

Измеритель индуктивности и емкости



- Пределы измерения 0,1 пф – 5 мкф
0,1 мкГн – 5 Гн
- Погрешность измерения ... 2 – 3 %
- Напряжение питания 7,5 – 9 в
- Потребляемый ток 10 – 15 ма
- Габариты 140 x 40 x 30 мм
- Автоматический выбор предела измерения
- Программная коррекция нуля

Принцип работы предлагаемого LC метра основан на измерении энергии, накапливаемой в электрическом поле конденсатора и магнитном поле катушки. Впервые применительно к любительской конструкции этот метод был описан в [1], а в последующие годы с незначительными изменениями широко использовался во многих конструкциях измерителей индуктивности и емкости. Применение в данной конструкции микроконтроллера и ЖКИ индикатора позволило создать простой, малогабаритный, дешевый и удобный в эксплуатации прибор, имеющий достаточно высокую точность измерений. При работе с прибором не нужно манипулировать никакими органами управления, достаточно просто подключить измеряемый элемент и

считать показания с индикатора.

Принципиальная схема прибора показана на рис 1. Работает он следующим образом. Сигнал возбуждающего напряжения прямоугольной формы с вывода PB1 микроконтроллера DD1 типа ATtiny15L через три нижних по схеме буферных элемента DD2 поступает на измерительную часть схемы. Во время положительной полуволны измеряемый конденсатор заряжается через резистор R9 и диод VD6, а во время отрицательной - разряжается через R9 и VD5. Средний ток разряда, пропорциональный измеряемой емкости, преобразуется с помощью операционного усилителя DA1 в напряжение. Конденсаторы C5 и C7 сглаживают его пульсации. Резистор R14 служит для точной уста-

