

# ТЕСТИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА СО ВСТРОЕННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ СИГНАЛОВ

## COMPONENT TESTING USING AN OSCILLOSCOPE WITH INTEGRATED WAVEFORM GENERATOR

Деннис Уеллер (Dennis Weller), Agilent Technologies

В настоящей статье описаны методы тестирования компонентов с помощью осциллографа и генератора сигналов. Показана методика тестирования конденсаторов, индуктивностей, диодов, биполярных транзисторов и кабелей. Кроме того, описанные методы можно использовать для поиска неисправных компонентов или определения номиналов немаркированных компонентов.

### СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ

Идея, лежащая в основе этого теста, заключается в подаче на компонент воздействия с помощью генератора сигналов и измерении отклика с помощью осциллографа. Осциллографы Infinii-Vision серии X компании Agilent Technologies оборудованы встроенным генератором сигналов, что превращает их в удобное «одноприборное» решение для тестирования компонентов. Следует отметить, что это решение не является полноценной заменой специализированного тестера компонентов, который обеспечивает большую точность и выполняет более глубокое тестирование. Однако такого тестера может не оказаться под рукой. В таком случае, приходится пользоваться схемой, собранной «на скорую руку» из приборов общего назначения, в данном случае из осциллографа и генератора сигналов.

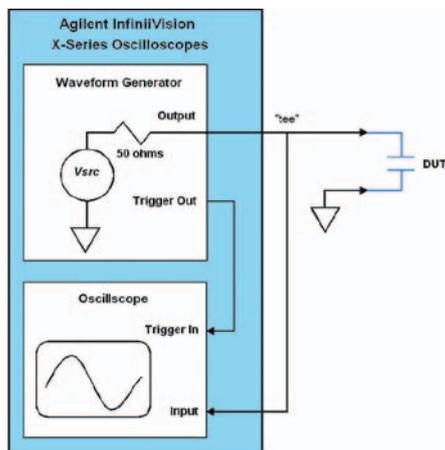


Рис. 1. Схема измерения

Схема измерения показана на рис. 1. Генератор сигналов через T-образный ответвитель соединен со входом осциллографа и с исследуемым компонентом, называемым также тестируемым устройством (ТУ). Для тестирования компонентов поверхностного монтажа рекомендуется использовать пробник для поверхностного монтажа Agilent Technologies 11060A (или аналогичный). Напряжение генератора, Vsrc, поступает на ТУ через внутреннее выходное сопротивление генератора 50 Ом.

## Agilent Technologies

Напряжение на ТУ измеряется входным каналом осциллографа. Осциллограф запускается от генератора сигналов. Если применяется осциллограф Agilent серии X, то сигнал запуска подается внутри осциллографа, позволяя обойтись без дополнительного кабеля и

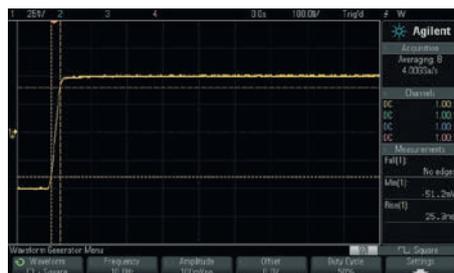


Рис. 2. Измерение емкости и индуктивности при отключенном ТУ

настройки системы запуска. Пользователь просто выбирает в качестве источника сигнала запуска встроенный генератор.

### ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ

На рис. 2 показана конфигурация осциллографа и осциллограмма с отключенным ТУ. Для снижения шума и, соответственно, повышения точности используется усреднение. На осциллографе включен режим автоматического измерения Минимального напряжения, времени Нарастания и времени Спада (10-90%), причем точка запуска выбрана с левой стороны.

В качестве действующего сигнала используется меандр амплитудой 100 мВ<sub>пик-пик</sub> и частотой 10 Гц. Столь

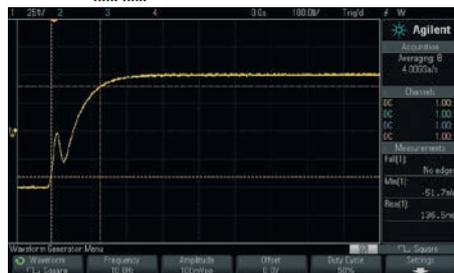


Рис. 3. Измерение конденсатора емкостью 1 нФ

низкое напряжение позволяет измерять параметры ТУ в составе схемы, не оказывая влияния на полупроводниковые приборы, которые могут быть подключены к ТУ. Кроме того, столь низкое напряжение минимизирует обратные токи утечки полярных конденсаторов, которые могут повлиять на точность измерения.

### ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ

Если в качестве тестируемого устройства выступает конденсатор, то схема измерения представляет собой классическую R-C цепочку, в которой R — это выходное сопротивление генератора 50 Ом. Входное сопротивление осциллографа равно 1 МОм, что значительно больше выходного сопротивления генератора, и, следовательно, им можно пренебречь. Емкость ТУ, C<sub>ТУ</sub>, можно рассчитать по времени нарастания от 10 до 90 % уровня по формуле:

$$C_{ТУ} = 0,0091 \times \text{длит\_фронта} - C_{\text{генератора}}$$

Для повышения точности измерения нужно измерить собственную емкость измерительной системы, C<sub>test</sub>, и учесть ее в расчетах. Для определения C<sub>test</sub> рекомендуется измерить заведомо исправный, точный конденсатор емкостью 1 нФ и получить C<sub>test</sub> путем вычитания 1 нФ из измеренного значения. Такое измерение конденсатора емкостью 1 нФ показано на рис. 3. По времени нарастания, измеренному на рис. 3, расчетное значение емкости получается равным 1,24 нФ, а значит C<sub>test</sub> равно примерно 0,24 нФ.

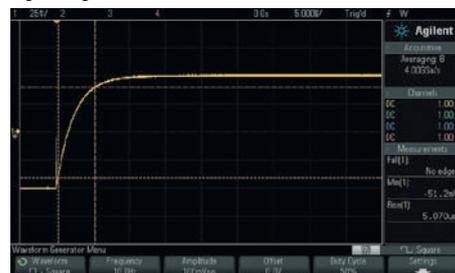


Рис. 4. Измерение конденсатора емкостью 47 нФ

Для выполнения измерения нужно соответствующим образом настроить скорость развертки осциллографа, так чтобы на экране помещался весь переходной процесс, и чтобы развертка не была слишком медленной, что снизило бы точность измерения. Тут можно придерживаться следующего простого правила — устанавливайте скорость развертки так, чтобы значение c/дел лежало между половиной и удвоенным временем нарастания или спада. На-

пример, если измеряемое время нарастания равно 175 нс, то нужно выбрать скорость развертки 100 или 200 нс/дел.

Если величина  $C_{test}$  известна, то можно выполнять измерения конденсаторов емкостью больше 1 нФ. Верхнее значение измеряемой емкости ограничивается частотой генератора и равно 100 мкФ. На рис. 4 показано измерение конденсатора емкостью 47 нФ. В данном примере расчетное значение,  $C_{TU}$ , равно 45,9 нФ.

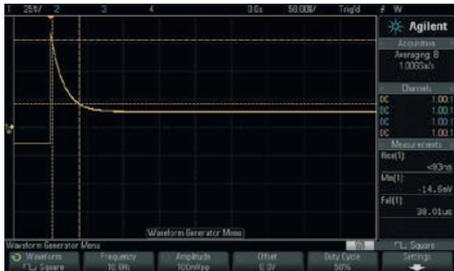


Рис. 5. Измерение индуктивности 1200 мкГн

Обратите внимание на «выброс» в начале фронта. Этот выброс занимает время, необходимое фронту воздействующего сигнала на прохождение по кабелю от генератора до ТУ и обратно. Этот выброс является основной причиной, не позволяющей точно измерять конденсаторы емкостью меньше 1 нФ. Его можно уменьшить, подключив ТУ очень коротким кабелем (<15 см), что позволит измерять конденсаторы емкостью от 250 пФ.

### ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ

Если ТУ является индуктивностью, то образуется RL цепочка. В этом случае, измеряется время спада. Кроме того, для определения сопротивления индуктивности постоянному току ( $R_{пост.}$ ) измеряется еще и  $V_{min}$ . Чтобы получить суммарное значение сопротивления  $R$ , полученное значение  $R_{пост.}$  добавляется к выходному сопротивлению генератора 50 Ом. Индуктивность связана со временем спада формулой:

$$L_{дат} = 0,45 \cdot (50 - 50 \cdot V_{min}) / (0,05 + V_{min})$$

время\_спада.



Рис. 6. Измерение диода при отключенном ТУ

Минимальное значение измеряемой индуктивности ограничивается временем нарастания генератора и равно 10 мкГн. Верхний предел зависит от  $R_{пост.}$ . Если значение  $R_{пост.}$  слишком велико, осциллограф не может измерить время спада автоматически. В этом случае время спада придется измерять вручную.

На рис. 5 показано измерение индуктивности 1200 мкГн. Обратите внимание на заметное падение напряжения из-за  $R_{пост.}$ . Расчетное значение индуктивности  $L_{TU}$  равно примерно 1208 мкГн.

