

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕКТРОНИХ AFG3000 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ

SIGNAL GENERATORS TEKTRONIX AFG3000 APPLICATION FOR CAPACITY MEASUREMENT

Дьяконов В. П. (V. Dyakonov), д.т.н., проф., Смоленский государственный университет

Выпуск фирмой Tektronix бюджетных моделей генераторов сигналов произвольной формы серии AFG3000 [1] (и цифровых осциллографов TDS1000/2000 [2,3]) открывает широкие возможности в исследовании и тестировании различной аппаратуры. К достоинствам этих приборов относятся: простой и удобный интерфейс, широкий диапазон амплитудных, временных и частотных параметров сигналов, большое разнообразие их форм, высокая (до 10^{-6} в год) стабильность частоты повторения сигналов и легкость стыковки с персональным компьютером через самый массовый и скоростной порт универсальной последовательной шины USB.

В этой статье продолжено описание типовых применений измерительной лаборатории на базе бюджетных приборов корпорации Tektronix. Помимо выявления новых областей применения этих приборов материалы статьи иллюстрируют на практике особенности применения этих приборов.

Нередко при конструировании электронных устройств возникает необходимость измерить емкость конструктивных элементов устройств или конденсаторов постоянной или переменной емкости. Измерители RCL параметров или мультиметры, позволяющие измерить емкость, далеко не всегда есть под рукой. К тому же многие из них не позволяют измерять емкости малой величины — порядка единиц, десятков и сотен пикофард. А это необходимо при конструировании радиоприемных и радиопередающих устройств, резонансных контуров, пассивных фильтров и других широко распространенных устройств.

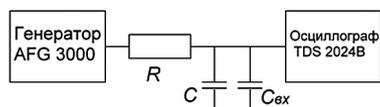


Рис. 1. Схема измерения емкости путем измерения времени нарастания импульсов на выходе RC-цепи

Между тем, лаборатория на базе массовых приборов корпорации Tektronix позволяет легко осуществлять измерения емкости в широком диапазоне ее значений, с достаточно высоких разрешением и с цифровым отсчетом. Ниже мы рассмотрим два простых метода измерения емкости.

Первый способ основан на измерении времени нарастания или спада напряжения на RC-цепи при воздействии на нее импульсов практически прямоугольной формы. Как известно, это время при отсчете уровней 0,1-0,9 от амплитуды определяется соотношением $t_{\text{н}} = 2,2 \cdot R \cdot C$.

Если $2,2 \cdot R = 1000$ Ом, то при $C = 1000$ пФ получим $t_{\text{н}} = 1000$ нс. Таким образом, приращение емкости на 1 пФ будет соответствовать 1 нс. Номинал резистора RC-цепи можно выбрать из соотношения $R = 1000/2,2 = 455$ Ом.



Рис. 2. Осциллограмма при измерении входной емкости осциллографа $C_{\text{вх}}$

Схема измерений представлена на рис. 1. Здесь генератор AFG3000 (практически применялся AFG3101) подключается через резистор $R = 455$ Ом к входу осциллографа TDS2024 с применением пробника 1:10. Это обязательное условие, поскольку без пробника (или с пробником 1:1) входная емкость осциллографа существенно возрастает, а полоса частот осциллографа снижается с 200 МГц до 6 МГц. При указанном применении входное сопротивление осциллографа равно 10 МОм и практически не влияет на точность измерений. Входная емкость осциллографа составляет около 13-17 пФ. Измеряемая емкость подключается к входу осциллографа.

Измерение емкости C производится в два этапа. На первом емкость C отключается и производится измерение входной емкости осциллографа $C_{\text{вх}}$. Для этого генератор AFG3101 переводится в режим генерации прямоугольных импульсов — меандра. Чтобы уменьшить влияние шумов осциллографа и получить четкие осциллограммы переходных процессов нужно выбрать амплитуду импульсов порядка нескольких В. Пробник осциллографа нужно освободить от насадки и использовать мини-

мально возможную длину провода заземления — иначе осциллограммы будут искажены звоном из-за паразитной индуктивности земляного провода. На рис. 2 показана осциллограмма переходного процесса на этом этапе.

Для измерения времени нарастания перепада (в нашем случае положительной полярности) надо использовать режим автоматических измерений осциллографа. В нашем случае (рис. 2) зафиксировано время нарастания 16,8 нс, что означает, что входная емкость равна $C_{\text{вх}} = 16,8$ пФ, что соответствует диапазону возможных значений входной емкости, приведенному в технической документации на осциллограф с учетом небольшой емкости монтажа.

