

Ю. Чирков, В. Ларионов

222310, г. Молодечно,
ул. Великий Гостинец, 78–4
тел.: (01773) 4–41–71 (р.)
5–22–11 (д.)
<http://www.picmicro.by.ru>

LCF–метр

На протяжении многих лет разработка частотомеров и электронных шкал занимает по популярности среди радиолюбителей одно из ведущих мест. За это время данный прибор прошел путь от громоздких и прожорливых монстров на жесткой логике до компактных и экономичных устройств на микроконтроллерах. При этом в последнее время предлагаемые конструкции довольно похожи между собой и отличаются лишь названиями примененных микроконтроллеров.

Еще одна популярная тема – измерители емкости и индуктивности. Радиолюбители, занимающиеся ВЧ схемотехникой, знают, что иногда при настройке той или иной конструкции необходим подбор катушек или конденсаторов. В этой ситуации наличие под рукой подобного прибора значительно облегчает задачу.

Попытка авторов объединить два вышеупомянутых прибора привела к созданию LCF–метра – устройства, позволяющего измерять частоту, емкость и индуктивность.

Основные технические характеристики прибора:

Частотомер	
Диапазон 10 Гц – 50 МГц (вход А)	
Чувствительность, мВ, не хуже	50
Входное сопротивление, МОм	1,0
Погрешность метода измерений, Гц	±1
Диапазон 50 МГц – 1000 МГц (вход В)	
Чувствительность, мВ, не хуже	50
Входное сопротивление, Ом	50
Погрешность метода измерений, Гц	±64
LC–метр	
Минимальная измеряемая емкость, пФ	0,1
Максимальная измеряемая емкость, мкФ, не менее	2
Минимальная измеряемая индуктивность, нГн	1,0
Максимальная измеряемая индуктивность, Гн, не менее	3

Структурная схема прибора (рис. 1)

В состав прибора входят следующие блоки:

- усилитель-формирователь частотомера диапазона (10 Гц – 50 МГц) - Вход А;
- делитель-формирователь частотомера диапазона (50 МГц – 1 ГГц) - Вход В;
- LC-автогенератор измерителя емкости и индуктивности;
- коммутатор входных сигналов;
- блок управления и индикации.

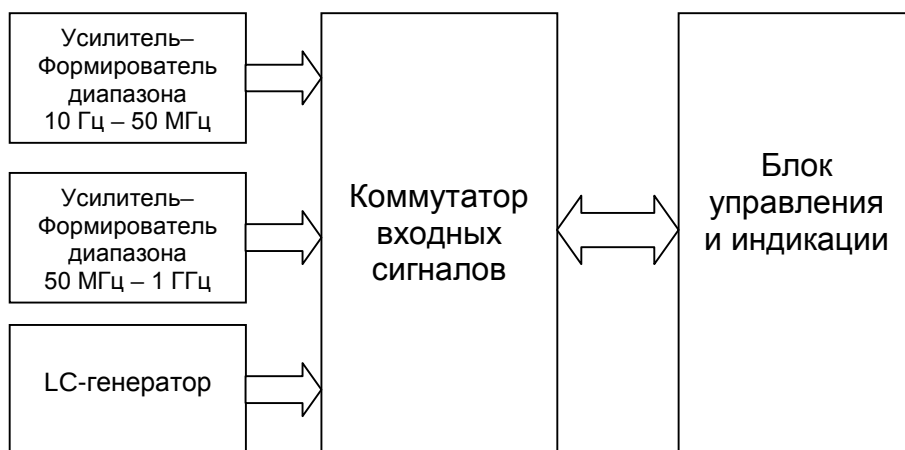


Рис. 1

Принципиальная схема прибора (рис. 2)

Входной усилитель-формирователь – наиболее важный узел любого частотомера, поскольку он определяет диапазон измеряемых частот, чувствительность и входное сопротивление. Очень часто радиолюбители не уделяют должного внимания этому узлу и ограничиваются каскадом усиления на одном транзисторе, сознательно ухудшая возможности своего прибора.

