

ПРОБНИКИ ОТ А ДО Я ABCS OF PROBES

По материалам компании Tektronix (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.

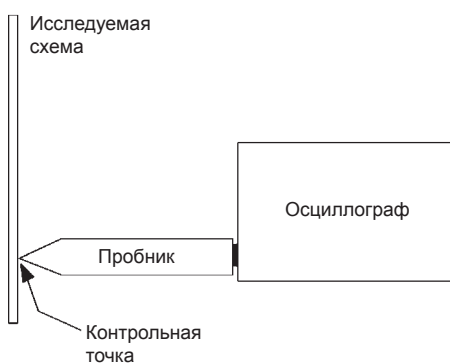


Рис. 1.1. Пробник — это устройство, обеспечивающее электрическое соединение контрольной точки с входным каналом осциллографа

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-

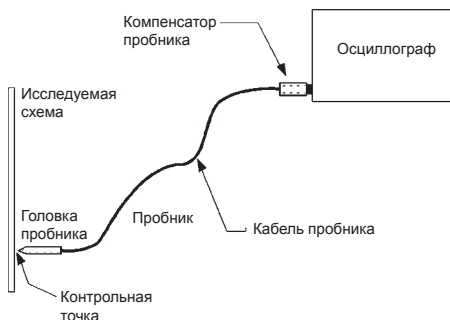


Рис. 1.2. Большинство пробников состоит из головки, кабеля и компенсатора или другой схемы формирования сигнала

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:

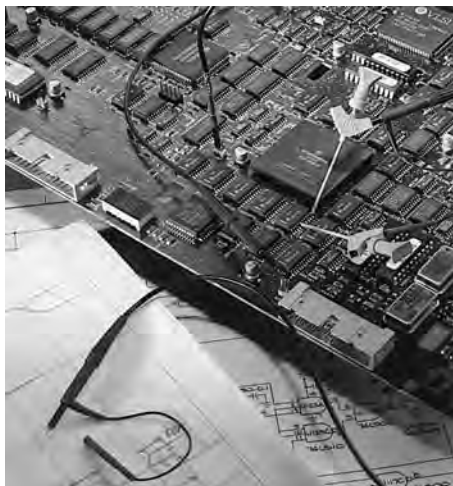
- простое и удобное подключение;
- абсолютно достоверная передача сигнала;
- нулевая нагрузка на источник сигнала;
- полная невосприимчивость к шумам.

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.

Во-первых, 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).

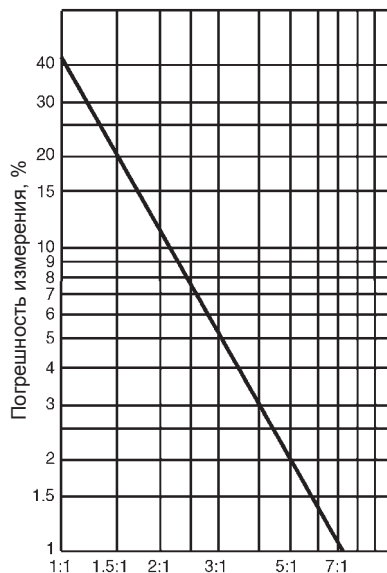


Рис. 1.5. Пробники и осциллографы рассчитаны на выполнение измерений с определенными характеристиками в рабочей полосе пропускания. На частотах, лежащих за пределами полосы по уровню 3 дБ, амплитуда сигнала начинает падать, и результаты измерения могут быть непредсказуемыми

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

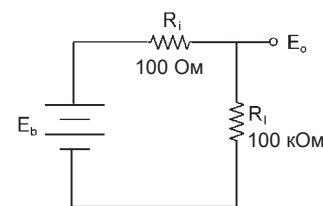
Все пробники имеют верхний предел входного напряжения, который нельзя превышать. Для пассивных

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.

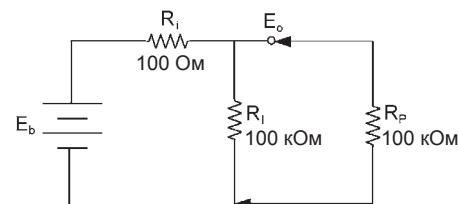
Помимо соображений безопасности имеются также и практические соображения, касающиеся динамического диапазона измерений. Все осциллографы имеют свои диапазоны чувствительности по амплитуде. Например, типичный диапазон чувствительности простирается от 1 мВ до 10 В на деление. На дисплее с восемью делениями 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:

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

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:

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

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.

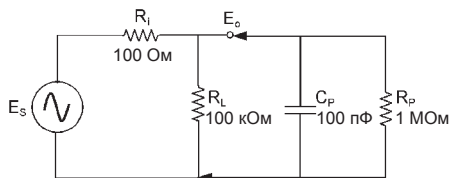


Рис. 1.8. Для сигналов переменного тока основную нагрузку создает емкость пробника (C_p). С ростом частоты сигнала емкостное сопротивление (X_c) снижается, в результате чего через конденсатор начинает протекать больший ток

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.

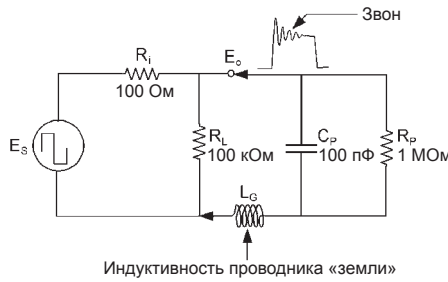


Рис. 1.9. Проводник «земли» пробника увеличивает индуктивность цепи. Чем длиннее проводник «земли», тем больше индуктивность и тем выше вероятность возникновения звона на импульсах с крутыми фронтами

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.

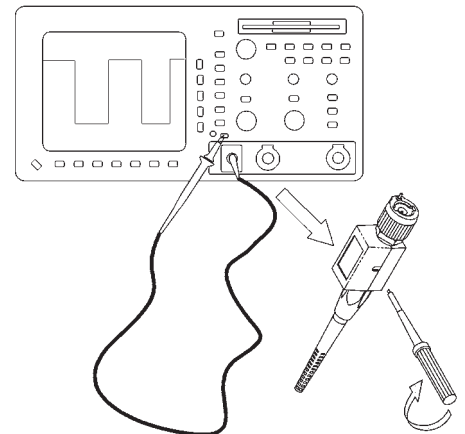


Рис. 1.10. Компенсация пробника осуществляется регулировкой либо в головке, либо в компенсаторе, подключаемом к входу осциллографа

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.

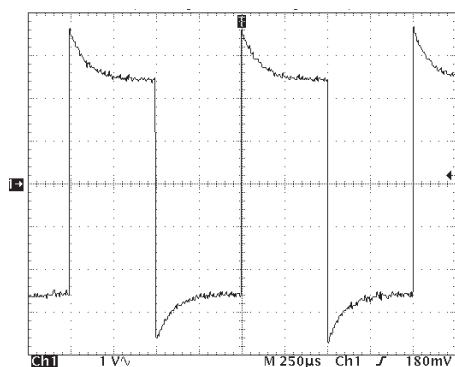
СОВЕТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОБНИКОВ

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.

