

DIY Описание цифрового моста

Суй Цзяньвэй Путянь, десятая средняя школа

13850262218

1 Обзор:

Этот цифровой мост LCR в основном используется для точного определения параметров L, C и R компонентов с широким диапазоном и высокой точностью. Для воспроизведения рок-радио большинство компонентов должны быть изготовлены своими руками, а номинальные технические параметры отсутствуют. Например, вам необходимо знать характеристики реактивного сопротивления резонансных устройств, детекторных устройств, антенн, наушников, трансформаторов и других устройств. Среди них высокочастотные параметры могут быть решены с помощью Q-метра, а низкочастотные параметры Q-метра трудно измерить. Я считаю, что цифровой мост LCR может решить эту проблему.

• Цели дизайна:

1. Он может точно измерить L, C, R реактора, точность лучше 0,5%, если калибровка выполняется шаг за шагом, точность лучше 0,3%
2. Легко получить материалы, простая схема, проста в изготовлении, а стоимость должна контролироваться должным образом. Сделайте его более ценным для любительских DIY и исследовательской ценностью, а также изучите соответствующие детали и принципы LCR-моста через дизайн и DIY.

• Основные характеристики данного измерителя LCR

Количество слов аналого-цифрового преобразователя: около 1000 слов, с использованием технологии передискретизации, эффективное разрешение составляет около 4000 слов.

Метод измерения: квазимостовое измерение, принцип измерения аналогичен методу измерения для измерения сопротивления.

Основной диапазон измерения: от 1 Ом до 0,5 МОм, точность 0,5% (теоретическая), сравнение измеренного импеданса, ни одно из них не превышает 0,3%

Эффективный диапазон измерения: от 2 до 10 мегаом, минимальное разрешение составляет около 0,5-1 миллиом.

Остаточная погрешность серии: менее 2 миллиомов, эту ошибку нельзя игнорировать при измерении низкого сопротивления.

Параллельная остаточная ошибка: более 50 МОм, эту ошибку нельзя игнорировать при измерении высокого сопротивления.

Ошибка значения Q: $\pm 0,003$ ($Q < 0,5$), $Q / 300$ ($Q > 2$, относительная ошибка, простой алгоритм), другие оцениваются примерно в 0,5%

Ошибка значения D: $\pm 0,003$ ($D < 0,5$), $D / 300$ ($D > 2$, относительная ошибка, простой алгоритм), другие оцениваются примерно в 0,5%

Примечание: $Q = 1 / D$

ESR ошибка : $|Z| / 300$

При измерении высокого сопротивления D и Q эффективно измеряются при емкостях выше 40 пФ при 7,8 кГц, а точность D и Q ниже 20 пФ намного хуже.

Разомкнутая цепь, сброс короткого замыкания: версия с ЖК-дисплеем обеспечивает эту функцию для облегчения измерения высокого и низкого сопротивления. Версия со светодиодом не имеет этой функции, поэтому версию со светодиодом необходимо корректировать вручную, чтобы получить правильный результат при измерении конденсаторов малой емкости.

Амплитуда источника сигнала: пиковая 200 мВ (100 Гц), 180 мВ (1 кГц), 190 мВ (7,8 кГц)

Индуктивность: разрешение 0,02 мкГн, диапазон измерения от 0,1 мкГн до 1000 Гц, за пределами 1000 Гц не тестируется (теоретически это можно измерить нормально).

Емкость: разрешение зависит от прибора. Если прибор в хорошем состоянии, он может эффективно различать 0,05 пФ и может различать только 0,1 пФ без экранирования или даже только 1 пФ. Верхний предел не тестировался, был протестирован только конденсатор на 10000 мкФ, и в наличии нет конденсатора большего размера.

Рекомендуемый простой зажим: длина от 7 до 10 см, провод 7,5 квадратных миллиметра, просто подсоедините небольшой зажим.

Эталонный источник этих часов: 4 эталонных резистора и один эталонный источник времени соответственно. Эталонами сопротивления являются 4 сопротивления нижнего плеча моста. Эталон времени достигается с помощью кварцевого генератора с частотой 32 МГц, а точность может соответствовать требованиям моста.

Точность частоты: Фактическая частота составляет 99,18 Гц, 999,45 Гц (другая версия 976,56 Гц), 7812,5 Гц, сокращенно 100 Гц, 1 кГц, 7,8 кГц. Из-за ограниченного частотного разрешения DDS целочисленные частоты не используются. Погрешность частоты составляет около 0,02% (определяется схемой кварцевого генератора).

Искажение источника сигнала: Специального инструментального теста нет, только оценка. После выполнения фильтра верхних частот на выходном сигнале, наблюдайте его с помощью осциллографа, и никаких заметных искажений не обнаружено. Если есть ощутимые искажения, они будут иметь некоторое влияние на измерение значения D.

• креативный дизайн:

Генератор синусоидального сигнала, аналого-цифровой преобразователь, прямоугольная волна под углом 0 градусов и прямоугольная волна под углом 90 градусов - все это укомплектовано однокристалльным микрокомпьютером. Схема значительно упрощена, а производительность может соответствовать общим требованиям. Это облегчает задачу подражателей и больше подходит для использования в качестве самодельного счетчика.

2 Часто задаваемые вопросы

1. Погрешность измерения индуктивности.

Многие индукторы с магнитными сердечниками имеют разные индуктивности,

измеренные при разных напряжениях. Катушки с воздушным сердечником, высокочастотные магнитопроводы с низкой магнитной проницаемостью, этот тип индуктивности катушки имеет небольшую корреляцию с напряжением. Следовательно, этот тип катушки можно использовать для сравнительных испытаний точности.

2. Кристалл не вибрирует.

Кристаллы выше 25М в основном представляют собой кристаллы обертона. Поэтому кварцевый генератор 32 МГц, который мы покупаем, обычно представляет собой кварцевый генератор третьего обертона. Когда схема плохо согласована, кварцевый генератор может колебаться на основном тоне, а частота составляет только 1/3 от ожидаемого значения. При загрузке программы программа ISP подскажет частоту колебаний кварцевого генератора тока.

Когда кварцевый генератор колеблется на основном тоне, схема не может нормально работать, скорость однокристального микрокомпьютера снижается до 1/3, а отклик медленный. На нажатие клавиши требуется много времени, и ждет около 8 секунд при включении компьютера (обычно около 3 секунд), загорается индикатор 1 кОм

Чтобы заставить его резонировать на частоте 32 МГц, сначала добавьте к кварцевому генератору нагрузочный конденсатор, то есть подключите конденсатор 5 пФ к земле на обоих концах кварцевого генератора. Затем подключите подходящий резистор параллельно к обоим концам кварцевого генератора, и он будет резонировать на частоте 32 МГц.

Когда есть емкость нагрузки, кварцевый генератор ведет себя как индуктивное реактивное сопротивление во время резонанса. Кварцевый генератор можно рассматривать как индуктор L, который резонирует с емкостью нагрузки. После этого параллельно подключается резистор, и величина добротности LC-цепи падает. Когда емкость нагрузки постоянна, значение Q на низкой частоте растет быстрее, поэтому основной тон с большей вероятностью потеряет вибрацию, заставляя схему вибрировать обертонами. Емкость нагрузки не должна превышать 5 пФ, чтобы избежать перегрузки и цепи не будут вибрировать.

С тестом сопротивления 5K, 10k, 20k, 50k, 100k ... я получил следующие результаты: 5k не вибрирует, 10k, 20k, 50k вибрирует при 32 МГц, 100k и выше вибрирует при $32/3 = 10,7$ МГц.

Очевидно, лучше всего подключить резистор 20 кОм параллельно кварцевому генератору. Разные производители, разные партии кварцевых генераторов, резисторы, используемые в этой схеме, разные. Попробуй сам

Изменения температуры могут также вызвать неправильную рабочую частоту кварцевого генератора или остановить колебание. Это может быть связано с неправильным согласованием сопротивления или неисправностью кварцевого генератора. Если вибрация прекращается, сопротивление следует увеличивать, а если вибрация соответствует основному тону, сопротивление следует уменьшать. Если он по-прежнему не работает нормально, регулируя сопротивление, вам необходимо заменить кварцевый генератор.

3. Как точно измерить емкость от 220 пФ до 0,1 пФ?

Из-за небольшого движения измерительных проводов емкость измерительных проводов

может измениться на 0,1 пФ, что в конечном итоге приведет к ошибкам измерения емкости.

Подготовьте гнездо для штыревого разъема и припаяйте тестируемый конденсатор к штыревому разъему. Сначала замкните испытательные провода, чтобы измерить емкость холостого хода. Затем введите измеренную емкость для измерения. Разница между двумя измеренными значениями и есть истинное значение емкости. Во время измерения следите за тем, чтобы расстояние между измерительными проводами оставалось неизменным.

4. Как предотвратить потерю данных EEPROM.?

Пользовательские данные флеш-памяти Данные EEPROM легко потерять. Эксперименты показывают, что потеря данных происходит в процессе ненормального включения и выключения питания. Например, когда вилка питания плохо контактирует и напряжение нестабильно, легко вызвать потерю данных, и обычно это первый сектор потери данных. Поэтому рекомендуется добавить выключатель питания, который сделает включение и выключение питания простым и надежным. Данные должны быть записаны во второй или третий сектор программы, что может значительно снизить вероятность потери данных. Более ранние версии программы записывают данные в первый сектор, что может легко вызвать потерю данных, поэтому используйте последнюю версию. программы. Последняя программа также выполнила вторую защиту, то есть, когда срабатывает EEPROM, добавляется условие запуска. При нормальном питании данные памяти теряются, условие запуска не выполняется, и EEPROM не работает. защищен.

5. Как экранировать резисторы R9-R16?

Используйте такое же сопротивление для четырех резисторов 2 кОм R9 — R12. Сначала на экран выводятся 4 сопротивления с разницей менее 0,3%. Затем в этих четырех резисторах в качестве R9 и R12 используются два резистора с разницей всего 0,1%. Температурный дрейф четырех резисторов должен быть менее 50 ppm / K, а температурный дрейф должен быть таким же.

R9 — R12 четыре резистора 10 кОм, используйте то же значение сопротивления. Сначала на экран выводятся 4 сопротивления с разницей менее 0,3%. Тогда среди четырех резисторов два резистора с разницей всего 0,1% используются в качестве R13 и R16. Температурный дрейф четырех резисторов должен быть менее 50 ppm / K, а температурный дрейф должен быть таким же.

Рекомендуется использовать резисторы с погрешностью менее 0,3% для Ra1 - Ra4, а температурный дрейф составляет менее 25 ppm / K.

Отношение R20 к R21 должно быть 8: 1, точность соотношения должна быть проверена с точностью до 0,3%, а температурный дрейф должен быть менее 25 ppm / K.

Отношение R30 к R29 должно быть 2: 1, точность соотношения должна быть проверена с точностью до 0,3%, а температурный дрейф должен быть менее 25 ppm / K.

6. Как измерить температурный дрейф сопротивления?

Эта таблица требует использования резистора с температурным коэффициентом лучше 50 ppm / градус, и настоятельно рекомендуется использовать резистор с температурным

коэффициентом лучше 25 ppm / градус.

Зимой найдите погоду с температурой от 10 до 20 градусов. С помощью небольшого термометра измерьте разницу температуры T между вашим пальцем и температурой воздуха.

Затем измерьте сопротивление резистора. Зажмите резистор пальцем через пластиковую пленку, чтобы нагреть его, и измерьте относительное изменение сопротивления dR . Тогда температурный коэффициент равен dR / T

Купленные в настоящее время резисторы с металлической пленкой от 2 до 4 центов имеют температурный коэффициент менее 25 ppm / градус, а небольшое количество из них достигает 50 ppm / градус, обычно менее 10 ppm / градус.

Если температура пальцев недостаточна, можно ошпарить руки горячей водой в течение 5 минут, а затем, оживив кровь, провести эксперимент, рекомендуется надеть теплую одежду.

Во всем ряду резисторов большинство температурных коэффициентов схожи, но могут быть и особо плохие. Например, если измерено 10, 9 может быть лучше, чем 10 ppm / градус, но есть только один 50 ppm / градус.

Если вам сложно проверить и измерить, рекомендуется купить резистор 0,1% напрямую.

7. Мне кажется, что электролитический конденсатор не точен?

Электролитические конденсаторы, керамические конденсаторы и монокристаллические конденсаторы могут отличаться от номинала на 10% или даже 50%. Потому что сами по себе эти конденсаторы не являются прецизионными. Для полиэфирных конденсаторов и конденсаторов СВВ разница между измеренным значением и номинальным значением обычно находится в пределах 10%. Конденсатор лучшего качества обычно находится в пределах 2% разницы.

Емкость электролитического конденсатора можно точно измерить при частоте 100 Гц, и двухпроводного метода вполне достаточно. Емкость 1 кГц будет уменьшена. 7,8 кГц обычно требует использования четырехпроводного метода для точного измерения емкости. По мере увеличения частоты емкость уменьшается еще больше, что указывает на плохую частотную характеристику конденсатора.

8. Требуется ли калибровка точности емкости?

Калибровка не требуется. Сопротивление откалибровано, а измерение емкости происходит автоматически и точно. Для проверки точности сопротивления следует использовать как минимум четырехзначный измеритель, а трех с половиной цифр и 2000 слов не следует использовать. Таблица из 2000 слов имеет меньшую точность, чем эта таблица. Поскольку измеритель 2000 слов измеряет сопротивление показаний 2xx, ошибка может достигать 1%, и этот мост не может быть проверен. Для измерителя марки на 6000 слов точность резистивного механизма обычно хуже, чем у этого измерителя, если только внутренний резистор делителя не заменен.

9. Как выбрать диапазон?

Измеряемый импеданс имеет два параметра, а именно реактивное сопротивление x и

сопротивление r . При последовательном измерении наибольшее из значений x и r используется в качестве основного параметра Z (при параллельном подключении наименьшее из значений x и r используется в качестве основного параметра Z). Диапазон сопротивления обозначается как R

Когда выбранный диапазон составляет $0,8R < Z < 8R$, это лучший диапазон.

Если вы не можете найти подходящий диапазон, вы можете выбрать $0,1R < Z < 10R$

10. Когда использовать четырехпроводной метод?

Для измерения небольшого сопротивления, с точностью до 1 миллиом, в это время следует использовать четырехпроводной метод. 3 Ом или более, обычно используется двухпроводный метод (т. Е. Две клеммы на голове и хвосте), не забудьте вычесть остаточное значение короткого замыкания.

При использовании метода второй линии точность составляет до 5 миллиом, и проблема плохого контакта должна быть устранена в максимально возможной степени.

11. Какой длины должен быть тестовый провод?

Рекомендуется, чтобы общая длина (включая зажим) не превышала 15 см.

Используйте экранированные четырехконтактные зажимы Кельвина, длина не должна быть слишком большой, рекомендуется не более 40 см, и используйте экранированный провод с небольшой распределенной емкостью.

12. Как устранить влияние щупов?

Когда измерительные провода разомкнуты, нажмите кнопку C , чтобы сбросить разрыв цепи.

Измерительные провода закорочены, и нажмите кнопку C , чтобы устранить короткое замыкание.

Если сброс разомкнутой цепи не устраивает, снова нажмите клавишу C . После очистки может быть переход между отображением остатков сверхбольшой индуктивности и остатков сверхмалой емкости. Переключение в параллельный режим позволяет отображать небольшое количество отрицательной емкости, поэтому нелегко отобразить большое значение.

Если устранение короткого замыкания не удастся, снова нажмите клавишу C . После очистки может быть переход между отображением остаточного суперконденсатора и остаточной сверхмалой индуктивности. Переключение в последовательный режим позволяет отображать небольшую отрицательную индуктивность, поэтому отобразить большую емкость непросто.

Перед сбросом подождите, пока дисплей не станет относительно стабильным, обычно это занимает две или три секунды.

Сброс разомкнутой цепи и замкнутой цепи действительно только для текущей частоты и диапазона тока. Например, очистка в диапазоне 7,8 кГц 100 кОм не будет иметь эффекта очистки после переключения на другие диапазоны (например, изменение частоты или

диапазона).

Нажмите кнопку L или перезапустите машину, чтобы отменить сброс, при этом данные открытого и короткого сброса будут сброшены одновременно.

Данные сброса разомкнутой цепи и замкнутой цепи независимы в программе и не влияют друг на друга. Таким образом, одна и та же передача может использоваться для сброса разомкнутой цепи и замкнутой цепи одновременно.

13. Как точно измерить NPO малой емкости?

Прежде всего, рекомендуется использовать частоту 7,8 кГц.

Во-вторых, рекомендуется выполнить сброс при разомкнутой цепи. Чтобы использовать розетку, измерительный провод зажимается в маленькой розетке, а затем разомкнутая цепь очищается.

В-третьих, вставьте измеренную емкость, чтобы получить правильные показания. До и после установки конденсатора сохраняйте относительное положение между двумя измерительными проводами неизменным.

14. Частота остается прежней, а измеренное значение емкости сильно меняется после переключения диапазона. Это нормально?

Если оба диапазона соответствуют $0,1R < Z < 10R$, то для СВВ, полиэфирных и других конденсаторов разница между измеренными значениями должна быть в пределах 0,4%, чтобы считаться нормальным. Монолитные конденсаторы (не-NPO) и керамические (не-NPO) переключают диапазон. Измеренное значение может превышать 0,4%, потому что их емкость зависит от измеряемого напряжения.

15. После калибровки параметры нулевой точки Z0 и Z1 составляют около 75, а Z2 меньше 40. Это нормально?

Обычно Z1, Z2 и Z2 относительно близки, например $Z0 = 75$, $Z1 = 75$, $Z2 = 70$, что указывает на то, что cd4053 имеет хорошую частотную характеристику.

В этом примере, если $Z2 = 40$, это означает, что частотная характеристика CD4053 немного хуже, но это мало влияет на точность фазы. Если $Z2 = 10$, это может не работать, и это легко может привести к плохой фазовой точности на частоте 7,8 кГц, а индекс точности $D = 0,003$ может не поддерживаться. Конечно, фактическое измерение имеет преимущественную силу.

16. Точно ли измерение индуктивности?

Измерения L, C и R в основном имеют одинаковую точность, и все они могут достигать показателя 0,3%.

У большинства знакомых нет стандартных индукторов, поэтому эту работу проверить непросто. Катушки с воздушным сердечником можно использовать для сравнительных испытаний с коммерческими прецизионными мостами, но есть некоторые уловки. Клеммы проводки индуктора должны быть хорошо закреплены, и нельзя использовать гибкие

провода. Вокруг полый катушки не должно быть железа, а также не может быть магнитов и прочего, чтобы не повлиять на индуктивность.

17. В тесте сопротивления иногда ошибка измерения непостоянна. Например, при измерении сопротивления 2.000k получить 2.000 показаний, что неплохо, но измерение сопротивления 5.000k, но есть разница в 8 слов, не так ли? обычный?

Это нормально, потому что в двух измерениях программа автоматически определяет диапазон и использует разные механизмы усиления.

18. При измерении конденсатора емкостью 1000 мкФ двухпроводным методом емкость увеличивается на частоте 7,8 кГц, это нормально?

Это нормально. Это связано с тем, что влияние последовательной индуктивности измерительных проводов и последовательной индуктивности проводника внутри конденсатора становится больше, что делает кажущееся полное сопротивление конденсатора меньше, а отображаемая емкость становится больше.

Четырехпроводный метод или метод отключения от короткого замыкания может устранить влияние индуктивности испытательного провода, но не может устранить влияние индуктивности внутреннего проводника конденсатора.

Параллельная емкость тестовых проводов составляет от 0,5 до 1 пФ на 10 см, а длина рассчитывается одной ручкой.

Последовательная индуктивность измерительных проводов составляет около 0,1 мкГн на 10 см. Длина рассчитывается в соответствии с длиной провода контура и имеет определенную зависимость от диаметра провода и формы контура провода.

Сопротивление измерительных проводов, составляющее от 15 до 150 миллиом, тесно связано с диаметром и длиной провода.

