

Проведение осциллографических измерений с высокой точностью и воспроизводимостью

Для разработчиков источников питания осциллограф — незаменимый помощник при отладке и тестировании. Современный осциллограф, например Agilent серии 7000 (рис. 1), обладает полным набором измерительных функций, соответствующим программным обеспечением и пробниками, то есть всем, что нужно разработчикам, чтобы облегчить им проведение измерений в нужных точках схемы и определение параметров источников питания. Для того чтобы провести безошибочные замеры, используя имеющиеся пробники для напряжения и тока, нужно учесть ряд важных факторов. Неправильные результаты измерения можно получить как из-за использования не соответствующих задаче пробников, так и из-за неверно выбранной методики измерений. В статье рассматриваются эти проблемы и даются полезные советы по проведению точных и воспроизводимых измерений параметров источников питания.

Джей-Йонг ЧАНГ (Jae-Yong CHANG)

Измерения с гальванической развязкой

«Земляной» вывод пробника через корпус байонетного коаксиального разъема (BNC) соединяется с корпусом осциллографа. В свою очередь корпус, по правилам безопасности, присоединяется через заземляющий контакт сетевой вилки к проводнику защитного заземления питающей сети. Такое заземление осциллографа обычно создает проблемы, связанные со способом заземления исследуемого источника питания. Часто бывает так, что сигнал нужно измерять относитель-

но определенной точки схемы, а не относительно «земли» (измерения с гальванической развязкой). У разработчиков источников питания имеется несколько приемов для решения таких проблем.

Чаще всего используется метод, при котором осуществляется развязка осциллографа: либо откусывается провод защитного заземления в сетевом шнуре, либо питание на осциллограф подается через разделительный трансформатор. Этот прием очень опасен, поскольку на корпусе осциллографа возможно присутствие высокого напряжения. Кроме того, результаты измерений, про-

веденных таким способом, могут оказаться ошибочными.

Второй прием, используемый для измерения источника питания с гальванической развязкой, — это вычитание результатов измерений, сделанных по каналам А и В с помощью несимметричных пробников напряжения. Сигналы от двух пробников подаются на входы двух каналов. Далее используются возможности осциллографа по математической обработке осциллограмм: выходные сигналы этих двух каналов электрически вычитаются, в результате получается осциллограмма разностного сигнала. Этот прием относительно безопасен, так как осциллограф остается заземленным.

Однако применимость этого метода ограничена измерениями в условиях, когда сигналы сравнительно невелики, поскольку коэффициент подавления синфазного сигнала при этом мал — не более 20 дБ (10:1). Это ограничение вызвано тем, что сигналы поступают через разные пробники на разные входы осциллографа, а коэффициенты передачи этих двух трактов не могут быть абсолютно одинаковыми.

Наилучшим решением выполнения измерений с гальванической развязкой является применение дифференциального пробника (или дифференциального усилителя) (рис. 2). Этот способ позволяет выполнять точные и безопасные измерения. Дифференциальные пробники обеспечивают высокий коэффициент подавления синфазного сигнала, обычно не менее 80 дБ, или 10000:1, что по-

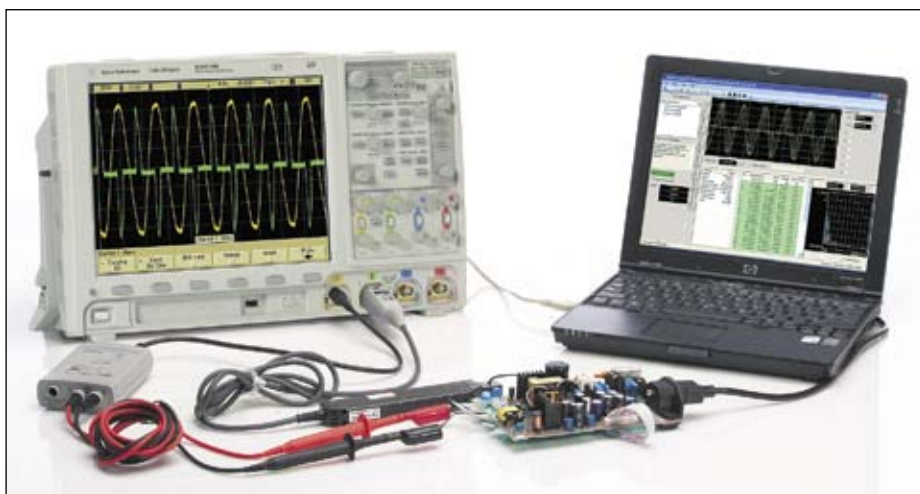


Рис. 1. Осциллограф Agilent серии 7000



Рис. 2. Дифференциальный пробник

зволяет измерять слабый разностный сигнал на фоне больших синфазных сигналов, обеспечивая приемлемую точность и высокую чувствительность. Таким образом, для проведения безопасных и точных измерений с галь-

ванической развязкой наилучшим решением является использование дифференциального пробника, у которого динамический диапазон и полоса пропускания достаточны для работы с исследуемой схемой.