На втором этапе параллельно входу подключается измеряемая емкость C и измеряется длительность перепада напряжения при емкости $C + C_{\text{вх}}$ (рис. 3). Здесь для примера измерялась емкость слюдяного конденсатора с номиналом 100 пФ с разбросом $\pm 10\%$. Из осциллограммы рис. 3 видно, что время нарастания перепада составило 112,4 нс, следовательно $(C + C_{\text{вх}}) = 112,4$ пФ, а измеренное значение емкости C равно $(112,4 - 16,8) = 95,6$ пФ.



Рис. 3. Осциллограмма при измерении емкости C

Погрешность измерения емкости этим способом определяется погрешностью номинала резистора R и погрешностью измерения времени нарастания перепада цифровым осциллографом. Погрешность номинала резистора легко свести к очень малой величине подбором (с помощью мультиметра) резистор с достаточно точным номиналом в 455 Ом. Тогда погрешность измерения будет определяться погрешностью автоматического измерения длительности перепада цифровым осциллографом. Обычно она не превышает 2-3%. Разумеется, что помимо цифрового осциллографа серии TDS2000B может ис-

пользоваться любой другой цифровой осциллограф с полосой частот не менее 200 МГц.

Достоинством данного метода является совмещение измерений с просмотром осциллограмм переходных процессов. Нередко это выявляет недостатки конденсаторов, например нелинейность емкости, наличие значительной паразитной индуктивности и возникновение резонанса при параллельном включении конденсаторов.

Другой метод измерения емкости основан на измерении тока заряда или разряда конденсатора при подключении его к источнику импульсов прямоугольной формы. Схема измерения представлена на рис. 4. Генератор серии AFG3000 используется как генератор симметричных прямоугольных импульсов (меандра) с заданной частотой f . Измеряемая емкость C заряжается через диод $D1$ и миллиамперметр, а разряжается через диод $D2$.

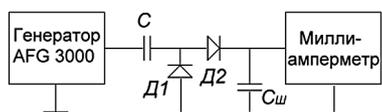


Рис. 4. Измерительная схема для измерения емкости методом заряда-разряда

Средний ток заряда (и разряда) емкости в данном случае равен

$$I = C \Delta U f,$$

где ΔU — перепад входного напряжения при заряде и разряде C .

При $C = 1000$ пФ, $\Delta U = 10$ В и $f = 100$ кГц получим $I = 1$ мА. Таким образом, применяя цифровой или аналоговый миллиамперметр, получим при разрешении по току 1 мкА разрешение по емкости в 1 пФ. В эксперименте использовался мультиметр YF-3700. Минимальный предел измерения тока у него равен 4 мА. В этом случае при $\Delta U = 10$ В можно реализовать пределы измерения емкости, указанные в таблице.

Частота AFG3101	Предел C, пФ	Разрешение C, пФ
10 МГц	40	0,01
1 МГц	400	0,1
100 кГц	4000	1
10 кГц	40000	10
1 кГц	400000	100

Поскольку частота f задается в генераторах с высочайшей точностью (нестабильность составляет менее 10^{-6} в течение года работы), то основными причинами погрешности при измерениях является неточность установки перепада напряжения ΔU и погрешность самого измерителя тока. Последняя при использовании цифровых приборов мала — даже у дешевых мультиметров она меньше 0,5%. Погрешность установки уровней меандра у генераторов AFG3101 составляет $\pm 1\%$, т. е. тоже достаточно мала. Это позволяет считать основной погрешность от неидеальности диодов. Без калибровки измерительной схемы по-

грешность может достигать 2-3% при использовании маломощных германиевых диодов с малым остаточным напряжением (до 0,2-0,3 В).

Заметим, что возможна простая калибровка измерительной схемы. Для этого достаточно откалибровать ее с помощью конденсатора с малой погрешностью емкости с номиналом, равным верхнему пределу измерений на заданном диапазоне. Коррекцию можно производить как уточнением амплитуды меандра, так и частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В. П. Многофункциональные генераторы Tektronix AFG3000. Контрольно-измерительные приборы и системы, № 6, 2006, № 1, 2007.
2. Дьяконов В. П. Современная осциллография и осциллографы. М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
3. Афонский А.А., Дьяконов В. П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: СОЛОН-Пресс, 2007.

The author continues to consider typical applications for AFG3000 Series arbitrary function generators and TDS1000/2000 Series digital oscilloscopes. In this article, he tells about the use of these devices for capacity measurement.