Остаточный импеданс двухпроводного метода относительно велик. Например, индуктивность измерительного провода составляет 0,2 мкГн, затем реактивное сопротивление составляет 10 мОм на частоте 7,8 кГц. Измерьте сегодня конденсатор емкостью 470 мкФ, его реактивное сопротивление будет около -50 мОм. Под влиянием индуктивности измерительных проводов измеренное последовательное реактивное сопротивление составит $10 \text{ мОм} - 50 \text{ мОм} = -40 \text{ мОм}$, то есть измеренное значение реактивного сопротивления будет уменьшено примерно на 20%, а полученная емкость увеличится на 20%. , используя двухпроводной метод для измерения на частоте 7,8 кГц. Электролитические конденсаторы будут иметь гораздо большую емкость, или даже станут в несколько раз больше или вообще станут индуктивными. Для конденсаторов с тонкими выводами провода внутри конденсатора имеют большую индуктивность и с большей вероятностью станут индукторами, чем конденсаторами. Если вы переключитесь на измерение 1 кГц, тогда емкостное реактивное сопротивление составит около 400 мОм, а реактивное сопротивление пера измерителя - около 1,2 мОм. Очевидно, реактивным сопротивлением пера измерителя можно пренебречь. Поэтому для измерения электролитического конденсатора используйте 100 Гц и 1 кГц для измерения емкости, а для

измерения ESR обычно используйте 7,8 кГц.

19. Какую частоту следует использовать для измерения ESR электролитических конденсаторов?

Его можно измерить на всех трех частотах. ESR, измеренный на частоте 7,8 кГц, может лучше отражать качество конденсатора.

20. Когда результат измерения от 3xxx до 9xxx, последнее слово часто перескакивает, особенно когда 9xxx последнее слово перескакивает еще больше, это нормально?

Для этих часов это нормально, и небольшой скачок последнего слова не влияет на точность. Шум передискретизации AD, DDS, фазовый генератор и т. Д. В этих часах интегрированы в один чип, поэтому шум больше, но он мало влияет на точность.

В основном диапазоне значение составляет от 1xxx до 3xxx, обычно последнее слово пропускает одно слово (за исключением измерений высокого и низкого сопротивления).

21. Можно ли использовать резистор последовательно с конденсатором CBV / 630 В для проверки точности фазы?

Да, но в этом нет особого смысла. Поскольку при непосредственной проверке фазы с помощью конденсатора CBV / 630V, если измеритель LCR является точным (отображается как 999), то при последовательном измерении сопротивления определенно будет получено ожидаемое значение в пределах допустимого диапазона погрешности.

Следовательно, пока измерение сопротивления «значение сопротивления точное» и измерение емкости «фаза», этот измеритель LCR является точным. Предпосылка состоит в том, что частота кристалла должна быть точной.

22. Что мне делать после фазовой калибровки, если я измеряю емкость Q> 1000, если я не могу получить 999?

Если измеренное сопротивление потерь является отрицательным числом, а отображаемое значение Q составляет около 600, это означает, что фазовая ошибка немного больше. Рекомендуется выполнить точную настройку R1X-R4X соответствующим образом, обычно точную настройку от 1 до 2 символов, не слишком много доработок.

Если сопротивление потерь является положительным числом, а отображаемое значение Q составляет около 600, фазовая ошибка на самом деле очень мала, поэтому нет необходимости ее регулировать.

23. Можно ли использовать два конденсатора последовательно и параллельно для проверки точности?

Чтобы использовать этот метод, используйте конденсаторы CBV или Dicapacitor. Конденсаторы из полиэстера также необходимо испытывать на той же частоте.

Например, два измеренных конденсатора - это C1 и C2, тогда после параллельного

соединения измеренное значение должно быть $C1 + C2$, а при последовательном соединении - $C1 * C2 / (C1 + 2)$ для проверки.

24. Какова величина добротности двух идентичных конденсаторов с высокой добротностью ($Q > 1000$), включенных параллельно или последовательно.

Тем не менее $Q > 1000$

25. Формула расчета значений Q и D

Элемент реактивного сопротивления может быть эквивалентен двум последовательно сосредоточенным параметрам X и R , записанным как $Z = R + jX$

$Q = |X / R|$, принято брать только положительное значение, поэтому берется абсолютное значение.

$D = |R / X|$, принято брать только положительное значение, поэтому берется абсолютное значение.

Реактивный элемент также может быть эквивалентен двум параллельным сосредоточенным параметрам $X2$ и $R2$, записанным как $1 / Z = 1 / R2 + j / X2$.

$Q = |R2 / X2|$, принято брать только положительное, поэтому берется абсолютное значение.

$D = |X2 / R2|$, принято брать только положительное, поэтому берется абсолютное значение.

D и Q взаимны.

25. Что такое «последовательный метод» и «параллельный метод»?

Элемент реактивного сопротивления может быть эквивалентен двум последовательно сосредоточенным параметрам X и R , записанным как $Z = R + jX$

После взятия обратного оно преобразуется в параллельные параметры, то есть $1 / Z = 1 / (R + jX) = (R - jX) / (R^2 + X^2) = R / (R^2 + X^2) - jX / (R^2 + X^2)$

Эквивалент параллельному реактивному сопротивлению - $X2 = (R^2 + X^2) / X$, параллельное сопротивление - $R2 = (R^2 + X^2) / R$

Последовательный метод и параллельный метод имеют разные реактивные сопротивления, но полученные значения Q одинаковы.

$X2$ и $R2$ также можно записать как:

$$X2 = (R^2 + X^2) / X = X [(R / X)^2 + 1] = X (D^2 + 1)$$

$$R2 = (R^2 + X^2) / R = R [(X / R)^2 + 1] = R (Q^2 + 1)$$

26. Каково приблизительное значение добротности полиэфирных конденсаторов?

Емкость мала, на частоте 7,8 кГц Q обычно больше 100, на частоте 1 кГц Q больше 200 также нормально. Для большей емкости, такой как 1 мкФ или 2 мкФ, значение Q обычно меньше.

27. Каково приблизительное значение добротности конденсатора CBV / 630 В?

Обычно более 1000, конденсаторы CBV / 630V 0,1 мкФ, 0,33 мкФ, 0,47 мкФ, которые у меня есть, значение Q больше 1500

0,47 мкФ, по мере увеличения частоты значение Q уменьшается. При 1 кГц, $Q > 2500$, 7,8 кГц $Q > 1300$. Это связано с тем, что при большой емкости нельзя игнорировать последовательное сопротивление вывода и внутреннего металла, поэтому значение Q увеличивается с частотой.

0,1 мкФ, на частоте ниже 10 кГц значение Q постоянно. В это время потеря в основном связана с диэлектрическими потерями, и последовательными потерями металла можно пренебречь, поэтому значение Q остается неизменным.

28. Использовать последовательный или параллельный метод для измерения высокого сопротивления?

Рекомендуется использовать параллельный метод. Идентификатор, отображаемый на LCD1602, - "Zp".

29. Для измерения низкого сопротивления следует использовать последовательный или параллельный метод?

Необходимо использовать тандемный метод. Идентификатор, отображаемый на LCD1602, - "Zs".

30. Что делать, если зуммер слишком громкий?

Когда звучит зуммер, он громче. Если вам неудобно, вы можете удалить его или наклеить наклейку на звуковое отверстие.

Каждый раз, когда вы нажимаете кнопку, ток зуммера будет влиять на измерение, поэтому измеренное значение не стабилизируется, пока зуммер не перестанет звучать в течение нескольких секунд.

31. Требования к выходной амплитуде TL082 и регулировка амплитуды.

При нормальных условиях, пик на выходе 100 Гц 200 мВ, пик на выходе 1 кГц 180 мВ, пик на выходе 7,8 кГц 190 мВ

Используя параметры на принципиальной схеме, выходная амплитуда 100 Гц и 1 кГц автоматически достигнет вышеуказанных значений. Из-за ошибки конденсатора фильтра в диапазоне 7,8 кГц могут быть некоторые ошибки в выходной амплитуде. Если ошибка амплитуды слишком велика на частоте 7,8 кГц, отрегулируйте емкость конденсатора C24.

Если амплитуда превышает указанное выше значение на 10%, LCR может не работать нормально, а если оно меньше 10%, проблем нет.

32. Почему LCR не работает нормально без калибровки нулевой точки, а измеренное значение серьезно отклоняется от нормы?

AD не имеет возможности измерять отрицательные значения, и есть нулевое пороговое напряжение. По этой причине смещение постоянного тока добавляется после выхода OP07 для точного измерения выхода фазового детектора. При смещении постоянного тока показание AD составляет около 75, когда выходной сигнал фазового детектора равен 0. Когда фазовый детектор выдает отрицательное напряжение, показание AD меньше 75, но AD никогда не считывает отрицательный результат. Для отрицательного напряжения необходимо добавить сдвинутый по фазе прямоугольный сигнал на 180 градусов для фазовой дискриминации, чтобы получить положительное выходное напряжение, в противном случае AD не сможет работать правильно. Поскольку AD не может получить отрицательный результат, программа не может определить, нужно ли развернуть 180 градусов.

Когда мы выполняем калибровку нулевой точки, когда фазовый детектор выдает отрицательное напряжение, результат AD на выходе также будет отрицательным числом, но наиболее отрицательным будет только -75, но этого достаточно для определения фазы.

33. Как выбрать емкость измерителя LCR?

C5-C10, C25 и C26, связанные с фильтрацией на пути прохождения сигнала милливольтметра, должны использовать конденсаторы, емкость которых не изменяется с напряжением сигнала. Конденсаторы из полиэстера и СВВ подойдут.

C1 — C4 следует использовать конденсаторы с малой утечкой и выдерживаемым напряжением более 63 В. Доступны как полиэфирные, так и СВВ-конденсаторы.

Конденсаторы фильтра DDS должны использовать конденсаторы с меньшим температурным дрейфом, например, полиэфирные конденсаторы. Если используется монолитный конденсатор, температурный дрейф может быть больше, поэтому не проверялось, можно ли его использовать.

C11 — C13, C15 — C17, C27, можно использовать монолитные конденсаторы, и рекомендуются конденсаторы из полиэстера или СВВ.

34. Какова потребляемая мощность всей машины?

Потребляемая мощность положительного 5V составляет 50-60 мА, что связано с током подсветки LCD1602. Отрицательная потребляемая мощность 5 В составляет менее 50 мА, когда реле не работает, менее 20 мА

35. Как выбрать трансформатор?

Используйте трансформатор с ответвлениями 9 В. Напряжение холостого хода трансформатора на 1-2 В выше номинального напряжения. Например, напряжение холостого хода трансформатора 9 В может составлять 11 В. Если мощность трансформатора большая, выпрямленное выходное напряжение будет слишком большим, и 7805 будет выделять тепло. Поэтому рекомендуется использовать трансформатор 8 В при высокой мощности трансформатора. Когда напряжение городской электросети составляет 220 В, входное напряжение 7805 более подходящее 9-10 В, более 11 - не очень хорошо.

Если вы не можете купить трансформатор с ответвлениями, можно также использовать безотводный трансформатор. Один конец подключается к заземляющему проводу, а другой

конец - к любой из двух оставшихся клемм. В этом методе схема выпрямителя становится полуволновым выпрямителем, и пульсации на выходе становятся больше. Необходимо использовать осциллограф, чтобы увидеть самое низкое напряжение входного каскада 7805, которое не должно быть ниже 9 В (220 В).

36. Сколько линий используются для подключения LCD1602 к материнской плате?

2 шнура питания, контакт 1 заземлен, контакт 2 подключен к питанию + 5В, 4 линии передачи данных, 11, 12, 13, 14 футов

Имеется 3 линии управления, а пятый контакт - это линия управления R / W. Поскольку программа не записывает данные, этот контакт может быть непосредственно заземлен на плате PCB LCD1602, поэтому фактически подключены только две линии управления. Следовательно, требуется как минимум 8 соединительных линий.

37. Какова абсолютная погрешность комплексного импеданса в последовательном режиме?

$$Z = R + jX, \text{ ошибка } a = (|R| + |X|) / 300$$

Истинное значение R: $R - a < R < R + a$, R рассчитывается как положительное значение

Истинное значение X: $X - a < X < X + a$, X вычисляется как положительное значение.

Например, измеренное сопротивление конденсатора составляет (0,22-j20) Ом, тогда $a = (0,22 + 20) / 300 = 0,07$ Ом, погрешность сопротивления R и реактивного сопротивления X составляет 0,07 Ом.

Например, после последовательного подключения резистора к конденсатору измеренное реактивное сопротивление составляет (15-j20) Ом, тогда $a = (15 + 20) / 300 = 0,12$ Ом, а ошибка между частью сопротивления R и реактивным сопротивлением часть X составляет 0,12 Ом

Вышеупомянутый алгоритм действителен для последовательного режима.

38. Почему частота не целое число?

1. Тактовая частота DDS составляет всего 62,5 кГц, что приводит к недостаточному разрешению выходной частоты.

2. Чтобы уменьшить фазовый шум, возьмите 1/8 тактовой частоты и частоту 7,8125 кГц.

39. Почему визуальная величина случайным образом подскакивает после короткого замыкания или разрыва цепи?

При коротком замыкании измеренное значение является остаточным сопротивлением короткого замыкания измерительных проводов. Поскольку остаточный импеданс измерительных проводов невелик, при неправильном выборе диапазона остаточное значение измерительных проводов может быть меньше минимального разрешения LCR (то есть нижний предел превышает диапазон), а кажущееся значение будет прыгать случайным

образом.

Когда цепь разомкнута, измеряется остаточное сопротивление разомкнутой цепи. Импеданс разомкнутой цепи очень велик. При неправильном выборе диапазона остаточное значение может быть больше, чем максимальное разрешение LCR (то есть верхний предел превышает диапазон), а кажущееся значение также случайным образом изменяется.

20R, 1k, 10k, 100k, нижний предел импеданса составляет 1 миллиом соответственно, 50 миллиом, 500 миллиом, 70 кОм переполнение дисплея, верхний предел относится к ручке счетчика, но максимум каждой передачи не будет превышать 500 k, 20M, 200M, 1G в Европе, 7,8 кГц меньше 100M в Европе

40. Какой ток подсветки подходит для LCD1602?

Ток большой, яркость экрана высокая, немного слепнет. Некоторые светодиоды подсветки ЖК-дисплея имеют низкую яркость, и требуемый ток также больше. Обычно достаточно 10 мА, а токоограничивающий резистор светодиода подсветки составляет от 100 до 200 Ом.

41. Какова роль параметров R4b и G2b?

Он используется для регулировки точности передачи 100k и передачи 9-кратного усиления на частоте 7,8 кГц. Это просто параметр тонкой настройки, обычно в пределах 10, не более 10 слов, чтобы не повлиять на общую точность.

42. Можно ли использовать этот измеритель для внутрисхемной проверки конденсаторов?

Да, но не подходит. Поскольку входная схема защиты недостаточно строгая, зарядка тестируемого конденсатора может привести к повреждению измерителя.

43. Подбор и изготовление щупов.

Можно использовать следующие два метода.

Используйте гнездо Q9, используйте четырехпроводной метод, с экранированным зажимом Кельвина

Используйте банановую розетку, кабель 0,75 мм², длина провода 10 см (без зажима), а зажим представляет собой небольшой железный зажим. Если длина выводного провода составляет 50 см, он относительно длинный и не может использоваться для калибровки или измерения высокого сопротивления. Другими словами, лучше всего иметь два набора длинных и коротких зажимов.

44. Как быстро проверить точность LCR?

Выполните следующие тесты для разных частот

- 1) Определите, является ли сопротивление 20R, 25R, 100R точным на 20 передачах.
- 2), файл размером 1k, чтобы определить точность сопротивления 200R, 500R, 1k, 3k, 5k, 10k,

20k.

3), файл 10k, чтобы определить, является ли сопротивление 5k, 10k, 20k, 50k, 100k точным.

4), файл 100k, чтобы определить, является ли точное сопротивление 90k, 100k, 150k, 200k (для измерения лучше всего использовать параллельный метод)

Проверка фазы

1) Возьмите конденсаторы 0,33 мкФ и 0,47 мкФ СВВ / 630 В, диапазон 20R / 7,8 кГц, измеренная добротность > 500, предпочтительно 999

2). Возьмите конденсаторы СВВ / 630 В 0,1 мкФ, 0,05 мкФ и 0,022 мкФ, диапазон 1 кОм / 7,8 кОм и измеренную $Q > 500$, предпочтительно 999

3) Возьмите конденсаторы с высокой добротностью 1н и 3,3н, диапазон 10к / 7,8 кГц, измеренная добротность > 500, предпочтительно 999

4) Возьмите NPO 220 пФ, файл 100к / 7,8 кГц и измерьте $Q > 500$, предпочтительно 999

5) Вышеуказанная емкость должна быть на уровне 1 кГц, и следует выбрать лучший диапазон, он также должен быть измерен выше 500, и следует выбрать 100 Гц, чтобы получить более 300 (фазовая ошибка этих часов велика на этой частоте).

Проверка низкого сопротивления

1). Замкните накоротко измерительные провода и сохраните состояние измерительных проводов неизменным. Сопротивление измерительных проводов, измеренное на трех частотах, должно быть одинаковым, разница составляет менее 2 мР, а разница между индуктивностью измерительных проводов отображаются в диапазоне 1 кГц, а дисплей 7,8 кГц меньше 0,2 мкГн

2) Четырехпроводной метод, короткое замыкание с помощью медного провода квадратного сечения 2,5, реактивное сопротивление и сопротивление должны быть менее 2 мР.

Проверка высокого сопротивления

1). Выполните тесты сопротивления 1М, 2М, 4М и другие, используйте параллельный метод (т.е. состояние Z_p вместо Z_s), погрешность ниже 1М должна быть менее 1,5%.

2) Это нормально, если ошибка достигает 3% при измерении 4М на частоте 7,8 кГц.

45. Как определить номинальную погрешность по таблице своими руками?

В диапазоне от 2 Ом до 200 кОм используется тестирование сопротивления высокой плотности, а при измерении используется лучший диапазон. Если погрешность меньше 0,2%, то номинально она может составлять 0,3%, если погрешность меньше 0,3%, она должна быть номинально 0,5%.

Точность реактивного сопротивления X равна точности измерения сопротивления.

Точность индуктивности и емкости связана с точностью модели «определения сосредоточенных параметров», что означает, что, если компонент является идеальной моделью, достигается высокая точность. Идеальный LC преобразуется следующим образом:

Соотношение преобразования между индуктивностью и реактивным сопротивлением X :

$$L = X / (2 * \pi * f)$$

Соотношение преобразования между емкостью и реактивным сопротивлением X: $C = 1 / (2 * \pi * f * X)$

46. Можно ли поменять TL082 на другую модель?

Не обязательно. Это может не работать должным образом. Некоторым операционным усилителям для стабильной работы требуются вспомогательные цепи, такие как конденсаторы обратной связи. У некоторых есть требования к коэффициенту усиления схемы с обратной связью.

47. Какую производительность имеет LCR, когда кварцевый генератор работает ненормально?

Следующие ситуации могут быть вызваны неправильной настройкой кварцевого генератора. Обычно проблему решает замена кварцевого генератора или регулировка согласующего сопротивления.

1) На ЖК-дисплее появляются искаженные символы. Возможно, кварцевый генератор работает нестабильно. Это также может быть связано с плохим подключением проводки ЖК-дисплея или неправильной проводкой.

2) Часто вылетает без причины. Это показывает, что кварцевый генератор нестабилен.

3) Коснитесь кварцевого генератора, чтобы он заработал, или наоборот. Это показывает, что кварцевый генератор нестабилен.

4) На ЖК-дисплее 16 черных блоков, индикаторы 7,8k и 100k всегда горят, когда машина включена, и клавиши не реагируют. Это означает, что кварцевый генератор не начал колебаться.

5) Клавиатура очень медленная, измерения ненормальные, зуммер звучит долго. Объясните, что вибрация составляет 10,7 МГц вместо 32 МГц.

6) Часто не получается скачать программу. Это может быть вызвано тем, что кварцевый генератор не имеет надежного и быстрого запуска.

7) При нажатии клавиши аппарат часто вылетает, когда звучит зуммер. Это показывает, что кварцевый генератор нестабилен.

8) После изменения температуры LCR не может работать. Это показывает, что кварцевый генератор нестабилен.

9) Скорость загрузки очень низкая. Объясните, что частота колебаний - это основной тон 10,7 МГц.

3 Сварка, выбор компонентов и отладка.

