

*Мы постарались сделать так,
чтобы Вы получили удовольствие
как от сборки и настройки этого прибора,
так и от его эксплуатации.
Олег, Павел*

RLC-2

1. Технические характеристики

Измеряемый параметр	Частота тест-сигнала		
	100Гц	1кГц	10кГц
R	0.01 Ом – 100 МОм	0.01 Ом – 100 МОм	0.01 Ом – 10 МОм
C	1пФ – 22000мкФ	0.1пФ – 2200мкФ	0.01пФ – 220мкФ
L	1мкГн – 20 кГн	0.1мкГн – 2 кГн	0.01 мкГн – 200Гн

Режимы работы:

- частота тест-сигнала 100Гц, 1кГц, 10кГц;
- амплитуда тест-сигнала 0.3В;
- последовательная/параллельная (s/p) схема замещения;
- автоматический/ручной выбор диапазона измерений;
- режим удержания показаний;
- компенсация параметров КЗ и ХХ;
- отображение результатов измерений в виде:
 - R + LC
 - R + X
 - Q + LC (добротность)
 - D + LC (tg угла потерь)
- подача постоянного напряжения смещения на тестируемый элемент 0-30В (от внутреннего источника);
- измерение напряжения смещения (0.4В-44В);
- подача постоянного тока смещения на тестируемый элемент (от внешнего источника);
- отладочный режим.

Максимальное время измерения на:

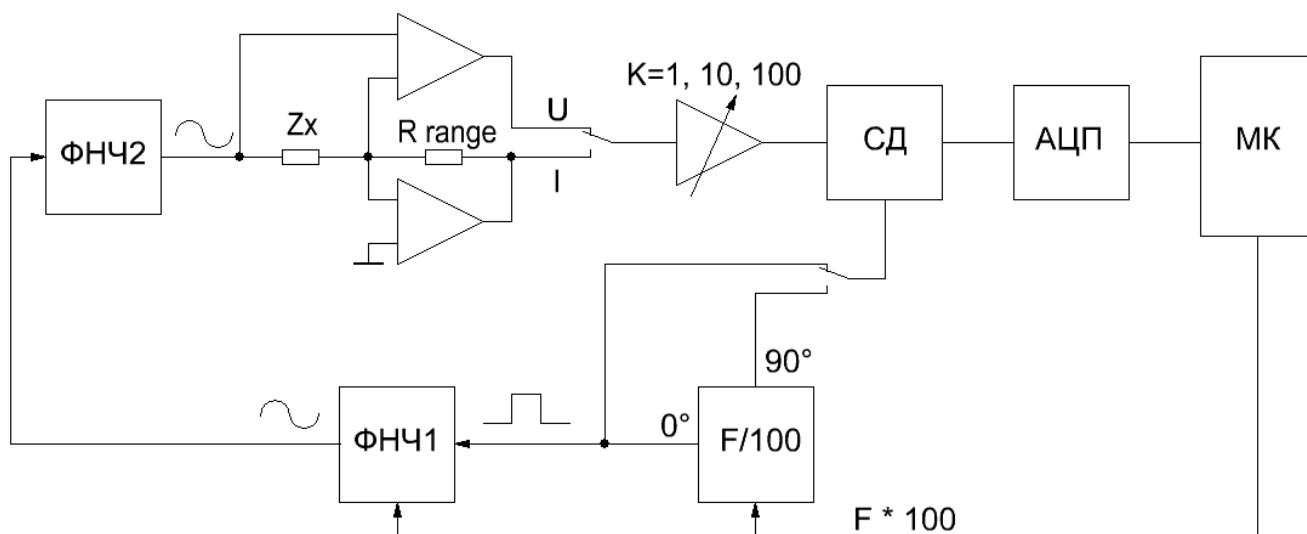
- 100Гц – 1.6с;
- 1кГц, 10кГц – 0.64с.