Измерение пульсаций и шумов

При выполнении измерения шумов с помощью осциллографа следует учитывать следующие моменты.

Во-первых, нужно минимизировать лишний шум, добавляемый пробником. На «земляной» провод длиной 15 см и наконечник-захват обычного пассивного пробника может быть наведен значительный уровень шумов, генерируемых исследуемым источником питания или какими-нибудь другими приборами (рис. 3). Кроме того, индуктивная нагрузка, создаваемая длинным «земляным» проводом, часто добавляет свой «звон» к измеряемому сигналу.

Напротив, использование наконечника меньших размеров и более короткого «земля-

ного» провода (например, подключение к специальному разъему на исследуемой плате через соответствующий адаптер с разъемом BNC) существенно снижает эти паразитные шумы за счет уменьшения размеров образуемой этими проводами петли, а кроме того, уменьшается индуктивность нагрузки (рис. 4).

Когда измеряется амплитуда пульсаций или шумы на выходе источника питания, может потребоваться установка максимальной (или близкой к ней) чувствительности по входу осциллографа. Для этого, во-первых, нужно попытаться использовать пробник 1:1 вместо стандартного пассивного пробника 10:1, поставляемого в комплекте с осциллографом. С пробником 10:1 не только отображаемый средний уровень шумов станет больше в десять раз, но и установленное на максимум значение чувствительности тоже станет в десять раз хуже, чем с пробником 1:1.

Кроме того, можно установить режим входа на связь по переменному току, чтобы убрать постоянную составляющую подавае-

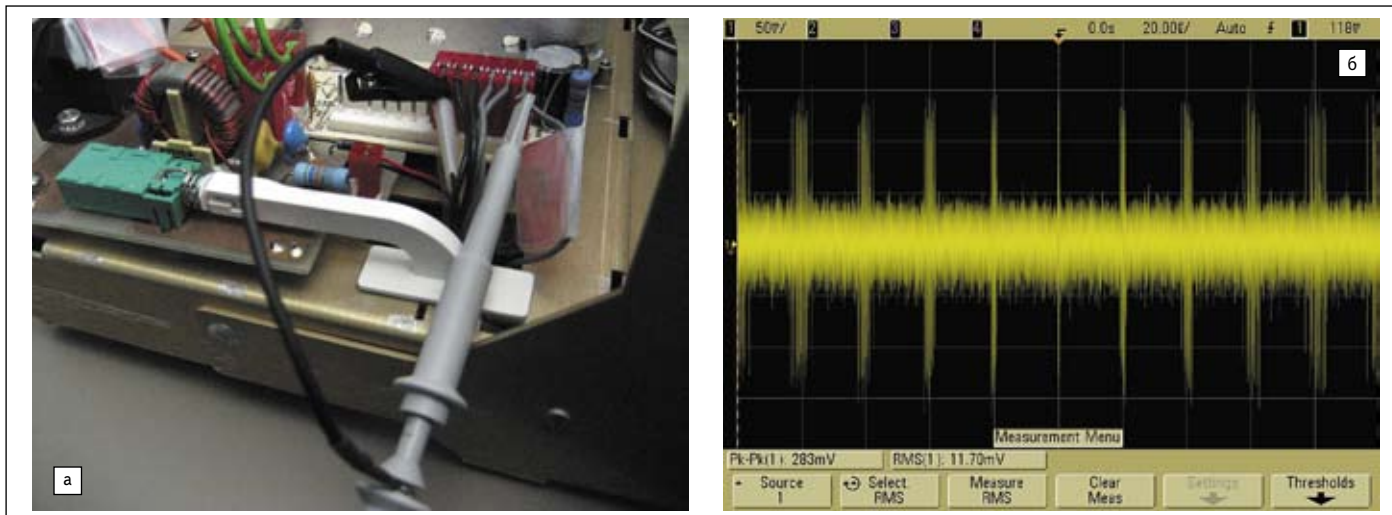


Рис. 3. а) Измерение шумов на выходе источника питания с использованием длинного «земляного» провода; б) осциллограмма с дополнительными шумами, наведенными на «земляной» провод