Сварка - это базовый навык. Есть много компонентов измерителя LCR, а технология сварки недостаточно хороша. Сделать эту схему непросто. Упомянутые здесь проблемы пайки включают последовательность выводов компонентов, распознавание полярности,

методы пайки, методы пайки, методы проверки правильности соединений, качества пайки, контроля температуры и т. Д. Этим задачам нельзя научиться за день или два, для их накопления требуется определенное количество времени. Поэтому друзья, у которых никогда не было электронных DIY, просьба не делать эту схему, рекомендуется начать с основ.

Двусторонняя выемка отверстий на печатной плате: неправильно припаяна позиция сопротивления, ее нужно удалить и снова припаять. После извлечения контактная площадка блокируется, что может привести к невозможности установки других компонентов (например, интегральных схем). В это время необходимо очистить отверстия для пайки. Вы можете использовать инструменты «на месте» для решения проблемы: не выбрасывайте провода сопротивления, которые обычно разрезаются, и вставляйте провода сопротивления в отверстия при нагревании паяльника. Контролируйте температуру и в то же время заставляйте резистивный провод двигаться только в одном направлении, пока вывод не будет вынут, и в это время будет выведен припой из отверстия. Вы также можете попробовать зубочистки и другие инструменты. Зубочистки могут сделать припой в отверстии очень чистым, но излишки олова легко скапливаются на задней подушке, поэтому обратите внимание на направление зубочистки.

Зажим типа «крокодил» для сварки: зажимайте его пинцетом для сварки. Для пайки таких компонентов, как правило, необходимо заранее припаять две подключаемые клеммы по отдельности.

Разборка и интеграция двойной панели: 1. Штифты одновременно нагреваются и разбираются. 2. Мощность паяльника мала и коллективный нагрев неэффективен. Отрежьте все штифты и снимайте их по одной ноге - это всемогущество и не повредит печатную плату.

Интегральные схемы обычно не припаяны неправильно, а резисторы легко припаяны неправильно.

Первым устанавливаемым компонентом является блок питания, а не другие компоненты. Если источник питания неисправен, если выходное напряжение слишком высокое, однокристальный микрокомпьютер легко сжечь, и тогда это будет проблематично. Снять интегральную схему с двусторонней платы непросто. Таким образом, отладка блока питания является нормальной, а затем установить другие компоненты. Пожалуйста, используйте маломощный трансформатор, чтобы в процессе отладки, в случае короткого замыкания или чего-то еще, устройство обычно не сгорало.

После установки следует проверить, соответствует ли выходной сигнал TL082 расчетному значению. Ничего страшного, если он на 10% меньше. Если он на 10% больше, это неприемлемо.

Конденсатор силового фильтра в схеме может быть керамическим или монолитным.

В двух конденсаторах 104, подключенных к порту P1.0, используются малогабаритные полиэфирные конденсаторы или независимые конденсаторы, и полиэфирные конденсаторы большого объема могут не соответствовать им. Лучше всего измерить его утечку. Метод измерения: подключите один контакт конденсатора к источнику 5 В, подключите другой контакт к положительному полюсу файла напряжения цифрового мультиметра и заземлите отрицательный полюс мультиметра. значение, отображаемое цифровым мультиметром, меньше 1 мВ, что указывает на то, что его утечка очень мала. Утечка в несколько мВ не имеет

значения.

В других лучше всего использовать полиэфирные конденсаторы.

За исключением электролитических конденсаторов и небольших конденсаторов силовых фильтров, параметры RC-компонентов измерителя LCR вряд ли могут быть изменены. Изменение параметров без соответствующих компонентов, скорее всего, повлияет на точность или надежность моста.

Необходимо увидеть, какой компонент на принципиальной схеме соответствует каждому компоненту на печатной плате, чтобы понять, какие резисторы требуют высокой точности.

После завершения всех установок войдите в меню 7, чтобы установить параметры калибровки, в противном случае измеритель LCR не будет работать, особенно калибровка нулевой точки. См. Подробности в разделе «Калибровка».

Требования к точности сопротивления:

1. За исключением однокристального микрокомпьютера, для всех других сигналов переменного тока должны использоваться резисторы с 1% -ной металлической пленкой или резисторы с более высокой точностью.

2, 4 сопротивления нижнего плеча, рекомендуется фильтровать с точностью до 0,1%, низкий температурный дрейф. Не имеет значения, если точность фильтра менее 0,1%, программное обеспечение может быть откалибровано и компенсировано. Ошибка сопротивления более 0,8% не может быть откалибрована.

3. Сопротивление обратной связи операционного усилителя с 9-кратным усилением, сопротивление 2 кОм и 16 кОм, низкий температурный дрейф, должно быть в 8000 раз больше, не требует точного сопротивления, требует точного соотношения, относительно легко фильтровать с точностью до 0,3%.

4. Сопротивление обратной связи операционного усилителя с 3-кратным усилением, сопротивление 1 кОм и 2 кОм, низкий температурный дрейф, должно быть в 2 000 раз больше, не требует точного сопротивления, требует точного соотношения, относительно легко фильтровать с точностью до 0,3%.

5. Имеется 8 резисторов для ОУ с 5-кратным усилением, четыре резистора 2 кОм и четыре резистора 10 кОм, низкотемпературный дрейф. См. Раздел «Часто задаваемые вопросы» для получения информации о методе выбора.

Сопротивление 2 кОм верхнего плеча (отрицательный вход) и сопротивление 2 кОм нижнего плеча (отрицательный вход) должны быть точно такими же, что соответствует 0,1%.

Сопротивление 10 кОм верхнего плеча (отрицательная обратная связь) и сопротивление 10 кОм нижнего плеча (отрицательная обратная связь) должны быть точно такими же, что соответствует 0,1%.

Четыре резистора 10 кОм должны находиться в пределах 0,3% друг от друга. Избыточная точность повлияет на подавление синфазных помех, что очень важно для высоких частот и больших токов.

Разница между четырьмя резисторами 2 кОм должна быть в пределах 0,3%, а допуск

точности повлияет на подавление синфазного сигнала, что очень важно для высокой частоты и большого тока.

• Пункты производства:

Точность ключевого сопротивления выше. Подробнее см. «Требования к точности сопротивления» выше.

Силовой трансформатор использует 8 В * 2 или 9 В * 2, среди которых 7905 и 7805 не требуют добавления радиатора. Лучше всего различать контактный заголовок трансформатора и контактный заголовок линии загрузки. Если нет различий, если источник питания 9 В подключен к контакту линии загрузки, микроконтроллер или схема могут сгореть. конечно, не горит.

После завершения электромонтажа необходимо проверить, правильно ли подключены все источники питания ИС и заземляющий провод. Если источник питания подключен правильно, ИС обычно не горит.

Если у вас слишком много отводных проводов, вы ошибаетесь, если не будете осторожны, поэтому трансформатор на 9 В использует небольшую мощность.

Напряжение однокристального микрокомпьютера не должно быть слишком высоким, если оно выше 5,5 В, это опасно. Например, если вы случайно добавите напряжение 12 В, микроконтроллер сгорит. Таким образом, источник питания каждой микросхемы является ключевым.

Если в приспособлении используется двухпроводной метод, общая длина испытательного провода и зажима должна быть менее 10 см, а диаметр провода должен составлять 0,75 квадратных миллиметра.

Тест на нагрузочную способность TL082: на выходе операционного усилителя с выходным сигналом подключите резистор 51 Ом к земле, и форма выходного сигнала под трехчастотными шестеренками не должна искажаться, и вы можете непосредственно наблюдать ее с помощью осциллографа. После завершения теста снимите резистор 51 Ом. Без осциллографа эту работу можно не выполнять.

При изготовлении обращайте внимание на то, находится ли амплитуда выходного сигнала TL082 в пределах, заданных конструкцией. Для измерения используйте мультиметр с лучшей частотной характеристикой.

Чтобы загрузить программу в первый раз, используйте «Menu + Rng key» для входа в режим калибровки. Затем нажмите кнопку «С» пять раз, чтобы загрузить параметры по умолчанию. Наконец, нажмите клавишу «L», чтобы сохранить.

Выходной сигнал после фильтрации DDS должен быть 200 мВ, 100 Гц; 180 мВ, 1 кГц; 190 мВ, 7,8 кГц, не имеет значения, если значение меньше указанного выше значения, если оно на 10% больше, это нехорошо, потому что это может вызвать разбалансировку которую не получится устранить калибровкой.

Регулировка амплитуды 7,8 кГц достигается регулировкой конденсатора 3,3н контура обратной связи операционного усилителя. Обычно регулировка не требуется. 100 Гц и 1 кГц, регулировка не требуется, амплитуда должна быть около 200 мВ и 180 мВ.

4 дизайнерские идеи

После разработки этой схемы потребовалось более двух месяцев свободного времени до и после, и несколько версий были изменены, и общее удовлетворение было вполне удовлетворительным.

Эти часы всегда настаивают на использовании 10-битного аналого-цифрового преобразователя, который поставляется с однокристальным микрокомпьютером, чтобы значительно упростить структуру схемы. Основные части популярной в Интернете русской схемы в этом устройстве не используются.

В русской версии схемы в качестве аналого-цифрового преобразователя используется ICL7135, точность намного лучше аналого-цифровых характеристик микроконтроллера STC. Однако после многих расчетов и анализа был сделан вывод, что точность основных параметров лучше 1% также может быть получена с помощью встроенного AD, поэтому от ICL7135 в конце концов отказались. На более позднем этапе проектирования оптимизация схемы в значительной степени компенсировала недостатки однокристального AD STC.

Конечная точность ICL7135 связана с качеством микросхемы и интегральной схемы, поэтому добиться точности ICL7135 в 4 с половиной метра непросто. Несколько конденсаторов 7135 достаточно, чтобы занять половину печатной платы. Вместо них в имитаторах обычно используются низковольтные конденсаторы малой емкости. В этом случае точность самого аналого-цифрового преобразователя обычно составляет менее 0,05%, а конечный измеритель LCR также будет иметь точность менее 0,1%. Когда у нас особенно высокие требования к точности измерителя LCR, требования к точности измерения сопротивления также высоки, а точное сопротивление трудно найти. Комбинируя эти факторы, окончательный выбор STC происходит с AD, за счет некоторой потери точности.

Источником сигнала является основной компонент измерителя LCR. Российская версия генератора синусоидального сигнала и генератора прямоугольных импульсов 0°, 90°, его комплексные характеристики не будут лучше, чем у этой схемы, напротив, эта схема выглядит очень простой, только используемый Набор RC-фильтров и программ DDS завершают генерацию этих двух сигналов.

По сравнению со многими другими формами измерительных цепей LC, фазочувствительные детекторы являются уникальными для измерителей LCR. В этой схеме используется переключаемый фазочувствительный детектор с хорошими характеристиками. Я измерил несколько данных, и они оказались лучше, чем я ожидал. Например, если ось 0 градусов обнаруживает слабый сигнал, на выходе OP07 будет 293,5 мВ, а на оси 180 - -293,0, что включает смещение выхода OP07 и ошибку измерения в прямом и обратном направлении мультиметра в 0,1 мВ. Основная причина смещения выхода OP07 заключается в том, что выходной конец усилен 3 диодами 1N4148. Но исходя из окончательных данных, теоретические значения двух измерений должны быть противоположны друг другу. Фактическая ошибка измерения составляет всего 0,5 мВ (0,2%). Когда сигнал большой, ошибка еще меньше. Этот измеритель использует полный -масштабируемый выход измерителя 4500 мВ.

Фазочувствительный детектор этого моста LCR реализован с помощью одного

аналогового переключателя, который может подавлять четные гармоники, но не имеет возможности подавления нечетных гармоник. Время включения переключателя составляет половину периода основной волны, даже гармоники имеют целое кратное гармонического периода в пределах полупериода, а среднее значение постоянного тока гармоник равно нулю. Для нечетных гармоник существует N раз и $1/2$ гармонических циклов в пределах половины основного волнового цикла, и среднее значение постоянного тока избыточного $1/2$ цикла не равно нулю. Нечетные гармоники на выходе DDS очень малы. Для 1 кГц и 100 Гц теоретическая амплитуда третьей гармоники составляет примерно $1/2$ разрешения ЦАП, что эквивалентно примерно -50 дБ. Для частоты 7,8 кГц при использовании тактовой частоты DDS в 2^n раз фазовый шум невелик. Поскольку частота 7,8 кГц близка к тактовой частоте, шум ЦАП ШИМ-типа велик, а гармонические искажения велики. Поэтому в схеме реализована 6-уровневая RC-фильтрация для ШИМ на выходе DDS и, наконец, гармоники в основном устраняются (в осциллографе, на пятой ступени фильтрации гармонические искажения уже не обнаруживаются).

Из-за гармонических помех от однокристального микрокомпьютера качество фазочувствительного обнаружения может быть ухудшено. Полосовой фильтр в схеме просто обладает высокой способностью подавлять гармоники высокого порядка. На частоте 7,8 кГц без этого фильтра при измерении слабых сигналов шум очень велик, и конечный каскад легко перегрузится. Импеданс этого фильтра 7,8 кГц не должен быть слишком высоким, иначе можно легко объединить другие сигналы и повлиять на точность. Если используется $16\text{k} + 1\text{nF}$, импеданс слишком высок, для частоты 7,8 кГц, паразитного сигнала, связанного с ним, достаточно, чтобы снизить точность на 0,3%.

Прямоугольный сигнал, который управляет переключателем фазочувствительного детектора, сам по себе является своего рода сигналом помехи, но для этого низкочастотного моста его влияние можно игнорировать. По результатам заключительного испытания способности к ортогональному разделению, фазочувствительный детектор работает отлично, хотя используется только электронный переключатель.

· Расчетные точки:

Усилители на всех уровнях этого измерителя LCR в основном работают в состоянии сильного сигнала, поэтому усилитель должен быть тщательно спроектирован, иначе это может легко вызвать перегрузку операционного усилителя.

Основная причина выбора сильного сигнала - это улучшить помехоустойчивость и облегчить отладку измерителя LCR. Его можно нормально отладить без защитной коробки.

Компоненты горных машин, как правило, очень большие, такие как большие рамочные антенны, которые часто достигают 1 метра в диаметре, с проводом в десятки метров, и сигнал на антенне также очень сильный. Для более надежного измерения в схему также добавлен полосовой фильтр.

Усилитель переменного тока состоит из многокаскадных усилителей. При проектировании, независимо от того, в каком состоянии находится переключатель усиления, необходимо обеспечить, чтобы выходной сигнал n -го каскада был больше или равен выходному сигналу $n-1$ -го каскада. сценический усилитель. Причина в том, что при невыполнении вышеперечисленных условий передняя сцена может быть перегружена и искажена, и программа совершенно не осознает этого. В аудиосистеме предварительный

микшер перегружен, что может быть отображено индикатором уровня и может быть слышно ухом. В это время мы можем увеличить громкость постусилителя и уменьшить усиление предусилителя. -стадийный микшер - искажений не будет. Однако программа микроконтроллера не имеет золотых ушей, поэтому нельзя перегружать саму промежуточную схему, чтобы избежать ошибочной оценки микроконтроллера. Максимальная выходная мощность каждого операционного усилителя одинакова, поэтому лучшим решением будет то, что выходная амплитуда следующего каскада будет больше или равна выходному сигналу предыдущего каскада. Тогда явление перегрузки неизбежно приведет к выходу следующего каскада. ступень слишком велика, а затем милливольтметр выходит за пределы диапазона. Программа сразу знает, что цепь перегружена.

1. Значение полной шкалы измерительной головки.

Полная шкала измерительной головки составляет 5,0 В. Из-за ограничения рабочего диапазона ОР07, пульсации и других факторов полная шкала измерительной головки рассчитана на 4,65 В, что соответствует 960 значений.

2. Коэффициент усиления фазочувствительного детектора.

Теоретическая чувствительность детектора составляет $2 / 3,1416 * (2 * 51) / (20 + 4 * 51) = 0,29$ раза.

3. Проектирование оконечного каскада усиления постоянного тока.

Слишком большое усиление постоянного тока на последней ступени не способствует улучшению отношения сигнал / шум, а слишком малое усиление приведет к перегрузке предыдущей ступени.

Сигнал третьего уровня (операционный усилитель U2D) - это А, его максимальная неискаженная амплитуда - А0, около 3,5 В, а консервативное значение - 3,0 В. Полноразмерная конструкция измерителя: Vo = 4,6 В, ОР07 и фазочувствительное обнаружение. общий коэффициент усиления по постоянному току преобразователя К

Когда синусоидальный сигнал достигает максимума без потери амплитуды А0, измеритель должен быть заполнен, чтобы облегчить оценку того, не перегружен ли он, и в полной мере использовать разрешение измерителя. Следовательно, разумным расчетным значением К является $A0 * K > Vo$, которое рассчитывается как $K > Vo / A0 = 4,6 / 3 = 1,5$. Точно так же в усилителе мощности звука, чтобы усилитель мощности получал достаточную выходную мощность, коэффициент усиления К усилителя мощности должен быть достаточно большим, чтобы усилитель мощности мог превышать максимальный выход Vo, когда передний каскад заполнен.

Фактически, Vo в « $K = Vo / A0$ » относится к верхнему пределу синусоидального пика. После выхода квадратурного детектирования есть две величины Vx и Vy, и пиковое значение Vo не вводится напрямую. Vo получается путем вычисления модуля. То есть, когда модуль входного сигнала достигает Vo, он считается полной шкалой измерительной головки.

Для дальнейшего использования разрешающей способности измерительной головки можно использовать Vx или Vy для определения переполнения измерительной головки. Но в худшем случае, когда измеренный вектор составляет 45 градусов, максимальное значение модуля становится $1,414V0$, а требуемый предварительный сигнал также увеличивается в

1,414 раза, чтобы быть полным. Чтобы предотвратить перегрузку операционного усилителя предыдущего каскада (операционный усилитель U2D превышает A0), значение K также должно быть увеличено в 1,414 раза. Следовательно, когда ортогональная величина используется для оценки переполнения головки измерителя, значение K должно быть больше $1,414 * 1,5 = 2,2$ раза. Следовательно, для сигнала 0 градусов или 90 градусов, $A > V_0 / K$, измеритель будет переполняться; для сигнала 45 градусов, $A > 1,414 * V_0 / K$, измеритель будет лучше.

Коэффициент усиления постоянного тока OP07 этой схемы составляет 11 раз, $K = 11 * 0,29 = 3,2$. Максимальное допустимое значение A для сигналов под углом 0 или 90 градусов составляет $A = V_0 / K = 4,6 / 3,2 = 1,44$ В. Среди них K рассчитан на 3,2, что на 40% больше, чем теоретическое требование к падению, равное 2,2, так что остается достаточно запаса. Запас динамических характеристик предварительного усилителя больше, и отладка упрощается.

4. Конструкция усилителя третьего уровня (операционный усилитель U2D).

Этот каскад добавляет полосовой фильтр, коэффициент затухания составляет 1/3, а коэффициент затухания для передачи 7,8к составляет 1 / 2,6. При расчете он рассчитывается как 1/3, а файл 7,8к корректируется в сочетании с источником сигнала.

Передача 7,8к спроектирована с коэффициентом затухания 1 / 2,6, чтобы соответствовать амплитуде источника сигнала.

Чтобы сделать увеличение этого каскада более чем на 1, операционный усилитель должен, по крайней мере, компенсировать затухание полосового фильтра.

На этом этапе можно регулировать усиление, а минимальное увеличение рассчитано на $1/3 * (13/3) = 1,44$ раза.

Через переключатель усиление двух передач в 3 раза превышает соотношение.

5. Конструкция усилителя второго уровня (операционный усилитель U2C).

Этот каскад также является регулируемым усилением, минимальное усиление составляет 1 раз (без функции усиления напряжения)

Через переключатель усиление двух передач в 9 раз превышает соотношение.

6. Проектирование первой ступени (операционные усилители U2A и U2B).

Напрямую пользуйтесь русской версией схемотехники. Коэффициент усиления схемы 5 раз.

7. Максимально допустимый выходной сигнал DDS.

Как вычислено выше, максимально допустимое значение входного напряжения для фазочувствительного обнаружения составляет 1,44 В.

Минимальный прирост первых двух ступеней составляет $1,44 * 5 = 7,2$ раза

Поэтому максимальная амплитуда программы источника сигнала ограничена $1,44 \text{ В} / 7,2$

= 200 мВ.

Поскольку источник сигнала и ось координат не могут быть точно 0 или 90 градусов, 200 мВ обычно не переполняются.

