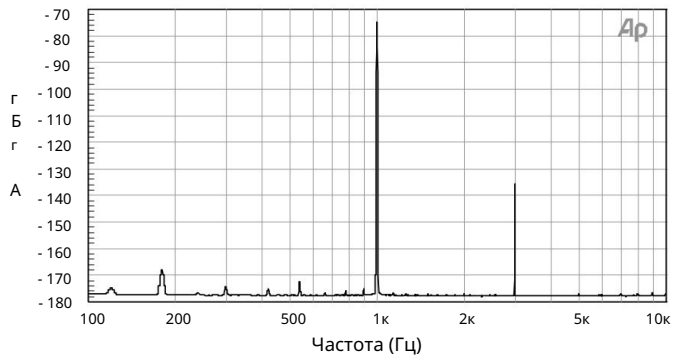

Рисунок 9 Xicon 1% ¼ Вт металлопленочный

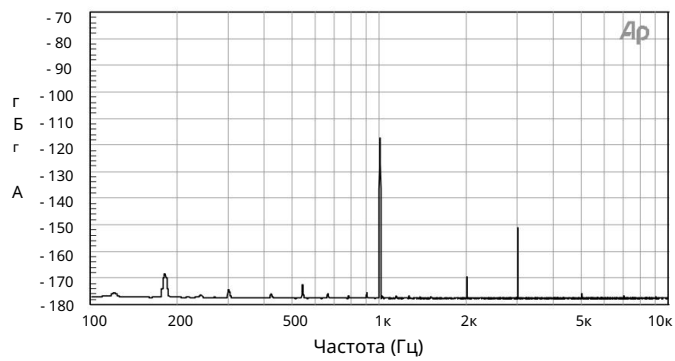

Рисунок 10 Mills MRB-5Ni 5 Вт проволочный

Machine Translated by Google

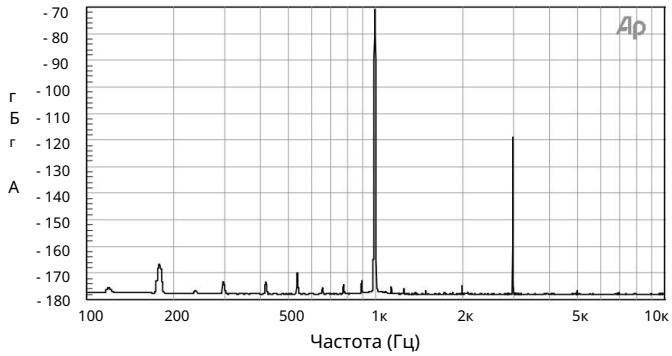

Рисунок 11. Углеродный пленочный резистор KOA 1/4 Вт 5%

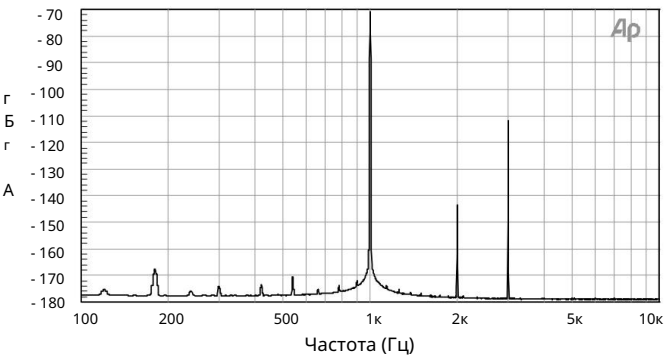

Рисунок 12. Миниатюрный углеродный пленочный резистор KOA

Хотя искажение есть примерно то же самое, что и ¼ недорогие металлопленочные резисторы мощностью 5 Вт, это ваттная единица и должна иметь преимущество в 26 дБ! Хотя у меня не было источника сигнала с низким искажением и достаточным напряжением (35,36 В), чтобы управлять этими резисторы на более высокий уровень, Я бы ожидал искажения... ция увеличить то же самое как и все остальные.