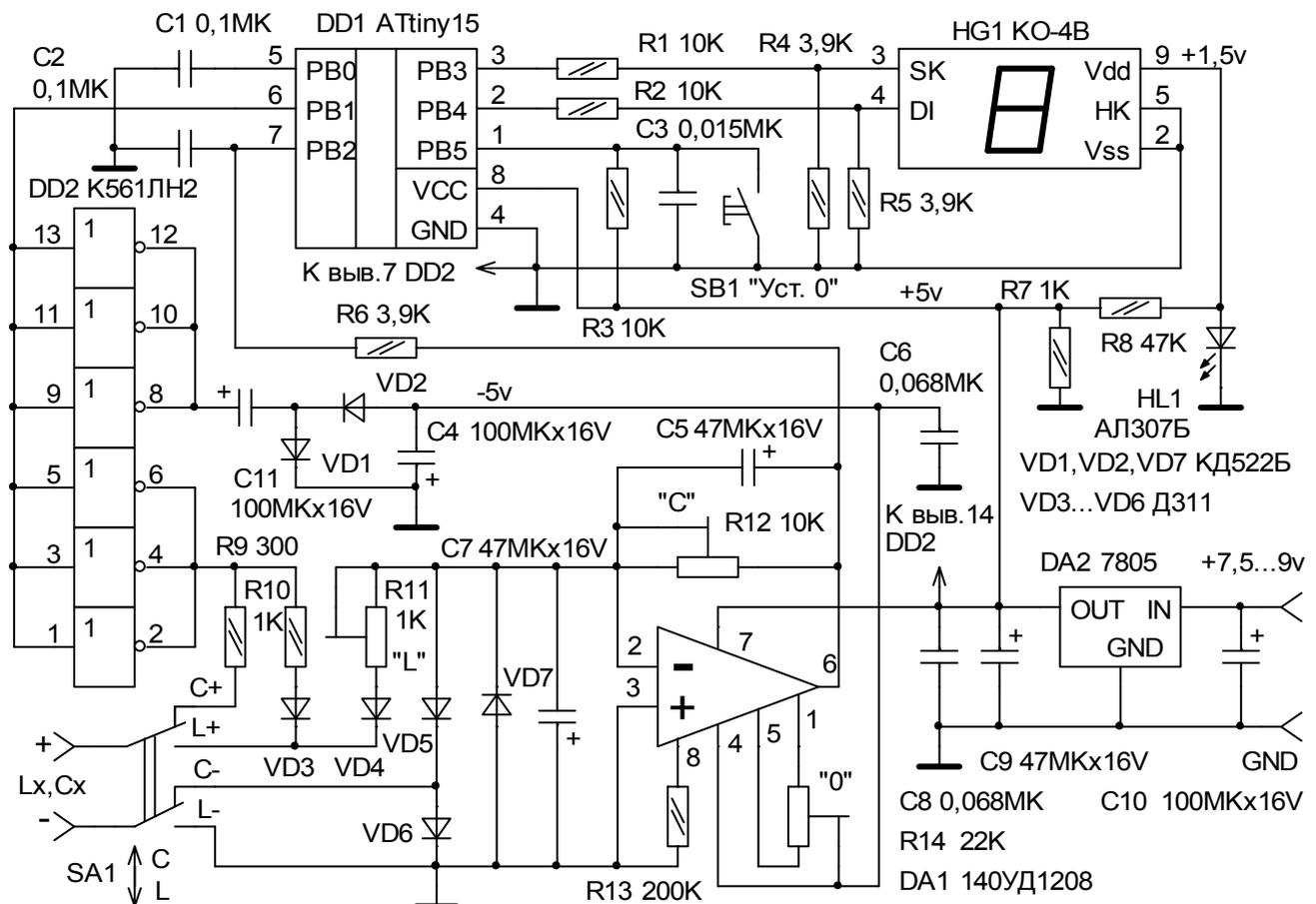


Рис.1 Принципиальная схема измерителя LC

новки нуля ОУ.

При измерении индуктивности во время положительной полуволны ток в катушке нарастает до значения, определяемого номиналом резистора R10, а во время отрицательной - ток, создаваемый ЭДС самоиндукции через VD4 и R11 также поступает вход DA1. Таким образом, при постоянном напряжении питания и частоте сигнала, напряжение на выходе ОУ прямо пропорционально измеряемой емкости или индуктивности. Но это справедливо только при условии, что емкость успевает полностью зарядиться в течение половины периода возбуждающего напряжения и полностью разрядиться в течение другой половины. Аналогично и для индуктивности. Ток в ней должен успевать нарастать до максимального значения и спадать до нуля. Эти условия обеспечиваются соответствующим выбором номиналов R9...R11 и частоты возбуждающего напряжения.

Напряжение, пропорциональное измеренному значению с выхода ОУ через фильтр R6, C2 подается на встроенный 10-и разрядный АЦП микроконтроллера DD1. Конденсатор C1 является фильтром внутреннего источника опорного напряжения АЦП. Три верхних по схеме элемента DD2, а также VD1, VD2, C4, C11 используются для получения напряжения - 5в, необходимого для работы ОУ. Результат измерения отображается на 10 разрядном 7 сегментном ЖКИ HG1.

Индикатор использован один из самых дешевых и распространенных – от телефонов с АОН. К сожалению, он не имеет собственного названия и разные производители называют его по своему, например, встречается обозначение КО-4В. Незменным остается только его встроенный контроллер HT1613. Эта марка иногда нанесена на плату индикатора. Нумерация выводов также может различаться у разных производителей, но их наименования обычно не меняются. Разве что вывод SK может быть обозначен как СК или CLK.

Для повышения точности прибор имеет 9 диапазонов измерения. Частота возбуждающего напряжения на первом диапазоне равна 800 кГц. На такой частоте измеряется емкость до ~90 пф и индуктивность до ~90 мкГн. На каждом последующем диапазоне частота снижается в 4 раза, соответственно во столько же раз расширяется предел измерения. На 9 диапазоне частота равна 12 Гц, что обеспечивает измерение емкости до ~5 мкф и индуктивности до ~5 Гн. Нужный диапазон выбирается автоматически, причем после включения пита-

ния измерение начинается с 9 диапазона. В процессе переключения номер диапазона отображается на индикаторе, что позволяет определить, на какой частоте производится измерение.

После выбора нужного диапазона результат измерения в пф или мкГн выводится на индикатор. Для удобства считывания десятые доли пф (мкГн) и единицы мкф (Гн) отделяются пустым знакоместом, а результат округляется до 3 значащих цифр. Светодиод HL1 красного цвета свечения используется в качестве стабилитрона на 1,5в для питания индикатора. Лучше его зашунтировать блокировочным конденсатором 0,047...0,1 мкф, т.к. некоторые индикаторы без него не работают. Эта особенность выявилась при повторении прибора радиолюбителями с использованием индикаторов различных фирм, поэтому на оригинальной схеме и печатной плате этот блокировочный конденсатор не показан.