Фазовый сдвиг 100 Гц невелик, и его легко переполнить. По этой причине выходной конденсатор третьего каскада использует 0,22 мкФ, который имеет небольшое затухание до 100 Гц, поэтому выход DDS 100 Гц принимает 200 мВ и не переполняется.

Выход конечного источника сигнала имеет вид:

100 Гц, эффективное значение 140 мВ, значение размаха 200 мВ

1 кГц, эффективное значение 130 мВ, размах сигнала 180 мВ

7,813 кГц, кроссовер 134 мВ, размах сигнала 190 мВ

При отладке схемы измерьте мощность сигнала на выходе операционного усилителя источника сигнала, и соотношение должно быть меньше или равно вышеупомянутому расчетному значению напряжения. Если оно на 10% выше, чем указанное выше значение, измеритель LCR не может работать надежно.

8. Связь между V / I преобразователем и дифференциальным входом.

Когда частота высока, внутреннее усиление операционного усилителя V / I-преобразователя падает, и отрицательное входное напряжение операционного усилителя относительно земли не равно нулю. Когда ток большой, напряжение «виртуальной земли» также может быть равным достигает нескольких милливольт. В настоящее время, если не использовать дифференциальный метод для измерения напряжения на плече моста, ошибка будет очень большой. Чтобы справиться с этой проблемой, три дифференциальных операционных усилителя должны иметь сильное подавление синфазного сигнала, а резисторы 2 кОм и 10 кОм на двух плечах должны быть как можно более строго симметричными.

Для напряжения верхнего плеча, чтобы исключить влияние реактивного сопротивления провода, также требуется дифференциальное усиление.

В некоторых упрощенных версиях мостов LCR не используются три дифференциальных операционных усилителя, а используется один операционный усилитель. В этом случае точность моста немного снижается и может использоваться только для малых токов низкой частоты, больших Z_x (таких как Измерение Z_x при условии 1 кГц

9. Проблемы с AD

Встроенный AD однокристального микрокомпьютера составляет всего 10 бит с 10-кратным шагом, что влияет на точность.

Чтобы решить эту проблему, регулируемое усиление усилителя регулируется с шагом примерно в 3 раза.

Во-вторых, благодаря высокой скорости AD и шуму сигнала передискретизация выполняется в 60 раз, а разрешение AD улучшается более чем на 2 бита.

Встроенный AD STC не может измерять сигналы менее 3 слов. Следовательно, к

выходному сигналу постоянного тока в цепи добавляется напряжение смещения. Это напряжение смещения реализуется с помощью резистора 2 кОм на выходе ОР07 и резистивного делителя 2 % 0 Ом.

10. Связь между V / I преобразователем и источником сигнала.

V / I преобразователь также имеет проблему перегрузки, и ее необходимо устранить. глазами, чем слушать ушами. Легко возникает искажение.

Существует две причины перегрузки V / I преобразователя. Во-первых, контур обратной связи операционного усилителя подключен к электронному переключателю с внутренним сопротивлением около 500 Ом, что эквивалентно выходному аттенюатору; во-вторых, к выходному аттенюатору 200 Ом. к TL082 последовательно подключен резистор 300 Ом, который также является токоограничивающим затуханием. Таким образом, чтобы получить 0,472 В в передаче на 100 Ом, внутреннее напряжение TL082 будет $0,472 * (500 + 300 + 100) / 100 = 4,25$ В. В это время внутренняя перегрузка.

Для решения проблемы перегрузки принят следующий метод: учитывая, что источник сигнала TL082 также имеет проблему перегрузки, цепь ограничения тока верхнего плеча и цепь сопротивления нижнего плеча спроектированы как симметричная цепь, так что пока источник сигнала не перегружен, преобразователь V / I также не перегружен.

Кроме того, в диапазоне 20 Ом преобразователя V / I используется механический переключатель передачи, поэтому вероятность его перегрузки при таком же токе снижается.

11. Источник сигнала

Как упоминалось выше, когда U / I и ограничитель тока имеют симметричную структуру, Zx закорачивается, и напряжение на выходном зажиме преобразователя V / I такое же, как и на выходном зажиме источника сигнала. Источник сигнала не перегружен, как и преобразователь напряжения / напряжения.

Источник сигнала использует DDS с высокой точностью частоты. Может выводиться любая частота. Эти часы используют 100 Гц, 1 кГц, 7,813 Гц.

Причина, по которой 10 кГц не используется, заключается в том, что тактовая частота DDS составляет 62,5 кГц. Когда выходная частота равна 10 кГц, частота уже превышает тактовую частоту и фазовый шум велик. Для устранения фазового шума используется частота 2^n тактовой частоты, а здесь используется 1/8 тактовой частоты.

К выходному сигналу добавляется простой RC-фильтр. Для выходной частоты ниже 1 кГц этот фильтр эквивалентен фильтру шестого порядка, и можно получить хорошую форму волны. Для 7,813 кГц на выходе 5-го порядка искажения в осциллографе практически не наблюдаются, а на выходе 6-го порядка искажения уже невозможно непосредственно наблюдать.

Поскольку это не идеальный фильтр высокого порядка, значение Q низкое, поэтому ослабление 7,813 кГц очень серьезно. используется для управления электронным переключателем для уменьшения амплитуды от 1 кГц до 100 Гц.

5 использование кнопок и меню:

Название кнопок и меню:

1 кнопка — X, 2 кнопка — R, 3 кнопка — L, 4 кнопка — C, 5 кнопка — Q, 6 кнопка — F, 7 кнопка — Rng, 8 кнопка — Menu

Используйте клавишу 8 плюс 1, чтобы перейти в меню 1, используйте клавишу 8 плюс 2, чтобы перейти в меню 2

Меню 1 (Меню + клавиша X):

Это меню загрузки по умолчанию

LED версия:

1 клавиша (X): отображение реактивного сопротивления X

2 клавиша (R): отображение сопротивления R

Клавиша 3 (L): отображение индуктивности L или C, десятичная точка добавляется к единице емкости C, а L не имеет десятичной точки

Клавиша 4 (C): переключение между последовательным и параллельным подключением, временное отображение сообщения «P» означает параллельное соединение, «S» означает последовательное соединение. В параллельном режиме каждые несколько секунд будут отображаться 4 десятичных знака.

Клавиша 5 (Q): отображение значения Q

Кнопка 6 (F): переключение частоты, когда 100 Гц, 7,8 кГц, соответствующий индикатор горит, когда 1 кГц не горит

7 клавиш (Rng): переключение диапазонов, 4 световых индикатора для перехода

Представление блока дисплея:

10 в -12 степени, отображается как "P"

10 в -9 степени, отображается как "n"

10 в -6 степени, отображается как "u"

10 в степени -3, отображается как "большое n"

10 в степени 0, отображается как "маленькая O"

10 в 3-й степени, отображается как «три по горизонтали»

10 в 6-й степени, отображается как "d"

10 в 9-й степени, отображается как "G"

Если единица измерения содержит десятичную точку, это означает емкостное реактивное сопротивление.

На увеличенном экране отображаются десятичные разряды: нажмите кнопку, соответствующую текущему отображаемому значению, оно будет отображаться в четырехзначном режиме, но «единица измерения» не отображается. Нажмите любую

клавишу от 1 до 5 еще раз, чтобы выйти из четырехзначного режима. Этот LCR отображает точность менее 4 разрядов, поэтому обычно нет необходимости использовать 4-значное отображение. Иногда отображается значение 1.xx, и точности не хватает. Таким способом можно увеличить количество цифр.

Для обозначения переполнения отображаются четыре десятичных знака, отображается «Err», а на нижнем или верхнем плече счетчика отображается нулевое значение, вызывая ошибку деления на ноль.

Версия со светодиодной подсветкой не имеет функции отключения обрыва и короткого замыкания. При необходимости пользователь вручную пишет для сброса.

LCD1602 версия:

Клавиша F: переключение частоты, когда 100 Гц, 7,8 кГц, соответствующий индикатор горит, и он не горит, когда 1 кГц

Клавиша Rng: переключение диапазонов, 4 световых индикатора круглого прыжка

Используйте клавишу X для переключения между "последовательным и параллельным" режимами, клавишу C для размыкания и сброса короткого замыкания, клавишу L для отмены очистки обрыва и короткого замыкания (устанавливаются данные очистки обрыва и короткого замыкания. до 0 одновременно).

При сбросе измерительные провода должны быть разомкнуты и дождаться стабилизации изображения на экране (обычно число считается стабильным после 4 случайных скачков), а затем нажмите клавишу C. Очистка действительна только для текущей частоты и текущего диапазона. Если частота или диапазон переключены, существующие данные очистки применяться не будут. Если вас не устраивает сброс, вы можете снова нажать клавишу C.

После перезапуска данные, очищенные от обрыва и короткого замыкания, будут восстановлены до 0.

Всего на экране отображается 4 числа, а также отметки шестеренок и т. Д.

Первый в первой строке, отображаемый как Zs или Zp, соответственно, представляет последовательный и параллельный метод. Следующие два числа представляют составляющую сопротивления R и составляющую реактивного сопротивления X. В последовательном режиме единица измерения отображается в конце строки, и единицы двух значений одинаковы. В параллельном режиме у обоих номеров есть свои единицы. Во второй строке первые две буквы обозначают положения передач. Первая буква - это A, B или C, соответственно, представляющие 100 Гц, 1 кГц, 7,8 кГц, а вторая буква представляет диапазон диапазона, соответственно 1, 2, 3 или 4, представляющих четыре диапазона: 20R, 1k, 10k, 100k.

Следующие два числа представляют емкость (или индуктивность) и значение добротности.

При измерении сначала выберите частоту и измерьте значение реактивного сопротивления. Затем выберите лучший диапазон в соответствии с реактивным сопротивлением. При последовательном подключении принимайте большее значение R и X в качестве основного параметра, а меньшее значение R и X в качестве основного параметра

при параллельном подключении. Когда основной параметр близок к сопротивлению диапазона, может быть достигнута более высокая точность. Установите сопротивление диапазона на А Ом, рекомендуется измерять в диапазоне $0,8 \text{ A} < \text{основной параметр} < 8 \text{ A}$. Если для Faguo нет подходящего диапазона измерения, для выбора диапазона измерения можно использовать $0,1 \text{ A} < \text{основной параметр} < 10 \text{ A}$.

100k, при измерении импеданса менее 80k появится сообщение "Overflow low".

Рекомендуемая точность этих часов номинально составляет 0,5%, а ошибка измеренного значения обычно не превышает 0,3%, но может быть небольшое количество ошибок в явлении «края» 0,3%, чтобы получить более точные результаты. , вы можете использовать соседний файл. Показания усредняются, что делает их более надежными.

Например, для измерения емкости конденсатора 0,33 мкФ на частоте 1 кГц измеренное значение будет следующим:

На передаче 20R: $X = 494,4$, $C = 329,6 \text{ нФ}$ (разница между X и сопротивлением диапазона составляет 25 раз)

В диапазоне 1k: $X = 492,7 \text{ Ом}$, $C = 330,8 \text{ нФ}$ (разница между X и сопротивлением диапазона в 2 раза, лучший диапазон)

В диапазоне 10k: $X = 494,2 \text{ Ом}$, $C = 329,8 \text{ нФ}$ (разница между X и сопротивлением диапазона в 20 раз)

Фактически, истинное значение этого конденсатора составляет 329,8 нФ. В приведенном выше измерении ошибка передачи 1k самая большая, и причина более сложная. Не вдаваться в подробности.

Поскольку вероятность ошибки 0,3% относительно мала, вероятность появления ошибки 0,3% одновременно в двух измерениях будет практически равна нулю, поэтому после усреднения ошибка станет меньше.

В приведенном выше примере возьмите среднее значение 20R и 1k, $C = (329,6 + 330,8) / 2 = 330,2 \text{ нФ}$. Очевидно, это может предотвратить отдельные проблемы с трениями из-за ошибок. Два средних значения могут уменьшить ошибку примерно на 30%.

Следует отметить, что если измеренные значения двух передач одинаковы, например, для передач 20R и 1k, в данный момент измеряется 329,6 пФ, и результаты для двух передач одинаковы, что не означает что его точность особенно высока. Можно только сказать, что вероятность ошибки стирания 0,3% в 329.6 очень мала, и ошибка, скорее всего, будет в пределах 0,2%.

Если он спроектирован как автоматический измеритель, он может автоматически находить подходящую передачу и измерять среднее значение, но это влияет на скорость. Поэтому для повышения точности показаний рекомендуется брать среднее значение вручную.

Для некоторых конденсаторов емкость зависит от измеряемого напряжения. В настоящее время метод усреднения недействителен. Метод усреднения эффективен для конденсаторов СВВ и полиэфирных. Это недопустимо для керамических конденсаторов сторонних производителей. Керамические конденсаторы сторонних производителей не являются

точными конденсаторами и не требуют точных измерений. Напротив, с помощью измерения сдвига можно измерить характеристики напряжения конденсатора.

Если расстояние между измеренным значением Z и сопротивлением диапазона превышает 30 раз, точность будет снижаться. В это время усреднение недействительно.

Сопротивление можно измерить напрямую, а точность может превышать 0,3% без усреднения. В настоящее время погрешность не превышает 0,25%, и лишь некоторые из них достигают 0,2% в отпуске.

подсказка:

- Тестовое перо открывается, а отображаемое значение меняется случайным образом - это нормально.

- Большие катушки индуктивности (например, катушки индуктивности 500H) на частотах выше 1 кГц, некоторые из них будут вести себя как емкостное реактивное сопротивление вместо индуктивного реактивного сопротивления, которое вызвано распределенной емкостью катушки индуктивности.

- Измеритель имеет остаточное реактивное сопротивление. По этой причине при измерении емкости в пФ необходимо вычесть остаточное значение разомкнутой цепи. Если вы хотите прочесть результат напрямую, используйте метод очистки разомкнутой цепи.

- При измерении сопротивления в миллиомах используйте четырехпроводной метод и вычитайте остаточную величину короткого замыкания. Погрешность менее 1 миллиом. Версия LCD1602 также может использовать метод отключения от короткого замыкания.

Меню 2 (Menu + C, версия LCD1602, используйте Menu + R):

Отображает коэффициент усиления операционного усилителя, используемый при измерении верхнего и нижнего плеча моста, который будет использоваться при калибровке LCR.

Усиление верхнего плеча отображается спереди, а усиление нижнего плеча - сзади.

LCD1602 отображает «вверх: * dw: *», где вверх означает верхнюю руку, а dw означает нижнюю руку.

Меню 3 (Меню + клавиша L):

Это меню отладки, а содержимое, отображаемое на экране, является значением чтения AD.

1 кнопка (кнопка X): кнопка переключения усиления, при переключении LED версии на дисплее временно выскакивает сигнал передачи на несколько секунд, а версия LCD1602 напрямую отображает результат переключения на экране.

Клавиша 3 (клавиша L): клавиша переключения K3, при переключении LED версии на экране дисплея временно выскакивает сигнал передачи на несколько секунд, а версия LCD1602 напрямую отображает результат переключения на экране.

Клавиша 4 (клавиша C): клавиша чередования фаз, при переключении LED версии на дисплее временно выскакивает установленный сигнал на несколько секунд, а версия LCD1602 напрямую отображает результат переключения на экране. Порядок поворота фаз: 0

градусов, 180 градусов, 90 градусов, 270 градусов.

В этом меню вы можете определить нелинейность обнаружения.

Меню 6 (Меню + F):

Пункт коррекции частоты. (Freq correct)

Его метод определения стоимости:

Используйте точный частотомер для измерения выходной частоты f контакта 1 TL081 при 7,8 кГц.

Теоретическая частота: $f_0 = 62500/8 = 7812,5$ Гц.

Идеальное значение поправки: $(f-f_0) / f_0$. Например, измеренное $f = 7817,5$, тогда значение поправки должно быть установлено на $(7817,5-7812,5) / 7812,5 = 6$ на десять тысяч, тогда поправка частоты должна быть 6

Для изменения значения используйте клавишу X или R.

Меню 7 (Меню + клавиша Rng):

Это меню калибровки. Используйте клавиши Q и F для переключения пунктов калибровки.

При загрузке в первый раз начальное значение всех параметров равно -1. Если новая версия программы обновляется и загружается в будущем, исходные параметры, как правило, не изменяются. Изменять ли значение параметра зависит от программный дизайн.

Если вы нажмете кнопку C (кнопка очистки) 5 раз подряд, параметр будет восстановлен до значения по умолчанию, а затем нажмите кнопку L для сохранения.

1 клавиша (клавиша X): увеличение значения

Клавиша 2 (клавиша R): уменьшение значения

Клавиша 3 (клавиша L): клавиша сохранения

Клавиша 4 (клавиша C): клавиша очистки

Клавиша 5 (клавиша Q): клавиша переключения параметров слева

Клавиша 5 (клавиша F): клавиша переключения параметров, правая

Клавиша 6 (клавиша Rng): используется для быстрой калибровки

При первом использовании установите эти параметры, иначе измеритель LCR не будет работать нормально. Если точность измерителя LCR невысока, просто используйте значение по умолчанию.

6 откалибруйте измеритель LCR

· Перед калибровкой проверьте правильность выходной амплитуды источника сигнала.

100 Гц - это пик около 200 мВ, 1 кГц - пик около 180 мВ, а 7,8 Гц - пик около 190 мВ. Если амплитуда на 10% больше, это не нормально, если на 10% меньше, это не имеет значения.

Подключение правильное, амплитуда диапазонов 100 Гц и 1 кГц определена, регулировка не требуется. Возможны отклонения в диапазоне 7,8 кГц. Пожалуйста, проверьте. Если есть большое отклонение, отрегулируйте емкость C24.

- Перед калибровкой нужно подготовить несколько резисторов:

Для калибровки преобразователя V / I требуются четыре резистора с известным сопротивлением: 20 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм.

Для калибровки усилителя с регулируемым усилением требуются два резистора с известным сопротивлением 3,3 кОм и 9 кОм.

При 1 кГц и 7,8 кГц подключите измеренное сопротивление 20, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм в соответствующей передаче соответственно, состояние управляемого усиления верхнего и нижнего рычагов должно быть одинаковым, в противном случае калибровка амплитуды и фазы не может быть выполнена. Используйте кнопку «M + R», чтобы войти в меню проверки, и на дисплее отображается «1,1» или «0,0», что указывает на то, что верхние и нижние плечи моста относительно сбалансированы, и для усиления сигнала используется одинаковое усиление. . Если это «1, 0» или «0, 1», амплитуда сигнала неправильная.

При 1 кГц и 7,8 кГц резистор 9 кОм в диапазоне 1 кОм должен быть «0,2», а резистор 3,3 кОм должен быть «0,1». Когда сопротивление CD4052 источника сигнала в открытом состоянии плюс токоограничивающее сопротивление не равно удвоенному сопротивлению нижнего плеча (если сопротивление в открытом состоянии слишком велико, это может вызвать эту проблему), усиление диапазона 1 кОм состояние может не соответствовать вышеуказанным требованиям, и Rb2 можно отрегулировать в это время Сопротивление или заменить CD4052.

- Во время калибровки не должно быть данных об отключении обрыва или короткого замыкания.

· Меню 7 - это меню настройки.Если настройки параметров неверны, вы можете нажать клавишу C 5 раз (всего 5 раз), чтобы восстановить значение по умолчанию, а затем нажмите клавишу L, чтобы сохранить. При первой калибровке необходимо восстановить значение по умолчанию.

- Меню 7 - это меню настройки, всего 18 параметров, смысл которого следующий:

Таблица соответствия идентификации параметров:

LED	LCD1602
M0 до M2	Z0 до Z2
M3 до M4	R1, R1X
M5 до M6	R2, R2X
M7 до M8	R3, R3X
M9 до M11	R4, R4b, R4X
M2. до M3.	G1, G1X
M4. до M6.	G2, G2b, G2X

M7.	phX
-----	-----

Значение каждого параметра:

Z0, Z1 и Z2 - значения калибровки нулевой точки при 100 Гц, 1 кГц, 7,8 кГц соответственно, единица измерения - «слово».

R1X — R4X - значение компенсации фазы для 4 диапазонов преобразователя V / I, единица измерения - 0,0005 радиан.

G1X — G2X - это фазовая компенсация операционных усилителей с 3-кратным и 9-кратным регулируемым усилением. Единица измерения - «0,0005 радиан».

