

# Цифровые потенциометры от Dallas Semiconductor

В статье «Цифровые потенциометры» («Компоненты и Технологии» № 5, 2001) была приведена информация о приборах этого класса, терминологии и принципах построения электронных схем с использованием цифровых потенциометров. В данной статье представлены дополнительные сведения, которые могут помочь разработчикам радиоприборов в использовании цифровых потенциометров, изготовленных фирмой Dallas Semiconductor (DS).

Анатолий Шитиков

Ashitikov@rainbow.msk.ru

DS производит твердотельные потенциометры с цифровым управлением. Для пользователя такие потенциометры по сравнению с обычными объемными потенциометрами пред-

ставляют интерес благодаря своей надежности, точности, современному способу управления от центрального процессора и размерам.

В качестве примера рассмотрим двойной потенциометр для систем звукозаписи — DS1802. Его структурная схема представлена на рис. 1.

DS1802 обеспечивает логарифмическую характеристику регулировки сопротивления. Весь диапазон сопротивлений 0–45 кОм разбит на 65 позиций с шагом 1 дБ. Для работы прибора без использования центрального процессора предусмотрено кнопочное управление. При использовании центрального процессора для позиционирования «щетки» применяется 3-проводный последовательный интерфейс, в котором параметры настройки определяет 8-разрядное слово. Каждый потенциометр может работать либо независимо, либо в режиме стерео, когда над обоими позициями «щеток» производится единый контроль. 63 позиции «щеток» снижают уровень сигнала до -63 дБ. В 64-й позиции происходит ослабление сигнала до уровня не менее -90 дБ.

DS1802 имеет четыре вывода для управления кнопками. Их объединение с выводами управления режимами позволяет получить восемь функций управления от кнопок.

Приборы DS1802 обеспечивают высокоэффективное регулирование уровня громкости и тона звукозаписи, заменяя механические потенциометры в различных устройствах — проигрывателях компакт-дисков, гитарных усилителях, звуковых картах.

Особенностью DS1802 является возможность управления большим числом приборов от одного процессора. Для этого их соединяют в цепочку, как показано на рис. 2. Примерно через 50 нс после подачи управляющего бита на вход D сдвигового регистра, он появляется на выходе  $C_{out}$ . Таким образом, управляющий бит поступает на информационный вход D следующего прибора. При любом количестве соединенных приборов длина управляющего слова остается равной 16 разрядам. Для циклической синхронизации данных во всей цепи приборов между выходом  $C_{out}$