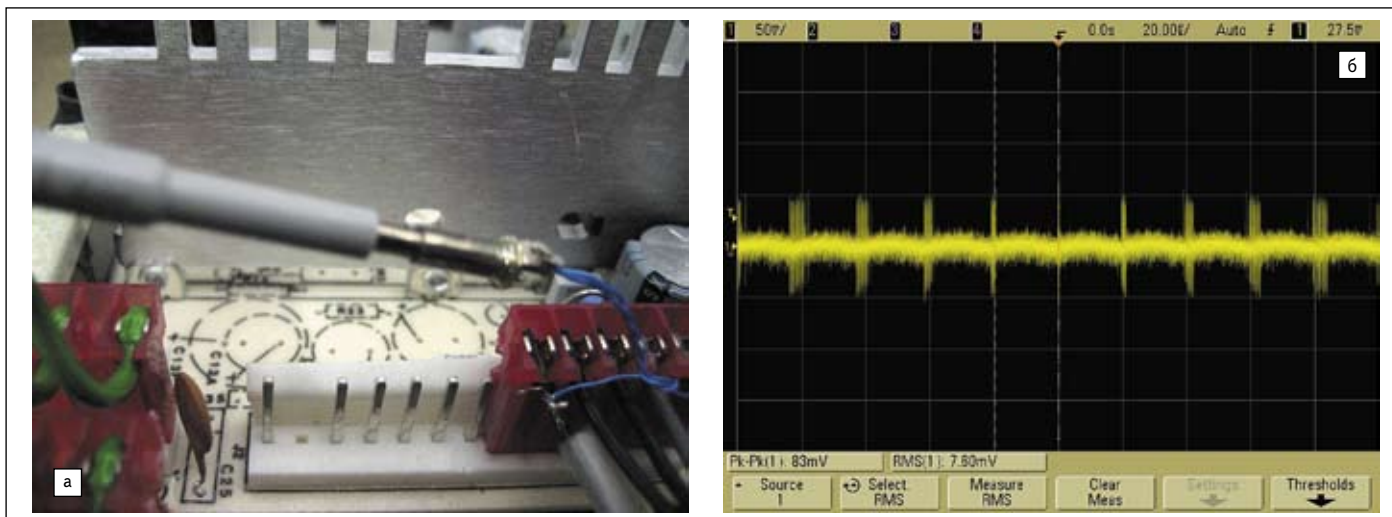


Рис. 4. а) Использование наконечника меньших размеров и более короткого «земляного» провода; б) осциллограмма, демонстрирующая существенное снижение шумов

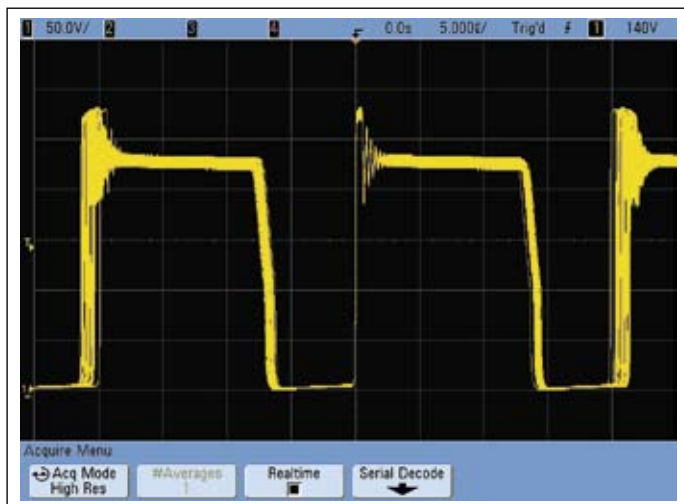


Рис. 5. Осциллограмма напряжения сток-исток ключевого транзистора в импульсном источнике питания, полученная при работе осциллографа в обычном режиме

мого на вход сигнала. Пульсации и шумы нормально работающего источника питания малы по сравнению с выходным напряжением. Но если выходное напряжение источника питания сопоставимо с уровнем шумов и лежит в диапазоне мВ, можно использовать вход со связью по постоянному току и настроить осциллограф так, чтобы видеть постоянную составляющую. Некоторые активные пробники, например Agilent InfiniiMax или 1156A, обеспечивают широкие пределы смещений для расширения динамического диапазона.