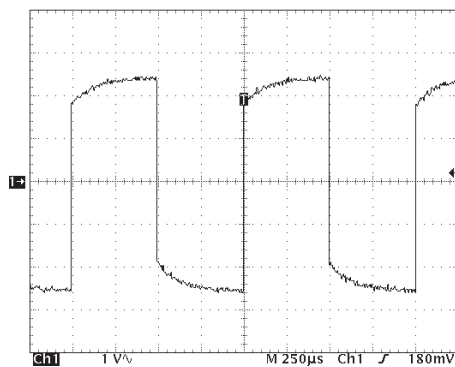
Конструкция большинства пробников рассчитана на подключение к определенным моделям осциллографов. Тем не менее, существуют некоторые отличия разных осциллографов одной и той же модели, и даже разных входных каналов одного осциллографа. Для решения этой проблемы многие пробники, особенно пробники с делителем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

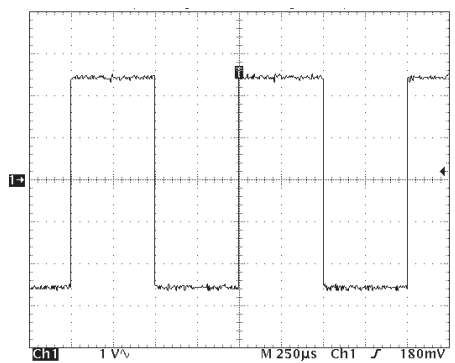
1. Подключить пробник к осциллографу.
2. Подключить наконечник пробника к выходу калибровочного сигнала на лицевой панели осциллографа (см. рис. 1.10).
3. С помощью прилагаемого к пробнику



Избыточная компенсация



Недостаточная компенсация



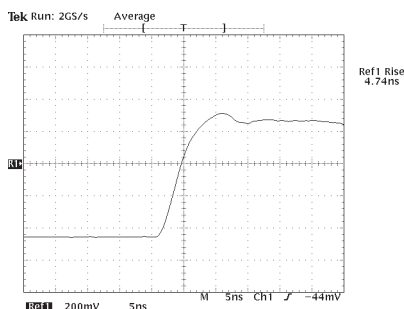
Нормальная компенсация

Рис. 1.11. Примеры влияния компенсации пробника на форму меандра

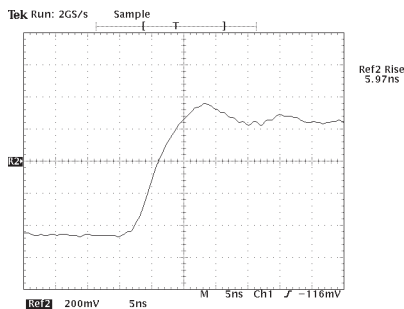
ку специального инструмента или другого подходящего немагнитного инструмента настройте компенсатор так, чтобы калибровочный сигнал имел плоскую вершину без выбросов или закруглений (см. рис. 1.11).

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

Некомпенсированный пробник может порождать различные погрешно-

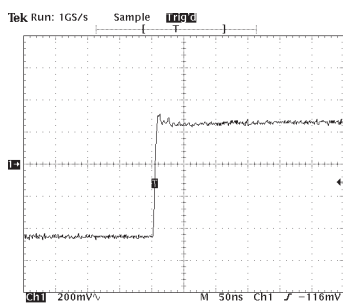


Непосредственный контакт пробника с контрольной точкой

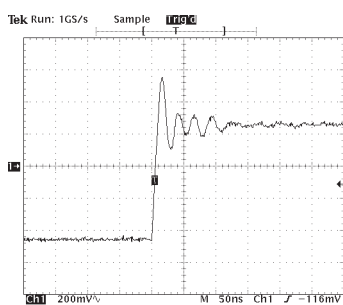


Пробник подключен через провод длиной 50 мм

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.

ПРОБНИКИ ОТ А ДО Я ABCS OF PROBES

По материалам компании Tektronix (www.tektronix.ru)

(Продолжение, начало см. № 5-2013)

РАЗНЫЕ ПРОБНИКИ ДЛЯ РАЗНЫХ ЗАДАЧ

Сегодня на рынке имеются сотни, а может даже и тысячи осциллографических пробников.

Действительно ли нужен такой широкий выбор? Правильный ответ — ДА, и в этой главе вы узнаете, почему.



Стандартные пробники с разъемом BNC. Пробники с обычным разъемом BNC подключаются практически к любому осциллографу Tektronix. Недорогие пассивные пробники обычно оборудованы простым разъемом BNC



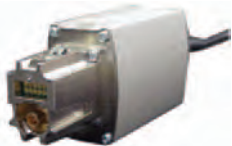
Пробники BNC TekProbe™ уровня 1. Пробники с разъемом BNC TekProbe уровня 1 передают в осциллограф информацию об ослаблении аттенюатора, так что осциллограф может корректно выводить значения амплитуды



Пробники BNC TekProbe™ уровня 2. Пробники с разъемом BNC TekProbe уровня 2 передают ту же информацию, что и пробники уровня 1, но, кроме этого, подают питание для целого ряда активных электронных пробников



Пробники TekVPI®. Пробники TekVPI предлагают функции управления питанием и дистанционное управление. Пробники TekVPI идеально подходят для приложений, где необходимо управление с компьютера



Пробники TekConnect®. Пробники с интерфейсом TekConnect поддерживают предлагаемые компанией Tektronix активные пробники с самой широкой полосой пропускания. Интерфейс TekConnect рассчитан на подключение пробников с полосой >20 ГГц

Рис. 2.1. Подключение пробников к осциллографу

Понимание данного вопроса позволяет подготовиться к выбору пробника в соответствии с характеристиками осциллографа и выполняемыми измерениями. Правильный выбор пробника расширяет возможности и улучшает качество измерения.

ЗАЧЕМ ТАК МНОГО ПРОБНИКОВ?

Широкий выбор моделей осциллографов и разнообразие их возможностей является одной из основных причин разнообразия пробников. Разным осциллографам нужны разные пробники. Например, осциллографу с полосой пропускания 400 МГц нужны пробники, поддерживающие полосу 400 МГц.

В то же время, такие пробники будут избыточными по характеристикам и по стоимости для осциллографа с полосой пропускания 100 МГц. Для такого осциллографа лучше использовать пробники с полосой 100 МГц.

В общем случае, пробники нужно выбирать в соответствии с полосой пропускания осциллографа. Если это не удается, то нужно искать пробник с более широкой полосой.

Впрочем, полоса — это только начало. У осциллографов могут быть разные входные разъемы и разный входной импеданс. Например, большинство осциллографов оснащено простыми разъемами BNC. В некоторых осциллографах могут использоваться разъемы SMA. Но могут применяться и специальные разъемы, как показано на рис. 2.1, для учета ослабления аттенюатора в результатах измерений, для идентификации осциллограммы, питания пробника и других специальных функций.