Кнопка SB1 служит для программной коррекции нуля, что компенсирует емкость и индуктивность клемм и переключателя SA1. Этот переключатель можно исключить, если установить отдельные клеммы для подключения измеряемой индуктивности и емкости, но это менее удобно в эксплуатации. Резистор R7 предназначен для быстрого разряда C9 и C10 при выключении питания. Без него повторное включение, обеспечивающее корректную работу индикатора возможно не ранее, чем через 10сек, что также неудобно в эксплуатации.

Все детали измерителя, кроме SA1 смонтированы на односторонней печатной плате размером 110x38 мм. Ее чертеж показан на рис. 2. Индикатор HG1 и кнопка установки нуля SB1 устанавливаются со стороны монтажа и выводятся на лицевую панель. Длина проводов до SA1 и входных клемм не должна превышать 2...3 см. Диоды VD3...VD6 - высокочастотные с малым падением напряжения - ДЗ11, Д18, Д20. Подстроечные резисторы R11, R12, R14 малагабаритные типа СП3-19. Замена R11 на проволочный резистор нежелательна, т.к. приведет к снижению точности измерений. DA1 140УД1208 можно заменить на какой-либо другой ОУ, имеющий цепь установки нуля и способный работать от +/-5 в. Номинал емкостей C4, C5, C11 уменьшать не следует. Тумблер SA1 должен быть малагабаритным и с минимальной емкостью между выводами. DD2 можно заменить на любую КМОП микросхему серий 1561, 1554, 74НС, 74АС, содержащую 6 инверторов, например 74НС14. Применение ТТЛ серий 155, 555, 1533 и др. не рекомендуется.

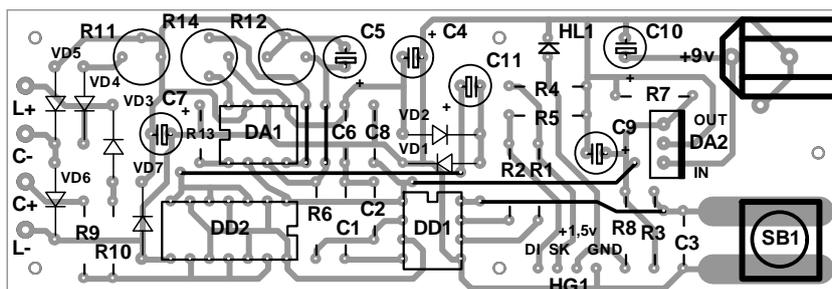


Рис. 2

При программировании микроконтроллера все FUSE биты следует оставить по умолчанию: BODLEVEL=0, BODEN=1, SPIEN=0, RSTDISBL=1, CKSEL1...0=00. Помните, что 0 – значит «запрограммирован», а 1 – нет. Калибровочный байт нужно записать в младший байт программы по адресу \$000F. Это обеспечит точную установку тактовой частоты 1,6 мГц и, соответственно частоты возбуждающего напряжения для измерительной схемы на первом диапазоне 800 кГц.

Не пытайтесь изменять HEX файл прошивки. Откройте его в программаторе и внесите калибровочный байт по адресу \$001F, если считать по байтам или в младший байт по адресу \$000F, если считать по словам. Если сложно понять, какой байт младший, а какой старший, смело заносите в оба. В авторском варианте по этому адресу записана информация \$008B. Как считать калибровочный байт из контроллера ищите в документации на используемый программатор.

Для наладки необходимо подобрать несколько катушек и конденсаторов в диапазоне измерения прибора, имеющих минимальный допуск по номиналу. Если есть возможность, их точные значения следует измерить с помощью промышленного измерителя LC. Учитывая, что шкала линейная, в принципе достаточно одного конденсатора и одной катушки. Но лучше проконтролировать весь диапазон. В качестве образцовых катушек хорошо подходят дроссели типа ДМ, ДП.

Наладку начинают с установки нуля DA1, контролируя мультиметром напряжение на его выходе. Следует выставить это напряжение в пределах (+1...+5) мВ резистором R14. Движок резистора R12 должен быть в среднем положении, а тумблер SA1 желательно отсоединить от платы для снижения паразитной емкости входа. Показания индикатора при этом должны быть в пределах 0...3. Затем восстанавливают соединение SA1, нажимают и отпускают кнопку SB1. Через 2 сек. индикатор должен показывать 0...+/-1. После этого к входным клеммам подключают образцовую емкость и вращая движок R12 добиваются соответствия показаний истинному значению емкости. Цена младшего разряда 0,1 пФ. Затем необходимо проконтролировать весь диапазон и, при необходимости, уточнить положение движка R12, добиваясь точности не хуже 2...3%. Допустима и подстройка нуля, если показания в конце шкалы немного занижены или завышены. Но напряжение на выходе ОУ не должно быть отрицательным и после каждого изменения положения движка R14 следует отключать измеряемую емкость и нажимать кнопку установки нуля.

