

# ПРОБНИКИ ОТ А ДО Я ABCS OF PROBES

По материалам компании Tektronix ([www.tektronix.ru](http://www.tektronix.ru))

Пробники играют весьма важную роль в осциллографических измерениях. Чтобы в полной мере понять их значение, отключите пробник от осциллографа и попробуйте что-нибудь измерить. У вас ничего не получится. Между исследуемой схемой и входным каналом осциллографа обязательно должно присутствовать электрическое соединение, по которому передается измеряемый сигнал.

Передавая измеряемый сигнал на осциллограф, пробники оказывают огромное влияние на качество измерений. Подключение пробника к исследуемой схеме может повлиять на ее работу, при этом осциллограф будет отображать сигнал, являющийся результатом взаимодействия пробника со схемой, а не тот сигнал, который должен быть на самом деле.

Таким образом, очень важно, чтобы пробник оказывал минимальное влияние на исследуемую схему и обеспечивал адекватную достоверность сигнала для выполняемых измерений.

Если пробник не обеспечивает требуемой достоверности сигнала, если он каким-то образом изменяет сигнал или влияет на работу исследуемой цепи, то осциллограф будет отображать реальный сигнал с искажениями. В результате мы выполним неверное измерение.

Пробник является первым звеном измерительного тракта осциллографа, и надежность этого тракта зависит от пробника не меньше, чем от осциллографа. Воспользовавшись неподходящим пробником или неверно подключив пробник, вы нарушите работу всего тракта.

В этом и последующих разделах вы узнаете, из чего складываются достоинства и недостатки пробников, и как правильно выбрать пробник для определенной задачи. Кроме того, вы получите полезные советы по правильному применению пробников.

## ЧТО ТАКОЕ ПРОБНИК?

Для начала давайте определим, что такое осциллографический пробник.

В сущности, пробник обеспечивает электрическое соединение между контрольной точкой или источником сигнала и осциллографом. В зависимости от измерения это соединение можно выполнить простым куском провода или таким сложным устройством, как дифференциальный пробник.

Но пока достаточно сказать, что осциллографический пробник — это некое устройство (или схема), соединяющее источник сигнала с входом осциллографа. Это показано на рис. 1.1, где

## Tektronix®

пробник изображен между контрольной точкой и осциллографом.

Но как бы ни выглядел пробник, он должен обеспечивать удобное и качественное соединение между источником сигнала и входом осциллографа (рис. 1.2). Качество соединения определяется тремя ключевыми параметрами — механическое подключение, влияние на работу цепи и передача сигнала.

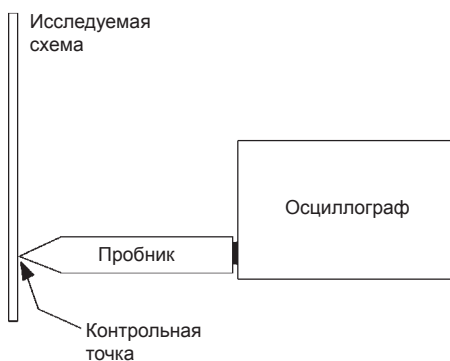


Рис. 1.1. Пробник — это устройство, обеспечивающее электрическое соединение контрольной точки с входным каналом осциллографа

В первую очередь, для выполнения осциллографического измерения нужно механически подключить пробник к контрольной точке. Для этого большинство пробников оборудовано кабелем длиной не менее одного или двух метров, как показано на рис. 1.2. Этот кабель позволяет держать осциллограф в стационарном положении на тележке или столе, а пробник перемещать от точки к точке исследуемой схемы. Но за такое удобство приходится платить. Кабель пробника ограничивает полосу пропускания; чем длиннее кабель, тем уже полоса.

Кроме кабеля большинство пробников имеют головку или ручку с нако-

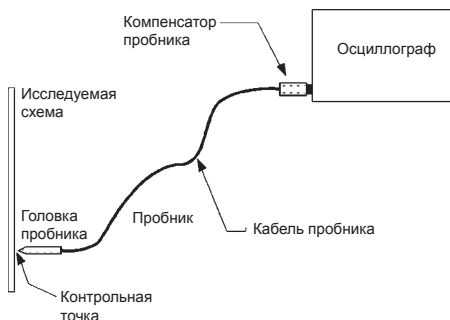


Рис. 1.2. Большинство пробников состоит из головки, кабеля и компенсатора или другой схемы формирования сигнала

нечником. Головка пробника позволяет держать его и перемещать наконечник к необходимой контрольной точке. Часто наконечник пробника представляет собой подпружиненный крючок, позволяющий прикреплять пробник к проводнику контрольной точки.