Таким образом, при выборе пробника нужно учитывать его совместимость с входным разъемом осциллографа. Совместимость может быть прямой или через соответствующий адаптер.

Учет ослабления аттенюатора в результатах измерений особенно важен для обеспечения совместимости пробника/осциллографа. При поочередном подключении к осциллографу пробников 1X и 10X вертикальная шкала осциллографа должна соответствовать этому изменению. Например, если при подключенном пробнике 1X чувствительность по вертикали осциллографа равна 1 В/дел (один вольт на деление) и вы меняете пробник на 10X, то чувствительность по вертикали должна измениться в 10 раз и стать равной 10 В/дел. Если такая замена пробника с 1X на 10X не будет учитываться осциллографом, измеренные значения амплитуды при использовании пробника 10X будут в 10 раз меньше реальной величины.

Некоторые универсальные пробники могут не поддерживать учета ослабления аттенюатора для всех осциллографов. В результате, при использовании таких универсальных пробников, вместо пробников, специально рекомендованных изготовителем осциллографа, нужно соблюдать предельную осторожность.

Кроме полосы пропускания и отличия разъемов разные осциллографы могут обладать разным входным сопротивлением и емкостью. Обычно входное сопротивление осциллографа равно 50 Ом или 1 МОм. Однако входная емкость, в зависимости от полосы пропускания и других конструктивных особенностей, может сильно отличаться. Для правильной передачи сигнала важно, чтобы сопротивление и емкость пробника соответствовали входному сопротивлению и емкости осциллографа. Например, 50-омные пробники нужно подключать к входам осциллографа с сопротивлением 50 Ом. Аналогичным образом, пробники с сопротивлением 1 МОм нужно использовать с осциллографами с входным сопротивлением 1 МОм.

Исключением из этого правила являются пробники с аттенюатором. Например, пробник 10X, предназначенный для подключения к входу осциллографа 50 Ом, будет иметь входное сопротивление 500 Ом, а пробник 10X для входа осциллографа 1 МОм будет иметь входное сопротивление 10 МОм. Пробники с аттенюатором, такие как 10X, называют также пробниками с делителем или с умножителем. Эти пробники умножают измерительный диапазон осциллографа в соответствии с коэффициентом деления входного сигнала.

Кроме согласования сопротивления нужно обеспечить согласование емкости пробника с входной емкостью осциллографа. Зачастую такое согласование выполняется путем подстройки компенсатора пробника. Впрочем, это возможно лишь в том случае, если номинальная входная емкость осциллографа лежит в пределах диапазона компенсации пробника. Поэтому часто встречаются пробники с разными диапазонами компенсации, соответствующие требованиям разных осциллографов.

Изготовители осциллографов существенно упростили проблему согласования пробника с осциллографом. Они стараются разрабатывать пробники и осциллографы, как единую систему. В результате лучшее согласование пробников с осциллографами всегда достигается при использовании стандартного пробника, указанного изготовителем осциллографа. Применение любых других пробников, кроме указанных изгото-

товителем, может привести к далеко не оптимальным результатам.

Одно лишь требование согласования пробника с осциллографом порождает широкий ассортимент пробников на современном рынке. И к ним добавляются еще и пробники, предназначенные для выполнения всевозможных специальных измерений. Самым распространенным различием является различие диапазонов измеряемого напряжения. Для измерения милливольт, вольт и киловольт обычно требуются пробники с разными коэффициентами деления (1X, 10X, 100X).

Кроме того, во многих случаях приходится измерять дифференциальное напряжение. В этом случае сигнал присутствует между двумя точками или двумя проводниками, ни один из которых не контактирует с «землей» или общим проводником (см. рис. 2.2). Такие дифференциальные сигналы широко используются в схемах обработки голосового сигнала телефонов, в каналах считывания дисковых накопителей и в многофазных цепях питания. Для измерения таких сигналов нужны специальные пробники, которые называются дифференциальными.

Существует также много случаев, особенно при измерении цепей питания, когда ток имеет не менее важное значение, и даже большее значение, чем напряжение. В таких случаях лучше подходит специальный класс пробников, которые предназначены для регистрации тока, а не напряжения.

Токовые и дифференциальные пробники представляют два специальных класса пробников среди многих других имеющихся типов. Оставшаяся часть этой главы посвящена некоторым более распространенным типам пробников и их особым преимуществам.

РАЗНЫЕ ТИПЫ ПРОБНИКОВ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА

Прежде чем приступить к обсуждению разных, широко распространенных типов пробников, важно понять,

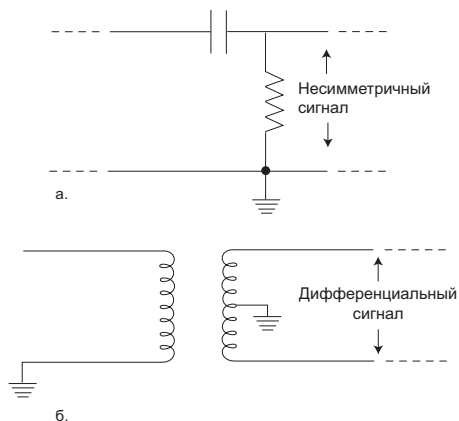


Рис. 2.2. Несимметричные сигналы передаются по одной линии относительно «земли» (а), тогда как дифференциальные сигналы передаются по двум сигнальным линиям и представляют собой противофазный сигнал (б)

что эти типы зачастую пересекаются. Некоторые пробники напряжения регистрируют исключительно напряжение, но при этом пробники напряжения могут быть пассивными или активными. Аналогичным образом, дифференциальные пробники тоже могут быть активными или пассивными. Там где это уместно, мы будем обращать внимание на такое пересечение типов.

ПАССИВНЫЕ ПРОБНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ

Пассивные пробники состоят из кабелей и разъемов и, если это нужно для компенсации или деления, из резисторов и конденсаторов. В них нет активных компонентов — транзисторов или интегральных схем — и поэтому они не нуждаются в питании.

Благодаря относительной простоте, пассивные пробники обычно являются самыми надежными и недорогими. Они просты в обращении и относятся к самому распространенному типу пробников.

Пассивные пробники напряжения выпускаются с разными коэффициентами деления — 1X, 10X и 100X — и рассчитаны на различные напряжения. Из пробников этого типа наиболее широкое применение находит пассивный пробник напряжения 10X, и именно такие пробники обычно входят в стандартный комплект поставки осциллографов.

Для приложений, где измеряются напряжения менее одного вольта двойного размаха, лучше подходят, или даже необходимы пробники 1X. Если в схеме присутствуют разные сигналы малой и средней амплитуды (от десятков милливольт до десятков вольт), то очень удобно использовать переключаемые пробники 1X/10X. Впрочем, не следует забывать, что переключаемый пробник 1X/10X, это, в сущности, два пробника в одном. Они не только отличаются по коэффициенту ослабления, но и по полосе пропускания, времени нарастания и по импедансу (R и C). В результате эти пробники могут быть неточно согласованы со входом осциллографа и поэтому не будут обеспечивать оптимальные характеристики, присущие стандартным пробникам 10X.