R1-R4 - это калибровка сопротивления нижнего плеча для 4 диапазонов преобразователя V / I. Единица 0,01%

G1-G2 - это калибровка 3-кратного и 9-кратного операционного усилителя с регулируемым усилением. Единица 0,01%

phX - это фазовая калибровка файла с частотой 1 кГц. Единица измерения - «0,0005 радиан».

R4b - это калибровка коэффициента усиления передачи при частоте 7,8 кГц и 100 кГц.

G2b - частота 7,8 кГц, калибровка 9-кратного усиления.

AK - параметр нелинейной коррекции AD.

· Подпункт калибровки:

При всех калибровках регулировка нулевой точки является предпосылкой точности параметров измерителя LCR. Это первый шаг в настройке.

После того, как Menu + Rng войдет в меню калибровки, используйте клавиши Q (влево) или F (вправо) для переключения параметров. Клавиши X и R предназначены для сложения и вычитания чисел. Rng предназначен для входа (или выхода) из состояния отображения измеренного значения. Menu + X выходит из состояния калибровки.

1. Калибровка Z0, подключите резистор 20 Ом, нажмите Rng, чтобы войти в состояние отображения измеренного значения, частота и диапазон будут автоматически переключаться, нажмите кнопку X или R, чтобы увеличить или уменьшить параметр, так что значение чтения R составляет 20 Ом, и нажмите Rng для выхода. **(Требуется корректировка)**

Когда другие элементы откалиброваны, использование клавиш Rng, X и R будет таким же и не будет повторяться.

2. Калибровка Z1, доступ 20R, метод такой же, как Z0. **(Требуется корректировка)**

3. Калибровка Z2, доступ 20R, метод такой же, как Z0. **(Требуется корректировка)**

4. Калибровка R1, подключите к откалиброванному резистору 20 Ом, метод такой же, как Z0.

5. Выполните калибровку R1X, вставьте резистор 20 Ом и установите значение Q на 0. **(Рекомендуется откалибровать, обычно 0 или -1)**

6. Калибровка R2, подключите откалиброванный резистор 1 кОм, метод калибровки такой же, как Z0.

7. Калибровка R2X, подключите резистор 1 кОм и установите значение Q на 0 (или установите реактивное сопротивление на 0). (Рекомендуется откалибровать, обычно 0 или -1)

8. Калибровка АК, вы можете установить АК на ноль для пленок STC до января 2012 года. Стоимость АК фильма STC в январе 2012 года составляет от 5 до 30. Доступ 25 евро. При калибровке не устанавливайте АК слишком большим, а оставьте небольшую погрешность. Поскольку АК слишком велик, это может привести к увеличению ошибки чтения AD 511 или 512 слов. 9. Калибровка R3, подключите откалиброванный резистор 10 кОм, метод калибровки такой же, как Z0.

10. Калибровка R3X, подключите резистор 10 кОм и отрегулируйте емкость в соответствии с остаточной емкостью холостого хода. (Требуется калибровка, около 3)

11. Калибровка R4, подключите к откалиброванному резистору 100 кОм, метод калибровки такой же, как Z0.

12. Калибровка R4X, подключите к резистору 100 кОм, метод калибровки такой же, как R3X. (Требуется калибровка, около 48 или около того)

13. Калибровка R4b - это компенсация коэффициента передачи 100к на частоте 7,8 кГц. То же, что и калибровка R4, но частота составляет 7,8 кГц.

14. Калибровка G1, подключите откалиброванный резистор 3,3 кОм, метод калибровки такой же, как Z0.

15. Калибровка G1X, подключите резистор 3,3 кОм, метод калибровки такой же, как у R3X. (Требуется калибровка, около 36)

16. Калибровка G2, подключите откалиброванный резистор 9 кОм, метод калибровки такой же, как Z0.

17. Калибровка G2b представляет собой компенсацию 9-кратного усиления для частоты 7,8 кГц. То же, что калибровка G2, но частота составляет 7,8 кГц.

18. Калибровка G2X, доступ к резистору 9 кОм, метод калибровки такой же, как у R3X. (Нужна калибровка, около 34)

19. Калибровка phX - это калибровка фазы каждой передачи 1 кГц. Значение по умолчанию - 0. Подключите резистор 1 кОм, измерьте на частоте 1 кГц, диапазон 1 кОм.

Если значение Q не равно 0, вы можете точно настроить этот параметр, чтобы сделать значение Q 0, обычно 1 или 0 .

· Значения по умолчанию вышеперечисленных параметров:

Z0=76, Z1=76, Z2=70

R1X=-1, R2X=0, R3X=3, R4X=48, G1X=36, G2X=34

R1 =0, R2 =0, R3 =0, R4= 0, G1 =0, G2 =0, phX=0, R4b=0, G2b=0

Среди них pHX, R4b и G2b являются специальными элементами калибровки, и их рекомендуется установить на ноль.

• Прочие вопросы

После завершения калибровки обязательно нажмите клавишу L для сохранения. Затем нажмите Menu + X, чтобы выйти.

Обратите внимание на последовательность калибровки. Калибровка нулевой точки Z0, Z1, Z2 должна быть откалибрована в первую очередь; R1 калибруется после АК, а R2 калибруется перед калибровкой G1 и G2; R4 может быть откалиброван до калибровки R4b; G2 может быть откалиброван до G2b; R2X может быть откалиброван. должны быть откалиброваны перед калибровкой G1X и G2X; а pHX, R1, R3, R4, R1X, R3X, R4X независимы. Продвигайте последовательность калибровки: отрегулируйте Z0, Z1, Z2, перекалибруйте R1, R2, R3, R4, перекалибруйте R4b, G1, G2, G2b, перекалибруйте RX1, R2X, R3X, R4X, перекалибруйте G1X, G2X и, наконец, pHX

При каждом нажатии кнопки звучит зуммер, и ток однокристалльного микрокомпьютера становится больше, что приводит к нестабильности измерения, поэтому показания не будут стабильными, пока зуммер не прекратится.

При калибровке Z0, Z1 и Z2 значение показания сильно колеблется, просто возьмите среднее значение.

Во время фазовой калибровки остаточное значение (например, остаточная емкость) также увеличивается больше, чем меньше подключенное сопротивление, тем больше скачков.

При калибровке R1X используйте четырехпроводной метод. Если используется двухпроводной метод, рекомендуется откалибровать последовательную индуктивность по остаточной индуктивности короткого замыкания. R1X рекомендуется устанавливать в значение 0 или -1, в общем случае лучше установить его в значение -1.

R3X может исправить только одну или две ошибки pF, потому что скачков больше.

R4X следует откалибровать с точностью до 0,1 пФ, насколько это возможно. Если разомкнутая цепь составляет 3,7 пФ, после подключения 100 кОм она также должна быть 3,7 пФ. Вы можете подключить монолитный конденсатор с высокой добротностью 220 пФ для проверки, и значение добротности должно отображаться как от 500 до 999. При измерении остатка разомкнутой цепи расстояние между измерительными проводами должно быть таким же, как расстояние при измерении сопротивления. При необходимости используйте линейку для измерения расстояния.

Значения GX1 и GX2 почти одинаковы, потому что фазовый сдвиг операционного усилителя TL084 пропорционален коэффициенту усиления с обратной связью, а коэффициент пропорциональности равен k, тогда для 9-кратного механизма усиления дополнительный фазовый сдвиг после переключения передач k (9-1) = 8k, для трехкратного увеличения файла усиления будет k (13 / 1-13 / 3) = 8,7k, то есть GX1 / GX2 = 8,7 / 8 = 1,1. Таким образом, после отладки GX1 примерно на 10% больше, чем GX2 при нормальных обстоятельствах. Таким же образом RX3 должен быть 1/10 RX4

После фазовой калибровки точность измерения Q улучшается, и эффективное

измерение может быть увеличено до 300 с ошибкой $Q / 300$, что эквивалентно ошибке примерно 0,003 в значении D . Измерено, что $Q = 300$, то есть $D = 0,0033$, его истинное значение составляет $0,0033 \pm 0,003$, или истинное значение Q находится между 150 и бесконечностью.

После калибровки измерьте емкость с Q больше 1000, обычно отображается как 999.

После калибровки сравните с конденсаторами с высокой добротностью. Если вас не устраивает, вы можете выполнить точную настройку R1X, R2X, R3X, R4X, обычно достаточно одного значения.

После калибровки, если добротность, измеренная в диапазоне 1 кГц, неудовлетворительна и конденсатор с высокой добротностью не может достичь 999, в это время можно отрегулировать pHX, обычно достаточно всего 1 значения.

После использования измерителя LCR однокристалльного микрокомпьютера STC в январе 2012 г., после калибровки параметров R4 в диапазоне 100 кОм, ошибка сопротивления 130 кОм и 200 кОм, измеренная в диапазоне 100 кОм на частоте 1 кГц, может быть слишком большой (например, значительно больше более 0,2%). В это время это означает, что R4 перекалиброван на 0,1% об. Причина чрезмерной калибровки заключается в том, что точка калибровки попадает в самую большую нелинейную область AD. Если эта проблема существует, вы можете использовать калибровку сопротивления 82 кОм вместо 90 кОм или 100 кОм. После калибровки R4 используйте резистор 100 кОм для калибровки R4b, но R4b не должен превышать 10, чтобы избежать чрезмерной калибровки.

Обратите внимание, что с монолитными конденсаторами NPO ниже 220 пФ следует измерять высокую добротность (ее значение добротности может достигать от 1000 до 3000).

Метод проверки фазы редуктора с низким сопротивлением: используйте однослойный эмалированный провод 0,38 мм с плоской обмоткой на 1-дюймовой водопроводной трубе, от 60 до 100 витков, индуктивность, измеренная на разных частотах, R_s должна быть почти такой же (такой же, как у постоянного тока сопротивление, подходит для частот ниже 10 кГц)

Сделайте испытательный зажим Кельвина, распределенная емкость экранированного кабеля предпочтительно меньше 50 пФ.

(5) Принцип калибровки и меры предосторожности

Небольшое сопротивление цветного кольца имеет остаточную индуктивность. При 1 МГц реактивное сопротивление резистора 0,2 Ом, очевидно, содержит индуктивные компоненты, которые становятся индуктивностью на частоте 5 МГц. Таким образом, рабочая частота чистого сопротивления для сопротивления цветного кольца 0,2 Ом равна По оценкам, 1 МГц, тот же резистор 20 Ом равен 100 МГц. Рабочая частота этого моста составляет всего 7,8 кГц, что в 10 000 раз отличается от частоты 100 МГц. Таким образом, индуктивным реактивным сопротивлением можно пренебречь. Следовательно, сопротивление цветного кольца 20 Ом можно использовать в качестве стандартного фазового компонента.

Для сопротивления цветного кольца 10 кОм или 100 кОм его также можно использовать в качестве стандартного фазового компонента. Остаточная емкость измерителя LCR составляет около 4 пФ. Остаточная емкость вызовет фазовый сдвиг, который нельзя

игнорировать. Следовательно, при использовании этих резисторов для калибровки фазы необходимо измерить параллельное значение 10 кОм (или 100 кОм) и остаточную емкость, чтобы они были правильными. Другими словами, во время калибровки фазы эквивалентная параллельная емкость должна быть откалибрована до разомкнутой остаточной емкости цепи.

Калибровка нулевой точки Z0, Z1, Z2 должна быть откалибрована заранее, это связано с проблемой ошибки нулевой точки, которая является предпосылкой для последующей калибровки RX1, RX2, RX3, RX4 и GX1, GX2.

Ошибка калибровки нулевой точки в основном не влияет на калибровку R1, R2, R3, R4, G1, G2. Потому что эти шесть калибровок калибруются, когда мост находится в стабильном состоянии.

Калибровка ρH_X предназначена для повышения точности фазы на частоте 1 кГц.

Для точности фазы на частоте 100 Гц калибровка фазы больше не выполняется, потому что само значение считывания на этой частоте будет колебаться на плюс или минус 1.

После фазовой калибровки измеряется максимальная емкость конденсатора 630 В / СВВ, и результат должен быть около 999 при 1 кГц и 7,8 кГц. Передача 100 Гц, обычно она должна колебаться между 400 и 999.

(6) Ошибка баланса (не рекомендуется)

Из принципа калибровки можно понять, что при измерении компонентов выбор диапазона в «0,8 А <основной параметр <8 А» (А относится к сопротивлению диапазона) позволит достичь большей точности. Точность может быть хуже в диапазоне «0,1 А <основной параметр <0,8 А. Поскольку передача на 20 Ом в 50 раз отличается от передачи на 1 кОм, некоторые компоненты необходимо измерять в этом диапазоне. По этой причине после завершения калибровки рекомендуется проверить точность измерения конденсаторов 330 нФ в диапазоне 1 кГц и 1 кОм. Если измеренное значение больше 0,2%, то следует увеличить R2 (обычно отрегулировать в пределах 0,06%, не слишком сильно, чтобы не влиять на общую точность), а затем повторно откалибровать G1 и G2.

Точное значение конденсатора 330 нФ можно получить косвенными методами. Возьмите два конденсатора 330 нФ СВВ / 630 В, подключенных последовательно, и измерьте емкость C в диапазоне 1 кГц и 1 кОм. Это измерение будет точным, поскольку в это время измерение почти не соответствует симметрии моста. Затем два конденсатора C1 и C2 измеряются при одинаковой частоте и диапазоне, тогда последовательное значение C1 и C2 равно $C_x = C1 * C2 / (C1 + C2)$.

Ошибка C_x такая же, как у C1 и C2. Таким образом, погрешность измерения 330 нФ составляет $(C_x - C) / C$

7 о погрешности

Основные источники ошибки:

1. Погрешность, вызванная разрешением AD, шумом DDS в однокристальном микрокомпьютере, фазовом детекторе и т. Д., Составляет около 0,2%.

2. Погрешность преобразователя V / I составляет 0,15%, что связано с точностью калибровки, температурным дрейфом сопротивления нижнего плеча и температурным дрейфом сопротивления трех дифференциальных операционных усилителей. При калибровке старайтесь использовать резисторы сопротивления 99xx вместо резисторов 10xx. Их разрешение в 10 раз отличается.

3. Погрешность калибровки тройного регулируемого усиления составляет 0,1%.

4. Девятикратная ошибка калибровки контролируемого усиления 0,1%

5. При измерении высокого сопротивления все еще есть помехи, которые вызывают ошибки.

Ошибка в основном диапазоне - это среднеквадратическое значение указанной выше ошибки. То есть $\sqrt{0,2^2 + 0,15^2 + 0,1^2 + 0,1^2} \% = 0,3\%$

Измеренное сравнение, ошибка обычно составляет от 0,1% до 0,3%.

С учетом проблемы долговременной устойчивости погрешность оценивается в 0,5%.

Внесенная ошибка разрешения AD составляет 0,2%, при строго симметричном верхнем и нижнем плечах (также называемом сбалансированным мостом) эта ошибка становится намного меньше. Калибровка амплитуды 4-й передачи калибруется под мостом баланса в положении, которое может быть откалибровано очень точно.

О основной ошибке:

Базовая точность диапазона составляет 0,5%.

Когда реактивное сопротивление Z_x составляет от 1/30 до 50 раз больше сопротивления нижнего плеча, точность диапазона 1 кГц достигает 0,5%. Фактически, небольшой тест был проведен на частоте 1 кГц, и были измерены десять сопротивлений в диапазоне от 100 до 200 кОм, и точность составила около 0,25%.

Когда реактивное сопротивление Z_x в 1/30-50 раз превышает сопротивление нижнего рычага, ошибка становится больше. Z_x находится в пределах / 1/30 раз и 50 раз, точность может быть вычислена в соответствии с 300 словами, то есть 0,3% и 0,5% могут использоваться в качестве индекса ошибки.

Минимальный импеданс разрешения:

Минимальный импеданс разрешения этого моста: нижнее плечо консервативно оценивается по 300 знакам, тогда сопротивление, соответствующее разрешению в 1 знак верхнего плеча, составляет $1 / (300 * 30) \approx 1 / 10000$ сопротивления нижнего плеча. рука

Поскольку импеданс верхнего плеча очень мал, нижний рычаг будет близок к полной шкале, около 700 слов, а при аналого-цифровом преобразовании используется передискретизация, разрешение увеличивается более чем вдвое, поэтому нижнее плечо может достигать разрешения не менее 1500 слов. Следовательно, минимальный импеданс разрешения фактически составляет $1 / (1500 * 30) \approx 1 / 50000$. Для 100 кОм его можно разрешить до 1-2 Ом.

Минимальное разрешающее сопротивление 20-омного редуктора составляет $20/10000 = 2$ миллиом.

Минимальное разрешающее сопротивление диапазона 1 кОм составляет $1000/10000 = 0,1$ Ом.

Минимальное разрешающее сопротивление диапазона 10 кОм составляет $10000/10000 = 1$ Ом.

Минимальное разрешающее сопротивление диапазона 100 кОм составляет $100000/10000 = 10$ Ом.

Таким же образом максимальное разрешение импеданса в 10 000 раз превышает сопротивление диапазона.

Максимальное разрешающее сопротивление передачи 100 кОм составляет около $100 \text{ кОм} * 10000 = 1 \text{ ГОм}$. Импеданс высокий, и на него легко повлиять. На самом деле, невозможно различить G Ом, но можно различить только 100 МОм.

Символ наименьшей единицы измерения: реактивное сопротивление (X и R) - мОм, L - мкГн, C - пФ

Отображаемые слова: 3 слова, расширенный дисплей - 4 слова. При отображении 3 символов отображается только индуктивность 0,01 мкГн. Экран дисплея LCD1602 отображает 4 символа.

Нажмите клавишу L, чтобы отобразить L или C. Когда реактивное сопротивление X отрицательное, отображается емкость, а когда оно положительное, отображается индуктивность. Когда X находится в нулевой точке, плюс или минус скачки, на дисплее отображаются L или C скачки, C будет очень большим, а L очень маленьким. Выбор правильной передачи не вызовет этой проблемы.

Выражение импеданса эффективного разрешения и точности:

Полное сопротивление эффективного разрешения = $1/300$ показания + основное реактивное сопротивление минимального разрешения

Например: измеренное сопротивление 48,44 Ом, не различает 0,01 Ом, это $48/300 = 0,16$ Ом.

Например, если измеренное сопротивление составляет 30,01 миллиом, его нельзя разрешить до 0,01 миллиом. Фактически это $30/300 + 2 = 2,1$ миллиом. Фактическое разрешение будет лучше. Измерение в 1 миллиом не является большой проблемой.

Точность основных параметров 100 Гц и 1 кГц показана следующим образом:

Точность 20 Ом: 0,5% от показания + 2 миллиом, от 0 до $50 * 20 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм}$

Точность диапазона 1 кОм: 0,5% от показания + 0,1 Ом, от 0 до $50 * 1 \text{ кОм} = 50 \text{ кОм}$

Точность диапазона 10 кОм: 0,5% от показания + 1 Ом, от 0 до $50 * 10 \text{ кОм} = 500 \text{ кОм}$

Точность диапазона 100 кОм: 0,5% от показания + 10 Ом, от 0 до 2 МОм, при измерении высокого сопротивления необходимо учитывать остаточное сопротивление.

Показания от 5 до 100 МОм приведены только для справки, не тестировались,

Точность вторичного параметра ниже, чем основного. X и R - основные параметры, играющие ведущую роль. Например, когда емкость в основном емкостная, основным

параметром является X , а второстепенным параметром является R . Основным параметром сопротивления обычно является R .

Последовательное реактивное сопротивление вторичного параметра меньше, чем у основного параметра, и эффективное показание будет меньше, поэтому ошибка станет больше.

Форма выражения точности вторичного параметра такая же, как у основного параметра, но часть чтения должна быть заменена значением чтения основного параметра.

Первичные и вторичные параметры выводятся из усилителя с одинаковым коэффициентом усиления, затем дискретизируются и рассчитываются. Значит, их разрешение такое же.

О погрешности измерения ESR большого конденсатора:

ESR относится к эквивалентному последовательному сопротивлению. Цифровой мост LCR измеряет ESR с гораздо более высокой точностью, чем простой метод импеданса. Частота этого измерителя LCR невысока, всего 7,8 кГц, поэтому применимый диапазон измерения ESR относительно невелик. Если вы просто хотите узнать ESR около 10 кГц, мост может точно измерить его. Точность зависит от материала и емкости конденсатора. Конденсаторы с высокой добротностью, то есть конденсаторы с очень маленьким ESR, эти часы в основном бессильны и не могут быть измерены, часто напрямую отображаются как 0 или -0.