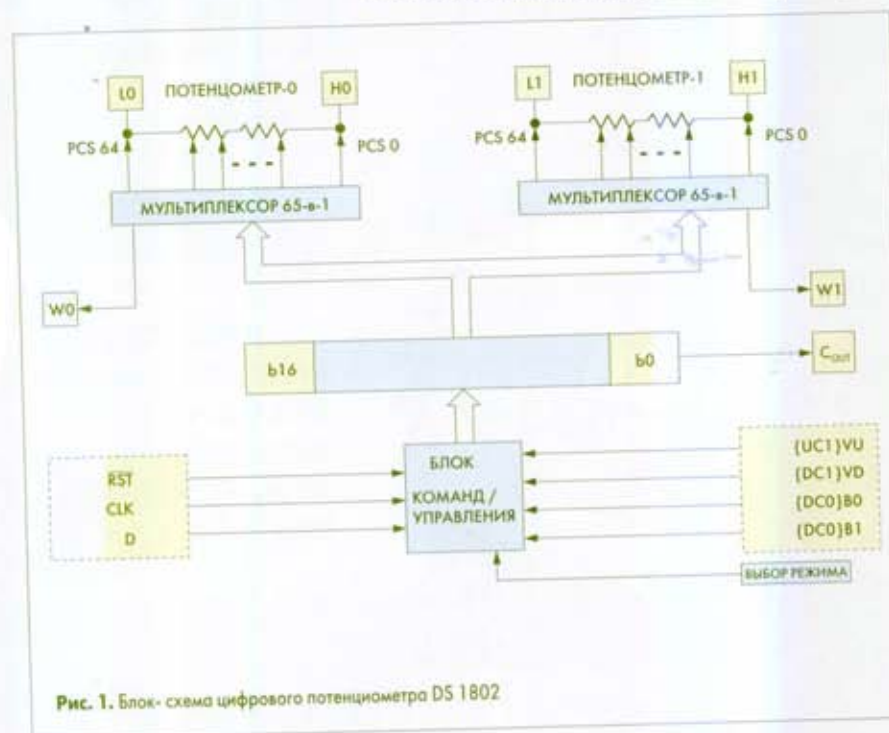


Рис. 1. Блок-схема цифрового потенциометра DS 1802



Рис. 2. Каскадное соединение приборов DS1802

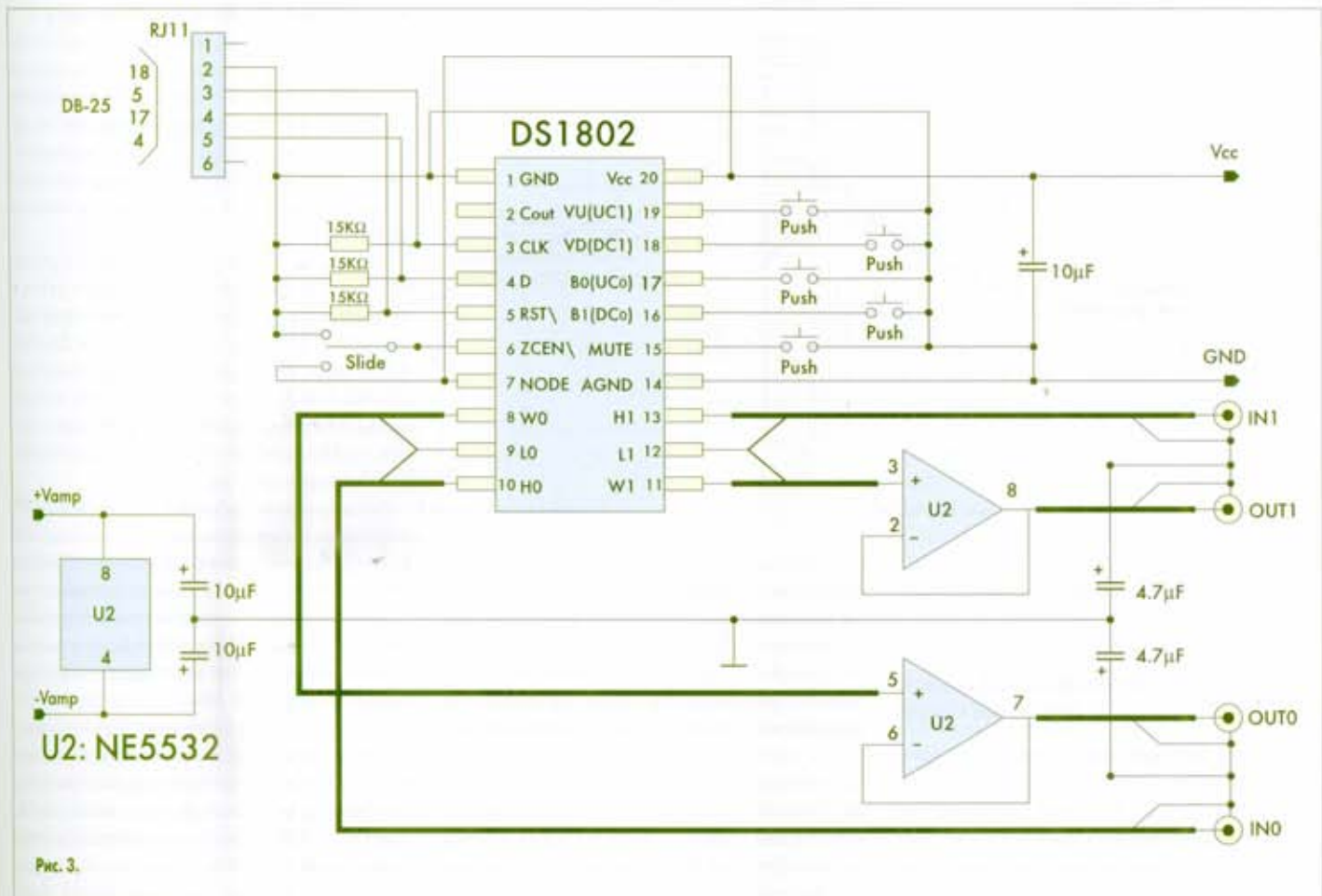


Рис. 3.

последнего DS1802 и входом первого устанавливается резистор обратной связи величиной 2–10 кОм.