Большинство пассивных пробников предназначено для работы с осциллографами общего назначения. Поэтому обычно верхняя граница их полосы пропускания лежит в пределах от менее чем 100 МГц до 500 МГц и более.

Тем не менее, существует специальная категория пассивных пробников, обладающих значительно большей полосой. Их могут называть 50-омными пробниками, пробниками Zo или пробниками с делителем напряжения. Эти пробники предназначены для работы с цепями, имеющими входное сопротивление 50 Ом, что типично для высокоскоростных цифровых устройств, СВЧ связи и динамической рефлектометрии (TDR). Типичный пробник с входным сопротивлением 50 Ом для таких при-

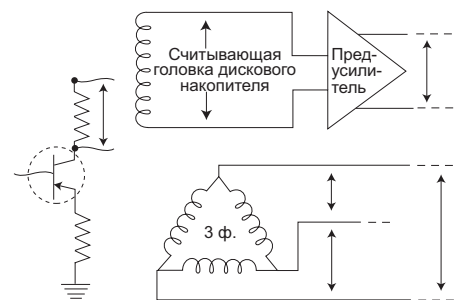


Рис. 2.3. Некоторые примеры дифференциальных сигналов

ложений обладает полосой пропускания в несколько ГГц и временем нарастания 100 пс или меньше.

АКТИВНЫЕ ПРОБНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ

Активные пробники содержат схему с активными компонентами, такими как транзисторы. В большинстве случаев в качестве активных компонентов используются полевые транзисторы.

Преимуществом полевого транзистора является очень малая входная емкость, обычно порядка нескольких пФ, а в некоторых случаях даже меньше 1 пФ. Такая сверхмалая емкость полезна по нескольким причинам.

Во-первых, вспомните, что малое значение емкости означает высокое значение реактивного сопротивления Xc. Это следует из формулы для Xc:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Поскольку емкость оказывает решающее влияние на входной импеданс пробника, малое значение C приводит к росту входного импеданса в широком диапазоне частот. В результате активные пробники с полевыми транзисторами обычно имеют полосу пропускания от 500 МГц до нескольких ГГц.

Помимо широкой полосы высокий входной импеданс активных пробников с полевыми транзистором на входе позволяет подключаться к контрольным точкам с неизвестным импедансом, значительно снижая риск влияния нагрузки. Кроме того, такие пробники позволяют использовать более длинные проводники «земли», поскольку малое значение емкости снижает влияние проводников «земли». Но самым важным является то, что проб-

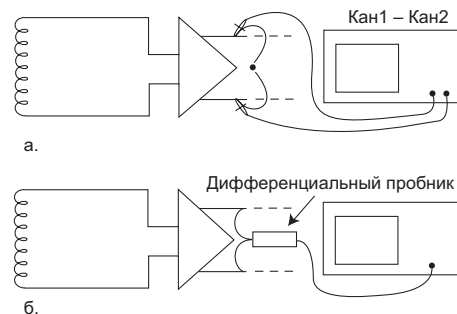


Рис. 2.4. Дифференциальные сигналы можно измерять с помощью преобразователя и функции сложения сигналов двухканального осциллографа (а), или, что предпочтительней, с помощью дифференциального пробника (б)

ники с полевым транзистором создают существенно меньшую нагрузку на измеряемую цепь и могут использоваться для измерения высокоомных цепей, на которые пассивные пробники оказали бы очень сильное влияние.

С учетом всех этих преимуществ, включая полосу пропускания от постоянного тока до нескольких ГГц, можно подумать: зачем вообще нужны пассивные пробники?

Ответ заключается в том, что активные пробники с полевым транзистором уступают пассивным пробникам по диапазону входного напряжения. Линейный динамический диапазон активного пробника обычно лежит в пределах от $\pm 0,6$ до ± 10 В. Кроме того, максимальное напряжение, которое они способны выдерживать, может равняться всего ± 40 В (постоянное + пиковое переменное). Другими словами, эти пробники не могут измерять напряжения в диапазоне от нескольких милливольт до десятков вольт, как это делают пассивные пробники. Кроме того, активные пробники могут выйти из строя при случайной подаче на них высокого напряжения или в случае электростатического разряда.

И все же, широкая полоса пробников с полевым транзистором является очень важным преимуществом, и их линейный диапазон по напряжению перекрывает рабочий диапазон многих схем на полупроводниковых приборах. Поэтому активные пробники с полевым транзистором часто применяются для измерения малых сигналов, включая семейства высокоскоростной логики, такие как ЭСЛ, GaAs и т. п.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРОБНИКИ

Дифференциальными сигналами называются сигналы, измеряемые друг относительно друга, а не относительно «земли». Некоторые примеры таких сигналов показаны на рис. 2.3. Они включают сигнал на резисторе в цепи коллектора транзистора, сигнал считывающей головки дискового накопителя, сигналы в многофазных системах питания и многие другие схемы, где сигналы не имеют непосредственной связи с «землей».

Подавать дифференциальные сигналы на измерительный прибор можно двумя основными способами. Оба они показаны на рис. 2.4.

Часто для измерения дифференциальных сигналов используют два пробника, выполняющих два несимметричных измерения, как показано на рис. 2.4а. Впрочем, это самый нежелательный способ выполнения дифференциальных измерений. Тем не менее, этот метод получил широкое распространение, поскольку двухканальные осциллографы поставляются с двумя пробниками. Измерение обоих сигналов относительно «земли» (несимметричное измерение) и применение математической функции осциллографа для вычитания одного сигнала из другого (сигнал канала А минус сигнал канала В)

выглядит элегантным решением для получения дифференциального сигнала. И оно вполне приемлемо в ситуациях, когда сигналы имеют невысокую частоту и достаточную амплитуду, позволяющую пренебречь шумами.

Однако комбинация двух несимметричных измерений может порождать некоторые проблемы. Одна из них заключается в том, что в этом случае присутствуют два длинных отдельных тракта прохождения сигнала через разные пробники и разные каналы осциллографа. Любая разница в задержке между этими трактами приводит к сдвигу двух сигналов по времени. Для высокоскоростных сигналов такой сдвиг может вызвать значительные амплитудные и фазовые искажения рассчитанного отображаемого сигнала по сравнению с реальным дифференциальным сигналом. Для минимизации этого эффекта следует использовать согласованные пробники.

Другая проблема двух несимметричных измерений заключается в том, что они не обеспечивают достаточного подавления синфазного шума. Многие низкочастотные сигналы, такие как сигналы головок дискового накопителя, передаются и обрабатываются в дифференциальном виде, чтобы использовать преимущества подавления синфазных шумов. Синфазным шумом называется шум, который наводится на обе сигнальные линии от таких источников, как генераторы тактовой частоты или люминесцентные лампы. В дифференциальных системах такой синфазный шум вычитается из дифференциального сигнала при обработке. Эффективность снижения синфазного шума оценивается параметром, получившим название коэффициента подавления синфазного сигнала (CMRR).