Механическое подключение пробника к контрольной точке обеспечивает и электрическое соединение между наконечником пробника и входом осциллографа. Для получения достоверных результатов подключенный пробник должен оказывать минимальное влияние на исследуемую цепь, а сигнал с наконечника пробника должен адекватно передаваться через головку пробника и кабель на вход осциллографа.

Эти три аспекта — механическое подключение, влияние на работу цепи и адекватная передача сигнала — являются основными показателями, которые надо учитывать при выборе пробника. Поскольку наиболее сложными пунктами являются влияние пробника и адекватная передача сигнала, основное внимание в этом учебнике уделяется именно этим характеристикам. Тем не менее, проблемой механического подключения тоже нельзя пренебрегать. Сложность подключения пробника к контрольной точке часто приводит к снижению качества сигнала.

## ИДЕАЛЬНЫЙ ПРОБНИК

Идеальный пробник в идеальном случае должен обладать следующими характеристиками:

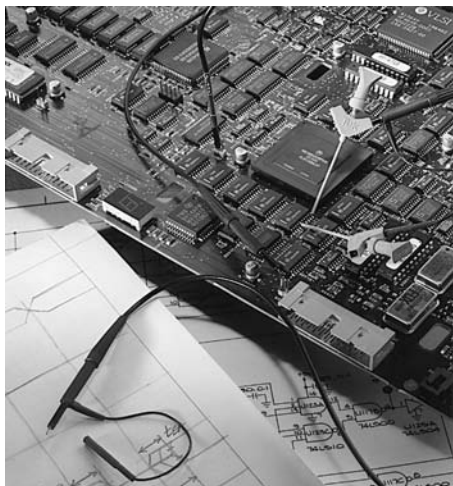
- простое и удобное подключение;
- абсолютно достоверная передача сигнала;
- нулевая нагрузка на источник сигнала;
- полная невосприимчивость к шумам.

Механическое подключение к контрольной точке уже упоминалось, как один из ключевых факторов, характеризующих пробник. Идеальный пробник должен выполнять механическое соединение просто и удобно.

Для миниатюрных устройств, использующих поверхностный монтаж высокой плотности, удобство и простота соединения обеспечиваются за счет применения сверхминиатюрных головок и различных наконечников, специально предназначенных для подключения к компонентам для поверхностного монтажа.

Система такого типа показана на рис. 1.3а. Однако, эти пробники слишком малы для практического применения в таких приложениях, как промышленное силовое оборудование, где часто встречаются высокие напряжения и

провода большого сечения. Для силовых систем необходимы пробники большого размера с конструкцией, обеспечивающей безопасную работу. Образцы таких пробников показаны на рис. 1.3б и 1.3в, причем на рис. 1.3б показан высоковольтный пробник, а на рис. 1.3в — токовый пробник с зажимом.



а. Пробник для устройств, использующих технологию поверхностного монтажа



б. Высоковольтный пробник



в. Токовый пробник с зажимом

Рис. 1.3. Для разных технологий и видов измерений выпускаются разные пробники

Из этих нескольких примеров механического подключения ясно, что не существует единого идеального размера или конструкции пробника для всех приложений. В связи с этим, для удовлетворения требований механического подключения разных приложений, выпускаются пробники разных размеров и конфигураций.

Идеальный пробник должен передавать сигнал от наконечника до входа

осциллографа с абсолютной достоверностью. Другими словами, сигнал, присутствующий на наконечнике пробника, должен в точности повторяться на входе осциллографа.

Для получения абсолютной достоверности цепь пробника от наконечника до входа осциллографа должна обладать нулевым ослаблением, бесконечной полосой пропускания и линейной фазовой характеристикой на всех частотах. Мало того, что в реальности эти требования недостижимы, они еще и непрактичны. Например, если вы работаете со звуковыми сигналами, то бесконечная полоса пропускания пробника, да и осциллографа, вам совершенно ни к чему. Да и зачем нужна бесконечная полоса пропускания, если полоса большинства скоростных цифровых шин, телевизионных сигналов и других типичных осциллографических приложений не превышает 500 МГц.