2. Принцип работы

В основе работы прибора лежит метод вольтметра и амперметра, т.е. измеряется падение напряжения на тестируемом элементе и ток через него, а Z_x рассчитывается как $Z_x=U/I$. Разумеется, значения тока и напряжения надо получить в комплексном виде. Для измерения реальной (Re) и мнимой (Im) составляющих напряжения и тока используется синхронный детектор (СД), работа которого в свою очередь синхронизирована с тестовым сигналом. Подавая на управление ключами СД меандр с сдвигом 0° или 90° относительно тестового сигнала, получаем искомые Re и Im части напряжения и тока. Таким образом, для одного измерения Z_x необходимо выполнить четыре измерения, два для тока и два для напряжения. Преобразованием сигнала с СД в цифровую форму занимается АЦП двойного интегрирования. Выбор такого типа

АЦП обусловлен его низкой чувствительностью к помехам, и тем, что интегратор АЦП играет роль дополнительного фильтра сигнала после СД.

Тестовый сигнал получается из меандра после ФНЧ1 (фильтр низкой частоты на переключаемых конденсаторах) и ФНЧ2 (обычный двойной RC фильтр), который убирает остатки частоты $F \cdot 100$.



В приборе для измерения тока применен активный (на ОУ) преобразователь ток-напряжение. Руководствуясь принципом «мало-нормально-много», МК управляет выбором R range и K_u усилителя согласно представленной ниже таблице, добиваясь максимальных показаний АЦП:

Диапазон	R range	K_u для тока	K_u для напряжения
0	100 Ом	1	100
1	100 Ом	1	10
2	100 Ом	1	1
3	1к	1	1
4	10к	1	1
5	100к	1	1
6	100к	10	1
7	100к	100	1

3. Схема

Схема разделена на три части:

- аналоговая часть;
- цифровая часть;
- блок питания.

Ничего не рождается на пустом месте, так в нашем случае. Часть узлов и идей были «позаимствованы» от схем промышленных приборов, имеющих в свободном доступе – LCR-4080 (E7-22), RLC-9000, RLC-817, E7-20.

Прибор работает следующим образом.

Микроконтроллером (МК) PIC16F876A формируется SinClk (RC2, выв.13) меандр частотой 10кГц, 100кГц или 1МГц. Сигнал подается на вход делителя, выполненного на микросхемах DD12 и DD13. На выв.10 DD12 получаем частоту SinClk/25, которая в свою очередь дополнительно делится на 4. На выходах сдвигового регистра получают сигналы, сдвинутые

относительно друг друга на 90° , необходимые для работы СД. Сигнал 0_Clk подается на микросхему DA6, представляющую собой эллиптический фильтр 8-го порядка. Этим фильтром выделяется первая гармоника. Частота среза фильтра определяется частотой сигнала, подаваемого на цифровой вход (выв.1 DA6). Полученный синусоидальный сигнал (первая гармоника) дополнительно фильтруется двойной RC-цепочкой R39, C27, R31, C20. На нижних диапазонах 1кГц и 100Гц подключаются дополнительно соответственно C28, C21 и C26, C25. После выходного буфера на DA3 синусоидальный сигнал через ограничительные резисторы R16, R5 и разделительный конденсатор C5 поступает на Zx. Амплитуда тестового сигнала на холостом ходу примерно 0.3В.

Падение напряжения на Zx (канал напряжения) снимается через конденсаторы C6 и C7 и подается на вход инструментального ОУ (ИОУ), выполненного на DA4.2, DA4.3 и DA4.4. Коэффициент усиления этого ИОУ определяется соотношением $R28/R22=R27/R23=10k/2k=5$. Через аналоговый ключ DA7.3 сигнал подается на усилитель с переменным K_u . Необходимый коэффициент усиления (1, 10 или 100) устанавливается сигналами управления Mul10 и Mul100. Далее сигнал подается на СД DA9. На управление ключами СД подается меандр с частотой тестового сигнала со сдвигом 0° и 90° . Т.о. выделяется реальная и мнимая составляющая сигнала. Сигнал после ключей СД интегрируется цепочками R41-C30 и R42-C31 и подается на дифференциальный вход АЦП.