Наиболее распространенное сопротивление tor, используемый сегодня, является типом пленки углерода. Типичный образец показан на рисунке 11. Интересно отметить, что что для того, чтобы свести на нет 5% сопротивление, tors мне пришлось отключить балансировочный резистор 25 Ом и используйте все 100 диапазон ом десятиоборотного потенциометра. Это приводит к уменьшению нуля в 1 кГц, но на самом деле это не проявляется как увеличение второй гармоники. Третья гармоника теперь приближается к -120 дБ или немного меньше, чем 20 бит разрешения, которые можно было бы получить с этими резисторами. Обратите также внимание на разброс базовой ширины пика в 1 кГц.

KOA также производит резистор из углеродной пленки мощностью ¼ Вт, который раньше был 1/8 Вт. Это показано на рисунке 12. Никаких больших сюрпризов здесь нет. Этот резистор нагревается больше, имеет больше искажений и, как показывает разброс базы, фактически генерирует некоторый шум от первичного возбуждающего напряжения. Этот резистор не просто добавит некоторую резкость пограничной линии, но и начнет маскировать детали! Скорее всего, это часть, которую не следует использовать ни для одного критического пути в аудиосхеме.

Machine Translated by Google

Конечно, есть также
классический углеродный
композитный резистор. Я пробовал несколько
Образцы и типичный результат
показаны на рисунке 13.
Как вы можете видеть, уровни
искажений и шума
намного выше, чем любой другой
резистор. Это также было
резистор трудно подрезать как
температурный коэффициент
был достаточно высок для того,
чтобы изменения температуры в
помещении в течение периода
испытаний могли вызвать дрейф нуля.

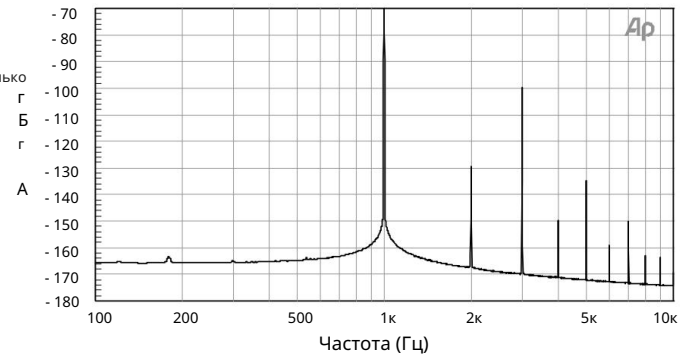

Рисунок 13 Состав углерода OHMITE ¼ W 5%

При снижении рабочего уровня
третий порядок
падает, как и второй заказ. С
некоторой изяществом
это на самом деле можно
использовать для увеличения четного порядка
искажение сигнала. Так что
некоторым может даже
понравиться уменьшение детализации и
ложные гармоники!

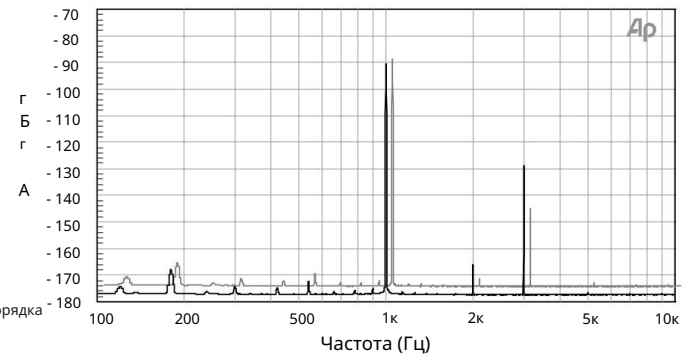

Рисунок 14. Танталовый чип; 7,5 В (сверху, смещение) и 15,8 В

Есть также те, кому нравятся танталовые пленочные резисторы. Я нашел модель IRC PFC-W0805LF-03-1001-B
Чип-резистор. Он меньше по размеру, чем большинство других чипов мощностью ¼ Вт, и результаты показаны на рисунке.
14.