И все же, нужно стремиться к достижению абсолютной достоверности сигнала в данной рабочей полосе.

Цепь, лежащую за контрольной точкой, можно представить, как некий источник сигнала. Любое, подключенное к контрольной точке внешнее устройство, такое как пробник, создает дополнительную нагрузку на этот источник сигнала.

Потребляя ток источника сигнала, внешнее устройство создает нагрузку. Эта нагрузка, или потребляемый от источника ток, влияет на работу цепи за контрольной точкой и тем самым изменяет сигнал, наблюдаемый в контрольной точке.

Идеальный пробник вообще не нагружает источник сигнала. Другими словами, он не потребляет тока от источника сигнала. Это значит, что для обеспечения нулевого потребляемого тока пробник должен обладать бесконечным входным импедансом, в сущности, представляя собой разомкнутую цепь.

На практике создать пробник с нулевой нагрузкой на источник сигнала невозможно. Это связано с тем, что для создания напряжения на входе осциллографа пробник должен потреблять некоторый ненулевой ток от источника сигнала. Поэтому любой пробник всегда создает некоторую нагрузку. Тем не менее, нужно стремиться к предельному снижению нагрузки за счет выбора соответствующего пробника.

Вокруг нас присутствует множество источников шума, например, люминесцентные лампы и двигатели вентиляторов. Эти источники могут наводить шум на соседние электрические кабели и цепи, вызывая наложение шума на сигнал. В связи с чувствительностью к наведенным шумам, простой кусок провода является далеко не идеальным вариантом осциллографического пробника.

Идеальный осциллографический

пробник должен быть абсолютно невосприимчивым к любым источникам шумов. В результате сигнал, поступающий в осциллограф, будет содержать не больше шумов, чем сигнал в контрольной точке.

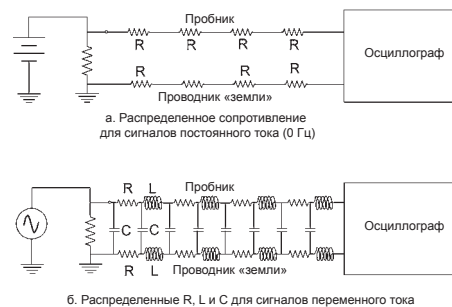
На практике применение экранирования позволяет достичь высокой стойкости пробника к шумам для большинства распространенных сигналов. Тем не менее, для некоторых низкоуровневых сигналов шум по-прежнему может создавать серьезные проблемы. В частности, как мы обсудим ниже, синфазный шум может создавать проблемы для дифференциальных измерений.

### РЕАЛЬНЫЕ ПРОБНИКИ

В предшествующем обсуждении идеального пробника упоминалось несколько особенностей, не позволяющих добиться идеальных характеристик реального пробника. Чтобы понять, как это может повлиять на осциллографические измерения, нужно подробнее рассмотреть характеристики реальных пробников.

Вопервых, важно понимать, что пробник, даже если это простой кусок провода, потенциально является очень сложной электрической цепью.

Для сигналов постоянного тока (частота 0 Гц) пробник выглядит простой парой проводников с некоторым последовательным сопротивлением и сопротивлением нагрузки (рис. 1.4а). Однако для сигналов переменного тока картина существенно меняется с ростом частоты сигнала (рис. 1.4б).



а. Распределенное сопротивление для сигналов постоянного тока (0 Гц)

б. Распределенные R, L и C для сигналов переменного тока

Рис. 1.4. Пробники представляют собой цепь, состоящую из распределенных сопротивлений, индуктивностей и емкостей (R, L и C)

Изменение картины для сигналов переменного тока связано с тем, что любой провод обладает распределенной индуктивностью (L), а любая пара проводов — распределенной емкостью (C). Распределенная индуктивность влияет на сигналы переменного тока, все больше препятствуя протеканию переменного тока с ростом его частоты. Распределенная емкость влияет на сигналы переменного тока, все больше снижая сопротивление переменному току с ростом его частоты. Взаимодействие этих реактивных элементов (L и C) между собой и другими резистивными элементами (R) определяет полный импеданс пробника,

зависящий от частоты сигнала. В правильно разработанном пробнике взаимодействие элементов R, L и C тщательно сбалансировано, обеспечивая необходимую степень достоверности сигнала, ослабления и нагрузки на источник сигнала в указанном диапазоне частот. Но даже такие пробники имеют некоторые присущие им ограничения. Поэтому при выборе пробника очень важно знать об этих ограничениях и учитывать их влияние на результаты измерений.

### ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ПОЛОСЕ ПРОПУСКАНИЯ И ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ

Полосой пропускания называется диапазон частот, на работу в котором рассчитан осциллограф или пробник. Например, пробник или осциллограф с полосой пропускания 100 МГц рассчитан на выполнение измерений на всех частотах в диапазоне от 0 до 100 МГц. Если частота сигнала выходит за пределы указанной полосы, результаты измерений могут оказаться недостоверными (рис. 1.5).

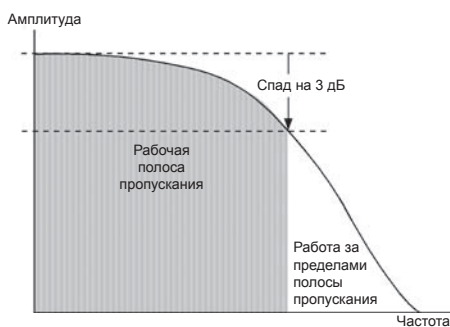
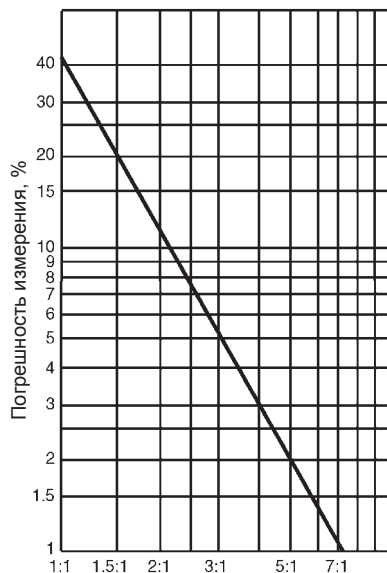


Рис. 1.5. Пробники и осциллографы рассчитаны на выполнение измерений с определенными характеристиками в рабочей полосе пропускания. На частотах, лежащих за пределами полосы по уровню 3 дБ, амплитуда сигнала начинает падать, и результаты измерения могут быть непредсказуемыми

В общем случае для точного измерения амплитуды полоса пропускания осциллографа должна превышать частоту измеряемого сигнала не менее чем в пять раз. Это «правило пятикратного превышения» гарантирует соответствующий запас для высокочастотных составляющих несинусоидальных сигналов, таких как меандр.

Аналогичным образом, время нарастания осциллографа должно соотноситься с длительностью фронта измеряемых сигналов. Время нарастания осциллографа или пробника определяется, как наблюдаемая длительность фронта при подаче на вход идеального мгновенного перепада напряжения. Для достижения приемлемой точности измерения длительности фронтов импульсов, время нарастания комбинации пробникосциллограф должно быть в три-пять раз меньше длительности фронта измеряемого импульса (рис. 1.6).

Если время нарастания (Тф) не ука-



Отношение времени нарастания осциллографа к длительности фронта импульса

Рис. 1.6. Эта диаграмма позволяет оценить погрешность измерения длительности фронта. Если время нарастания для комбинации пробник/осциллограф в три раза меньше длительности фронта измеряемого импульса (отношение 3:1), то предполагаемая погрешность измерения лежит в пределах 5%. При отношении 5:1 погрешность уменьшается до 2%

зано, его можно вычислить по полосе пропускания (ПП) по следующей формуле:

$$T_f = 0,35/ПП.$$

Каждый осциллограф имеет определенный предел по полосе пропускания и времени нарастания. Аналогичным образом, каждый пробник тоже имеет собственные предельные значения полосы пропускания и времени нарастания. И когда пробник подключается к осциллографу, вы получаете новые системные ограничения на полосу и время нарастания.

К сожалению, взаимосвязь системной полосы пропускания с индивидуальными полосами пробника и осциллографа не так очевидна. Это же справедливо и для времени нарастания. Поэтому многие изготовители высококачественных осциллографов указывают полосу пропускания или время нарастания для наконечника пробника при использовании осциллографа с определенными моделями пробников. Это важно, потому что осциллограф и пробник образуют единую измерительную систему, и результирующие измерительные возможности определяются общими характеристиками этой системы. Если вы примените пробник, не входящий в перечень рекомендуемых пробников для данного осциллографа, вы рискуете получить непредсказуемые результаты.

### ОГРАНИЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

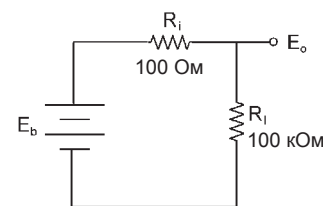
Все пробники имеют верхний предел входного напряжения, который нельзя превышать. Для пассивных

пробников этот предел может лежать в диапазоне от нескольких сот до нескольких тысяч вольт, а для активных пробников это значение обычно не превышает нескольких десятков вольт. Во избежание получения травмы или повреждения пробника нужно знать, какое напряжение измеряется, и каково предельное напряжение используемого пробника.

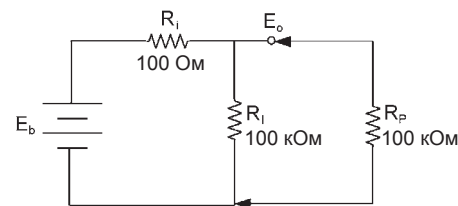
Помимо соображений безопасности имеются также и практические соображения, касающиеся динамического диапазона измерений. Все осциллографы имеют свои диапазоны чувствительности по амплитуде. Например, типичный диапазон чувствительности простирается от 1 мВ до 10 В на деление. На дисплее с восемью делениями это означает, что вы можете выполнять измерения с приемлемой точностью в диапазоне от 4 мВ до 40 В двойного размаха.

То есть, предполагается, что для выполнения измерений с приемлемой точностью, размах сигнала должен занимать минимум четыре деления.

При использовании пробника 1X (без делителя сигнала), динамический диапазон совпадает с динамическим диапазоном осциллографа. В приведенном выше примере это соответствует диапазону измеряемого сигнала от 4 мВ до 40 В.



а. Цепь постоянного тока с нагрузкой 100 кОм



б. Та же цепь постоянного тока с параллельно включенным пробником

Рис. 1.7. Пример резистивной нагрузки

Но что если вам нужно измерить сигнал больше 40 В?

Вы можете сдвинуть динамический диапазон осциллографа в сторону более высоких напряжений, воспользовавшись пробником с аттенуатором. Например, пробник 10X сдвигает динамический диапазон в область от 40 мВ до 400 В. Это достигается за счет деления сигнала на 10, в результате чего цена деления шкалы осциллографа умножается на 10. В большинстве типичных случаев предпочтительно использовать пробники 10X, во-первых, потому что они расширяют диапазон напряжений, а во-вторых, потому что они меньше на-



гружают источник сигнала. Однако если вы собираетесь измерять широкий диапазон напряжений, то лучше использовать переключаемый пробник 1X/10X. Это дает динамический диапазон от 4 мВ до 400 В. Однако в режиме 1X нужно с большей тщательностью учитывать нагрузку источника сигнала.

### НАГРУЗКА ИСТОЧНИКА СИГНАЛА

Как уже говорилось, для создания напряжения на входе осциллографа, пробник должен потреблять некоторый ток от источника сигнала. Это создает нагрузку на контрольную точку, в результате чего может исказиться форма сигнала в этой цепи.

В качестве простейшего примера влияния нагрузки давайте рассмотрим измерение резистивной цепи, питаемой от батареи. Эта схема показана на рис. 1.7. На рис. 1.7а, до подключения пробника, постоянное напряжение батареи распределяется между выходным сопротивлением батареи ( $R_i$ ) и сопротивлением нагрузки ( $R_l$ ). Для указанных на схеме значений результирующее выходное напряжение будет равно:

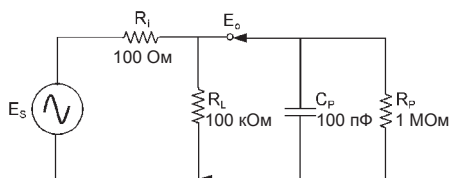
$$E_o = E_b \cdot R_l / (R_i + R_l) = 100 \text{ В} \cdot 100 \text{ кОм} / (100 + 100 \text{ кОм}) = 10 \text{ 000 000 В} / 100 \text{ 100} = 99,9 \text{ В.}$$

На рис. 1.7б показан подключенный к схеме пробник, сопротивление которого ( $R_p$ ) включается параллельно сопротивлению нагрузки  $R_l$ . Если  $R_p$  равно 100 кОм, эффективное сопротивление нагрузки на рис. 1.7б снижается до 50 кОм.