Ток через Zx преобразуется в напряжение на DA1 с набором из 4-х резисторов (100, 1к, 10к и 100к) в обратной связи, переключаемых с помощью DA2. Дифференциальный сигнал преобразования снимается через C18 и C17 и подается на вход ИОУ, выполненного на DA5. С его выхода сигнал поступает на аналоговый ключ DA7.3.

Опорное напряжение 0.5В АЦП получается на параметрическом стабилизаторе R59-LM385-1.2V и последующем делителе R56, R55. Тактовый сигнал АЦП $AdcClk$ (частотой 250кГц для измерений на 1кГц и 10кГц, частотой 100кГц для 100Гц) формируется модулем USART в синхронном режиме с выхода RC5. Одновременно он подается на вывод RC0, который установлен программой как вход TMR1 в режиме счетчика. Цифровой код преобразования АЦП равен количеству импульсов $AdcClk$ минус 10001 за время, пока сигнал Busy АЦП находится в „1”. Эта особенность используется ввода в МК результатов преобразования АЦП. Сигнал Busy подается на вывод RC1, который настроен как вход модуля сравнения и захвата МК (CPP). С его помощью запоминается значение TMR1 при положительном фронте сигнала Busy, а потом при отрицательном. Вычитая эти два значения, получаем искомый результат работы АЦП.

4. Детали

Мы старались выбирать детали исходя из критерия их доступности, максимальной простоты и повторяемости схемы. На наш взгляд единственная дефицитная микросхема - это MAX293. Но ее применение позволило значительно упростить узел, формирующий опорный синусоидальный сигнал (по сравнению с аналогичным узлом, скажем, в RLC4080). Мы также старались уменьшить разнообразие типов применяемых микросхем, номиналов резисторов и конденсаторов.

Требования к деталям.

Разделительные конденсаторы C6, C7, C17, C18, C29, C36, C34, C35, C30, C31 должны быть пленочные типа МКР10, МКР2, К73-9, К73-17 или т.п., первые четыре на напряжение минимум 250В, для C29, C36, C34, C35, C30, C31 достаточно 63В.

Самый критичный по своим параметрам элемент - это интегрирующий конденсатор C33. Он должен иметь низкие показатели диэлектрической абсорбции. Исходя из описания на ICL7135, необходимо применить конденсатор либо с полипропиленовым, либо с тефлоновым диэлектриком. Широко распространенные К73-17 в качестве интегрирующего конденсатора дают

ошибку 8-10 единиц АЦП в середине шкалы, что совершенно неприемлемо. Необходимые конденсаторы с полипропиленовым диэлектриком были обнаружены в старых мониторах. Если будете выбирать монитор на разборку, берите с толстым видеокабелем, там хорошие гибкие изолированные экранированные провода, пойдут на изготовление щупов к прибору.

Транзисторы VT1-VT5 можно заменить практически любыми другими NPN в том же корпусе. Звуковой излучатель SP – электродинамический, от старой материнской платы. Если его сопротивление равно 50-60 Ом, то добавочное R65 можно поставить равным 0.

Детали, которые рекомендуется подобрать попарно:

R41=R42, C30=C31 – для СД;

R28=R27, R22=R23 – для ИОУ напряжения;

R36=R37, R32=R33 – для ИОУ тока.

Детали, которые рекомендуется подобрать точно по номиналу:

R6, R7, R8, R9 – от стабильности этих резисторов зависит тепловая и долговременная стабильность показаний прибора;

C20, C21, C25, C26, C27, C28 – особенно обратите внимание на конденсаторы номинала 0.1мкФ;

R48, R49, R57, R58 – от их соотношения зависит к-т усиления масштабирующего усилителя.