Измеренное значение дефектной индуктивности или конденсатора будет отличаться от номинала, или измерение покажет обрыв или короткое замыкание. Измерение ТУ с обрывом цепи будет выглядеть примерно, как на рис. 2, тогда как короткозамкнутое ТУ будет представлено горизонтальной линией.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДИОДА И БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

На рис. 6 показана конфигурация осциллографа и осциллограмма с отключенным ТУ. Для измерения диодов генератор переводят в режим генерации пилообразного сигнала амплитудой  $\pm 2,5$  В и частотой 100 Гц. Поскольку измерение выполняется на низкой частоте, то для снижения шума используется режим высокого разрешения. Кроме того, включается режим автоматического измерения максимального и минимального напряжения, а точка запуска устанавливается на середину.

Этот метод измерения отличается от метода, используемого традиционным характериографом. Характериограф строит зависимость тока ТУ от приложенного напряжения. В данном случае горизонтальная ось осциллографа представляет выходное напряжение генератора, а вертикальная ось представляет падение напряжения на ТУ. В отличие от характериографа, амплитуда генератора недостаточно высока для измерения обратных напряжений пробоя.

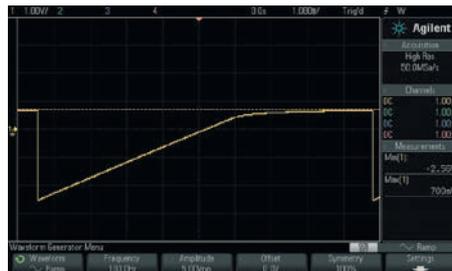


Рис. 7. Измерение кремниевого выпрямительного диода

При этом методе измерения на ТУ может подаваться достаточно большой ток. Например, если на диоде падает напряжение 0,7 В, то напряжение на выходном сопротивлении генератора 50 Ом будет равно 1,8 В. Это значит, что максимальный ток через диод может достигать 36 мА. Если измеряемый компонент не способен выдерживать такой ток, амплитуду генератора надо уменьшить.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДИОДА

Теперь давайте рассмотрим разные измерения диодов. На рис. 7 показано измерение кремниевого выпрямитель-

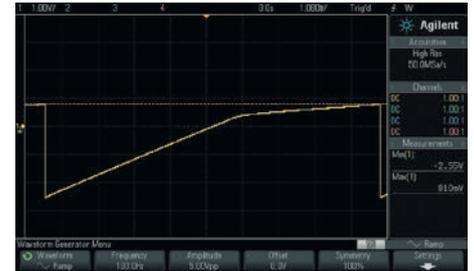


Рис. 8. Измерение кремниевого слаботоочного диода

ного диода. Как и следует ожидать, этот диод начинает проводить при прямом смещении около 500 мВ и открывается полностью при 700 мВ.

Сравните это со слаботоочным диодом, измерение которого показано на рис. 8. Наклон переднего фронта которого больше, что демонстрирует более высокое сопротивление в открытом состоянии.

И, наконец, на рис. 9 показан диод Шоттки. Обратите внимание, что этот диод демонстрирует меньшее напряжение в открытом состоянии, равное 260 мВ.

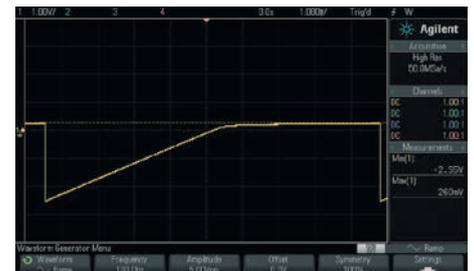


Рис. 9. Измерение диода Шоттки

Дефектный диод будет выглядеть, скорее всего, как разомкнутая или короткозамкнутая цепь. Оборванный диод будет выглядеть примерно, как на рис. 6, тогда как короткозамкнутый диод будет представлен горизонтальной линией.

Этот метод позволяет измерять и светодиоды. При подаче сигнала на светодиод, выходное напряжение генератора можно увеличить.

### ИЗМЕРЕНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Биполярный транзистор можно измерять тем же способом, который применялся для измерения диодов. Сначала убедитесь, что переходы эмиттер-база и коллектор-база ведут себя, как диоды. Потом проверьте отсутствие короткого замыкания между эмиттером и коллектором, т.е. сопротивление между этими электродами должно стремиться к бесконечности.

### ИЗМЕРЕНИЕ КАБЕЛЯ

Для измерения кабелей генератор сигналов настраивается на генерацию меандра частотой 100 Гц с амплитудой от 0 до 1 В, как показано на рис. 10. Для снижения шума используется усреднение, а точка запуска устанавливается на левую сторону. Для ручного измерения

параметров осциллограммы используются курсоры. В сущности, такой способ измерения эквивалентен работающему во временной области низкоскоростному рефлектометру (TDR).