В результате выходное напряжение станет равным:

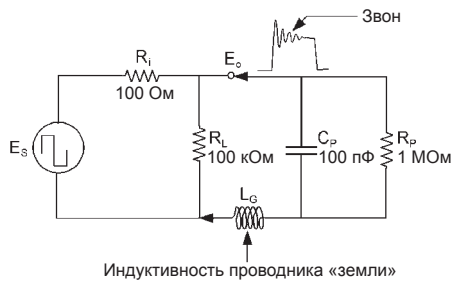
$$E_o = 100 \text{ В} \cdot 50 \text{ 000} / (100 + 50 \text{ 000}) = 5 \text{ 000 000 В} / 50 \text{ 100} = 99,8 \text{ В.}$$

В данном случае влияние нагрузки привело к снижению выходного напряжения с 99,9 В до 99,8 В, то есть всего на 0,1%, и во многих случаях таким влиянием можно пренебречь. Однако если бы сопротивление  $R_p$  было меньше, скажем 10 кОм, то его влиянием пренебречь было бы уже нельзя.



**Рис. 1.8.** Для сигналов переменного тока основную нагрузку создает емкость пробника ( $C_p$ ). С ростом частоты сигнала емкостное сопротивление ( $X_c$ ) снижается, в результате чего через конденсатор начинает протекать больший ток

Для снижения нагрузки пробники 1X обычно имеют входное сопротивление 1 МОм, а пробники 10X — 10 МОм. В большинстве случаев такая резистивная нагрузка практически не оказывает влияния на исследуемую цепь. Впрочем, некоторое влияние следует ожидать при измерении высокочастотных цепей.



**Рис. 1.9.** Проводник «земли» пробника увеличивает индуктивность цепи. Чем длиннее проводник «земли», тем больше индуктивность и тем выше вероятность возникновения звона на импульсах с крутыми фронтами

Как правило, наибольшие проблемы связаны с нагрузкой, создаваемой входной емкостью пробника (см. рис. 1.8). На малых частотах реактивное сопротивление этой емкости очень велико и практически не оказывает заметного эффекта. Но с ростом частоты реактивное сопротивление емкости снижается. Это приводит к увеличению нагрузки на высоких частотах.

Такая емкостная нагрузка непосредственно влияет на полосу пропускания и время нарастания измерительной системы, сужая полосу и затягивая фронты.

Влияние емкостной нагрузки можно свести к минимуму, выбрав пробник с малой входной емкостью. В следующей таблице приведены некоторые типовые значения входной емкости разных пробников.

**Таблица 1.1.**  
**ВХОДНАЯ ЕМКОСТЬ ПРОБНИКОВ**

Пробник	Коэффициент деления	R	C
P6101B	1X	1 МОм	100 пФ
P6109B	10X	10 МОм	13 пФ
P6139A	10X	10 МОм	8 пФ
P6243	10X	1 МОм	≤1 пФ

Поскольку линия «земли» пробника представляет собой обычный провод, она обладает некоторой распределенной индуктивностью (см. рис. 1.9). Эта индуктивность взаимодействует с емкостью пробника и порождает «звон» на некоторой частоте, определяемой значениями L и C. Этот «звон» неизбежен и выглядит, как наложенная на импульсы затухающая синусоида. Влияние звона можно снизить, сконструировав заземление пробника так, чтобы частота звона лежала за пределами полосы пропускания системы пробник/осциллограф.

Во избежание проблем, связанных с линией «земли», всегда используйте самый короткий из прилагаемых к пробнику проводников «земли». Применение вместо него других проводников может привести к появлению звона на измеряемых импульсах.

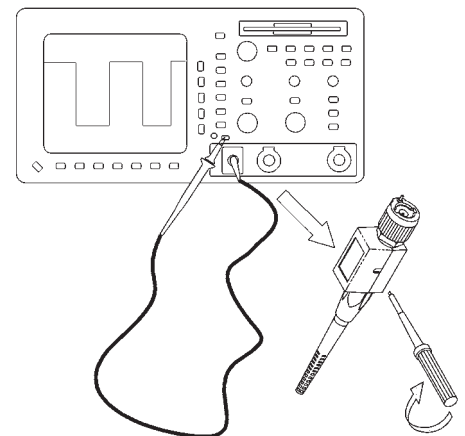
### ПРОБНИКИ И ДАТЧИКИ

Работая с осциллографическими пробниками, важно не забывать, что, в

сущности, они являются датчиками. Большинство осциллографических пробников представляют собой датчики напряжения. То есть, они регистрируют напряжение сигнала и передают это напряжение на вход осциллографа. Однако существуют пробники, которые позволяют регистрировать и другие физические величины.