ЖКИ стандартный 2x16 символов, выполнены на HD44780 или совместимым с ним контроллером. Надо отметить, что встречаются индикаторы с различной разводкой выводов 1 и 2 - земля и питание. Неправильно включение приведет к выходу ЖКИ из строя! Проверьте внимательно документацию к вашему дисплею и визуалью по самой плате!

5. Конструкция

Прибор собран на трех платах:

- a. Основная плата аналоговой и цифровой части;
- b. Плата дисплея;
- c. Блок питания.

Прежде чем делать платы, рекомендуем уточнить размеры под свои детали. Особенно это относится к конденсаторам. На плате оставлено место под детали с достаточно большими габаритами, но проверить будет не лишнее.

Основная плата двухсторонняя. Верхняя сторона сплошная, служит для общей земли. Через переходные отверстия (в RLC2.lau помечены как сквозные) земля с верхнего слоя соединяется с нижним. На отверстиях под выводные детали с верхней стороны (земли) надо снять фаску сверлом 2.5мм. Сначала паяем (или проклеиваем медным проводом и пропаиваем) земляные перемычки, потом выводные перемычки. Далее запаиваем SMD компоненты: резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы. За ним выводные детали: колодки, конденсаторы, разъемы.

Плата дисплея тоже двухсторонняя. Верхний слой земля – играет роль экрана от ЖКИ. Переходные отверстия так же служат для соединения верхнего и нижнего слоя земли.

Плату LCD желательно подключить к основной плате экранированным шлейфом. Он сделан из 4-х проводов, поверх которых поставлена обычная оплетка и изоляционная трубка. Оплетка заземляется только со стороны основной платы. Шлейф пропускают через ферритовое кольцо от какой-нибудь компьютерной техники. Т.о. уменьшаются до минимума помехи от работы LCD.

Плата БП односторонняя. Есть два варианта разводки под детали разного размера. На платах не поставлены конденсаторы на вход (220В) трансформатора и параллельно диодам моста, разводку лучше доделать и при необходимости поставить. Особенностью платы является способ разводки земли „в одну точку”. Если будете переразводить по каким-то причинам, сохраните эту конфигурацию. Важно подобрать трансформатор с маленькими потерями (маленький ток ХХ). Перед выбором или изготовлением трансформатора рекомендуем ознакомиться со статьей В.Т. Полякова «Уменьшение поля рассеяния трансформатора», опубликованной в ж.Радио, №7 за 1983 год. Практика показала, что китайский ширпотреб без перемотки нормально не работает.

Скорее всего, придется самому намотать трансформатор исходя из формулы „Витков/вольт=55-60/S”. Это не опечатка именно 55-60/S, в этом случае потери и наводки от трансформатора будут меньше. Конструкцию трансформатора желательно выбрать такой, в которой сетевая и вторичные обмотки расположены в отдельных секциях. Это уменьшит емкость между обмотками.

5.1 Корпус

Один корпус был изготовлен из стали толщиной 1мм, другой из пластика. Если делать из пластика, плату основного блока надо экранировать. Примерные чертежи корпуса приведены в файлах “Box1.pdf” и “Box2 .pdf”.

Кнопки LCD „удлиняем” толстым проводом (6мм²). Провод вставляем в колпачки и заливаем эпоксидкой. Колпачки фиксируем на кнопках обычными кембриками или термоусадкой подходящего диаметра.