На рис. 11 показано измерение витой пары. Импеданс витой пары,  $Z_{cb1}$ , можно вычислить по формуле:

$$Z_{cb1} = 50 \Delta Y / (1 - \Delta Y).$$

Где  $\Delta Y$  — напряжение первой ступеньки (в точке запуска), измеренное вручную с помощью курсоров осциллографа. В данном случае  $\Delta Y$  равно

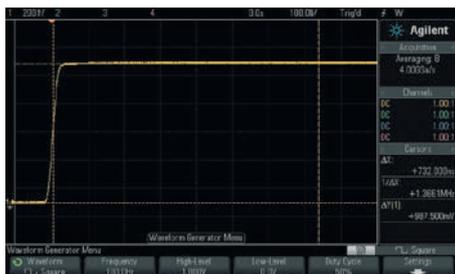


Рис. 10. Измерение кабеля с отключенным ТУ

660 мВ, откуда расчетное значение  $Z_{cb1}$  получается равным примерно 97 Ом — характерное значение для кабеля такого типа. Дальний конец витой пары представляет собой разомкнутую цепь, что индицируется внезапным увеличением уровня возле самого правого курсора X.

На рис. 12 показано измерение ка-



Рис. 11. Измерение витой пары

беля RG-58 неизвестной длины. По измеренному значению  $\Delta Y$  можно рассчитать импеданс, который в данном случае равен 51 Ом. Это ожидаемое значение для кабеля RG-58. Однако, помимо этого, измерение показывает, что далее по линии кабель закорочен, поскольку напряжение возвращается к нулю. Если известна задержка распространения сигнала в кабеле, то расстоя-

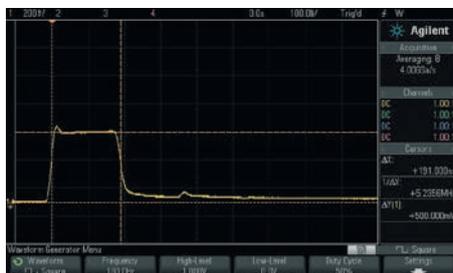


Рис. 12. Измерение кабеля RG-58 (с коротким замыканием)

ние до места замыкания можно рассчитать по формуле:  
расстояние =  $0,5 \cdot \Delta X / \text{задержка\_распространения}$ .

Задержка распространения для кабеля RG-58 составляет 5,05 нс/м. Ручное измерение  $\Delta X$  с помощью курсоров дало значение 191 нс. Таким образом, расчетное расстояние до короткого замыкания составляет 19 м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показаны методы базовых измерений компонентов с помощью двух широко распространенных приборов — осциллографа и генератора сигналов. Для выполнения таких измерений идеально подходят осциллографы Agilent Technologies InfiniIVision серии 2000 и 3000 X со встроенным генератором сигналов и внутренней системой запуска.

*This article describes methods for testing components with an oscilloscope and signal generator. The technique is shown for the capacitors, inductors, diodes, bipolar transistors and wires testing. Furthermore, the described methods can be used to find faulty components or to determine nominal parameters of the unmarked components.*

## 7-й Московский международный форум

# MetroExpo '2011

7-я Выставка-конкурс средств измерений, испытательного и лабораторного оборудования

3-й Симпозиум «Точность. Качество. Безопасность»

17-19 мая, Москва, ВВЦ

### Организатор:

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

### Содействие:

Аппарат Правительства Российской Федерации

### Международные партнёры:

The International Bureau of Weights and Measures (BIPM),  
International Organization of Legal Metrology (OIML),  
The European Association of National Metrology Institutes (EURAMET),  
Euro-Asian Cooperation of national metrological institutions (COOMET).

### С участием:

Минпромторг России, Минздравсоцразвития России, Минобрнаука России, Минобороны России, Роскосмос, Государственные корпорации «Росатом», «Ростехнологии» и «ЖКХ», ОАО «Роснано», ОАО «РЖД», ОАО «Газпром», ОАО «Роснефть», ОАО «ОАК», Российские металлургические группы, Ассоциация автопроизводителей России, НП «Росхимреактив», Российское химическое общество, Ассоциация аналитических центров «Аналитика», Ассоциация строителей России, Региональные ЦСМ и метрологические институты

### Экспертная комиссия:

ФГУ «Ростест-Москва»,  
32 ГНИИ Минобороны России

### Устроитель и выставочный оператор:

Компания «Вэстстрой Экспо»

### Дирекция форума:

Тел./факс: +7 (495) 937-4023 • E-mail: metrol@expoprom.ru  
Адрес: 129223, РФ, Москва, ВВЦ, стр. 227, а/я 35

[www.metrol.expoprom.ru](http://www.metrol.expoprom.ru)