При мощности резистора ¼ Вт его производительность не очень выдающаяся, но при мощности 1/8 Вт он сопоставим со многими лучшими аналогами.

Machine Translated by Google

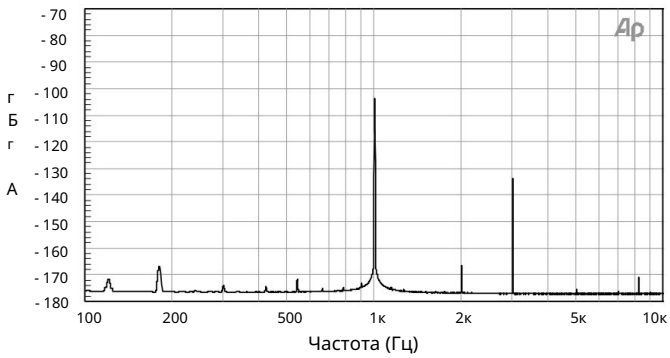

Рисунок 15 Миниатюрная металлическая пленка Panasonic

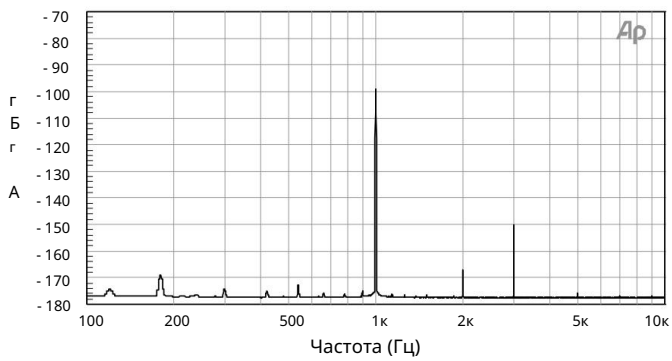

Рисунок 16 Металлическая пленка Caddock TF-020R

Еще одно интересное сопротивление-
тор был миниатюрным ком-
коммерческий металлопленочный резистор
от Panasonic, показанный в
Рисунок 15.

Опять же, не так хорош, как многие, но
на более низких уровнях мощности это
может быть недорогим выбором. Я
бы не стал пробовать этот блок на
более высоких
значения сопротивления как
Уровень шума уже начинает
сказываться.

Не показан принц-
тонна Резисторные Изделия PRP
9372 1/2W 1 Металлическая пленка.
Он протестировал почти то же самое
как Holco H4 (рисунок 8), только немного
больше третьей гармоники.
Производительность довольно
хорошая для такого
Недорогой резистор.

Еще одним популярным выбором аудиорезистора является Caddock TF-202R 1% 15PPM, как показано на рисунке 16.
Со второй гармоникой чуть выше -170 и третьей на -150 это может быть отличным выбором на низких уровнях мощности, где эти искажения будут снижаться. Так что это может быть хорошим выбором для более высоких
номиналы резисторов.

Аудиодизайнер Джон Керл предпочитает старые запасные резисторы Roederstein Resista. Это недорогие металлопленочные резисторы мощностью 1/2 Вт. Результаты показаны на рисунке 17. Да, они оказались одними из лучших протестированных резисторов и почти самыми дешевыми! Обратите внимание, что это блок мощностью ½ Вт. В результате искажение третьей гармоники ниже, чем если бы это был тип мощностью ¼ Вт. Конечно, они доступны только как
неиспользованный старый запас!

Сегодня многие аудиоустройства монтируются на поверхностные компоненты. На рисунке 18 показаны результаты на тонкопленочном чип-резисторе Vishay 1206. Это следует сравнить с рисунком 7, где показан аналогичный выводной резистор. Если бы этот чип-резистор был снижен до 1/8 Вт, он был бы вполне сопоставим.