И последнее. Не надо забывать про встроенную функцию ограничения полосы пропускания. Почти все осциллографы снабжены схемой для ограничения полосы пропускания тракта вертикального отклонения. Эта функция позволяет избавиться от нежелательных высокочастотных шумов в наблюдаемых сигналах.

Как повысить разрешение осциллографа по вертикали?

Для некоторых задач необходимы измерения сигналов с большим динамическим диапазоном и в то же время требуется такое высокое разрешение, которое позволит оценить небольшие изменения какого-либо параметра. Например, нужно измерить высокое напряжение между стоком и истоком закрытого транзистора, работающего в ключевом режиме в импульсном источнике питания, и низкое напряжение в те моменты, когда транзистор открыт. Для таких измерений может потребоваться разрешение большее, чем 8 бит у обычных цифровых осциллографов (рис. 5). Вместо того чтобы прибегнуть к применению АЦП с более высоким разрешением, можно воспользоваться одним из встроенных режимов: «измерения с высоким разрешением» или «измерения с усреднением», которые позволяют проводить измерения с разрешением более 8 бит и пониженным уровнем шума.

Обычный режим измерения с усреднением

Для получения разрешения по вертикали, превышающего 8 бит, в современных цифровых осциллографах используются два метода, опирающиеся на схожие математические теории. Первый метод — использование обычного режима измерения с усреднением (рис. 6). Для измерения с усреднением требуется, чтобы сигнал был периодическим. Алгоритм измерения с усреднением состоит в замене нескольких измеренных (в нескольких повторяющихся периодах) точек сигнала одной (средней) точкой, соответствующей определенному моменту времени. Полученные математическим процессом усреднения точки дают нам осциллограмму с более высоким, чем у исходного сигнала, вертикальным разрешением. Сколько точек нужно для усреднения, чтобы получить один дополнительный бит вертикального разрешения? Один

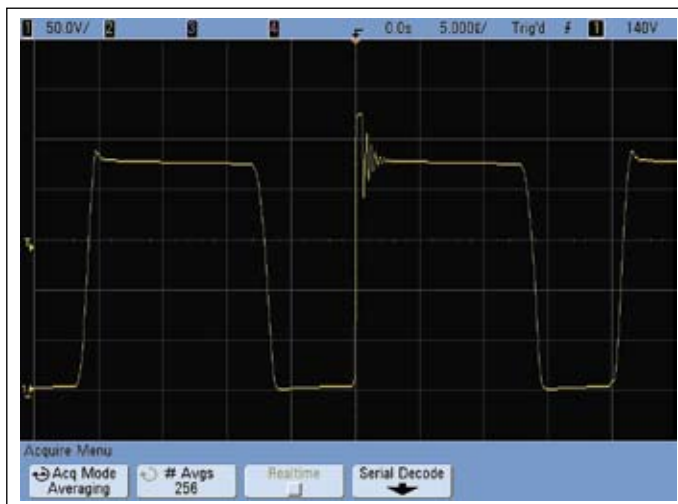


Рис. 6. Осциллограмма напряжения сток-исток, полученная при работе осциллографа в обычном режиме измерения с усреднением

дополнительный бит получается усреднением по каждой четверке выборок сигнала. Таким образом, имеем:

$$\text{Количество добавочных битов} = 0,5 \log_2 N,$$

где N — количество выборок, по которым проводится усреднение.

Например, усреднение по $N = 16$ выборкам дает улучшение на 2 бита: количество добавочных битов = $0,5 \log_2 16 = 2$. Следовательно, эффективное вертикальное разрешение составит $8+2 = 10$ бит.

Максимум разрешения по вертикали для этого алгоритма составляет не более 12 бит, поскольку далее начинают влиять другие факторы, в частности, погрешность вертикального усиления или смещения. Преимущество режима усреднения в том, что он не ограничивает полосу пропускания реального времени осциллографа. К недостаткам относится то, что сигнал должен быть периодическим, и то, что снижается скорость обновления сигналов на экране из-за дополнительной нагрузки на центральный процессор осциллографа.