Из-за отличия каналов при несимметричных измерениях CMRR быстро ухудшается с ростом частоты. Это приводит к тому, что сигнал выглядит более зашумленным, чем он мог бы быть, если бы сохранялось высокое значение коэффициента подавления синфазного сигнала.

В отличие от этого дифференциальный пробник использует для вычитания сигналов дифференциальный усилитель, который создает один результирующий сигнал для измерения одним каналом осциллографа (рис. 2.4б).

Это позволяет получить существенно больший CMRR в широком диапазоне частот. Кроме того, применение современных миниатюрных компонентов дает возможность разместить дифференциальный усилитель прямо в головке пробника. При этом новые дифференциальные пробники способны выполнять измерения в полосе 1 ГГц с CMRR от 60 дБ (1000:1) на частоте 1 МГц до 30 дБ (32:1) на частоте 1 ГГц. Такое сочетание полосы пропускания и CMRR становится все более необходимым по мере того, как скорость считывания/записи дисковых накопителей достигает и превосходит отметку 100 Мбит/с.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРОБНИКИ

Понятие «высокое напряжение» весьма относительно. То, что называется высоким напряжением для полупроводниковых приборов, считается практически отсутствием напряжения в электроэнергетике. Однако с точки зрения пробников, высокое напряжение можно определить, как любое напряжение, значение которого превышает предельно допустимые значения для типового пассивного пробника 10X общего назначения.



Рис.2.5. Высоковольтные пробники могут измерять постоянные напряжения до 20 кВ и импульсы до 40 кВ в полосе 75 МГц

Обычно максимальное рабочее напряжение пассивных пробников общего назначения достигает 400-500 В (постоянное + пиковое переменное). В отличие от этого, максимальное напряжение высоковольтных пробников может достигать 20 000 В. Образцы таких пробников показаны на рис. 2.5.

При измерениях с помощью высоковольтных пробников особо важную роль играет безопасность. В связи с этим многие высоковольтные пробники имеют кабель большей длины по сравнению с обычными пробниками. Типичная длина кабеля равна трем метрам. Это делается для того, чтобы можно было расположить осциллограф за пределами защитного ограждения или за защитным экраном. Имеются также опциональные 7,5-метровые кабели для тех случаев, когда осциллограф нужно удалить еще дальше от источника высокого напряжения.

(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.

ПРОБНИКИ ОТ А ДО Я ABCS OF PROBES

По материалам компании Tektronix (www.tektronix.ru)

(Продолжение, начало см. № 5, 6-2013)

ТОКОВЫЕ ПРОБНИКИ

Ток, протекающий через проводник, порождает вокруг него магнитное поле. Токковые датчики регистрируют напряженность этого поля и преобразуют ее в соответствующее напряжение, которое можно измерять осциллографом. Это позволяет наблюдать и анализировать сигналы тока с помощью осциллографа. Кроме того, в совокупности с присущими осциллографу функциями измерения напряжения, токовые пробники позволяют выполнять всевозможные измерения мощности. В зависимости от математических возможностей осциллографа, эти измерения могут включать измерения мгновенной мощности, активной мощности, кажущейся мощности и фазы.

Существует два основных типа то-

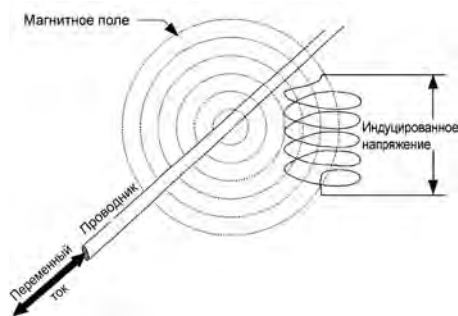


Рис. 2.6. В любой катушке индуктивности, помещенной в переменное магнитное поле, которое возникает вокруг проводника с переменным током, индуцируется переменное напряжение

ковых пробников для осциллографов. Пробники переменного тока, которые обычно являются пассивными, и пробники переменного/постоянного тока, которые обычно являются активными. Оба типа пробников используют общий принцип преобразования для измерения переменного тока в проводнике.

Чтобы пробник мог работать, по проводнику должен протекать переменный ток. Этот переменный ток создает вокруг проводника переменное магнитное поле, колебания которого соответствуют амплитуде и направлению тока, протекающего в проводнике. Если в это поле поместить катушку индуктивности, как показано на рис. 2.6, то изменения поля индуцируют напряжение в катушке, подобно тому, как это происходит в трансформаторе.

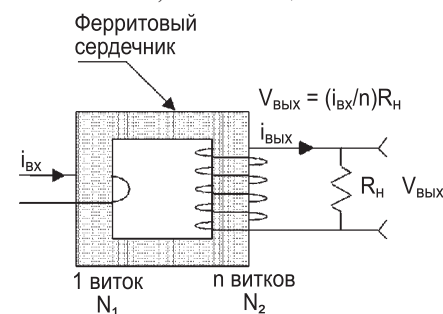
Такая схема лежит в основе всех пробников переменного тока. В сущности, головка пробника переменного тока представляет собой катушку индуктивности, намотанную на магнитном сердечнике. Если такая головка расположена в опреде-

ленном положении и на определенном расстоянии от проводника с переменным током, на выходе пробника появляется напряжение, пропорциональное току, протекающему в проводнике. Это связанное с током напряжение может отображаться на экране осциллографа.

Полоса пропускания пробника переменного тока определяется конструкцией катушки индуктивности и другими факторами. Полоса таких пробников может достигать нескольких ГГц. Однако более распространены пробники с полосой пропускания не более 100 МГц.

В любом случае полоса пропускания пробника переменного тока имеет ограничение снизу. Это касается и постоянного тока, поскольку постоянный ток не порождает изменяющегося магнитного поля и, следовательно, не может индуцировать напряжение в катушке пробника. Кроме того, на частотах очень близких к постоянному току, например, на частоте 0,01 Гц, магнитное поле меняется недостаточно быстро для создания приемлемого напряжения. В итоге нижняя частота пробника соответствует точке, в которой на выходе пробника начинает генерироваться приемлемое для измерения напряжение. В зависимости от конструкции пробника нижняя частота может лежать в диапазоне от 0,5 Гц до 1,2 кГц.

Для измерения постоянного тока в пробниках может использоваться датчик Холла. В результате получается пробник переменного/постоянного тока с полосой, начинающейся от посто-



Уравнения трансформатора

Напряжение, v : $v_2/v_1 = N_2/N_1$

Ток, i : $i_2/i_1 = N_1/N_2$

Импеданс, Z : $Z_1 = (N_1/N_2)^2 Z_2$

Мощность, P : $P_2 = P_1$

Рис. 2.7. В соответствии с принципом работы трансформатора переменного тока, один виток токоведущего проводника (N_1) индуцирует ток в обмотке пробника (N_2), порождая пропорциональное току напряжение на нагрузочном резисторе пробника (R_H)

янного тока и простирающейся до указанной верхней частоты, измеряемой по уровню 3 дБ. Пробнику такого типа необходим, как минимум, источник питания для подачи смещения на датчик Холла. В зависимости от конструкции пробника, для объединения и масштабирования сигналов переменного и постоянного тока, токовому пробнику может понадобиться усилитель, который обеспечивает единый выходной сигнал для отображения на осциллографе.