Этот измеритель может измерять ESR конденсаторов со значением Q ниже 200.

Предположим, что емкостное реактивное сопротивление равно X , а эффективное разрешение ESR составляет «2 миллиом + $X / 300$ ».

Если Q меньше 1, эффективное разрешение ESR составляет «2 миллиом + $R / 300$ ».

Более 200, измерение ESR ненадежно. Например: высоковольтный конденсатор CBV22 не может быть измерен, потому что его ESR слишком мало.

Пример 1: Конденсатор CBV22 0,47 мкФ / 630 В в качестве примера

Результат моего измерителя LCR: емкостное реактивное сопротивление $X = -43$ Ом, $R = -0,01$ Ом (скачок между 0 и -0,01), $Q = 43 / 0,01 = 4300$.

Очевидно, что этот результат измерения ESR неверен и даже отрицателен.

Этот измеритель измеряет ESR конденсатора этого типа с эффективным разрешением $1/300$ емкостного реактивного сопротивления. Делая оптимистическую оценку погрешности, также трудно отличить $0,14 / 2 = 0,07$ Ом. Это делает невозможным измерение конденсатора CBV, потому что ESR конденсатора меньше 0,07 Ом.

Пример 2: конденсатор CL21 1 мкФ / 400 В

Результат моего измерителя LCR: $X = -22$ Ом, $R = 0,22$ Ом, $Q = 100$

Эффективное разрешение составляет $22/300 = 0,07$ Ом. Измеренное значение ESR составляет 0,22 Ом, что намного больше 0,07 Ом, поэтому это измеренное значение является действительным.

Наихудшая оценка точности: $0,07 / 0,22 = 30\%$. Конечно, приведенная выше оценка разрешения имеет большой запас, а фактическая погрешность составляет менее 30%.

Пример 3: Измерение электролитического конденсатора 220 мкФ

Результат моего измерителя LCR: $X = -96,7$ миллиом, $R = 101$ миллиом, $Q = 0,95$.

Эффективное разрешение составляет $101/300 + 2 = 2,3$ миллиом. Текущее измеренное значение ESR составляет 101 миллиом, что намного больше, чем 2,3 миллиом. Таким образом, это измерение является действительным и имеет очень хорошую точность.

Вышеуказанная тестовая частота составляет 7,8 кГц, диапазон 20 Ом.

Разрешение индуктивности и емкости:

Разрешение индуктивности составляет около $2 \text{ мОм} / (6,28 * 7,8 \text{ кГц}) = 0,04 \text{ мкГн}$, а фактическое разрешение составляет от 0,01 мкГн до 0,02 мкГн.

Когда частота составляет 7,8 кГц, разрешение емкости составляет около $1 / (6,28 * 7,8 \text{ кГц} * 1 \text{ ГОм}) = 0,02 \text{ пФ}$. На самом деле, при наличии помех эффективное разрешение составляет всего около 0,05–0,1 пФ.

Погрешность индуктивности и емкости можно оценить в соответствии с погрешностью X. Когда значение Q велико, ошибка X составляет базовую ошибку 0,5%.

Точность значения Q:

Точность значения Q особенная. При последовательном измерении $Q = X / R$, при параллельном измерении $Q = R / X$. Ошибка значения Q на самом деле имеет самую низкую точность X и R.

Относительная погрешность: (разрешение основного параметра + фиксированная погрешность диапазона измерения) / показание второстепенного параметра

Его также можно записать как: $(Q * \text{вторичный параметр} / 300 + \text{фиксированная ошибка диапазона}) / \text{вторичный параметр} = Q / 300 + \text{фиксированная ошибка диапазона} / \text{вторичный параметр}$

Когда значение Q велико, так как ошибка значения Q велика, относительная ошибка может быть выражена как: $Q / 300$.

Например, когда $Q = 300$, ошибка может достигать $300/300 = 100\%$. Например, $600Q$ можно измерить как $300Q$. Когда сопротивление велико, шум велик, а ошибка Q может быть больше. сопротивление низкое, погрешность обычно менее 100%

Таким образом, если значение Q превышает 300, значение Q, измеренное этими часами, больше не является надежным. Можно считать, что если показание больше 500, измеренное значение этого измерителя бесконечно.

Точность значения D:

В этой таблице не отображается значение D. Значение D является обратной величиной значения Q. Погрешность составляет $0,003 + 2 \text{ мОм} / \text{СОЭ}$ при $D < 0,5$.

Точность измерения значения Q ниже 1000 пФ:

Такая малая емкость обычно должна измеряться на частоте 7,8 кГц, чтобы проверить ее высокочастотное значение Q .

Ниже приводится обсуждение принципов и методов измерения на частоте 7,8 кГц.

Эти часы имеют параллельное остаточное сопротивление от плюс-минус 70 МОм до 2 ГОм. Кроме того, остаточное сопротивление очень нестабильно, а дрейф серьезный, иногда он составляет 70 МОм, иногда становится 500 МОм.

Принимая во внимание нестабильность остаточного сопротивления, когда сопротивление параллельных потерь измеряемого конденсатора близко к остаточному сопротивлению, значение Q не может быть измерено. Как правило, можно измерить только сопротивление потерь ниже 40 МОм.

Емкостное реактивное сопротивление 10 пФ составляет 2 МОм. Если его значение Q равно 20, то сопротивление параллельных потерь составляет 40 МОм, что близко к остаточному сопротивлению.

Для конденсатора 10 пФ можно измерить только 20 Ом. Если оно больше 20, может быть известно, что только значение Q этого конденсатора больше 20. Конкретное значение Q не может быть определено этими часами. Возможно, его значение Q равно 1000.

Для конденсатора 50 пФ можно измерить только 100 Ом.

Для конденсатора 100 пФ можно измерить только 200 Ом.

Для трех конденсаторов с разной емкостью в приведенном выше примере, когда измеряются их верхние предельные значения (20, 100, 200), ошибка очень велика. Результаты только для справки.

Метод расчета погрешности значения D :

Источники ошибок измерения ESR для конденсаторов малой емкости:

Одна из них - это суммарная ошибка разрешения AD и фазового детектора. Ее вклад в ошибку ESR составляет $A = X / 300$ (X - составляющая реактивного сопротивления).

Вторая - ошибка, вызванная нестабильным параллельным остаточным сопротивлением. Его стоимость составляет $R_0 = 50$ млн евро.

При $Q > 2 R_0$ преобразуется в последовательный режим, и его значение равно $r_0 = X^2 / R_0$.

Следовательно, ошибка СОЭ равна $A + r_0 = X^2 / R_0 + X / 300 = X (X / R_0 + 1/300)$

Из приведенной выше формулы, когда $X / R_0 < 1/300$, то есть $X < 170$ кОм (C больше 120 пФ), ошибка, вносимая R_0 , становится незначительной, и ошибку можно напрямую оценить с помощью $X / 300$.

Также можно использовать оценку среднеквадратичной ошибки, и полученное значение ошибки будет меньше. И поскольку оценка R_0 имеет большой запас, большее из X^2 / R_0 и $X / 300$ может непосредственно использоваться в качестве члена оценки ошибки.

Пример 1, измеренное реактивное сопротивление монолитного конденсатора 220 пФ составляет 90 кОм, тогда ошибка ESR составляет $90/300 = 0,3$ кОм.

Пример 2, измеренное реактивное сопротивление керамического конденсатора 80 пФ составляет 230 кОм, тогда ошибка ESR составляет $230 * 0,23 / 50 = 1$ кОм.

Пример 3, измеренное реактивное сопротивление керамического конденсатора 20 пФ составляет 2,2 МОм, тогда ошибка ESR составляет $2,2 * 2,2 / 50 = 0,1$ МОм. Для этого типа конденсатора, если вы хотите использовать этот измеритель LCR для оценки значения Q , рекомендуется наблюдать за изменением эквивалентного параллельного сопротивления до и после подключения конденсатора 20 пФ в параллельном режиме. Например, он перескакивает между 100 МОм и 150 МОм перед подключением, а также перескакивает в этом диапазоне после подключения, указывая на то, что значение Q этого конденсатора очень велико. Выше 200 измеритель LCR не может различить. Также можно измерять несколько одинаковых конденсаторов параллельно, и полученное значение Q станет намного более точным. Фактически, мост 7,8 кГц не подходит для измерения добротности такого небольшого конденсатора.

В следующей таблице представлена фактическая точность измерения сопротивления измерителя LCR с отверстиями (без калибровки фазы):

Сопротивление	Диапазон	100Hz	1kHz	7.8kHz
2.5 mΩ	20 Ω	2.2 mΩ	3.1 mΩ	2.2 mΩ
7 mΩ	20 Ω	7 mΩ	7 mΩ	7 mΩ
14 mΩ	20 Ω	14 mΩ	13 mΩ	13 mΩ
223 mΩ	20 Ω	222 mΩ	222 mΩ	222 mΩ

2.210 МΩ	100 кΩ	2.213 М	2.205 М	2.187 М
4.436 МΩ	100 кΩ	4.46 М	4.42 М	4.30 М

Когда Z_x разомкнут, остаточное сопротивление параллельной передачи 100 кОм составляет 2,4 ГОм (100 Гц), 2 ГОм (1 кГц), 127 МОм (7,8 кГц), а сопротивление измеряется параллельным методом. Значение сопротивления фактически является параллельным значением остаточное сопротивление и измеренное сопротивление.

В приведенной выше таблице измерение 2,21 МОм при 7,8 кГц, параллельное значение составляет $2,21 // 127 = 2,17$ МОм, фактическое отображение составляет 2,19 МОм.

В приведенной выше таблице показано измерение 4,44 МОм 7,8 кГц, параллельное значение $4,44 // 127 = 4,30$ МОм, фактическое отображение 4,30 МОм.

Последовательный метод измеряет сопротивление высокого сопротивления. При частоте 7,8 кГц ошибка измерения очень велика из-за влияния остаточного иммитанса. Поэтому при измерении высокоомного сопротивления следует использовать параллельный метод вместо последовательного.

В следующей таблице показаны результаты измерений точности для версии LCD1602 (после калибровки):

Измеренное сопротивление 3,126 Ом (это сопротивление измеряется методом моста постоянного тока)

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20Ω	3.120	3.122	3.120
1kΩ	3.10	3.13	3.12
10kΩ	3.1	3.0	3.1
100kΩ	3.0	2.5	2.5

Измеренное сопротивление 50,4 Ом

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20Ω	50.37	50.38	50.35
1kΩ	50.41	50.48	50.36
10kΩ	50.22	50.37	50.40
100kΩ	51	51	50

Измеренное сопротивление 100,2 Ом

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20Ω	100.0	100.1	99.92

1k Ω	100.0	100.0	100.0
10k Ω	99.99	99.95	99.95
100k Ω	100.1	100.0	100.0

Измеренное сопротивление 297,6 Ом

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20 Ω	297.5	298.0	297.1
1k Ω	297.6	297.6	297.3
10k Ω	297.2	297.7	297.1
100k Ω	296.2	297.0	296.5

Измеренное сопротивление 994,2 Ом

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20 Ω	994.0	995.5	994.2
1k Ω	993.5	994.6	994.0
10k Ω	993.5	994.5	993.8
100k Ω	993.0	993.0	992.0

Измеренное сопротивление 3.285k

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20 Ω	3.290	3.298	3.276
1k Ω	3.284	3.288	3.283
10k Ω	3.283	3.289	3.282
100k Ω	3.283	3.288	3.280

Измеренное сопротивление 19,99 кОм

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20 Ω	20k	20k	20k
1k Ω	20.02	20.03	20.00
10k Ω	20.00	20.00	19.99
100k Ω	19.98	20.01	19.97

Измеренное сопротивление 26,64 кОм

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20 Ω	26.4	26.4	26.3

1kΩ	26.68	26.70	26.65
10kΩ	26.66	26.70	26.65
100kΩ	26.66	26.69	26.64

Измерение сопротивления 468,2 кОм (параллельный метод)

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20Ω	430k	390k	390k
1kΩ	470k	470k	466k
10kΩ	469.9	470.0	466.8
100kΩ	469.8	470.0	465.5

Измерение сопротивления 2,209 м (параллельный метод), остаточное сопротивление 7,8 кГц 150 МОм

Механизм	100Hz	1kHz	7.8kHz
20Ω	*	*	*
1kΩ	2.2M	2.2M	2.2M
10kΩ	2.213	2.215	2.159
100kΩ	2.215	2.205	2.165

Точность измерения L и C связана с точностью измерения Q и X. Когда Q больше 1, точность измерения может относиться к точности измерения сопротивления. Вместо этого компонент X становится второстепенным параметром, и точность снижается.

При измерении малой индуктивности, поскольку частота слишком низкая, она не может полностью отражать высокочастотное состояние. Например, катушка с воздушным сердечником, намотанная эмалированным проводом диаметром 0,38 мм длиной 5 метров, индуктивность на частоте 10 кГц составляет 35,5 мкГн, а индуктивность на частоте 1 МГц будет больше, чем это значение, то есть индуктивность будет отображаться на двух частотах 10 кГц и 1 МГц. Реактивное сопротивление разное. Глубина скин-слоя медного провода на частоте 1 МГц составляет 0,066 мм, а глубина скин-слоя на частоте 10 кГц составляет 0,66 мм. При 10 кГц глубина скин-слоя намного больше, чем радиус этого провода, поэтому внутренняя самоиндукция провода составляет $0,05 \text{ мкГн} \cdot 5 = 0,25 \text{ мкГн}$, когда частота достигает 1 МГц, внутренняя самоиндукция становится $2 \cdot 0,066 / (0,38 / 2) \cdot 0,25 \text{ мкГн} = 0,17 \text{ мкГн}$, то есть измерение на низких частотах дает дополнительное измерение. внутренняя самоиндукция 0,08 мкГн. Катушка имеет распределенную емкость и распределенную емкость относительно земли от 2 до 3 пФ, что увеличивает ее индуктивность на частоте 1 МГц на 0,5%. Если частота высока, ток в каждой точке катушки не устанавливается синхронно. Это также может быть связано с влиянием распределенной емкости, которая еще больше увеличивает высокочастотное реактивное сопротивление. Проводящий медный провод, используемый для обмотки индуктивности, имеет большую длину и легко подвержен влиянию различных факторов, поэтому нет необходимости ожидать, что индуктивность,

измеренная низкочастотным методом, будет экстраполирована на высокую частоту для получения такой же точности.

Некоторые индуктивности составляют всего несколько десятых мкГн, что также можно измерить этим измерителем. Для того, чтобы счетчик работал более надежно, счетчик LCR устанавливается впервые, и рекомендуется его проверить. Методы, указанные ниже:

Сделайте индуктивность магнитной петли Сендуста примерно 3 мкГн. Вы также можете использовать индуктор с цветным кольцом или пустую катушку для микросхем. Если используется катушка с воздушным сердечником, убедитесь, что катушка не деформируется во время измерения. Этот индуктор припаян непосредственно к материнской плате, и измеренная индуктивность равна L0. Затем подключите резистор R от нижнего конца R17 к нижнему концу R18 (виртуальная земля) и измерьте индуктивность L. Тогда идеальное измеренное значение должно быть $L = L0 * R / (R17 + R)$, в этой цепи R17 составляет 1 кОм. Ниже приводится набор результатов измерений:

(Магнитная кольцевая катушка Silcon, f = 7,83 кГц, Q = 5, L0 = 2,84 мкГн)

R (Ω)	L (Теория)	L (Измеренное)	Примечание
Гигантский	L0=2.84uH	2.84uH+0.01uH	正跳0.01uH
2100	1.92uH	1.92uH+0.00uH	不跳
300	0.66uH	0.65uH	正跳0.005uH
100	0.26uH	0.24uH+0.01uH	正跳0.01uH
51	0.14uH	0.12uH	不跳
25.5	0.07uH	0.05uH±0.01uH	正负跳0.01uH

Приведенные выше фактические результаты измерений показывают, что измерение индуктивности в несколько десятых мкГн имеет ошибку около 0,01 мкГн и шум квантования около 0,01 мкГн.

Приведенные выше данные показывают, что этот измеритель LCR имеет смещение нуля 0,02 мкГн, и вы можете рассмотреть возможность изменения значения коррекции нуля 7,8 кГц в меню 7.

При фактической индуктивности в несколько десятых мкГн на частоте 7,8 кГц многие значения Q меньше 1, и шум становится больше. Часть шума дифференциального режима на входе - это низкочастотный шум, а также гармоники высокого порядка и другие сигналы помех. Эти шумы сильнее влияют на слабые сигналы. Для катушек индуктивности с такой же индуктивностью, если значение Q низкое, а эквивалентное последовательное сопротивление велико, общее падение напряжения на катушке индуктивности увеличится, а также увеличится общий уровень шума. Следовательно, при низкой добротности и небольшой индуктивности 0,1 мкГн отображаемое значение будет увеличиваться до плюс или минус 0,02 мкГн. Когда измеренная индуктивность выше 0,2 мкГн, помехоустойчивость значительно

возрастает. Кроме того, синфазный сигнал помехи также оказывает влияние на измерения, потому что мощность синфазного сигнала в это время в несколько раз больше, чем мощность сигнала дифференциального режима.

Когда значение Q индуктивности очень низкое, значение реактивного сопротивления X почти равно нулю. Под влиянием шума X может стать отрицательным значением, которое может отображаться как емкость (отрицательное реактивное сопротивление будет иметь единицу с десятичной запятой.).

Проблема остаточной емкости при измерении высокого сопротивления:

Цифровой мост имеет некоторую остаточную емкость разомкнутой цепи, а остаточная емкость имеет потери, то есть содержит компоненты сопротивления. В редукторах с разной частотой остаточная емкость в основном одинакова, но сопротивление остаточных потерь различается. При 1 кГц и 100 Гц остаточное сопротивление параллельных потерь составляет G Ом. Остаточное параллельное сопротивление на частоте 7,8 кГц будет меньше.

Сопротивление остаточных потерь холостого хода эквивалентно параллельному подключению к обоим концам измеряемого Z_x . Поэтому, когда мы измеряем реактивное сопротивление с высоким импедансом, если мы пытаемся исправить результат, мы должны использовать принцип параллельности для его исправления. . В настоящее время используйте параллельный метод измерения.

Емкость остаточной емкости одинакова на частотах 1 кГц и 7,8 кГц, независимо от того, подключены ли они последовательно или параллельно. Это связано с тем, что значение Q остаточной емкости больше, поэтому последовательная или параллельная остаточная емкость одинакова. . При измерении малой емкости необходимо вычесть остаточную емкость, чтобы получить реальное значение емкости.

При 100 Гц обычно нет необходимости учитывать остаточную емкость.

8 Генератор сигналов DDS.

Это основная технология, используемая в этом измерителе LCR. Используйте его для точного управления фазой и вывода синусоидальной волны.

DDS - это аббревиатура от "Direct Digital Frequency Synthesizer".

Как правило, для достижения высокой производительности используется специальный чип DDS. Использование специализированных DDS, таких как микросхемы AD9833, стоит дорого и упаковано в MSOP, который нелегко припаять, что создает некоторые препятствия для DIY. Кроме того, комбинация AD9833 и однокристального микрокомпьютера может реализовать прямоугольную волну с фазовым сдвигом 0 градусов, 90 градусов, 180 градусов, 270 градусов, что также является более сложной задачей.

Современные однокристальные микрокомпьютеры быстры, могут напрямую синтезировать звуковые волны и точно выводить сдвинутые по фазе прямоугольные волны.

Принцип алгоритма DDS однокристального микрокомпьютера:

Синусоидальная функция $y = \sin(x)$, где величина фазы x пропорциональна времени. То есть фаза x линейно увеличивается со временем.

Сначала генерируется фазовая последовательность x , которая изменяется линейно со временем, и в то же время значение $\sin(x)$ получается методом справочной таблицы, а значение $\sin(x)$ немедленно выводится функцией ЦАП.

Установите таймер в однокристальном микрокомпьютере, каждый раз в dT фаза накапливает dX , получите последовательность фаз $x, x + dX, x + 2dX, x + 3dX, \dots$. Каждый раз, когда генерируется фаза, одновременно выводится соответствующее значение $\sin(x)$.