Разработчикам звуковоспроизводящей аппаратуры часто недостаточно данных, приводимых в технической документации. Нужны характеристики, которые можно оценить и сравнить для выбора наилучшего в данном применении прибора. Некоторые из таких характеристик для двойного потенциометра DS1802 приведены в этой статье.

#### Конфигурация испытательной схемы

Для оценки характеристик звуковоспроизведения при использовании потенциометров DS1802 была собрана схема, представленная на рис. 3. Она состоит из двух ОУ NE5532, включенных в неинвертирующем режиме с единичным коэффициентом усиления. Входы этих буферов соединены с каждой «щеткой» DS1802.

С целью минимизации влияния постороннего шума на результаты измерения входные и выходные соединения были выполнены экранированным кабелем, а земляные шины соединены в общую точку. DS1802 и NE5532 были запитаны от отдельных источников.

Собранная схема была установлена внутри металлической коробки, являющейся экраном. Для подачи входных и выходных сигналов использовались соединители байонетного типа.

При измерениях характеристик использовался аудиоанализатор «Audio Precision — System One A» под управлением персонального компьютера. Были измерены полный коэффициент гармоник + шум (THD+N), интермодуляционные искажения (IMD), пере-

крестные помехи, абсолютная погрешность и соответствие внутренних каналов.

#### Абсолютная погрешность

Абсолютная погрешность определяется как разность между ожидаемым напряжением в данной позиции «щетки». По техническим условиям DS1802 должен обеспечить абсолютный допуск  $\pm 0,5$  дБ во всем диапазоне позиционирования «щетки». Испытывалось пять приборов. В любой точке позиционирования «щеток» абсолютная погрешность в этих испытаниях не превысила

$-0,2$  дБ, что хорошо согласуется с пределами, указанными в документации.

#### Межканальное соответствие

В DS1802 имеется два потенциометра. Межканальное соответствие определяется как разность между одинаковыми позициями «щетки» потенциометра 0 и потенциометра 1. Например, «щетка» на позиции 15 потенциометра 0 и потенциометра 1 должна давать показания сигнала, который, согласно спецификации на DS1802, не должен превышать  $\pm 0,25$  дБ. Измерения показали, что межканальное соответствие находится в пределах  $\pm 0,05$  дБ.