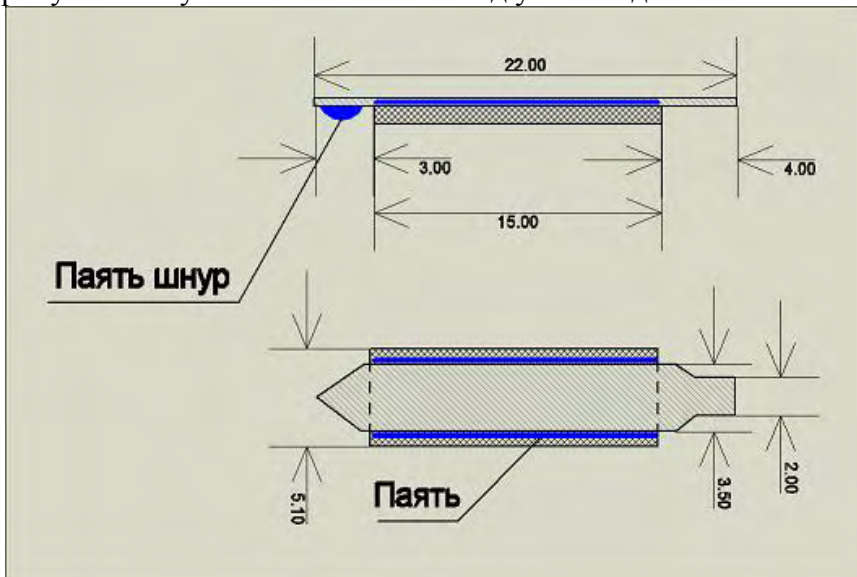
Корпус в сборе:



5.2 Зажимы и переходники

Зажим „Кельвина”

Для изготовления зажимов потребуется 4-е обычных „крокодила” (не выбирайте самые мелкие, возьмите размером чуть больше), используются те половинки, на которые крепится шнур. Измеряем длину и ширину зоны зубьев, чтоб получить размеры изоляционной платки. Примерно получается 12x4мм (здесь и далее размеры даны только для ориентировки). Платка должна выступать по ширине примерно на 0.8мм с обеих сторон и по длине около 2мм. Примерный размер платки получился 5.5x15мм. Надо использовать двухсторонний стеклотекстолит толщиной 0.9-1.1мм. Более толстый ставить не стоит, т.к. придется больше спиливать губки „крокодилов” и прочность конструкции уменьшится. Для начала надо вырезать полоску текстолита длиной 70-80мм и шириной 5.5мм. Ее нужно почистить и залудить с обеих сторон. Потом эту полоску разрезать на 4-е части. Неплохо все кусочки вместе зажать в тиски и подогнать под размер. Далее берем лепестки от телефонного реле (или другого типа, просто толщина должна быть ~0.15-0.2мм, ширина ~3.5мм и длина 22мм). Делаем передний профиль лепестков (для зажима SMD детали). Задний (треугольный) профиль лучше сделать после пайки пластины на платку. Обрабатываем наждачной бумагой и залуживаем нижнюю и боковые поверхности лепестков. Потом размещаем подготовленные лепестки на платки и фиксируем их с помощью крокодилов. Пропаиваем сначала одну торцевую поверхность, поворачиваем крокодилы и пропаиваем вторую сторону. Потом уже можно спилить под углом заднюю часть лепестков.



Разбираем крокодилы с помощью плоскогубцев – аккуратно сжимаем по кругу края расклепанного штифта. Удаляем пружину и собираем два новых крокодила из длинных половинок, временно поставив штифт обратно на место. Теперь надо спилить зубья обеих частей будущего зажима так, чтобы две платочки с припаянными на них лепестками точно входили в пространство между губками и плотно прилегали одна к другой.

Подготавливаем экранированный шнур длиной 0.75-1м. Как уже говорилось, можно использовать толстый кабель от старых VGA CRT мониторов, внутри есть три экранированных шнура, диаметром 3мм. Центральную жилу освобождаем от оплетки ~20мм. Экран укорачиваем до 10мм. Облуживаем оплетку на 5мм, центральную жилу на 2мм и припаиваем ее на лепесток с нижней стороны. Зачищаем наждачной бумагой передний край крокодилов и облуживаем его. Заодно чистим и внутреннюю поверхность крокодила (там, где нужно припаять экран шнура) и облуживаем. Подготовив т.о. обе половины „крокодила Кельвина”, собираем его. Это не так просто, для облегчения можно предварительно сжать пружину тисками и обмотать ее парой витков медной 0.5 проволоки, которую после сборки удалить. Будьте осторожны и работайте в защитных очках, пружина – вещь коварная! Когда половинки встанут на место, вставляем штифт. Подгоняем платки, чтобы встали посередине крокодилов и выступали ~2мм вперед. Припаиваем

обе половины крокодила к верхней поверхности платочек. Прижимаем шнур и расклепываем штифт.