После того, как алгоритм определен, следующим шагом будет проверка поддержки аппаратного обеспечения указанного выше алгоритма. Если это так, просто напишите соответствующую программу.

Таблица поиска значений функции прямоугольной волны и таблица поиска значений функции синусоидальной волны хранятся в памяти микроконтроллера. Когда приходит прерывание dT , сначала выводится значение синусоидальной волны, соответствующее x , а затем другой порт немедленно выводит $x + \text{Значение функции прямоугольной волны } 0 \text{ градусов (или } x + 90 \text{ градусов)}$. Таким образом, получаются два источника сигнала, необходимые для моста LCR. Независимо от того, составляет ли прямоугольная волна на выходе тока $x + 0$ градусов или $x + 90$ градусов, во время периода прерывания dT не используйте операторы `if` для оценки, а должны быть записаны в форме « $x + \text{переменные первичной фазы}$ ». Первичная фаза переменные задаются заранее. Таким образом, разность фаз между прямоугольной волной $x + 0$ градусов и прямоугольной волной $x + 90$ градусов является строгим соотношением 90 градусов.

Чтобы стабилизировать фазу сигнала, приоритет прерывания dT должен быть установлен на самый высокий уровень.

STC12C5A60S2 имеет встроенный ЦАП, а dT можно установить меньше.

9 Технология фазовой компенсации

Компенсация фазы фактически удаляет остаточное значение Q или значение D в реальном времени.

Принцип фазовой компенсации усилителя с регулируемым усилением:

Измерьте верхнее и нижнее плечо моста. Если усилитель находится в одном и том же положении усиления, фазовые сдвиги двух наборов измерений одинаковы, они компенсируют друг друга и могут быть проигнорированы. Если два плеча измеряются с разными коэффициентами усиления, фазовый сдвиг нельзя игнорировать. Ошибка, вносимая фазовым сдвигом усилителя, влияет на измерение четырех передач, а не только на особые случаи высокого и низкого импеданса. Это связано с фазовым сдвигом усилителя, поэтому значение добротности конденсатора СВВ с высокой добротностью невозможно измерить вообще. Чтобы решить эту проблему, необходимо повысить точность измерения значения Q на частоте 7,8 кГц, и в идеальном случае следует использовать фазовую компенсацию.

Фазовый сдвиг двух усилителей с регулируемым усилением различается. Обратите внимание, что в частотной области это фазовая задержка, а во временной области это фактически задержка реакции усилителя на синусоидальную волну. Для разных частот величина задержки в основном одинакова, а диапазон 1 кГц имеет длительный период, поэтому ошибка, вызванная задержкой, в основном, ее можно игнорировать. Для передачи 7,8 кГц эту задержку нельзя игнорировать. Ее влияние на фазу в 7,8 раз больше, чем для передачи 1к.

Метод коррекции заключается в измерении фазового сдвига двух усилителей относительно усиления 1х. Первый каскад контролируемого усиления - 1х и 9х. Нам нужно измерить фазовый сдвиг 9х. Второй уровень контролируемого усиления - 1х и 3. Нам нужно измерить фазовый сдвиг 3-кратного увеличения.

Частота установлена на 1 кГц, а положение шестерни - на 1 кОм. Передача 1к имеет низкий импеданс и не чувствительна к распределенной емкости, поэтому эта передача используется для захвата фазового сдвига постусилителя, а распределенная емкость не влияет на предварительный каскад. Импеданс передачи 1 кОм также намного больше, чем импеданс индуктивности выводов, а индуктивность выводов незначительна.

Подключите разные резисторы для тестирования и измерьте сдвиг фазы при разных передачах усиления (значение Q на самом деле является его углом сдвига фазы). Коэффициент усиления можно контролировать в меню 4.

Измеренные данные коэффициента усиления операционного усилителя и фазового сдвига при различных сопротивлениях следующие:

Данные в следующей таблице: коэффициент усиления: 0 — 1- кратная передача, 1 - 3-кратная передача (полученная из второго управляемого операционного усилителя), 2 - 10-кратная передача (полученная из первого управляемого операционного усилителя), 3 - два. Увеличивая масштаб, одновременно увеличивайте масштаб в $3 * 9 = 27$ раз. Используйте меню 4, чтобы просмотреть коэффициент усиления.

Сопротивление	Верхнее плечо	Нижнее плечо	Добротность
51.00k	0	3	Q=0.027
20.00k	0	2	Q=0.016
2.200k	0	1	Q=0.016
1.000k	1	1	Q=0.000
0.330k	1	0	Q=-0.016
0.200k	2	0	Q=-0.020
0.100k	2	0	Q=-0.020
0.051k	3	0	Q=-0.036

Из части с низким сопротивлением в приведенной выше таблице видно, что фазовый сдвиг 3-кратной передачи составляет 0,016 радиана, фазовый сдвиг 10-кратной передачи составляет 0,02 радиана, а фазовый сдвиг 30-кратной передачи составляет 0,036 радиана, что составляет ровно сумма первых двух передач $0,016 + 0,020$, что соответствует теоретическому значению.

Часть приведенной выше таблицы с высоким импедансом, такая как фазовый сдвиг в передаче 51 кОм, не достигает идеального значения $+0,036$, что вызвано распределенной емкостью измерительных проводов.

При программировании, если известен полный фазовый сдвиг θ усилителя, результат можно исправить.

Пусть исходный измеренный импеданс равен $a + jb$

Метод коррекции: $a_2 = a * \cos\theta - b * \sin\theta$, $b_2 = a * \sin\theta + b * \cos\theta$.

Для этого измерителя LCR просто введите 1000-кратный параметр фазового сдвига двух усилителей в радианах в меню 7. Конечно, эти два параметра должны быть установлены на 0 при измерении фазового сдвига усилителя.

Модифицированный метод проверки сопротивления: возьмите указанное выше измеренное сопротивление и повторите тест, фазовая ошибка должна быть 0, то есть $Q = 0$.

Модифицированный метод проверки конденсатора: проверьте конденсаторы CBV и CL в диапазоне 20 Ом. Возьмите два из конденсаторов CL 0,47 мкФ. Его ESR немного больше. Измеренное ESR одного - R, а двух, соединенных последовательно, должно быть 2R.

Параллельное соединение должно быть $R / 2$. Для измерения высокого напряжения CBV, независимо от того, как он подключен последовательно или параллельно, измеренное ESR обычно равно 0, а Q отображается как 999. Вы также можете использовать высоковольтные конденсаторы CBV последовательно с низкоомными резисторами для получения измеримого ESR.

В приведенном выше измерении используется файл с частотой 7,8 кГц.

Фазовая компенсация преобразователя V / I:

Фазовая ошибка, вносимая преобразователем V / I , имеет два аспекта.

При измерении высоких частот, малых сопротивлений и сильных токов фазовая ошибка в основном вызвана индуктивностью выводов и возможностью подавления синфазных помех трех операционных усилителей прибора. Никакой программной коррекции в этом отношении не требуется. Подавление синфазного сигнала трех операционных усилителей хорошее, и ошибку можно игнорировать. Индуктивность выводов может быть устранена методом относительных значений, который аналогичен принципу «удаления сопротивления измерительного провода» при измерении сопротивления мультиметром в диапазоне 200 Ом.

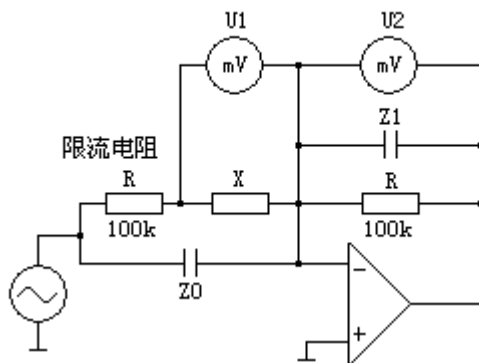
При измерении высокого импеданса фазовая ошибка преобразователя V / I более проблематична, и для ее исправления лучше всего использовать программное обеспечение.

Источник фазовой ошибки с высоким импедансом можно разделить на две части:

Во-первых, дополнительная связь, вносимая распределенной емкостью, например

распределенная емкость виртуальной земли с горячим концом источника сигнала, распределенная емкостная связь двух операционных усилителей внутри TL082, качество источника сигнала и т. Д. , может вызвать сцепление сигналов. Следовательно, ток на плече фактически является суммой измеренного тока Z_x и дополнительного связанного тока. Во-вторых, соединение выхода нижнего плеча с виртуальной землей (или соединение других контролируемых источников) эквивалентно распределенному конденсатору, подключенному параллельно сопротивлению нижнего плеча. Это вызывает отставание выходной фазы нижнего рычага. Фазовая ошибка передачи 100k является наиболее серьезной, а фазовая ошибка передачи 10k может быть оценена как 1/10 фазовой ошибки передачи 100k. С точки зрения частотной области это эквивалентно небольшому вращению по часовой стрелке (гистерезис) напряжения нижнего плеча, и влияние на амплитуду в основном незначительно.

Следующий модельный расчетный анализ. Параметры распределения тестовой линии являются частью тестируемого реактивного сопротивления X . Токоограничивающее сопротивление верхнего плеча и сопротивление нижнего плеча равны 100 кОм, что обозначается как R . Эквивалентное сопротивление задержки отклика операционного усилителя равно Z_1 (подключено параллельно нижнему плечу R), LCR. Соотношение импедансов нижних и верхних плеч моста, измеренное таблицей, равно k , а идеальное значение k при отсутствии фазовой ошибки - $k = U_2 / U_1 = R / X$, и реальная связь выглядит следующим образом:



Z_0 = 表笔、电路板引起的热端残余耦合电抗

X = 被测电抗(包含表笔电抗)

Z_1 = 运放响应延迟等效电容

LCR表V/I变换器相位误差分析

R известно, k можно непосредственно измерить с помощью измерителя LCR, а путем калибровки можно получить A. Когда также измеряется B, тогда $X = k * R * A * B$. Среди них Z_0 и Z_1 эквивалентны реактивному сопротивлению нескольких пикофарадных конденсаторов, поэтому реактивное сопротивление очень велико.

Итак, как мы должны понимать A и B? Когда X очень мало, например, $X = 2$ кОм или 5 кОм, B близко к 1, и дополнительный сдвиг фазы вызван A, а B почти не влияет. Когда X велик, A и B вызывают фазовый сдвиг одновременно, а величина сдвига равна углу $A * B$.

Если для представления результата измерения используется только $Z = k * R * A$, тогда Z на самом деле представляет собой $Z = X / B = X / [1 + X / (Z_0 + R)] = X * (Z_0 + R) / (X + Z_0 + R) = X // (Z_0 + R)$. При измерении высокого сопротивления X - это параллельное реактивное сопротивление измеренной емкости и параметров распределения измерительных проводов, а $Z_0 + R$ подключено параллельно с X, указывая что конечный Z равен $Z_0 + R$, параллельное значение емкости испытательного провода и испытуемого реактивного сопротивления.

Таким образом, A представляет дополнительный фазовый сдвиг V / I преобразователя, а B отражает вывод. Когда $Z = k * R * A$ используется в качестве результата, это остаточное реактивное сопротивление холостого хода ($Z_0 + R$ параллельно с реактивным сопротивлением измерителя) и Параллельное значение испытуемого реактивного сопротивления, поэтому, чтобы получить X, остаточное реактивное сопротивление холостого хода должно вычитаться параллельным методом.

Благодаря приведенному выше анализу мы можем получить очень эффективную программу измерения значения A: при измерении используйте $Z = k * R$ для расчета импеданса. Поскольку Z_0 и Z_1 намного больше, чем R, значение модуля A близко к 1, и его влияние на амплитуду модуля результата измерения можно игнорировать. Во избежание серьезных ошибок необходимо учитывать только фазовый сдвиг, вызванный A. в измерении значения Q. Подключите сопротивление 5 кОм цветного кольца, которое нужно измерить (значение Q сопротивления 5 кОм почти равно 0), B близко к 1, а угол транспортного средства близок к 0, поэтому измеренное значение Q точно соответствует фазе A. Следовательно, A - комплексное число с модулем 1 и аргументом Q.

Несложно заметить, что будет некоторая остаточная связь на выходе преусилителя DDS и постусилителей, и это также вызовет фазовый сдвиг V / I преобразователя во время измерений высокого импеданса. Их влияние также можно отнести к A и B.

Параллельно сопротивлению отрицательной обратной связи преобразователя V / I подключен небольшой конденсатор, который на выходе вызывает отставание фазы напряжения. Со стороны входа это эквивалентно вводу опережающего тока (опережающая компенсация). Чем выше частота, тем сильнее эта обратная связь. Некоторые измерители LCR используют некоторые методы для уменьшения высокочастотной обратной связи. Например, резисторы обратной связи 100 кОм подключены последовательно с 10 кОм и 90 кОм, а небольшой конденсатор подключен к центру ряда. Эта схема обходит сигнал обратной связи на высоких частотах. и ослабляет его.Высокочастотная обратная связь играет роль компенсации.

10 Запись многопроходной проверки:

Проверка 1: Проверка точности измерения высокой добротности

Возьмите конденсатор CBV22 0,1 мкФ / 630 В в качестве эталонного устройства. Этот тип конденсатора имеет очень высокое значение Q, и его значение Q превышает верхний предел измерения этого измерителя LCR.

X = 16 k, от 800 до 999 (10 k)

X = 1,6 k, от 700 до 999 (1 k)

X = 200, от 500 до 999 (1 k), 999 (7,8 k)

Верхний предел эффективного измерения этого измерителя LCR составляет около 300. Измеренное значение Q является нормальным, а верхняя погрешность находится в допустимом диапазоне. Максимальный предел отображения этого измерителя LCR составляет 999

Проверка 2: Проверка точности измерения при низкой добротности

Возьмите высокодобротный конденсатор CBV22 0,1 мкФ / 630 В и подключите его параллельно с резистором 3,14 Ом. Измеренная емкость до параллельной работы составляет 101 нФ.

Для измерения используйте параллельный метод. 1 кГц, измеренная емкость - 60 нФ, измеренная емкость 7,8 кГц - 80 нФ (в это время значение Q отображается примерно на 0,012)

Теоретическое значение Q составляет $3,14 / 200 = 0,016$, фактическое измерение - 0,012, погрешность - 4 слова.

После расследования четырехзначная ошибка была вызвана измерением во второй строке. При переключении в последовательный режим измерительные провода закорачиваются, и измеренное остаточное реактивное сопротивление измерительных проводов составляет +9 миллиом.

Метод большой серии повторно тестирует это параллельное тело сопротивления и конденсатора, и эквивалентное последовательное реактивное сопротивление составляет -37 миллиом. Очевидно, что после удаления остаточного значения измерительных проводов правильное значение составляет 46 миллиом. Следовательно, скорректированное значение Q составляет $46 \text{ миллиом} / 3,14 = 0,015$, что очень близко к теоретическому значению.

Проверка 3:

Измерьте катушку с воздушным сердечником 0,47 мкГн (измерено Q-метром), и измеренное значение также составляет 0,47 мкГн (остаточная индуктивность измерительного провода удалена)

Проверка 4:

Возьмите кусок медного провода площадью 0,18 квадратных миллиметра и скрутите его, чтобы получить неиндуктивное сопротивление. Теперь измерьте его остаточную индуктивность.

При использовании передачи 7,8 кГц, 20 Ом измеренная индуктивность составляет 0,36 мкГн, ESR = 294 миллиом, индуктивность измерительного пера составляет 0,20 мкГн, а индуктивность составляет 0,16 мкГн.

Приблизительное значение, измеренное высокочастотной вольтамперометрией с частотой 1 МГц, составляет 0,2 мкГн.

Из-за низкого значения добротности этой индуктивности ее нелегко измерить, ошибки двух методов измерения относительно велики, а индуктивность связана с частотой, поэтому можно провести только грубое сравнение. Результаты, полученные двумя методами измерения, аналогичны.

Проверка 5:

Измерение малой емкости 20 пФ, по сравнению с Q-метром, разница составляет всего 0,1 пФ

Проверка 6:

Возьмите пять конденсаторов по 5 пФ, подключенных параллельно, измерьте значение Q и получите $Q = 300$, что вполне удовлетворительно.

Проверка 7:

При подключении к разрешению теста сопротивления 10 Ом, измеренному с передачей 100 кОм, измеренное значение сопротивления на трех частотах составляет 10 Ом (отскок плюс или минус 0,5 Ом)

Проверка 8:

Тестовое сопротивление, измерены десятки сопротивлений, погрешность менее 0,5%

Проверка 9:

Используйте сетевой кабель для измерения сопротивления в миллиомах. Используйте измерение длины, чтобы преобразовать сопротивление и сравнить его с измеренным значением, которое может отличить 1 миллиом. Удельное сопротивление сетевого кабеля измеряется заранее мостом постоянного тока.

Проверка 10:

Возьмите тот же СВВ22 0,47 мкФ / 630 В, контакты из луженой стальной проволоки, плакированной медью, и измерьте единичный $Q = 999$ (в пределах диапазона). Два идентичных конденсатора, включенных параллельно или последовательно, также имеют $Q = 999$. Дисплей правильный

Проверка 11:

Конденсатор CL21 1 мкФ / 400 В, измеренное ESR = 0,18 Ом, EPR = 2,2 кОм

Конденсатор СВВ22 0,47 мкФ / 630 В, измеренное ESR = 0,01 Ом, EPR = сотни кОм

Сопротивление измерительного провода 0,013 Ом

Два конденсатора подключены параллельно, измеренное EPR = 2,1 кОм, ESR = 0,10 Ом.

Проверка расчетов: после удаления сопротивления провода ESR двух конденсаторов

составляет 0,17 и 0,00 соответственно, а ESR после параллельного включения составляет $0,17 * (1 / 1,47)^2 + 0,013 = 0,09$, что близко к измеренному значению 0,10. .

Проверка 12:

Используйте разные диапазоны для одновременного измерения добротности конденсатора.

Следующие значения Q измерены для файлов размером 20, 1, 10 и 100 тыс. Соответственно.

Конденсатор СВВ22 0,47 мкФ / 630 В, стальной провод, покрытый луженой медью, 1 кГц, X = 344 Ом:

7,8 кГц, четыре шестерни, измеряющие значение Q: 999, 999, 800, 20

1 кГц, четыре шестерни, измеряющие значение Q: 999, 999, 800, 999

100 Гц, значение Q измеряется на четырех передачах: 500, 600, 900, 999

0,1 мкФ / 100 В 500, полиэфирный конденсатор, 1 кГц, X = 1,47 кОм

7,8 кГц, значение Q измеряется на четырех передачах: 127, 120, 140, 500

1 кГц, четыре скорости для измерения значения Q: 210, 210, 210, 190

100 Гц, значение Q измеряется на четырех передачах: 500, 900, 400, 800

Красно-коричневый конденсатор 3,3 нФ, используемый в тесте преобразователя V / F, эффект очень хороший, 1 кГц, X = 47,6 кОм.

7,8 кГц, значение Q, измеренное на четырех передачах: 3, 150, 800, 800

1 кГц, четыре скорости для измерения значения Q: 150, 999, 999, 999

100 Гц, значение Q измеряется на четырех передачах: 500, 999, 999, 999

Полиэстер 2,2 нФ. 1 кГц, X = 70,9 кОм

7,8 кГц, значение Q измеряется на четырех передачах: 90, 125, 135, 110

1 кГц, четыре скорости для измерения значения Q: 30, 190, 240, 240

100 Гц, значение Q измеряется на четырех передачах: 10, 100, 800, 999

Красная часть указывает на более подходящую передачу.

Для горизонтального сравнения значения должны быть как можно более однородными. Q больше 500. Для этого LCR его можно считать бесконечным, поэтому Q = 700 и Q = 999, даже если оба рассматриваются как 999.

Примечание: если значение Q велико, прыжок будет прибыльным, просто возьмите среднее значение.

Поверка 13-фазного детектора для проверки линейности:

Перейдите в меню 3, чтобы вручную отрегулировать состояние переключателя и переключиться на измерение нижнего рычага.

Возьмите два резистора 3,3 кОм, подключенных параллельно, отрегулируйте фазу и

усиление, сделайте значение чтения как можно большим, чтобы точно различать, значение чтения 6770.

Не изменяйте фазу и коэффициент усиления, подключите только один резистор, а другой резистор подключите к земле вместо пера заземления. Считываемое значение - 3382.

Два резистора меняются местами, и значение чтения составляет 3388.