Например, для регистрации тока, протекающего через проводник, используются токовые пробники. Такой пробник преобразует ток в соответствующий сигнал напряжения и подает его на вход осциллографа. Аналогичным образом, оптические пробники регистрируют яркость света и преобразуют ее в сигнал напряжения для измерения осциллографом.

Кроме того, пробники напряжения могут использоваться с множеством других датчиков или преобразователей для измерения различных физических величин. Например, датчик вибрации позволяет наблюдать на экране осциллографа вибрацию станков. Возможности здесь ограничены лишь наличием на рынке тех или иных датчиков.



**Рис. 1.10.** Компенсация пробника осуществляется регулировкой либо в головке, либо в компенсаторе, подключаемом к входу осциллографа

Но во всех случаях комбинацию преобразователя, пробника и осциллографа следует рассматривать, как единую измерительную систему. И более того, рассмотренные выше особенности пробников распространяются и на преобразователи. Преобразователи тоже имеют ограниченную полосу пропускания и могут воздействовать на исследуемый объект.

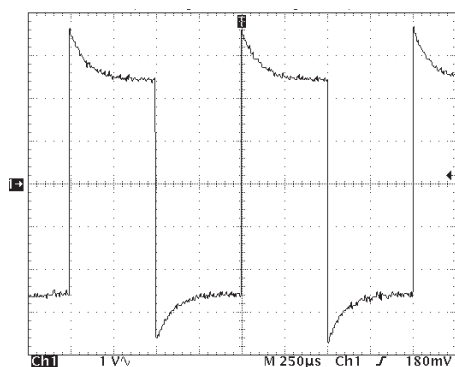
### СОВЕТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОБНИКОВ

Правильный выбор пробника, совместимого с вашим осциллографом и соответствующего намеченному приложению, позволяет корректно выполнять необходимые измерения. Но кроме этого, корректность измерений и достоверность результатов зависят также и от способа применения этих инструментов. Приведенные здесь советы помогут избежать некоторых наиболее распространенных ошибок.

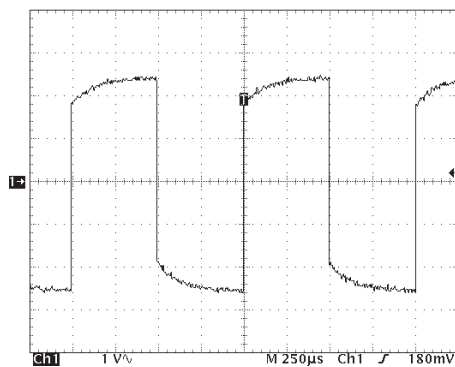
Конструкция большинства пробников рассчитана на подключение к определенным моделям осциллографов. Тем не менее, существуют некоторые отличия разных осциллографов одной и той же модели, и даже разных входных каналов одного осциллографа. Для решения этой проблемы многие пробники, особенно пробники с делителем (10X и 100X) оборудованы встроенным компенсатором.

Если пробник оборудован компенсатором, нужно настроить его так, чтобы пробник был согласован с используемым каналом осциллографа. Для этого необходимо выполнить следующую процедуру:

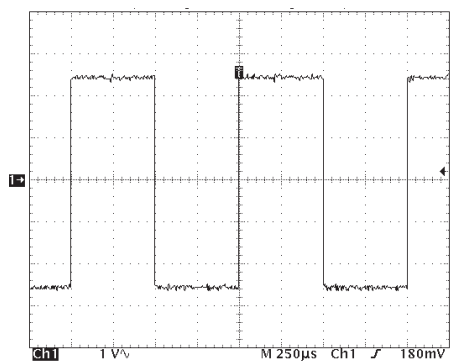
1. Подключить пробник к осциллографу.
2. Подключить наконечник пробника к выходу калибровочного сигнала на лицевой панели осциллографа (см. рис. 1.10).
3. С помощью прилагаемого к пробнику