„Крокодил Кельвина”:



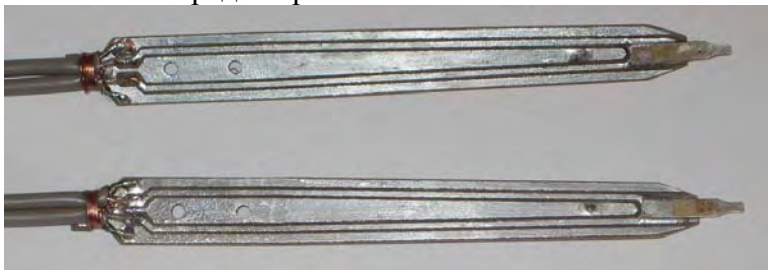
.... и полностью в сборе:



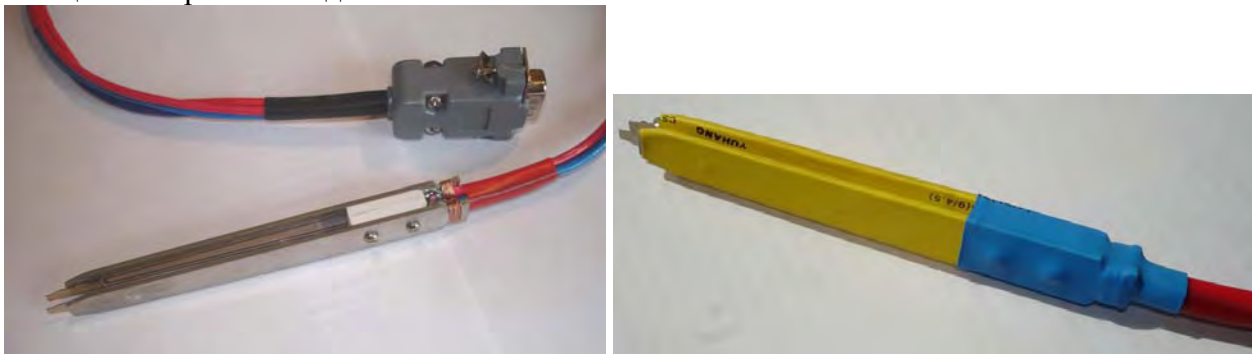
Пинцет для SMD

Пинцет сделан из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита 1.5мм. Разводка рисунка есть в RLC2.lay. Вторая сторона - сплошной экран. Сверлим два переходных отверстия сверлом 0.5-0.8мм. Вставляем в отверстия медный провод такого же диаметра, обрезаем его с обеих сторон на высоте 0.5-0.8мм от поверхности платы, расклепываем и пропаиваем. Для пинцета использовали такие же лепестки от реле, как и в „крокодиле Кельвина”. Собираем пинцет, вставив между половинками прокладку из пластика (ПВХ) толщиной 6мм. После проверки облагораживаем термоусадкой.

Платки перед сборкой:



Пинцет в собранном виде:



Переходник для выводных деталей:

Для изготовления переходника использован разъем, от которого отпиливаем кусок (~16мм) на 6 пар выводов. Платка („Adapter” из RLC2.lay) сделана из двухстороннего стеклотекстолита толщиной 1.5мм. В переходные отверстия вставляем провод 0.7-0.8мм и расклепываем с обеих сторон. Экран сделан из луженой жести толщиной 0.15-0.2мм. Для корпуса использован старый компьютерный разъем RS232.