Режим измерения с высоким разрешением

Для второго метода усреднения, применяемого в цифровом осциллографе, не требуется периодического сигнала. Этот метод называется режимом измерения с высоким разрешением (рис. 7). Современные

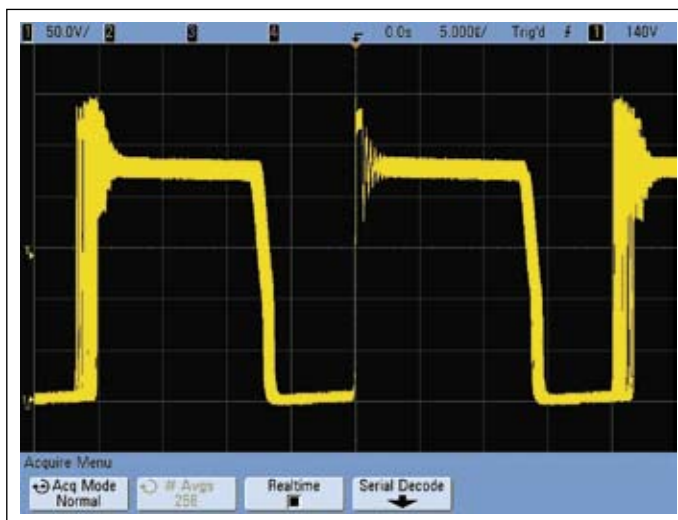


Рис. 7. Осциллограмма напряжения сток-исток, полученная при работе осциллографа в режиме с высоким разрешением

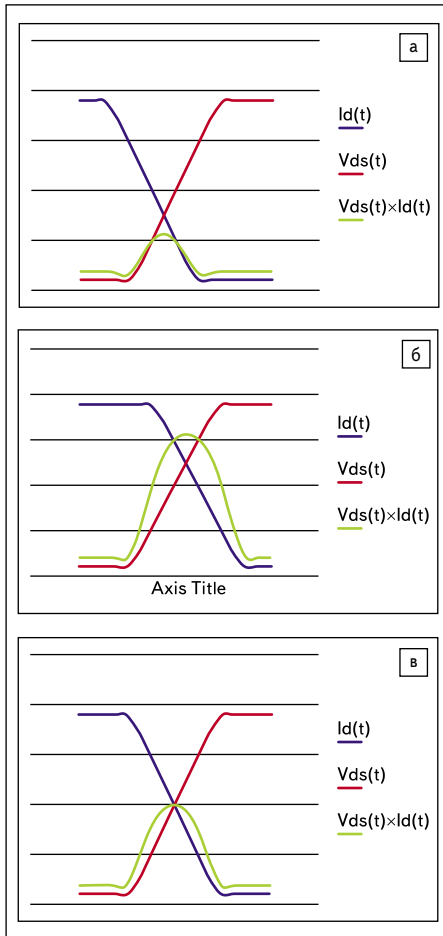


Рис. 8. Примеры компенсации сдвига фаз пробников перед измерениями в источниках питания:
 а) сдвиг фаз — измеренное значение слишком низкое;
 б) сдвиг фаз — измеренное значение слишком высокое;
 в) сдвиг фаз устранен — точный результат

осциллографы, например Agilent InfiniiVision серий 5000, 6000 и 7000, обеспечивают 8-битовое вертикальное разрешение в обычном режиме (как и большинство других цифровых осциллографов). Режим измерения с высоким разрешением повышает вертикальное разрешение осциллографа до 12 бит в реальном масштабе времени и снижает уровень шумов.

Как сказано выше, метод измерения с усреднением состоит в замене нескольких измеренных (в нескольких периодах) точек сигнала одной (средней) точкой, соответствующей определенному моменту времени. В отличие от этого в режиме измерения с высоким разрешением усредняются значения сигнала нескольких последовательных выборок. В режиме измерения с высоким разрешением нельзя прямо задать количество точек, по которым ведется усреднение, как в режиме измерения с усреднением. Вместо этого количество дополнительных битов вертикального разрешения зависит от установленного значения скорости развертки.

При работе с малыми скоростями развертки в осциллографе осуществляется фильтрация последовательных выборок сигнала, результаты которой отображаются на экране.

Увеличение глубины памяти для отображаемых данных увеличивает и количество точек, по которым ведется усреднение. Режим измерения с высоким разрешением неэффективен при высокой скорости развертки, когда на одну отображаемую точку приходится мало выборок. Этот метод дает значительный эффект при медленных развертках, когда одна точка осциллограммы формируется из многих выборок.

Компенсация сдвига фаз пробников напряжения и тока

Для точных измерений мощности требуется устранение погрешностей, обусловленных, во-первых, длиной кабелей пробников, во-вторых — электрической длиной участка цепи между точками, в которых измеряются ток и напряжение (если пробники тока и напряжения нельзя поместить в одну точку). Разница электрических длин трактов прохождения сигналов приводит к разным задержкам сигналов, приходящих от двух разных точек электрической цепи.

