<https://yandex.ru/video/preview/7375537198387394009>

<https://ra4nal.ontvtime.ru/lcmeter.shtml>

**Измеритель емкости и индуктивности**

|  |
| --- |
| [[Принципиальная схема измерителя емкости и индуктивности](https://ra4nal.ontvtime.ru/images/shlc_bg.gif)](https://ra4nal.ontvtime.ru/images/shlc_bg.gif)  Описание опубликовано в журналах **«Радио» № 7 за 2004 г., стр. 26, 27 Измеритель LC и «Радиолюбитель» № 8 за 2005 г., стр. 35...37 Измеритель индуктивности и емкости.**  Этот измеритель LC измеряет емкость от 0,1 пФ до 5 мкФ и индуктивность от 0,1 мкГн до 5 Гн с точностью 2...3%. Принцип работы его основан на измерении энергии, накапливаемой в электрическом поле конденсатора и магнитном поле катушки. Применение микроконтроллера ATTINY15L и LCD индикатора HT1613 (HT1611, KO-4B) позволило создать простой, малогабаритный, дешевый и удобный в эксплуатации измеритель индуктивности и емкости, имеющий достаточно высокую точность измерений. При работе с измерителем не нужно манипулировать никакими органами управления, достаточно просто подключить измеряемый элемент и считать показания с индикатора. Для компенсации емкости и индуктивности клемм и соединительных проводов предусмотрена программная коррекция нуля. Напряжение питания 7,5...9 В, потребляемый ток 10...15 мА.  Для повышения точности измерения LC 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 питания 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 LC 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.  Индикатор LCD 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 KO–4B. Неизменным остается только его встроенный контроллер HT1613 или HT1611. 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 CK или CLK.  Принципиальная схема измерителя LC показана на рисунке. Работает он следующим образом. Сигнал возбуждающего напряжения прямоугольной формы с вывода PB1 микроконтроллера 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 установки 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 на вход DA1. Таким образом, при постоянном напряжении питания и частоте сигнала, напряжение на выходе ОУ прямо пропорционально измеряемой емкости или индуктивности.  Погрешность не хуже +/- 2...3% при измерении 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.  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 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.  Измеритель емкости и индуктивности получился очень простой, и в то же время удобный в работе. Его повторили многие радиолюбители, а некоторые внесли в конструкцию свои изменения и дополнения, которыми любезно поделились со мной. В частности, были разработаны другие варианты печатной платы и предложен способ замены LCD индикатора HT1613 на МТ-10Т7. Я, в свою очередь, делюсь этой информацией с Вами. Дополнения пользователей выложены на этой страничке в архиве в том виде, в каком я их получил - "как есть".  Если возникнут сложности с приобретением индикатора HT1613 (HT1611, KO-4B), его можно заменить на светодиодные индикаторы. Одним из первых такое устройство на AT90S1200 предложил Эдуард (UA4NX). Описание можно найти на его сайте [http://ua4nx.qrz.ru](http://ua4nx.qrz.ru/). Известен вариант и на ATmega8. На всякий случай я выкладываю архив с копией странички UA4NX, копией описания конструкции на ATMega8 и Datasheet на индикатор.  **В настоящее время контроллер ATtiny15L снят с производства. Ближайшие аналоги - ATtiny25, ATtiny45, ATtiny85. К сожалению, аналоги не полные, даже в режиме совместимости с ATtiny15L. Поэтому я доработал программу, новый вариант прошивки подходит для любого из трех перечисленных контроллеров. Схема и печатная плата прежние, методика наладки и алгоритм работы также не изменились.**  **Единственное отличие - калибровочный байт никуда записывать не нужно. В новых контроллерах это делается автоматически при старте.** |