Материалы:



Вид с одной стороны:



Вид со второй стороны:



В сборе:



6. Функции кнопок

Перед описанием процесса настройки прибора расскажем о назначении кнопок. Каждая кнопка в приборе имеет несколько функций в зависимости от режима работы и времени нажатия. Различаются длинные и короткие нажатия. Короткое – это когда время нажатия кнопки менее 1 сек., сопровождается одиночным звуковым сигналом. Если кнопка нажата и удерживается более 1 сек. – это состояние обрабатывается программой как „длинное нажатие” и сопровождается вторым звуковым сигналом. Длинные нажатия в предназначены для переключения режимов работы прибора.

- Режим измерения – основной режим работы прибора, включается автоматически после подачи питания.
 - S1 – меняет частоту тестового сигнала (100Гц, 1кГц, 10кГц) по кругу
 - S2 – последовательная (s) / параллельная (p) схема замещения
 - S3 – режим отображения результатов LC / X (вторая строка дисплея)
 - S4 – отображение R / Q / D (первая строка)
 - S5 – диапазон измерения Auto – на дисплей рядом с номером диапазона выводится символ «А», после нажатия диапазоны перебираются по кругу от текущего до 7, далее 0..7. Обратное включение автоматического выбора диапазона – длинное нажатие S5
 - S6 – Удержание показаний (Hold), на экране отображается символ «Н»

- Режим отладки (Service mode), включается длинным нажатием S6
 - S1 – меняет частоту сигнала тестового сигнала (100Гц, 1кГц, 10кГц) по кругу
 - S2 – переключает R range резистор в преобразователе I/U (100; 1к; 10к; 100к)
 - S3 – переключает к-т усиления (1x1; 10x1; 1x10 1x100)
 - S4 – измерение реальной (Re), мнимой (Im), обеих сразу (RI) составляющих напряжения или тока
 - S5 – режим измерения тока или напряжения
 - S6 – длинное нажатие – выход из режима отладки

- Режим XX/КЗ калибровки, включается длинным нажатием S1
 - S1 – переключает типа калибровки (Open-Short-Open и т.д.)
 - S2 – запускает калибровку выбранного типа (Open или Short).
 - Короткое нажатие любой другой кнопки – выход в основной режим без калибровки.

- Изменение корректирующих коэффициентов, включается длинным нажатием S3. Номер коэффициента соответствует номеру диапазона, т.е., к примеру, нулевой к-т используется для подстройки показаний на нулевом диапазоне. К-т №8 корректирует показания вольтметра напряжения смещения.
 - S1 - разряд влево
 - S2 - вниз (уменьшение значение разряда)
 - S3 - вверх (увеличение значение разряда)
 - S4 - разряд вправо
 - S5 - следующий коэффициент
 - S6 - выход из режима редактирования коэффициентов

- „Длинные” нажатия кнопок
 - S1 – включает режим калибровки
 - S2 – не задействовано
 - S3 – включает режим коррекции коэффициентов

- S4 – включает/выключает отображение напряжения и тока в единицах АЦП в основном режиме работы, используется для отладки.
- S5 – включает автоматический выбор диапазона измерений
- S6 – включает/выключает режим отладки

7. Запуск прибора

Практика показывает, что зачастую радиолюбители делают монтаж устройства полностью и включают питание. Это на наш взгляд плохой подход, особенно если используются паяные детали (т.е. потенциально нерабочие), либо сам монтаж сделан неаккуратно, с ошибками. Это приводит, как правило, к дополнительным повреждениям, и увеличению времени запуска и настройки устройства. Поэтому рекомендуем запускать RLC отдельно по блокам. И если есть возможность, перед установкой на плату проверьте ВСЕ детали, которые сможете проверить. Это избавит вас от неразумений типа чтения надписей на перевернутых SMD-резисторах, установки высохших электролитов по питанию и т.п.