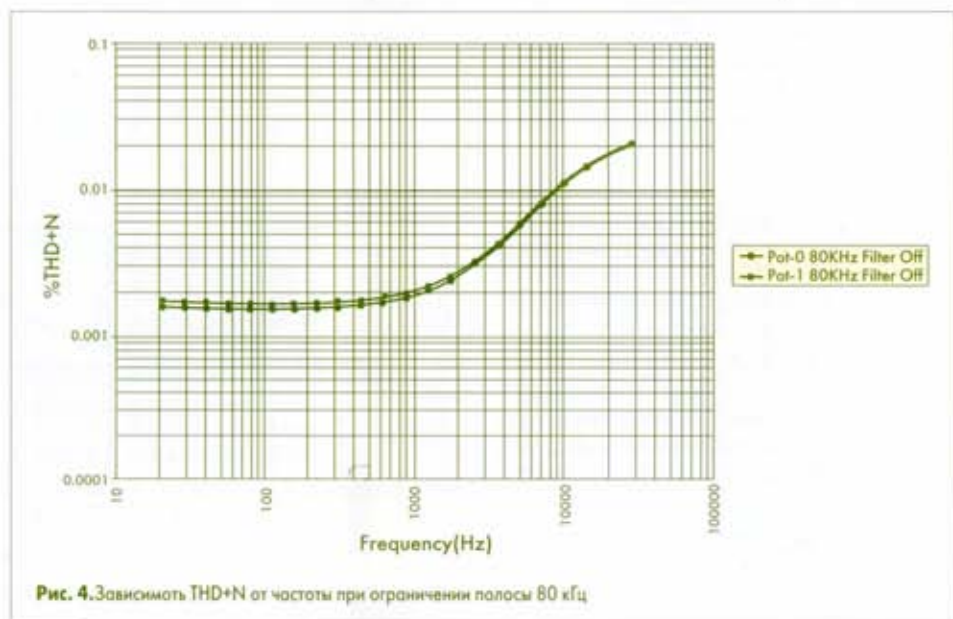


Рис. 4. Зависимость THD+N от частоты при ограничении полосы 80 кГц

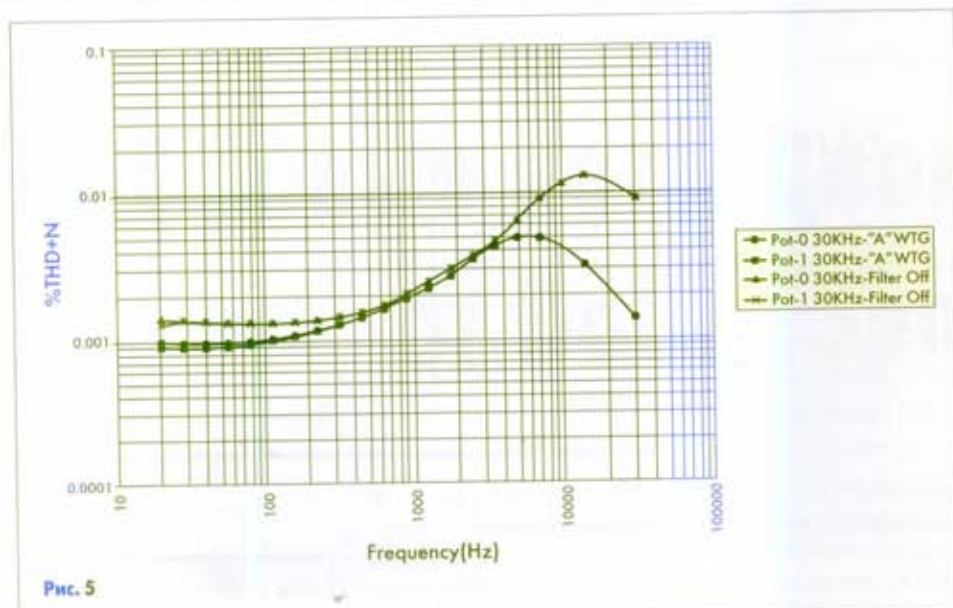


Рис. 5

что тоже является хорошим подтверждением пределов по спецификации.

### Полный коэффициент гармоник + шум

Полный коэффициент гармоник + шум (THD+N) как функция частоты представлен на рис. 4–6. На рис. 4 показан результат для сигнала, ограниченного полосой 80 кГц, не имеющего дополнительной фильтрации, на рис. 5 — для сигнала, ограниченного полосой 30 кГц и включающего составляющую от А-веса фильтра, на рис. 6 — для входного сигнала, ограниченного полосой 22 кГц и включающего составляющую от А-веса фильтра. Результаты получены при 5-вольтовом источнике питания, напряжении входного сигнала 1 В (среднеквадратичное значение). «Щетка» была установлена в 6-й позиции (–6 дБ ослабления). Такая установка «щетки» предусматривает самый плохой результат проверки параметра THD + N.

А-веса фильтр является специфическим фильтром нагрузки, используемым для снятия шумовых характеристик цифровых потенциометров. Его параметры близки к акустическим характеристикам уха человека в диапазоне звуковых частот (см. материалы Американского национального института стандартов ANSI S 1.4 и рекомендацию 179 Международной электротехнической комиссии IEC).

### Интермодуляционные искажения (IMD)

Для получения результатов измерения интермодуляционных искажений могут использоваться различные методики. Так, стандарт SMPTE (Общество инженеров кино и телевидения) предусматривает испытательный сигнал из двух гармонических колебаний: один тон низкочастотный, высокой амплитуды линейно объединяется с высокочастотным гармоническим колебанием в 1/4 амплитуды низкочастотного тока. При подаче испытательного двухтонального сигнала (низкочастотного на 60 Гц и высокочастотного на 7 кГц)

на нелинейный прибор появляются продукты взаимной модуляции в виде боковых полос около высокочастотного тона. Процентное содержание интермодуляционных искажений определяется как процент от модуляции амплитуды, представленной вторым и третьим порядком пары боковых полос высокочастотного сигнала. Второй порядок боковых полос около высокочастотного тона располагается на частоте  $F_h \pm F_l$ . Третий порядок боковых полос соответствует удвоенной частоте низкочастотной составляющей  $F_h \pm 2F_l$ . ( $F_h$  и  $F_l$  соответствуют высокочастотному и низкочастотному тону).

Результаты интермодуляционных искажений по стандарту SMPTE представлены на рис. 7.