Рис. 2.8. Пример пробника переменного тока с разъемным сердечником. Для увеличения чувствительности пробника в n раз нужно намотать на сердечник n витков проводника

Важно помнить, что токовый пробник работает подобно трансформатору. Эта концепция иллюстрируется рис. 2.7, на котором приведены базовые уравнения трансформатора. В стандартном режиме работы проводника с измеряемым током представляет собой обмотку, состоящую из одного витка (N_1). Ток этого витка преобразуется в выходное напряжение многовитковой обмотки пробника (N_2), пропорционально отношению числа витков (N_2/N_1). В то же время импеданс пробника оказывает обратное воздействие на проводник в виде последовательно включенной цепи. Этот внесенный импеданс зависит от частоты и в зависимости от конструкции пробника лежит в диапазоне от 30 до 500 мОм в пределах полосы 1 МГц. В большинстве случаев малый внесенный импеданс токового пробника создает пренебрежимо малую нагрузку.

Согласно уравнению трансформатора, чувствительность пробника можно повысить, пропустив проводник через пробник несколько раз, как показано на рис. 2.8. Два витка удваивают чувствительность, а три витка утраивают ее. Однако при этом растет и внесенный импеданс, причем пропорционально квадрату от числа витков.

Кроме того, рис. 2.8 иллюстрирует определенный класс пробников, которые называют пробниками с разъемным сердечником. Обмотка такого пробника намотана на U-образный сердечник, который дополняется подвижной феррито-

вой частью, замыкающей верхнюю часть U-образной формы. Преимущество такого пробника заключается в том, что подвижную часть сердечника можно откинуть, и легко надеть пробник на проводник, ток которого предстоит измерить. По завершении измерения подвижная часть снова откидывается, и пробник можно переставить на другой проводник.

Выпускаются также пробники с неразъемным сердечником трансформатора тока. Такие трансформаторы нельзя надеть на измеряемый проводник. Поэтому перед измерением проводник нужно отсоединить, продеть его в трансформатор и снова присоединить к цепи. Основным преимуществом пробников с неразъемным сердечником является их небольшой размер и очень хорошая частотная характеристика, позволяющая измерять импульсы тока с крутыми фронтами и малой амплитудой, а также переменный ток в широком диапазоне частот.

Наибольшее распространение получили токовые пробники с разъемным сердечником. Они выпускаются как для переменного, так и для переменного/постоянного тока и имеют разную чувствительность.

Величина, характеризующая максимальный предел работы любого токового пробника в линейном режиме, имеет размерность [А·с]. Эта величина определяется как произведение средней амплитуды импульса тока на длительность этого импульса. При превышении этого произведения сердечник входит в режим насыщения. Поскольку насыщенный сердечник не может пропустить большее магнитное поле, пропорциональность между входным током и выходным напряжением нарушается. В результате, в областях, где превышает произведение «А·с», пиковые значения сигнала отсекаются.

Кроме того, насыщение сердечника может быть вызвано высоким уровнем постоянного тока в измеряемом проводнике. Для предотвращения насыщения сердечника и эффективного расширения диапазона измеряемого тока некоторые активные токовые пробники могут подавать компенсирующий ток. Компенсирующий ток устанавливается путем измерения тока в исследуемом проводнике с последующей подачей в пробник равного по величине, но противоположного по направлению тока. Поскольку токи противоположного направления вычитаются, компенсирующий ток можно настроить так, чтобы предотвратить насыщение сердечника.

В связи с широким диапазоном измеряемых токов, от миллиампер до килоампер, и диапазоном частот от постоянного тока до мегагерц, выпускается широкий ассортимент соответствующих токовых пробников. Выбор токового пробника для конкретного приложения во многих отношениях аналогичен выбору пробника напряжения. Ключевыми критериями выбора являются диапазон измеряемого тока, диапазоны чувствительности, вносимый импеданс, способ подключения и полоса/время

нарастания. Кроме того, надо учитывать снижение диапазона измеряемого тока с частотой и не допускать превышения произведения тока на длительность импульса.

ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБНИКИ

Неисправности в цифровых системах могут возникать по самым разным причинам. И хотя основным прибором для поиска и устранения таких неисправностей является логический анализатор, реальные причины неправильной работы логических схем зачастую связаны с аналоговой природой цифрового сигнала. Джиттер длительности импульса, амплитудные искажения, аналоговый шум и перекрестные помехи — вот лишь некоторые возможные причины нарушения работы цифровых схем.

Для анализа аналоговых характеристик цифрового сигнала необходим осциллограф. Однако для выявления точных причин неисправности разработчикам цифровых схем часто необходимо рассмотреть конкретные импульсы данных, появляющиеся в определенных логических условиях. Для этого используется функция логического запуска, которая более присуща логическому анализатору, нежели осциллографу. Функцию логического запуска можно добавить в большинство осциллографов смешанных сигналов, оснастив их системой декодирования протокола и цифровым пробником, подключаемым к цифровым каналам.



Рис. 2.9. Пробник с функцией декодирования. Такие пробники позволяют использовать осциллографы для анализа специальных информационных сигналов при отладке цифровых устройств

Пробник, показанный на рис. 2.9, предназначен для логики TTL и TTL-совместимой логики. Он обеспечивает подачу на осциллограф до 17 цифровых сигналов (16 разрядов данных плюс классификатор) и совместим с синхронными и асинхронными системами передачи данных. Кодовое слово, которое нужно распознать для выполнения запуска, программируется в пробник вручную путем установки миниатюрных переключателей на головке пробника. При появлении соответствующего слова пробник подает на выход импульс высокого уровня (единицу), который можно использовать для запуска осциллографа и захвата соответствующего сигнала или события.

Логический пробник, показанный на рис. 2.10, имеет две группы по восемь каналов. Для упрощения подключения к тестируемому устройству провод каждого канала заканчивается наконечником с «уплотненным» земляным контактом. Коаксиальный кабель первого канала каждой



Рис. 2.10. Логический пробник для осциллографа смешанных сигналов (MSO) упрощает подачу сигналов вашего устройства на цифровые каналы

группы окрашен в синий цвет для упрощения его идентификации. Общая шина заземления использует клемму автомобильного типа, что упрощает создание специальных точек заземления для подключения к тестируемому устройству. Для подключения к штыревым контактам квадратного сечения можно использовать адаптер, который крепится к головке пробника, удлиняя уплотненный земляной контакт. Такие пробники обладают превосходными электрическими характеристиками и создают минимальную емкостную нагрузку на исследуемую цепь.