Теоретически, когда линейность детектора и AD хорошая, сумма двух последних показаний должна быть равна предыдущей. $3388 + 3382$ точно равно предыдущему показанию 6770, поэтому линейность фазового детектора хорошая.

Проверка 14-Проверка емкости

Возьмите конденсатор CBB22 / 630V 0,47 мкФ, этот конденсатор, измеренный при разном напряжении, изменение емкости небольшое.

Конденсатор включен последовательно с резистором 329,3 Ом и подключен к выходу AD9850 DDS, частота 1 кГц.

Напряжение на конденсаторе, измеренное мультиметром VC9806 +, составляет 288,7 мВ, а напряжение на резисторе - 279,8 мВ.

Расчетное емкостное реактивное сопротивление $X = 329,3 * 288,7 / 279,8 = 339,8$ Ом

$C = 1 / (X * 2 * 3,1416 * 1000) = 468,4$ нФ

Измеренные результаты:

Независимое измерение $R = 328,5$ Ом, емкость $C = 469,3$ нФ

Последовательное измерение $R = 329,5$ Ом, емкость $C = 469,3$ нФ

Погрешность сопротивления: -0,24%, погрешность емкости: + 0,19%

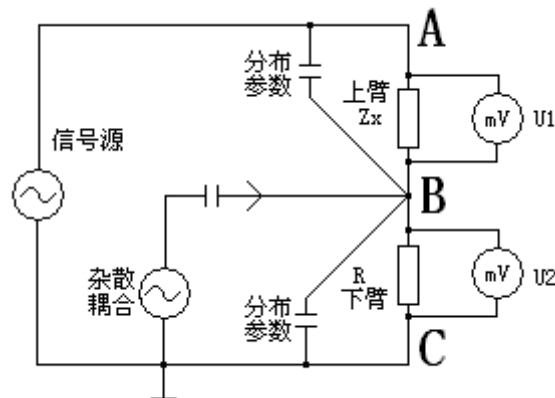
Эквивалентное последовательное сопротивление этого конденсатора очень мало, и им можно пренебречь. При последовательном измерении идеальный результат также должен быть 328,5, а фактическое измерение - 329,5, что на 1 Ом больше.

Приведенные выше результаты измерений показывают, что точность измерения емкости эквивалентна измерению сопротивления.

Среди вышеперечисленных измерений результаты измерений мультиметра и AD9850 DDS являются более точными. В настоящее время верхнее и нижнее плечо в основном сбалансированы, поэтому нелинейную погрешность мультиметра можно в основном игнорировать. Из-за большой емкости конденсатора влиянием распределенной емкости мультиметра можно пренебречь. Входное сопротивление мультиметра составляет 2 МОм, что незначительно по сравнению с сопротивлением 329 Ом.

Принцип цифрового моста LCR.

• Принцип моста LCR



Измерьте напряжение U_1 и ток I в элементе реактивного сопротивления Z_x и воспользуйтесь законом Ома, чтобы получить

Когда Z_x соединен последовательно с известным сопротивлением R , тогда измеряется падение напряжения U_2 на R , и вы можете получить

Можно видеть, что нет необходимости измерять конкретное значение I , и нужно только рассчитать отношение U_1 к U_2 , чтобы получить Z_x , который имеет основные характеристики электрического моста.

Чтобы получить два компонента Z_x по оси x и оси y , в приведенных выше вычислениях должны использоваться комплексные числа.

Предположим $U_1 = a+jb$, $U_2 = c+jd$

Тогда

U_1 и U_2 следует измерять в одной системе координат. С помощью фазочувствительного детектора можно разделить a , b , c , d . Процесс фазочувствительного обнаружения требует стабильной ортогональной координатной оси 0 градусов и 90 градусов. Во время измерения векторы U_1 и U_2 также должны находиться в этой системе координат. Сохраняйте устойчивость в среде, а не хаотичность. Чтобы получить достаточную точность, управляйте усилением усилителя так, чтобы эффективные цифры a , b , c и d были достаточно большими, а точность измерения Z_x была высокой.

С помощью электронного переключателя измерение U_1 и U_2 должно выполняться только милливольтметром. Поскольку расчет импеданса является расчетом отношения, требуется только высокая линейность милливольтметра, и нет особых требований к точности.

Параметры распределения и входной импеданс милливольтметра не очень стабильны, поэтому, когда схема на приведенном выше рисунке измеряет компоненты с высоким импедансом, эффект устранения ошибок посредством калибровки ухудшается, и ошибка

становится больше. Кроме того, при измерении U_1 и U_2 в условиях высокого импеданса для двух милливольтметров требуется общее заземление. Не рекомендуется измерять плавающий U_1 , как показано на рисунке. В противном случае проблему перекрестных помех трудно контролировать. Должна быть добавлена схема "инструментального трех ОУ". U_1 и U_2 преобразуются в общий сигнал заземления. Однако, когда точка В является плавающей, способность подавления синфазного сигнала у "инструментального трехоперационного усилителя" очень высока, что увеличивает стоимость схемы.

Поэтому в этой схеме используется преобразователь V / I , и средняя точка верхнего и нижнего рычагов становится виртуальной землей для решения вышеуказанных проблем. См. Принципиальную схему для получения подробной информации.

Напряжения верхнего и нижнего плеча соответственно буферизируются и усиливаются «тремя операционными усилителями прибора», а затем выводятся. Преобразователь V / I не может гарантировать, что виртуальное напряжение земля-земля равно нулю на частоте 7,8 кГц (особенно во время измерения с низким импедансом), что генерирует синфазные сигналы помех, поэтому схема «три ОУ» должна быть strong. Возможность подавления синфазного сигнала.

Переключите верхнее и нижнее плечо через КЗ, и сигнал перейдет на следующий уровень усиления. Чтобы сделать мост более точным, обычно требуется использовать «один и тот же милливольтметр» для усиления верхнего и нижнего плеча (или непосредственно выполнять фазочувствительное обнаружение без усиления). Из-за недостаточного разрешения AD этой схемы прямое обнаружение может гарантировать только лучшую точность моста в пределах $\pm 30\%$ вблизи точки баланса. Например, когда мост уравновешен, количество слов в головке счетчика равно 600. Если измеренное сопротивление не может уравновесить мост, верхнее плечо становится $600 + 300 = 900$ слов, а нижнее плечо становится $600 - 300 = 300$. Очевидно, для чтения 300 слов точность может быть не более 0,3%, за пределами этого диапазона точность будет снижаться. Приведенный выше анализ показывает, что для определенного диапазона диапазон поддержания хорошей точности относительно невелик, если не используется более высокая точность AD. Чтобы решить эту проблему, регулируемое усиление последующего каскада включается для каждого диапазона, так что диапазон измерения каждого файла увеличивается, но точность существенно не снижается. При включенном усилителе с регулируемым усилением при измерении напряжения на верхнем и нижнем плечах фактически больше не используется «один и тот же милливольтметр», поэтому ошибка немного больше.

Двухступенчатые регулируемые коэффициенты усиления равны соответственно 9 и 3. После объединения получаются четыре усиления: 1, 3, 9 и 27.

Блуждающая связь в цепи существует всегда. Без строгого экранирования возникает небольшая паразитная связь, которая влияет на измерение высокого импеданса. Конечно, есть некоторые паразитные связи во внутреннем процессе передачи сигнала на печатной плате. Эти помехи связи часто проявляются в измерениях высокого и низкого сопротивления. Всегда есть ошибки, выходящие за рамки теоретических ожиданий. Правильная структура схемы может увеличить защиту от помех. В то же время необходимо приложить больше усилий для проектирования печатной платы. Для упрощения схемы используется схема с четырьмя операционными усилителями, что также увеличивает взаимные помехи между

операционными усилителями.

Импеданс полосового фильтра: полосовой фильтр может подавлять высокочастотные помехи, предотвращать перегрузку операционного усилителя и в то же время может уменьшать помехи промышленной частоты, так что дребезг конечного слова уменьшается. Кроме того, фильтр имеет определенное подавление гармоник высокого порядка, что помогает повысить точность значения D до 7,8 кОм. При проектировании фильтра следует обращать внимание на проблему импеданса. Самому высокоимпедансному фильтру мешает дополнительная связь на печатной плате. Следовательно, емкость конденсатора не менее 10 нФ.

Импеданс фильтра DDS не может быть слишком малым. Принцип такой же, как у полосового фильтра. Даже если вы хотите создать RC-фильтр на 100 кГц, не рекомендуется использовать конденсатор меньше 10 нФ. Распределенную связь на печатной плате можно оценить от 0,1 до 2 пФ. Когда последний сигнал больше, чем сигнал DDS, эта связь значительна. Если DDS выдает 0,2 В, а конечный каскад выдает 2 В, то связь 0,2 пФ эквивалентна эквивалентной связи 2 пФ при 0,2 В (аналогично эффекту Миллера). Когда выходной конденсатор фильтра DDS составляет 1000 пФ, тогда дополнительная связь 2 пФ эквивалентна. Это вносит ошибку 0,2% от $2/1000$. Если значение Q выходного фильтра DDS высокое, ошибка будет увеличена примерно в Q раз. Фактически, в разводке печатной платы нет надлежащего экранирования, и провода длиной 10 см достаточно для создания распределенной емкости 1 пФ. Длина проводки обычно составляет несколько сантиметров или больше, а сам компонент имеет определенный объем, а распределенная связь все еще относительно велика. Следовательно, использование конденсатора фильтра 1 нФ для создания дополнительной ошибки 0,2% является нормальным.

Поскольку в цепи LCR нет большого сигнального тока и нет заземляющего провода, нет строгих требований к разводке заземляющего провода.

• Роль V / I преобразователя

Для более точного измерения U_1 и U_2 необходимо выполнить некоторые условия испытаний. То есть ток, протекающий через тестируемое реактивное сопротивление Z_x , должен быть строго равен току, протекающему через резистор R .

После последовательного соединения Z_x и R другой конец Z_x подключается к источнику сигнала, а другой конец R заземляется. Конец, подключенный к источнику сигнала, называется горячим концом, заземленный конец называется холодным концом, а точка последовательного подключения называется теплым концом. Теперь возникает неприятная проблема: когда милливольтметр подключен к обоим концам Z_x или R , произойдет шунт, в результате чего токи на Z_x и R не будут строго одинаковыми. Кроме того, распределенная емкость между теплым выводом и землей и распределенная емкость между теплым выводом и горячим выводом также приведет к тому, что токи на Z_x и R будут неравными. Вообще говоря, небольшая часть тока будет связана с теплым концом другими путями, и в результате токи на Z_x и R не равны.

Когда в схеме используется операционный усилитель в качестве « V / I преобразователя», теплый конец становится виртуальной землей. Реактивное сопротивление нагрузки на землю, соединенную с землей фильтра, не будет вызывать шунтирования, тем самым решая шунтирующий эффект милливольтметра. Распределенную емкость относительно земли на

теплом конце также можно рассматривать как нагрузку на землю. Поскольку виртуальное напряжение земля-земля равно 0, распределенная емкость земля-земля горячего вывода не будет шунтировать ток на Z_x и R .

Добавление преобразователя V / I не может решить проблему распределенной емкостной связи между горячим концом и горячим концом. Лучший способ решить эту проблему - экранировать сигнал. Строго экранированный, закрытый металлической оболочкой и широко экранированный, то есть источник сигнала должен находиться далеко от Z_x .

Используется преобразователь V / I , горячий конец верхнего плеча и горячий конец нижнего плеча, и их нагрузка на землю не влияет на ток на Z_x и R .

Если преобразователь V / I не используется, средняя точка моста плавает относительно земли. Если вы хотите преобразовать U_1 и U_2 в напряжение земли, вы должны использовать дифференциальное усиление и требовать возможности подавления синфазного сигнала трех дифференциальных операторов. Очень высокий, это непросто. Использование этого преобразователя V / I предъявляет более низкие требования к подавлению синфазного сигнала дифференциального усиления.

В некоторых конструкциях измерителей LCR измерение напряжения на двух плечах напрямую включается и выключается без буферизации. В это время ограничивающее ток верхнего плеча сопротивление не должно быть слишком большим, чтобы избежать изменения напряжения источника сигнала во время переключения. процесс, который вызовет изменение тока в плече моста. Конечно, это влияние можно компенсировать и в программном обеспечении.

• Фазовый детектор переключаемого типа

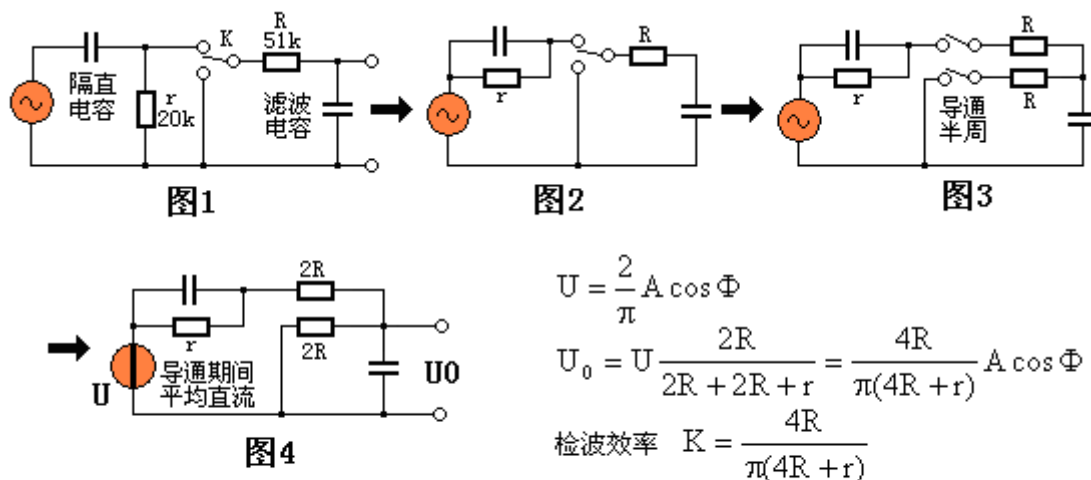
Для синусоидального сигнала $A \sin(x + \Phi)$, чтобы реализовать фазочувствительное обнаружение, мы устанавливаем переключатель на пути прохождения сигнала, чтобы он проводил только половину цикла.

Время начала включения равно $x = 0$, тогда средний постоянный ток в течение периода включения равен:

Когда момент включения равен $x = \pi / 2$, среднее значение постоянного тока

Очевидно, что если вы используете сложные выражения, два сигнала переключения разнесены на 90 градусов, образуя систему координат. Аргумент синусоидального вектора в этой координате равен Φ , модуль равен A , а два его ортогональных вектора величины представляют собой действительную часть ($A \cos \Phi$, 0 градусов) и мнимую часть ($A \sin \Phi$, 90 градусов), а также результат ортогонального обнаружения выше. Оно пропорционально модулю этих двух векторов, а пропорциональная константа равна $2 / \pi$. Следовательно, для идеального переключателя, если последовательность включения переключателя контролируется для обеспечения стабильности Φ , две оси находятся строго на 90 градусов друг от друга, а время включения составляет 1/2 цикла, тогда два ортогональных вектора сигналов можно разделить Вес.

Эффективность обнаружения фактической схемы фазочувствительного детектора - это не вычисленное выше значение $K = 2 / \pi$, а $K = (2 / \pi) * 2R / (4R + r)$, как показано на рисунке ниже:



LCR开关式相敏检波器的检波效率分析图

Эффективность обнаружения этой схемы составляет:

$$K = (2 / \pi) * 2R / (4R + r) = (2 / 3.14) * 2 * 51 / (4 * 51 + 20) = 0.29$$

Исправление ранней печатной платы LCR 1.0

Ошибка на печатной плате LCR1.0. Если смотреть с обратной стороны печатной платы (сторона без текста), два провода протянуты от входного конца 7805, один подключен к выпрямительному диоду, а другой - к заземляющему проводу (длина составляет около 0,5 мм). см). Очевидно что-то случилось. ошибка. Обрежьте эту линию 0,5 см и подсоедините ее ко второй ножке 7805.

Изменены параметры компонентов схемы, пожалуйста, устанавливайте ее в соответствии с этикеткой новой версии печатной платы.

Механический переключатель, при нажатии, он запускает функцию помощи при передаче 20 Ом, обратите внимание на направление установки. Вспомогательный переключатель можно включить только в диапазоне 20 Ом, остальные передачи должны быть выключены. Выходной переключатель используется для расширения нижнего предела диапазона 20 Ом.

Выход OP07 подключен к резистору 2 кОм. Поскольку в новой версии схемы также используется резистор на 20 Ом для добавления напряжения смещения, а печатная плата была изготовлена на прошлой неделе, смещения нет. Рекомендуется решать проблему следующим образом: после того, как резистор 2 кОм соединен последовательно с резистором 20 Ом, он становится прямым подключаемым компонентом. Вставьте исходное отверстие резистора 2 кОм. Обратите внимание на направление. Вывод резистора 2 кОм последовательного корпуса подключается к клемме питания, а резистор 20 Ом подключается к клемме 1N4148. Затем возьмите резистор 100 кОм и пролетите прямо от среднего разъема

последовательного основного резистора к конденсатору 104. Отверстие для резистора, подключенное к конденсатору 104, можно использовать и перелететь на лицевую часть печатной платы. Обратите внимание, что сопротивление относительно земли двух выводов этого резистора 100 кОм отличается. Вывод, подключенный к конденсатору 104, имеет высокое сопротивление относительно земли, поэтому провод должен быть короче, а другой конец должен иметь низкое сопротивление. Это не имеет значения. будь то длинный или короткий. Соответствующий резистор 100 кОм на исходной печатной плате также имеет неправильную маркировку. Он обозначен как 1 кОм справа от 7905. Установите резистор 100 кОм через выводной вывод. Конечно, не устанавливайте этот резистор 100 кОм на печатной плате.

Если имеется n резисторов с одинаковыми значениями сопротивления и известно их последовательное значение, то $R_{\text{parallel}} = R_{\text{string}} / n^2$

Когда струна R может быть точно откалибрована, параллель R также может быть откалибрована.

设有电阻 R_1 、 R_2 、..... R_n ，共 n 个电阻， R_0 是它们的平均值，所以有

$$n \cdot R_0 = R_{\text{串}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

当这些电阻的阻值比较接近时，“ $R_{\text{并}} = R_{\text{串}} / n^2$ ”是近似成立，算法误差为电阻相对偏离的方差。

$R_1 \cdots R_n$ 并联电阻为

$$1/R_{\text{并}}$$

$$= 1/R_1 + 1/R_2 + \cdots$$

$$= + (1 - d_1 + d_1^2) / R_0$$

$$+ (1 - d_2 + d_2^2) / R_0$$

$$+ \cdots$$

$$= [1 + b + a] / (R_0/n)$$

式中 $a = (d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_n^2) / n$ ，正是电阻偏离的方差。

$$\text{式中 } b = (d_1 + d_2 + \cdots + d_n) / n$$

$$= [(R_1 - R_0) + (R_2 - R_0) + \cdots + (R_n - R_0)] / R_0/n$$

$$= (R_{\text{串}} - n \cdot R_0) / R_0/n$$

$$= 0$$

所以 $1/R_{\text{并}}$

$$= (1+a) / (R_0/n)$$

$$= (1+a) / (R_{\text{串}}/n^2)$$

显然，用“ $R_{\text{串}}/n^2$ ”表示并联电阻，算法误差为 a ，即电阻的方差。

例：测得 $R_1=5.014k$ ， $R_2=5.024k$ ，两电阻串联测得 $R_{\text{串}}=10.040k$

如果手上有 $10k$ 标准电阻验证了万用表误差仅1字（相对误差 0.01% ），那么 $R_{\text{串}}$ 的测值将更精确。

$$R_{\text{并}}=10.040/(2^2)=2.5100\text{欧}, \text{ 算法误差为 } [(0.005/5)^2+(0.005/5)^2]/2 = 1\text{ppm}$$

显然，算法误差可以忽略。因此 $R_{\text{并}}$ 的误差与 $R_{\text{串}}$ 误差相同，即相对误差是 0.01%

如果直接计算法，得 $R_{\text{并}}=R_1*R_2/(R_1+R_2)=2.5095k$ ，误差为 0.02%

进一步分析可知，两电阻法，可以使精度提升一倍，三电阻可提升二至三倍左右。比并联后直接测量，精度提升更多倍。

此算法，计算更简单，而且更精确。