В основу схемы формирователя 1-го диапазона легла конструкция (1) в которой были заменены транзисторы дифференциального каскада, а также вместо выходного ненасыщающегося ключа установлен каскад усилителя с ОЭ. Формирователь состоит из входного аттенюатора R3, R4, C3, ограничителя VD3, VD4, усилителя с высоким

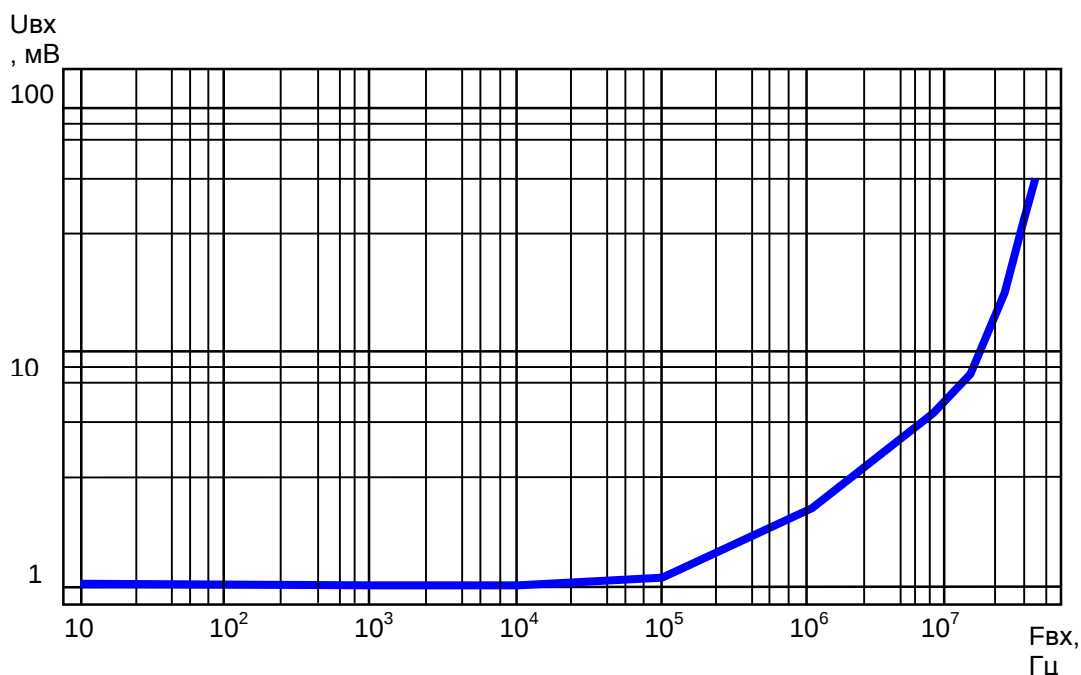


Рис. 3

входным сопротивлением VT1, дифференциального каскада VT3, VT4, усилителя VT6 и формирователя ТТЛ-уровня на элементах DD2.2 и DD2.5. В сток транзистора VT1 включен подстроечный резистор R9, с помощью которого балансируется дифференциальный усилитель. Данная схема имеет небольшую сложность, малое потребление и высокие показатели чувствительности (рис. 3).

2-й диапазон частотомера представлен предварительным делителем SA701D ф.PHILIPS (DD1) в типовой схеме включения с коэффициентом деления 64. Наличие встроенного усилителя с высокой чувствительностью (5мВ на частоте 1ГГц) позволило отказаться от внешней схемы и сильно упростить конструкцию. К прочим достоинствам можно отнести малый ток потребления (6мА на частоте 1ГГц) и малые габариты. Элементы VT5, DD2.1, DD2.6, R10, R16 и R17 служат для преобразования сигнала в уровни ТТЛ. Входное сопротивление в этом диапазоне – 50 Ом, что характерно для подобных устройств.

Для измерения емкости и индуктивности применен частотный метод, при котором измеряемый элемент включается в контур LC-генератора, полученная частота измеряется и, зная эталонный элемент L или C, можно вычислить искомый по формуле определяющей частоту колебаний контура:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

LC-генератор собран на компараторе DA1. Идея подобной конструкции принадлежит (2), и практически не претерпела изменений, за исключением замены компаратора LM311 на K554CA3 в корпусе DIP8 (производства ПО ИНТЕГРАЛ), и включения на выходе генератора буферного элемента DD2.4. Это дало возможность расширить верхний предел измерений L и C с 150мГн до 3Гн и с 1.5мкФ до 4мкФ соответственно.

Элементы L1 и C4 образуют основной колебательный контур, к которому подключается измеряемый элемент: индуктивность последовательно с L1, емкость параллельно C4. Переключатели S1 и S2 выбирают режим измерений L или C, если оба переключателя отжаты, то включается режим калибровки. В этом режиме входные клеммы замыкаются между собой, и с помощью реле в контур из элементов L1, C4 подключается эталонный конденсатор C5. По результатам измерений двух частот (с C5 и без него) вычисляются истинные значения образцовых элементов с учетом конструктивных емкостей и индуктивностей всего генератора, а также температурного дрейфа параметров элементов. Вычисленные значения используются в дальнейшем для вычисления значения измеряемого параметра.