ОПТИЧЕСКИЕ ПРОБНИКИ

С широким распространением оптоволоконных линий связи быстро растет потребность в регистрации и анализе оптических сигналов. Для удовлетворения потребности в диагностике и анализе коммуникационных систем было разработано множество специальных оптических анализаторов. Однако параллельно с этим возникает и растущая потребность в оптических измерениях и анализе общего назначения в процессе разработки и проверки оптических компонентов. Эту задачу решают оптические пробники, позволяющие передавать оптические сигналы на осциллограф для их отображения.



Рис. 2.11. Пример зондовой станции для работы с миниатюрными устройствами, такими как гибридные и твердотельные ИС

Оптический пробник представляет собой преобразователь оптического сигнала в электрический. С оптической стороны пробник должен выбираться в соответствии с конкретным оптическим разъемом и типом оптоволоконка или оптической модой исследуемого устройства. С электрической стороны действуют стандартные критерии соответствия пробника осциллографу.

ДРУГИЕ ТИПЫ ПРОБНИКОВ

Кроме всех перечисленных выше вполне стандартных пробников, существует также множество специальных пробников и зондовых станций. Среди них:

- Пробники для климатических камер, способные работать в очень широком диапазоне температур.
- Пробники для измерения температуры компонентов и других объектов, выделяющих тепло.
- Зондовые станции и шарнирные манипуляторы (рис. 2.11) для доступа к компонентам с малым шагом между контактами, таким как многокристалльные модули, гибридные и монолитные интегральные схемы.

ИЗМЕРЕНИЯ С ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ

Измерениями с гальванической развязкой называются измерения, выполняемые между двумя точками, ни одна из которых не соединена с «землей». Если эта ситуация оказалась вам похожей на описанные выше дифференциальные измерения, то вы совершенно правы. Измерения с гальванической развязкой представляют собой дифференциальные измерения и фактически их можно выполнять с помощью дифференциальных пробников.

Однако чаще всего измерения с гальванической развязкой применяются в системах питания. Примерами таких систем являются импульсные источники питания, приводы электродвигателей, пускорегулирующие аппараты осветительных приборов и источники бесперебойного питания, в которых ни одна из измеряемых точек не привязана к потенциалу «земли», а «общая» точка сигнала может быть смещена на несколько сотен вольт относительно потенциала «земли». Зачастую такие измерения требуют подавления синфазных сигналов для измерения передаваемых поверх них сигналов низкого уровня. Внешние земляные токи тоже могут добавить шум, дополнительно усложняя измерения.

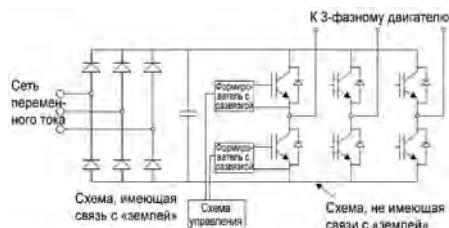


Рис. 2.12. В этом приводе трехфазного электродвигателя ни одна из контрольных точек не имеет гальванической связи с «землей», что порождает потребность в измерениях с гальванической развязкой

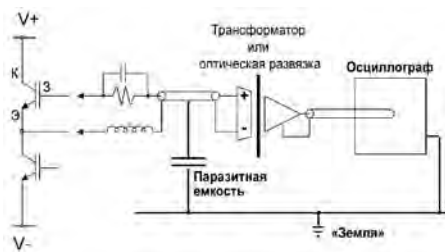


Рис. 2.13. Пример изоляции пробника для выполнения измерений с гальванической развязкой

Типичный пример измерения с гальванической развязкой показан на рис. 2.12. В этой системе привода двигателя напряжение трехфазной сети переменного тока выпрямляется и подается в шину постоянного тока, которая не имеет гальванической связи с «землей». Напряжение на этой шине составляет до 600 В. Схема управления, гальванически связанная с «землей», генерирует сигналы управления двигателем с импульсной модуляцией, которые подаются через развязывающие цепи на транзисторы, включенные по мостовой схеме. С выхода транзисторных ключей модулированное полное напряжение шины подается на двигатель. Точное измерение напряжения между эмиттером и затвором требует подавления напряжения шины. Помимо всего прочего, компактная конструкция привода, импульсы тока с крутыми фронтами и близкое расположение вращающегося двигателя создают очень сложную электромагнитную обстановку.

Кроме того, соединение проводника «земли» пробника с любой частью привода двигателя вызовет короткое замыкание на «землю».

Вместо того чтобы обеспечивать гальваническую развязку всего осциллографа, изолятор пробника делает гальванически развязанным только сам пробник. Такая изоляция пробника может выполняться с помощью трансформатора или оптической развязки, как показано на рис. 2.13. В этом случае осциллограф остается заземленным, как и должно быть, а дифференциальный сигнал подается на наконечник и общий провод изолированного пробника. Схема развязки передает дифференциальный сигнал через изолятор на приемник, который создает сигнал относительно «земли», пропорциональный входному дифференциальному сигналу. Это обеспечивает совместимость изолированного пробника практически с любым прибором.

Для удовлетворения разных потребностей выпускаются изоляторы разных типов. Среди них есть многоканальные изоляторы, предлагающие два и больше каналов с независимыми общими проводниками. Кроме того, для случаев, когда изолятор должен находиться на большом расстоянии от измерительного прибора (например 100 м и более), выпускаются изоляторы на основе оптоволоконка. Как и в случае с дифференциальными пробниками, ключевыми критериями выбора являются полоса пропускания и коэффициент пода-

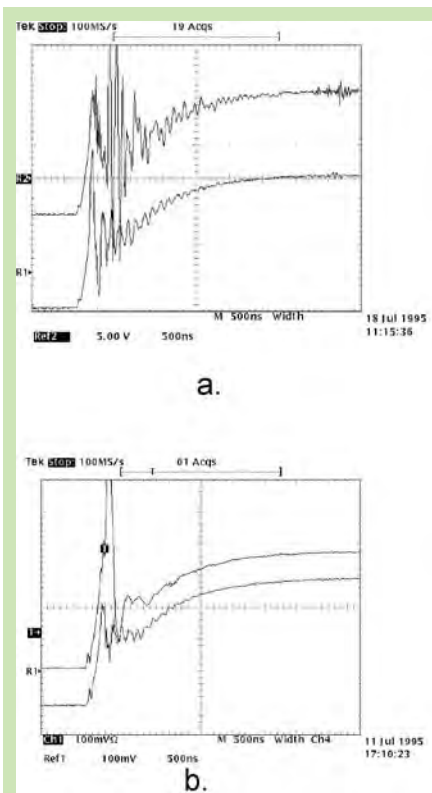


Рис. 2.14. Отключенный от защитного заземления осциллограф не только опасен, но и может породить сильный «звон» на осциллограммах измеряемых сигналов (а) по сравнению с применением безопасного изолятора пробника (б)

Осторожно!