Machine Translated by Google

На рисунке 19 показан Vishay.
1206 Толстоплёночный резистор.
Этот резисторный чип имеет больше
искажение чем больше
дорогая тонкопленочная версия
sion. Эта кривая была похожа на
lar к большей части толстой пленки
протестированы чип-резисторы, и
даже если снизить их мощность до
½ , они все равно будут недостаточно
эффективными.

Заключение Конечно, это только
один из способов взглянуть на
резисторы. Также имейте в виду, что
фактическое искажение резистора
в цепи, скорее всего, будет выше,
чем
показаны справочные номера
с этим типом самосравнения
испытательной схемы. Но с
некоторыми размышлениями вы
можете повлиять на
производительность ваших
аудиопроектов, выбрав детали для
искажений и характеристик
мощности, которые соответствуют
целям вашего проекта. И чтобы вы
не думали, что я придумал все это
сам, я хочу поблагодарить Скотта
Вурсера из Analog Devices, Inc и
Демиана

Мартин из System Design
Услуги, для взносов
к этому проекту.

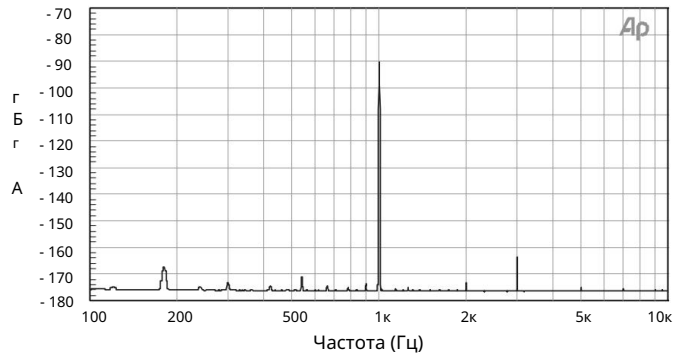

Рисунок 17. Резистор Resista ½ Вт 5% «старого образца»

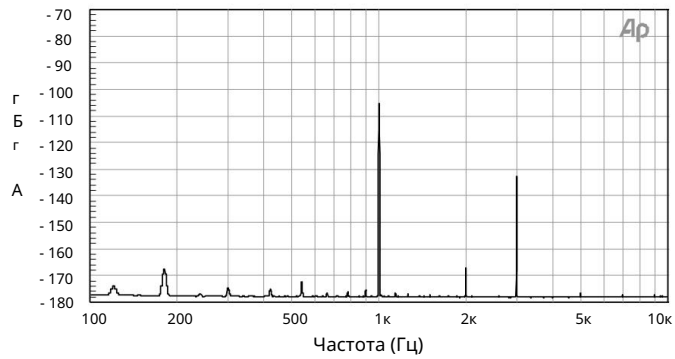

Рисунок 18. Тонкая пленка Vishay 1206 ¼ W 25 ppm

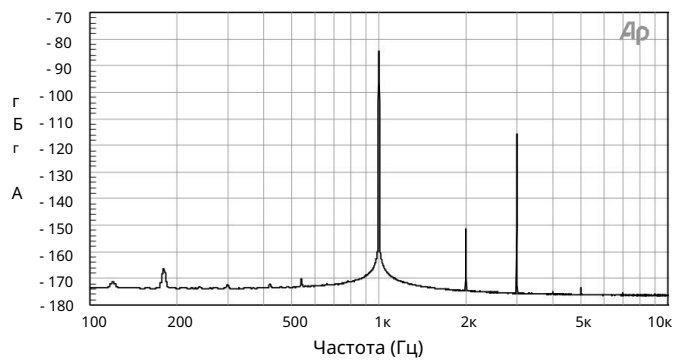

Рисунок 19. Толстоплёночный резистор Vishay 1206

Machine Translated by Google