Измерением частоты и математическими вычислениями занимается микроконтроллер PIC16F628 ф.MICROCHIP (DD4). Измеренная частота пересчитывается по формулам (2) в емкость или индуктивность. Математические библиотеки для вычислений с плавающей точкой взяты из (3). Для измерения частоты используется метод досчета (4), что позволяет измерять частоту до 50МГц с точностью ± 1 Гц. Скорость счета во всех режимах – одно измерение в секунду.

Тактирование микроконтроллера производится генератором с внешним кварцевым резонатором частотой 4 МГц. Для повышения точности измерений рекомендуется использовать в качестве тактового опорный генератор от сотового телефона, мы использовали с частотой 14,85 МГц - как самые распространенные. При этом необходимо использовать микроконтроллер с соответствующей прошивкой для работы с новой тактовой частотой.

Режимы работы переключаются с помощью переключателей S1, S2 и кнопок S3 – S5.

S3 – режим отображения частоты (Гц/кГц/МГц). Позволяет выбрать наиболее удобный для восприятия результат измерений. В режиме измерения "L/C" выбор предела происходит автоматически.

S4 – режим работы прибора: измерение частоты со **входа А** (10Гц – 50МГц), измерение частоты со **входа В** (50МГц – 1000МГц), измерение "L/C" (что именно, определяется положением S1 и S2)

S5 – принудительная калибровка устройства. Автоматическая калибровка происходит при первой смене режима работы прибора с измерения частоты на измерение L или C.

Микросхем DD3 используется для коммутации входных сигналов от разных источников на вход микроконтроллера T0CKI/RA4 (выв. 3/DD4).

Для отображения режимов работы и результатов измерений используется двухстрочный алфавитно-цифровой ЖКИ SC1602BULT (16 символов, 2 строки) ф. SUNLIKE или совместимый с ним других фирм (DataVision, Wintek, Bolumin). Резисторы R23, R24 определяют контрастность индикатора, для регулировки вместо них можно установить подстроечный резистор. С целью экономии портов микроконтроллера для управления индикатором, используется режим, в котором данные передаются полубайтами через входы DB4–DB7. Неиспользуемые входы DB0–DB3 оставить свободными. Еще надо заметить, что распиновка SUNLIKE отличается от всех остальных (Wintek, Bolumin, DataVision) двумя выводами: 1-й - +5В, 2-й - 0В, у всех других наоборот!

Настройка

При настройке частотомера необходимо с помощью С17 установить точное значение частоты тактового генератора и при помощи R9 сбалансировать дифференциальный каскад VT3, VT4 так, чтобы частотомер со входа А устойчиво измерял сигнал с частотой 50 МГц уровнем 50 мВ. Если модуль ЖКИ размещается вблизи усилителя–формирователя 1-го диапазона, то для предотвращения наводок рекомендуется экранировать ЖК-модуль от основной конструкции. Результатом будет устойчивая индикация "0 Гц" при открытом входе А. При измерениях с входа В, если оставить вход свободным – индицируется частота самовозбуждения прескалера (примерно 640-660 МГц), при подключении источника сигнала или заземлении входа самовозбуждение пропадает. Для прескалеров подобного типа это нормально.

При настройке LC–метра необходимо подобрать емкость конденсатора С5 с точностью 1020 пФ ± 0,5% или лучше, так как его емкость считается эталонной при измерениях и используется как константа при последующих вычислениях. Конденсатор следует использовать типа К73–9 или аналогичный с хорошей температурной стабильностью. Допускается для получения необходимой емкости параллельно С5 устанавливать керамический конденсатор группы МП0 емкостью несколько десятков пФ. Для компенсации на зажимах "Lx/Cx" паразитной емкости может потребоваться установка на плату подстроечного конденсатора С23.

Работа с прибором

При подаче питающего напряжения прибор устанавливается в режим измерения частоты с входа А. Индикация частоты – в герцах. Нажатием на S3 при необходимости выбирается режим индикации частоты.