Сначала проверяем трансформатор и убеждаемся, что напряжения на вторичных обмотках ~8-9В. Погоняйте его на холостом ходу, проверьте нагрев (железо трансформаторов от китайских БП за час разогревается до 60-70 градусов). Подключаем трансформатор и проверяем блок питания отдельно от остальной схемы, на выходе должно быть $\pm 5В$ и $+29.5-30.5В$.

Проверяем платку LCD на к.з. Подключаем только питание на плату дисплея. На первой строке должны появиться черные прямоугольники. Это свидетельствует о том, что нормально прошла внутренняя инициализация ЖКИ и правильно установлено напряжение, регулирующее контрастность.

Программировать МК можно практически любым программатором, поддерживающим PIC16F876A. МК можно запрограммировать как отдельно – в программаторе, так и на плате через разъем ISCP. В этом случае перемычка Jmp1 должна быть разомкнута.

Подключаем питание на основную плату без установленных каких-либо микросхем. Проверяем наличие напряжений $+5В$ и $-5В$ на месте соответствующих выводов МС. Убеждаемся, что на входах ОУ, где установлены защитные диоды, нет напряжения. Проверяем „опору” АЦП - $+0.5В$.

Устанавливаем МК, подключаем плату дисплея и включаем питание -> на дисплее должно появиться приветствие „RLC meter v1.0”. Пока не установлен АЦП, прибор не будет показывать другую информацию, и не будет реагировать на нажатие кнопок. Это свидетельствует о правильно прошитом МК. Проверяем наличие меандра 250кГц „AdcClk” и меандр „SinClk” – 100кГц (в режиме синуса=1кГц).

Последовательно устанавливаем МС (не забывая при установке выключить питание!) и проверяем согласно таблице:

	Устанавливаем	Проверяем
1.	PIC16F876A	меандр 250кГц „AdcClk”; меандр 100кГц „SinClk”
2.	HC390 и HC164	меандр 1кГц 0_Clk и 90_Clk; фазовый сдвиг 90°
3.	MAX293	на C19 относительно земли синусоидальный сигнал 1кГц размахом 0.6В
4.	DA3 (TL081)	на выводе „I” разъема подключения Zx синус 1кГц размахом 0.6В
5.	DA4	Выход 1 DA4 - синус 1кГц размахом 3В; $K_y=5$ ИОУ
6.	Zx = 100кОм, DA1, DA2	Синусоидальный сигнал преобразования I/U на выводе 3 DA2 размахом 0.6В
8.	DA5	Выход 1 DA5 - синус 1кГц размахом 3В $K_y=5$ ИОУ
9.	DA7 и DA8	синус 1кГц размахом 3В на C29 относительно земли (работает канал U)
10.	DA9	Разнополярное напряжение на C30, C31

Устанавливаем АЦП, при подключенном $Z_x=100\text{k}\Omega$ на дисплее должно появиться примерно следующее:



Это свидетельствует об правильной работе всего прибора.

При большом желании можете дополнительно проверить качество интегрирующего конденсатора. Загляните в описание на ICL7135, там процесс проверки описан. Вынимаем микросхему DA9 из панельки, переключкой заземляем вывод 9 (In-) АЦП. Соединяем второй вход (10; In+) с выводом 2 (Ref) АЦП, т.о. на вход АЦП подаем опорное напряжение. Включаем прибор и длинным нажатием на S4 переводим его на отображение показаний АЦП. На дисплее должно быть четыре числа 9999.

Далее калибруем прибор по точным резисторам с помощью корректирующих коэффициентов для каждого диапазона. Рекомендуем это делать на частоте 1кГц, и использовать следующие номиналы:

Диапазон	R
0	1 Ом
1	10 Ом
2	200 Ом
3	2к
4	20к
5	200к
6	2М
7	10М

На этом настройку можно считать законченной.

И в заключение приведем результаты измерений конденсатора 0.2пФ и дросселя 1мкГн на частоте 10кГц, показания стабильны:

