

# Измеритель емкости с расширенным диапазоном измерения

В радиолюбительской практике довольно часто возникает необходимость точного измерения малых емкостей, будь то емкости р-п переходов транзисторов или диодов, варикапов, емкость печатных и подстроечных конденсаторов. При выборе или изготовлении межблочных соединительных кабелей также нужно иметь достоверную информацию о емкости. Особенно полезен данный измеритель емкости может быть радиолюбителям при настройке входных, промежуточных и выходных каскадов. А при самостоятельном изготовлении высоковольтных и других конденсаторов небольшой емкости он вообще может оказаться незаменимым помощником.

К сожалению, среди доступных мультиметров нет таких, которые могли бы измерить емкость с точностью 0,1 пФ. А профессиональные измерительные приборы далеко не всем по карману. Чтобы восполнить этот пробел в сфере измерений, автором был разработан простой и надежный прибор, позволяющий измерять емкость от 0,1 до 5000 пФ с точностью 1% без переключения поддиапазонов.

Предлагаемый измеритель емкости является, по сути, преобразователем емкости/напряжения с высокой линейностью. Его можно использовать не только по прямому назначению, но также для измерения других величин, например, диэлектрической проницаемости различных изоляционных материалов или оценки ТКЕ конденсаторов.

Схема прибора собрана на КМОП таймерах 7555, обладающих высокой стабильностью и низким энергопотреблением. Это позволило создать прибор с током потребления, не превышающим 4 мА в диапазоне питающих напряжений 6...9 В. Этот диапазон был выбран для возможности использовать в качестве источника питания широко распространенные батареи типа 6F22 ("Крона"). При желании можно использовать любой источник питания с напряжением до 18 В. Следует только помнить, что нижний предел стабилизации встроенного стабилизатора составляет 6 В. Рассмотрим его работу более подробно.

Сам стабилизатор компенсационного типа выполнен на транзисторах VT2-VT4. Его достоинством является малое собственное потребление тока (всего около 100 мкА) и низкое падение напряжения (порядка 0,6 В). Если транзистор VT4 заменить на германиевый мало мощный, то это значение можно еще больше снизить - вплоть до 0,3 В. Опорное напряжение задается резисторами R11 и R12. Величина их не критична, важно только соотношение, от которого и будет зависеть выходное напряжение. В данном случае оно установлено на уровне 6 В. При увеличении входного напряжения, увеличится и смещение на базе транзистора VT2, что приведет к

уменьшению сопротивления перехода коллектор-эмиттер. В свою очередь, начнет закрываться транзистор VT3, и, следовательно, уменьшится ток его коллектора, включенного в базу управляющего транзистора VT4. Это приведет к уменьшению опорного напряжения на базе транзистора VT2. Возникает эффект стабилизации с довольно высоким коэффициентом. Для устранения возможных паразитных возбуждений и автоколебательного режима при отслеживании напряжения, включены конденсаторы C4 и C5. Подобная схема стабилизатора незаменима и для питания различных приборов от автономных источников.

Хотя существует большое число интегральных стабилизаторов напряжения, это не является препятствием для применения данной схемы в качестве стабилизатора с выходным током в десятки миллиампер. Тем более, что можно использовать транзисторы с коэффициентом усиления 100...600.

Схема прибора состоит из генератора коротких импульсов, выполненного на DA1 и ждущего мультивибратора на DA2, во времязадающей цепи которого, для улучшения линейности, резистор заменен на генератор микротока. Он выполнен на элементах VT1, R5, R6.

Такая мера позволила значительно расширить диапазон измерений. Вся схема питается от стабилизатора на VT2-VT4.

Генератор вырабатывает импульсы частотой порядка 250 Гц, точнее значение уточняется при настройке. Параметры самого импульса можно рассчитать по формулам:

$$T_{\text{имп}} = 0,76 \cdot R_t \cdot C_1,$$

$$T_{\text{пауз}} = 0,76 \cdot R_2 \cdot C_1, K_{\text{скважн}} = \frac{R_2}{R_2 + R_t},$$

где  $R_t = R_1 + R_3$ .

Прямоугольные импульсы с выхода таймера DA1 (выв. 3) поступают на вход ждущего мультивибратора DA2 (выв. 2), который формирует импульсы с амплитудой, равной напряжению питания. На самом деле амплитуда выходного сигнала будет чуть меньше 6 В за счет падения напряжения на внутренних ключах микросхемы. Этим напряжением и определяется верхний предел измеряемых емкостей (5000 пФ).

Длительность генерируемых импульсов будет равна  $1,1 \cdot R_t \cdot C_x$ , где в качестве  $R_t$  служит генератор тока силой 5 мкА, а в качестве  $C_x$  выступает измеряемый конденсатор. Невозможно заметить, что чем меньше измеряемая емкость, тем короче будет выходной импульс, снимаемый с выхода DA2 (выв. 3). Таким образом, на выходе устройства будут присутствовать импульсы с частотой следования 250 Гц, длительность которых напрямую будет зависеть от измеряемой емкости.

Если подключить к выходу микросхемы DA2 цифровой вольтметр, то напряжение на нем в милливольтках будет равно емкости в пикофарадах. Точность измерений будет зависеть, в основном, от погрешности самого вольтметра. При использовании недорогих трехразрядных вольтметров, шкала для измерения будет выглядеть следующим образом:

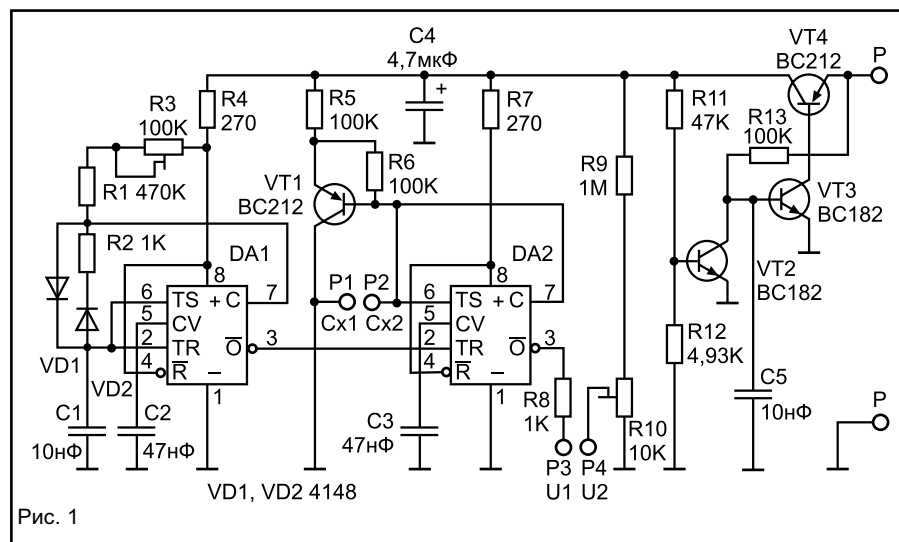


Рис. 1

- предел измерений напряжения 200 мВ – предел измерения емкости 0,1–200 пФ;
- предел измерений напряжения 2 В – предел измерения емкости 1–2000 пФ;
- предел измерений напряжения 20 В – предел измерения емкости 10–5000 пФ.

Для того чтобы можно было скомпенсировать входную емкость прибора, и тем самым увеличить точность измерений на нижних пределах, отрицательный вывод вольтметра включен не напрямую к общему проводу, а к цепочке R9R10. Через резистор R9 на подстроечный резистор R10 подается небольшой положительный потенциал, который и служит для точной установки уровня лог. 0.

В качестве вольтметра также можно использовать любой стрелочный прибор, однако точность при этом будет значительно ниже.

### **Назначение деталей и настройка**

Самым важным звеном, отвечающим за временную и температурную стабильность, является генератор. Так как распространенные резисторы, например МЛТ 0,25, имеют вполне приемлемые температурные и временные параметры с точки зрения стабильности, то следует обратить внимание на частотообразующий конденсатор С1. Он обязательно должен быть пленочным и ни в коем случае не керамическим. К счастью, в продаже имеется сейчас довольно много импортных конденсаторов подобного типа. Если возникнут сомнения в выбранном типе, то достаточно разломить конденсатор, чтобы

его выяснить. Конденсаторы С2, С3 – блокировочные. Для них подойдут любые конденсаторы в широком диапазоне емкостей (0,01–0,1 мкФ). Это относится и к С5. Конденсатор С4 желательнее поставить безиндукционный танталовый или ниобиевый типа К51–К53. Чаще всего они имеют вид стальных цилиндров или капель из компаунда различных цветов. В схеме можно использовать транзисторы серий КТ3102 и КТ3107. Коэффициент усиления лучше всего заранее подобрать в пределах 200...400, тогда будет меньше проблем с настройкой. В качестве клемм для подключения емкости можно использовать контактную группу от панельки для микросхем. Если не нужно измерять малые величины емкостей, то вполне подойдут и обычные щупы от мультиметра. В этом случае появляется возможность встроить измеритель емкости в мультиметр, так как точная балансировка нуля уже не потребуется, и R9, R10 исключаются из схемы. Минусовый провод вольтметра подключается непосредственно к общему проводу питания измерителя.

Для настройки прибора понадобятся два калибровочных конденсатора с известным точным значением емкости. Желательно, чтобы допуск был не хуже 0,5%. Емкость одного из них должна быть в районе 20...50 пФ, другого – 2...5 нФ. После подключения питания необходимо измерить потребляемый ток. Он должен находиться в пределах 3...4 мА. Затем измеряют напряжение на конденсаторе С4, и если оно будет значительно отличаться от 6 В, то следует немного изменить номинал резистора R11 или R12.

Далее проверяют работу генератора тока. Для этого вместо измеряемой емкости к клеммам Сх подключают микроамперметр или мультиметр в режиме измерения тока. Показания в этом случае должны быть около 5 мкА. Работу генератора можно проверить при помощи наушников, подключенных через конденсатор емкостью 0,01–0,1 мкФ или через резистор сопротивлением 1 кОм к точке соединения микросхем DA1 и DA2 (выводы 3 и 2 соответственно).

Если все указанные выше этапы пройдены успешно, то можно приступать к калибровке измерителя. Для этого к выходам устройства подключают мультиметр, установленный на предел измерения 0,2 В, и вращением движка резистора R10 добиваются нулевых показаний. Для ускорения настройки можно вначале проделать эту процедуру на пределе измерения 2 В или даже 20 В. Далее к клеммам Сх подключают образцовый конденсатор с большей величиной и вращением R3 добиваются нужного показания вольтметра. Чередуя эти операции, необходимо добиться устойчивых показаний. Затем нужно установить емкость с меньшим номиналом и осуществить аналогичным образом точную подстройку. После настройки прибор готов к работе.

В заключение хотелось бы сказать, что автором и его товарищами было собрано несколько подобных приборов. За много лет работы с ними калибровка практически не сбивалась и не было ни одного случая выхода прибора из строя.