Во избежание короткого замыкания на «землю» некоторые пользователи применяют опасный метод отключения осциллографа от защитного заземления. В результате земляной проводник осциллографа не имеет связи с «землей», как и схема привода двигателя, что позволяет выполнять дифференциальные измерения. К сожалению, при использовании такого метода корпус осциллографа может оказаться под потенциалом, опасным для жизни человека.

Но отключенный от защитного заземления осциллограф не только опасен, но и может породить шумы и другие эффекты, искажающие результаты измерения. Это иллюстрируется на рис. 2.14а, где показано измерение напряжения затвор-эмиттер привода двигателя с помощью такого осциллографа. Нижняя осциллограмма на рис. 2.14а соответствует напряжению затвор-эмиттер нижнего транзистора, а верхняя осциллограмма — верхнего транзистора. Обратите внимание на сильный «звон» этих осциллограмм. Этот «звон» вызван большой паразитной емкостью между корпусом осциллографа и «землей».

На рис. 2.14б показаны результаты того же измерения, но выполненного с помощью правильно заземленного осциллографа и изолированного пробника. Это не только устраняет звон, но и делает измерение значительно безопасней, поскольку на корпусе осциллографа не может появиться опасное для жизни напряжение.

вления синфазного сигнала. Кроме того, важной характеристикой изолирующей системы является максимальное рабочее напряжение. Обычно оно равно 600 В_{ср.кв.} или 850 В_(пост. + пик. перем.).

ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРОБНИКОВ

Большинство пробников поставляется с комплектом стандартных принадлежностей. В состав таких принадлежностей часто входит прикрепляемый к пробнику провод «земли» с зажимом, инструмент для настройки компенсации и один или несколько сменных наконечников для подключения пробника к разным контрольным точкам. Типовой пример пробника напряжения со стандартными принадлежностями показан на рис. 2.15.

В комплект поставки специализированных пробников, например, пробников для устройств поверхностного монтажа, могут входить дополнительные наконечники. Кроме того, различные специальные приспособления могут прилагаться к пробнику в виде опций. На рис. 2.16 показаны разные типы наконечников, предназначенных для пробников небольшого размера.

Важно понимать, что большинство принадлежностей к пробникам, особенно наконечники, предназначено для работы с определенными моделями пробников. Применение адаптеров под дру-



Рис. 2.15. Пробник напряжения общего назначения со стандартными принадлежностями



Рис. 2.16. Примеры наконечников для малогабаритных пробников. Некоторые наконечники значительно упрощают подключение к миниатюрным контактам и могут повышать точность измерения, предлагая высокоинтегрированное решение для подключения к контрольным точкам

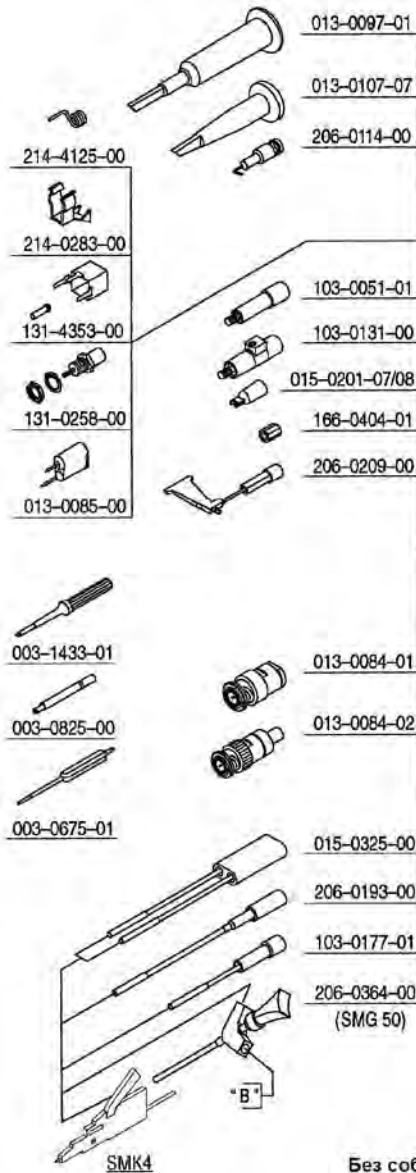
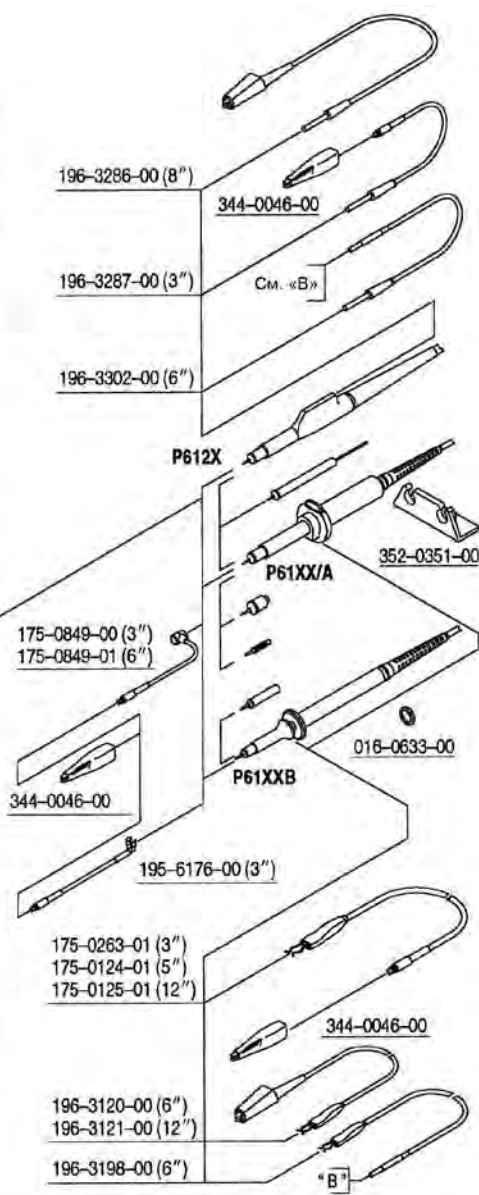


Рис. 2.17. Ассортимент принадлежностей, выпускаемых для системы миниатюрных пробников (5 мм). Другие семейства пробников будут иметь другие принадлежности в зависимости от назначения

гие модели пробников или использование пробников других изготовителей не рекомендуется, поскольку это может ухудшить качество соединения с контрольной точкой или повредить пробник или наконечник.

При выборе пробников важно учитывать, к каким контактам или компонентам вы будете их подключать. Необходимо убедиться в наличии соответствующих адаптеров или принадлежностей, облегчающих и ускоряющих подключение. Во многих случаях дешевые серийные пробники не предоставляют широкого выбора опций. В отличие от этого, пробники, выпускаемые изготовителями осциллографов, обеспечивают очень широкий выбор принадлежностей для разнообразных областей применения пробника. На рис. 2.17 показаны различные специальные принадлежности и опции, выпускаемые для пробников. Разумеется,



Без соблюдения масштаба

пробники разных моделей и классов будут иметь различный ассортимент принадлежностей и опций.

(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.