Чем длиннее кабель пробника, тем больше задержка между сигналом, измеряемым пробником, и сигналом на входе осциллографа. Для пробников, кабели которых имеют разную длину, задержки получаются разные, а это требует проведения предварительной калибровки, чтобы получить правильный результат измерения. После компенсации сдвига фаз между сигналами двух пробников, учитывающей разницу временных задержек, сигналы от этих пробников приходят на осциллограф одновременно.

Другой фактор, который необходимо принимать во внимание, — это электрическая длина участка цепи между точками подключения пробников тока и напряжения. Например, задержка для печатного проводника на стеклотекстолите FR-4 составляет 381 пс/см, а для медного провода — 216 пс/см.

Погрешности из-за сдвига фаз имеют значительное влияние на измерения в источниках питания, особенно если исследуемые сигналы имеют крутые фронты. Сдвиг фаз может привести к тому, что измеренное значение получится очень низким, давая ложное ощущение достоверности, или очень высоким, предполагая проблему там, где ее нет. Компенсация сдвига фаз пробников перед измерениями в источниках питания является залогом наибольшей точности измерений (рис. 8).

Для наилучшей компенсации сдвига фаз нужно выбирать такие контрольные точки, чтобы пробники напряжения и тока можно было разместить как можно ближе друг к другу. В этом случае развертка напряжения и тока на осциллографе будет точно соответствовать фазе напряжения и тока в исследуемой схеме. В ассортименте компании Agilent имеется приспособление для компенсации сдвига фаз U1880A, которое генерирует специальный тестовый сигнал (рис. 9). По этому сигналу определяются значения компенсации для контрольных точек исследуемой схемы.

В дополнение к вышесказанному важно знать, сигнал какого пробника опережающий, а какого — задержанный. Опережающий сигнал должен быть использован в качестве опорного сигнала, а также в качестве сигнала запуска для осциллографа. Задержка между опережающим и задержанным сигналами от пробников должна вычитаться из задержанного сигнала. Значение сдвига можно затем вручную выставить на осциллографе. А можно воспользоваться какими-либо приложениями, предназначенными для измерений параметров источников питания с использованием осциллографа. Например, приложения Agilent U1881A и U1882A, предназначенные для осциллографов Agilent InfiniiVision или Infiniium, автоматизируют процесс компенсации сдвига фаз, и это позволяет устранить погрешность отсчета и дает уверенность в наибольшей точности измерений. ■

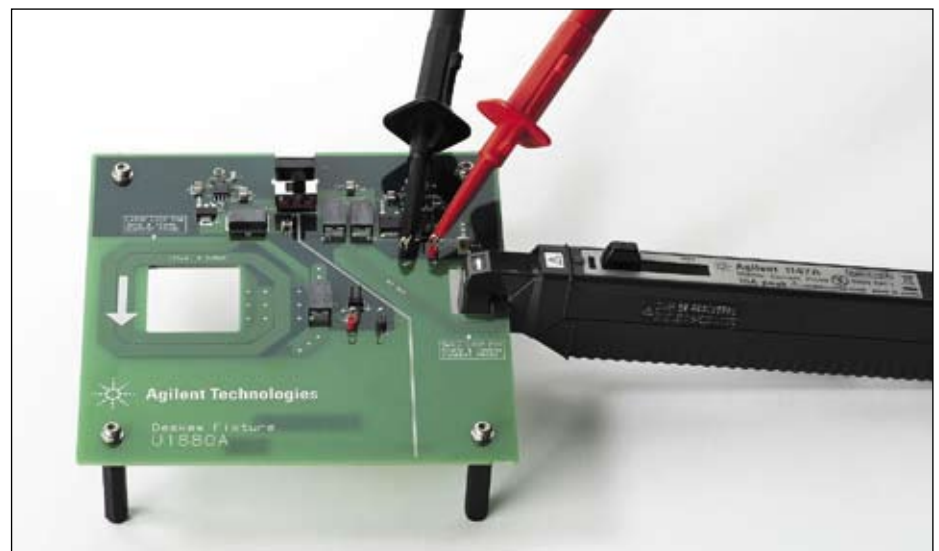


Рис. 9. Приспособление для компенсации сдвига фаз U1880A, которое генерирует специальный тестовый сигнал