9999999999	Гц
9999999.99	кГц
9999999.9	кГц
9999999	кГц
9999.99	МГц
9999.9	МГц
9999	МГц

Выбор режима работы осуществляется нажатием на S4. При выборе режима измерений "L/C" необходимо откалибровать прибор, о чем сообщает индикатор надписью **"NO CALIBRATED"**. Для этого отжимают оба переключателя S1 и S2, на дисплее появляется надпись **"CALIBRATION"**, начинается процесс калибровки. После его завершения появляется надпись **"CALIBRATION OK"**. Теперь можно выбрать режим измерений L или C нажатием на соответствующий переключатель S1 или S2. LC-метр имеет 3 поддиапазона для каждого измеряемого параметра с автоматическим переключением между ними.

Емкость	Индуктивность
0.0 – 999.9 пФ	0 – 999 нГн
1.00 – 999.99 нФ	1.00 – 999.99 мкГн
1.00 – 999.99 мкФ	1.00 – 9999.99 мГн

Если прибор долго работает в режиме "L/C", то может понадобиться принудительная калибровка в связи уходом параметров LC-генератора. Для проведения принудительной калибровки необходимо отжать соответствующий режиму работы переключатель S1 или S2 и нажать на кнопку S5. После появления надписи **"CALIBRATION OK"** нажимается переключатель S1 или S2 и продолжают измерения.

Конструкция и детали

Прибор смонтирован на односторонней печатной плате размерами 145x80 мм. Чертеж печатной платы приведен на рис. 4, расположение элементов на плате – на рис. 5.

На плате распаивается 6 проволочных перемычек и 3 "проводных":

- между отверстиями 13 и 14 на лицевой стороне платы;
- между выводом 11 DD4 и выводом 14 DD3 (сигнал A0);
- между выводом 12 DD4 и выводом 2 DD3 (сигнал A1);

Две последние на чертеже расположения элементов не показаны, они припаиваются непосредственно к соответствующим выводам микросхем со стороны печати.

В устройстве использованы резисторы МЛТ-0,125, электролитические конденсаторы типа К50-35. Резисторы R1-R2 типа Р1-12-0,125 (безвыводные). Конденсаторы С6-С7 типа К10-17В (безвыводные). Конденсатор С17 - подстроечный типа КТ4-23 или аналогичный. С23 – из модуля СКМ-23, СКМ-24. Остальные конденсаторы типа К10-176, К10-19. Транзистор VT1 – КП305Д, замена на такой же с другой буквой ухудшает чувствительность. VT2 – любой НЧ с коэффициентом усиления не менее 100. VT3 и VT4 – любые высокочастотные рnp, VT5 и VT6 – любые высокочастотные рnp с высоким коэффициентом усиления. Диоды VD1, VD2 – КД409А9 или аналогичные. VD3, VD4 – КД409А1. VD5 – любой импульсный. Микросхема DD2 – КР1533ТЛ2, DD3 – КР1533КП2, КР1533КП12 замена на серии 1554, 1594 ухудшает чувствительность. Компаратор DA1 – К554СА3 в корпусе DIP8, замена на импортный ухудшает верхний диапазон измерений. Делитель частоты SA701D (DD1) можно заменить на SA702D или применить любой другой с корректировкой схемы и печатной платы. Переключатели S1, S2 типа PS580L по каталогу "Чип и Дип" или другие подходящие. Кнопки S3 – S5 типа ПКн-188 с длиной толкателя 12 - 16мм. Гнезда XS1, XS2 – СР-50-73ФВ или подобные, XS3 – зажим для подключения акустических систем. Реле Р1 – D1A050000 ф.Cosmo (по каталогу "Чип и Дип") или аналогичное малогабаритное. При установке вместо кварцевого резонатора Z1 опорного генератора от сотового телефона, элементы Z1, С17-С19 не устанавливаются. Дополнительно устанавливаю два конденсатора: разделительный 33пФ на вход контроллера и фильтрующий 0,1мкФ по питанию опорного генератора.

В качестве корпуса для устройства был использован корпус от калькулятора БЗ-18А.

Литература и др. первоисточники:

1. А.Н. Сикорский. Цифровая шкала комбинированного НЧ – ВЧ генератора// Радиолюбитель. – N6. – 1991г.
2. <http://www.aade.com/lcm2binst/LC2Binst.htm> – измеритель LC на PIC-контроллере.
3. AN575, Frank J. Testa. IEEE 754 Compliant Floating Point Routines. Microchip Technology Inc. 1997
4. AN592, Stan D'Souza. Frequency Counter Using PIC16C5X. Microchip Technology Inc. 1997