### Перекрестные помехи

Для измерения перекрестных помех на потенциометр 0 прецизионного аудиоанализатора подавался тестовый сигнал. Со «щетки» потенциометра 0 снимаемый сигнал поступал на вход канала А аудиоанализатора. «Щетка» потенциометра 1 была подключена ко входу канала В аудиоанализатора. Замер производился в двух режимах. В одном из них терминалы H1 и L1 потенциометра 1 оставались открытыми, в другом — заземля-

лись. Таким образом, потенциометр 1, и именно его «щетка», используется как точка сравнения проникания сигнала из одного потенциометра (0) в другой (1). Сравнение входных сигналов аудиоанализатора по каналу А и каналу В дает уровень перекрестных помех. Графические данные результатов измерений в обоих режимах представлены на рис. 8.

Как видно из диаграмм, все характеристики, полученные экспериментальным путем и приведенные в статье, существенно ниже указанных в технических данных на DS1802. Хотя здесь не приведены исчерпывающие данные о цифровом потенциометре, есть надежда, что представленная информация относится к той, которая необходима разработчикам аудиоаппаратуры.

Большое разнообразие выпускаемых DS цифровых потенциометров дает возможность разработчикам различной радиоаппаратуры использовать те цифровые потенциометры, которые полностью соответствуют требованиям на изделие. Ниже приведены основные характеристики еще нескольких цифровых потенциометров от DS.

DS1666 — цифровой резистор для звукопроизводства. Он имеет логарифмическую шкалу и 128 точек позиционирования. Уровень аналогового сигнала может иметь значение  $\pm 5$  В, уровень сигналов цифрового управления — от 5 В. Значения сопротивлений резистивной матрицы могут быть 10 кОм, 50 кОм, 100 кОм.

DS1667 — двойной цифровой потенциометр и два операционных усилителя. Каждый потенциометр формируется из 256 элементов и от каждого имеется точка отвода на «щетку». «Щетки» устанавливаются 8-разрядным регистром управления. Данные в регистр поступают по 3-проводному последовательному интерфейсу. Кроме того, сопротивление резисторов можно суммировать, что дает возможность получать один потенциометр из 512 элементов. Широкополосные операционные усилители могут работать как в инвертирующем, так и неинвертирующем режиме. В целом DS 1667 может использоваться в цифроаналоговых или аналого-цифровых преобразователях.