Настроив прибор в режиме измерения емкости, следует перевести SA1 в нижнее по схеме положение, закоротить входные гнезда и нажать SB1. После коррекции нуля, на вход подключается образцовая катушка и резистором R11 выставляются необходимые показания. Цена младшего разряда 0,1 мкГн. При этом следует обратить внимание, чтобы сопротивление R11 было не менее 800 Ом, в противном случае следует уменьшить номинал

R10. Если R11 получается больше 1 ком, R10 надо увеличить. Т.е. R10 и R11 должны быть близки по номиналу. Такая настройка обеспечивает примерно одинаковую постоянную времени "заряда" и "разряда" катушки и, соответственно, минимальную погрешность измерения. Погрешность не хуже +/- 2...3% для емкости обеспечивается без труда., с катушками же все обстоит несколько сложнее. Ведь катушка всегда имеет много паразитных параметров - активное сопротивление обмотки, потери в сердечнике на вихревые токи, на гистерезис и др. Кроме того, магнитная проницаемость ферромагнетиков нелинейно зависит от напряженности магнитного поля. Индуктивность при измерении подвергается воздействию однополярных токов, а все реальные ферромагнетики имеют достаточно высокое значение остаточной индукции. Более подробно процессы, происходящие при намагничивании магнитных материалов описаны в [2].

В результате воздействия всех этих факторов показания прибора при измерении индуктивности некоторых катушек могут существенно отличаться от того, что покажет промышленный измеритель LC, измеряющий комплексное сопротивление на фиксированной частоте. Но не спешите ругать этот прибор и его автора. Просто следует учитывать особенности принципа измерения. Для катушек без сердечника, для незамкнутых магнитопроводов и для ферромагнитных магнитопроводов с зазором точность измерения вполне удовлетворительна, если активное сопротивление катушки не превышает 20-30 Ом. А это значит, что индуктивность всех ВЧ катушек, дросселей, трансформаторов для импульсных источников питания и т.п. можно измерять достаточно точно. А вот при измерении индуктивности малогабаритных катушек с большим количеством витков тонкого провода и замкнутым магнитопроводом без зазора, особенно из трансформаторной стали будет большая погрешность. Но ведь в реальной схеме условия работы катушки могут и не соответствовать тому идеалу, который обеспечивается при измерении комплексного сопротивления. Например, индуктивность обмотки одного из трансформаторов имевшихся у автора, измеренная промышленным измерителем LC оказалась около 3 Гн. При подаче постоянного тока подмагничивания всего 5 мА, показания стали около 450 мГн, т.е. индуктивность уменьшилась в 7 раз! А в реальных схемах ток через катушки почти всегда имеет постоянную составляющую. Описываемый измеритель показал индуктивность обмотки этого трансформатора 1,5 Гн. И еще неизвестно, какая цифра будет ближе к реальным условиям работы.

Все вышесказанное в той или иной степени справедливо для всех без исключения любительских измерителей LC. Просто их авторы скромно об этом умалчивают. Не в последнюю очередь именно по этой причине функция измерения емкости есть во многих моделях недорогих мультиметров, а измерять индуктивность могут только дорогие и сложные профессиональные приборы. В

любительских условиях сделать хороший и точный измеритель комплексного сопротивления очень сложно, проще приобрести промышленный, если он действительно нужен. Если это по тем или иным причинам невозможно, думаю, предлагаемая конструкция может послужить неплохим компромиссом с оптимальным соотношением цены, качества и удобства в эксплуатации.

Литература:

1. Степанов А. Простой LC-метр. Радио.-1982, №3, с.47.
2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника. М: СОЛОН-Р, 2001г.

Прошивку контроллера, чертеж печатной платы в формате Sprint Layout и много других дополнительных материалов к этой конструкции можно загрузить с сайта автора по адресам:

<http://ra4nal.qrz.ru>
<http://ra4nal.lanstek.ru>
<http://ra4nalr.tut.ru>

Разработка 2004 г.

**Коммерческое использование с согласия автора.
Перепечатка со ссылкой на первоисточник.**