Избыточная компенсация



Недостаточная компенсация



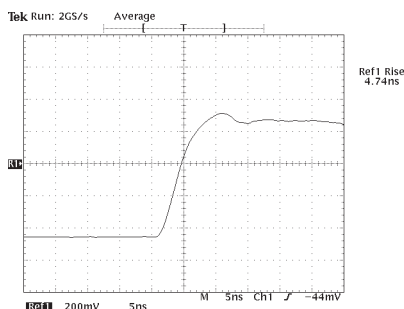
Нормальная компенсация

Рис. 1.11. Примеры влияния компенсации пробника на форму меандра

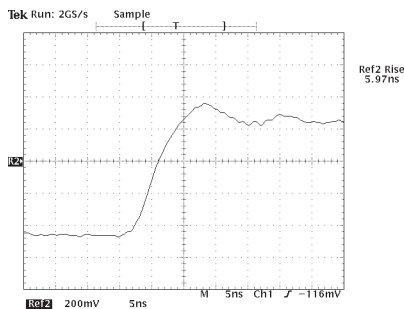
ку специального инструмента или другого подходящего немагнитного инструмента настройте компенсатор так, чтобы калибровочный сигнал имел плоскую вершину без выбросов или закруглений (см. рис. 1.11).

4. Если осциллограф имеет встроенную процедуру калибровки, запустите эту процедуру для достижения максимальной точности.

Некомпенсированный пробник может порождать различные погрешно-

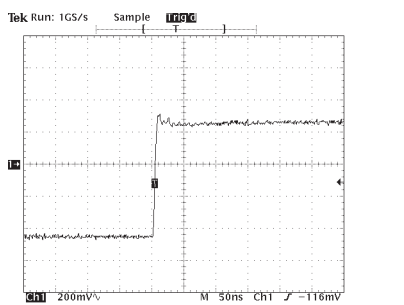


Непосредственный контакт пробника с контрольной точкой

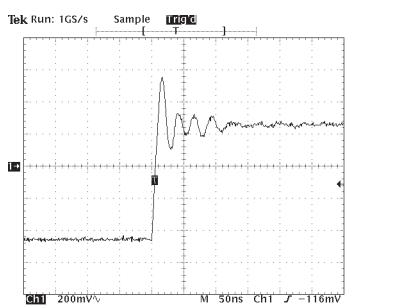


Пробник подключен через провод длиной 50 мм

Рис. 1.12. Даже короткий провод, припаянный к контрольной точке, может исказить форму сигнала. В данном случае длительность фронта изменилась с 4,74 до 5,67 нс



Проводник «земли» длиной 165 мм



Проводник «земли» удлиннен на 700 мм

Рис. 1.13. Удлинение проводника «земли» пробника может стать причиной звона

сти, особенно при измерении длительности фронтов и спадов импульсов. Во избежание таких погрешностей всегда выполняйте компенсацию пробника сразу после подключения его к осциллографу и периодически проверяйте качество компенсации.

Кроме того, рекомендуется проверять компенсацию после замены накопленного пробника.

Наконец, конструкция которого соответствует типу контакта контрольной точки, обеспечивает быстрое, удобное, электрически воспроизводимое и стабильное подключение пробника. К сожалению, довольно часто приходится наблюдать припаянный к исследуемой цепи кусок провода, который используется вместо соответствующего наконечника.

Проблема в том, что даже короткий провод может существенно изменить входное сопротивление на высоких частотах. Влияние такого провода показано на рис. 1.12, где измерение выполнялось при непосредственном подключении наконечника пробника к контрольной точке, а затем через короткий кусок провода, включенный между контрольной точкой и наконечником.

При измерении характеристик или диагностике неисправностей больших плат или устройств возникает соблазн удлинить проводник «земли» пробника. Удлиненный проводник «земли» позволяет присоединить его в одном месте и свободно перемещать пробник, подключаясь к разным контрольным точкам по всей плате. Однако дополнительная индуктивность длинного провода может вызывать «звон» сигналов с крутыми фронтами. Это явление показано на рис. 1.13, где измерения выполнялись с проводником «земли» стандартной длины, а затем с удлиненным проводником «земли».

(Продолжение следует)

*Probes are vital to oscilloscope measurements. To understand how vital, disconnect the probes from an oscilloscope and try to make a measurement. It can't be done. There has to be some kind of electrical connection, a probe of some sort between the signal to be measured and the oscilloscope's input channel. In addition to being vital to oscilloscope measurements, probes are also critical to measurement quality. In this article you'll learn what contributes to the strengths and weaknesses of probes and how to select the right probe for your application.*