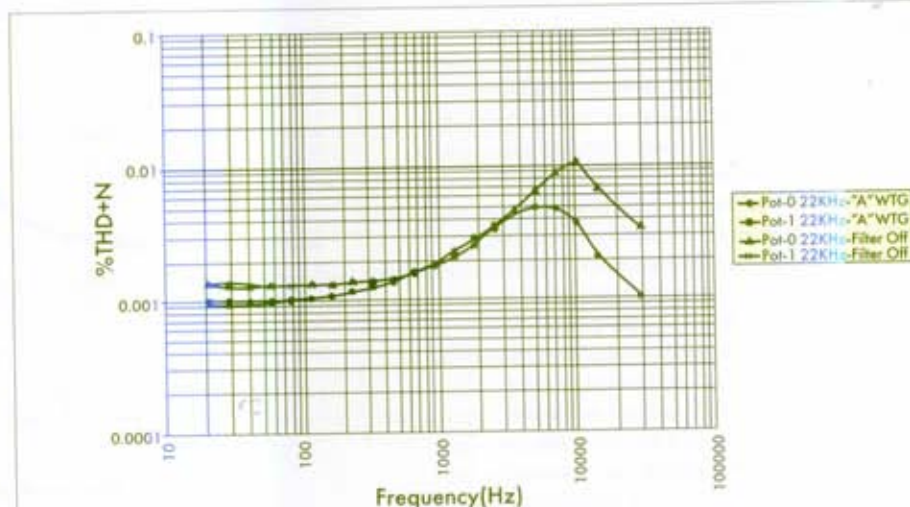


Рис. 6. Зависимость THD+N от частоты при ограничении полосы на 22 кГц

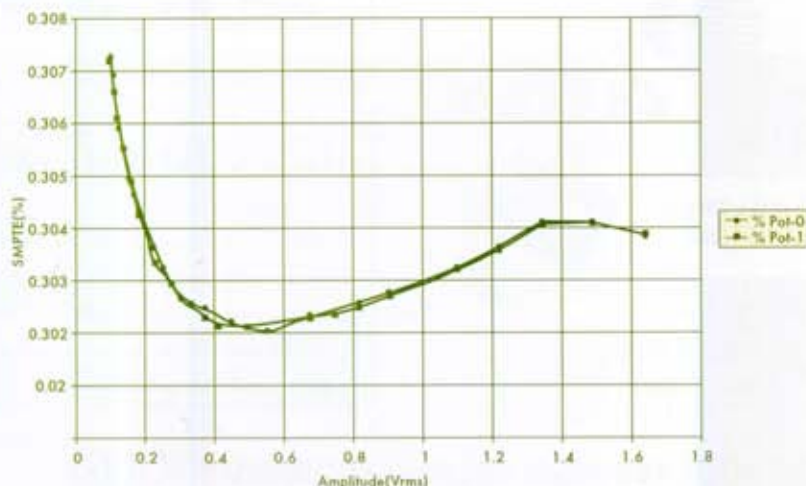


Рис. 7. Зависимость интермодуляционных искажений от амплитуды (по SMPLE)

DS1804 — энергонезависимый цифровой потенциометр — триммер, который имеет 100 позиционных отводов. Прибор обеспечивает идеальный метод для подстройки в дешевых применениях, где используется микроконтроллер или ручной ввод управления с минимальной внешней схемой. Позиция «шток» может сохраняться в памяти СППЗУ, а изменение данных производится через 3-проводный последовательный интерфейс. Прибор работает от источника питания 3 или 5 В в промышленном температурном классе.

DS1807 — двоянный цифровой потенциометр на 64 позиции каждый, с логарифмической характеристикой сопротивлений для регулирования звука. Работает с двухпроводным последовательным интерфейсом. Возможна адресация до восьми приборов DS1807. Можно программно объединить два потенциометра в один.

DS 1845 имеет в своем составе два линейных потенциометра и 256 байт ЭСППЗУ. Работает с двухпроводным интерфейсом. Пользователь конфигурирует двойные 100-позиционные

или 256-позиционные калибровки и загружает эти данные в ЭСППЗУ. DS1845 оптимизированы для гигабитных модулей приемо-передатчиков, где потенциометры используются для управления смещением и течением модуляции в лазерном диоде. Один DS1845 заменяет множество элементов, уменьшая стоимость и размеры изделия, а также позволяет автоматизировать процесс калибровки.

DS1847 и DS1848 — температурно-компенсированные двойные переменные резисторы. Перед установкой прибора при определенной температуре определяется сопротивление, и данные загружаются в ЭСППЗУ. Во время работы DS1847 (DS1848) непрерывно измеряет температуру и, используя калибровочную таблицу в ЭСППЗУ, регулирует сопротивление автоматически. Все термические данные и управляющие инструкции передаются по двухпроводному интерфейсу. Приборы работают от напряжения 3 В или 5 В в диапазоне температур от -40 до +95°C. DS1847 (DS1848) используются в оптических приемо-передатчиках в гигабитном Ethernet, волоконном канале, приложениях SONET. Полностью устраняется потребность во внешней температурной или ручной компенсации. У потенциометра DS1848 имеется дополнительно 128 байт ЭСППЗУ общего назначения.

Выпускается и множество других потенциометров, которые не упоминаются в данной статье. Dallas Semiconductor продолжает разработку и выпуск цифровых потенциометров с новыми возможностями и характеристиками для различных областей применения.

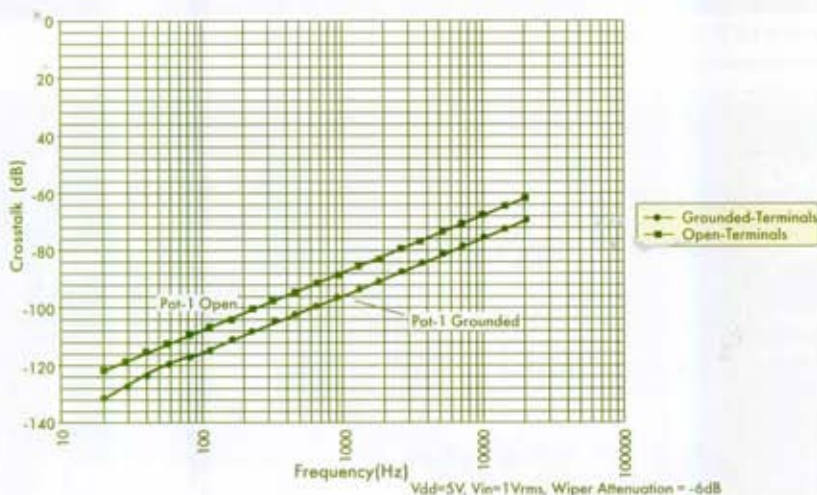


Рис. 8. Величина перекрестных помех в зависимости от частоты