

ИЗМЕРЕНИЯ С ПЛАВАЮЩИМ ПОТЕНЦИАЛОМ

MEASUREMENTS WITH FLOATING POTENTIAL

Афонский А.А. (A. Afonskiy), Главный редактор

Почему для измерений осциллографом в электрической сети 220 В нужны специальные приборы или дополнительные пробники? Казалось бы, эта тема давно представлена и известна. Но типичная ошибка выбора осциллографа для подобных измерений в этом месяце встретила в письмах читателей несколько раз. Поэтому мы представляем решение данной измерительной задачи.

Начнем с определения. Измерения с плавающим потенциалом — это измерения напряжения, не привязанные к уровню общей «земли» (так называемые дифференциальные). Таким образом, такое измерение напряжения не имеет привязки к «земле» и не возникает эффекта петли заземления (протекания тока между двумя разнесенными выводами «земли» осциллографа и измеряемого объекта).

В чем суть эффекта петли заземления? Современный настольный осциллограф имеет встроенный источник питания, который в соответствии с требованиями электробезопасности имеет среднюю точку, соединенную с общим («земляным») проводом электрической сети лаборатории (рис. 1). Эта схема существенно снижает уровень промышленных помех, которые имеются в электрической сети, а также обеспечивает требуемые показатели по электромагнитной совместимости, особенно при использовании встроенного в прибор источника питания конверторного типа (именно он обеспечивает универсальное питание 110...220 В без сетевого переключателя).

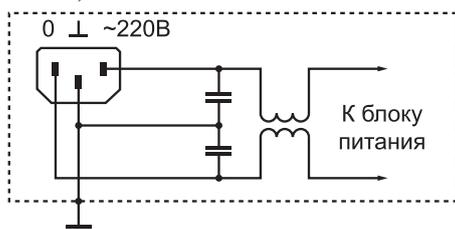


Рис. 1

Эта средняя точка в приборе выведена на заземляющий провод входа. В Вашем приборе это легко проверить, проведя измерения (на отключенном от сети приборе) обычным омметром (рис. 2).

Основные способы (методы) проведения измерений с плавающим потенциалом:

1. измерения обычным незаземленным осциллографом (с оторванной «землей»);
2. вычитание каналов «А минус В»;
3. измерение осциллографом с батарейным питанием;
4. использование дифференциальных пробников;



Рис. 2. «Земляной» вывод сети источника питания осциллографа (а) и проверка наличия «сетевой земли» на входе прибора (б)

5. использование осциллографа с изолированными каналами.

Рассмотрим каждый способ отдельно.

1. Измерения обычным незаземленным осциллографом (с оторванной «землей»). К сожалению, это часто применяемая, но опасная практика, которая никогда не должна использоваться. Эта практика состоит в том, что преднамеренно осуществляется отключение заземляющего вывода сетевого шнура (рис. 4). Это создает серьезный риск смертельного поражения электротоком в случае касания оператором открытых металлических элементов осциллографа или пробников.

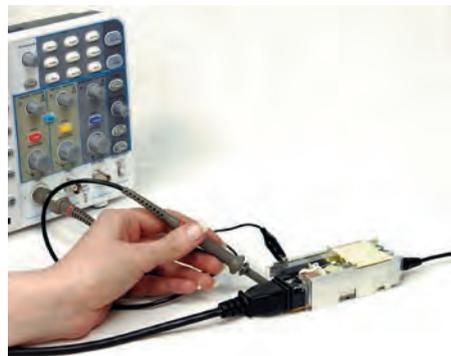


Рис. 3. Типовая ошибка: проведение измерений во входной цепи источника питания конверторного типа

2. «А минус В» (псевдо-дифференциальный способ). Измеряется положительное напряжение каналом «А» и отрицательное — каналом «В» в одной точке. Для получения осциллограммы используется вычитание каналов А–В (рис. 5). Замечательно исключает эффект «петли заземления». Но осциллографические пробники и каналы осцил-

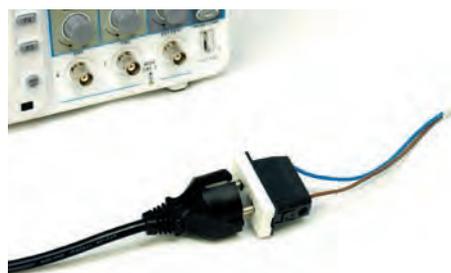


Рис. 4. Отключение заземляющего вывода сетевого шнура — опасная практика измерений с плавающим потенциалом

лографа должны быть идентичны и одинаково настроены, что нереально и поэтому результаты измерений всегда будут ошибочными. При этом следует учитывать ограниченный диапазон измерений в случае большой общей составляющей в измеряемом напряжении. Это ограничение возникает, когда амплитуда общей составляющей сигнала больше или равна дифференциальной, и в результате разрешение измерений может снизиться до нуля. При этом обе опорные точки измерений должны быть заземлены общей «землей».

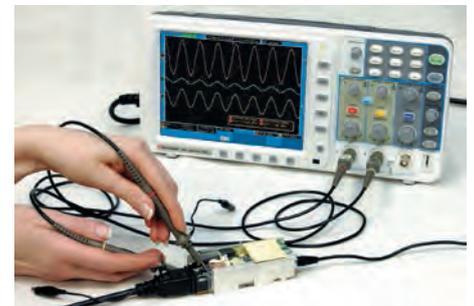


Рис. 5. Псевдо-дифференциальный способ осциллографических измерений плавающих потенциалов

3. Измерение осциллографом с батарейным питанием и неизолированными каналами (рис. 6) или изолированной от ПК измерительной частью для виртуальных приборов (рис. 7). В этом методе измерений опорные уровни всех каналов должны быть соединены, т.е. работать с одним плавающим уровнем. Прибор не имеет соединения с заземляющим проводом сети (при работе только от батарейного питания!). Данный метод не может быть рекомендован для всех случаев применения, т.к. не является достаточно



Рис. 6. Измерение напряжения с плавающим потенциалом осциллографом с батарейным питанием

безопасным. У любого прибора есть металлические выступающие части (например, BNC разъем или выход калибровки, внешней синхронизации и т.п.), и использование обычных пассивных щупов или соединительных кабелей может привести к удару высоким напряжением. Кроме того, для большинства приборов существенно ограничено максимальное входное напряжение.

Использование виртуального осциллографа (при наличии интерфейса с гальванической развязкой, особенно LAN) обеспечивает удаленные измерения при хорошем уровне изоляции. В этом случае важно при измерении с плавающим (одним!) потенциалом не использовать гнездо заземления прибора, расположенное на задней стороне корпуса осциллографа. Но уровень шумов осциллографа в этом случае будет больше.

4. Использование дифференциальных пробников (рис. 8). Дифференциальные пробники предлагают безопасный и надежный способ использовать обычные осциллографы для плавающих измерений (см. врезку). Сбалансированная входная емкость минимизирует разность нагрузок в измеряемой схеме. Высокое качество измерений обусловлено высоким коэффициентом подавления общего синфазного сигнала $K_{сф}$ (в иностранной литературе — CMRR). В этом режиме обеспечиваются измерения сигналов с разными опорными уровнями для различных каналов осциллографа. В общем случае, это самый удобный способ работы с обычными (лабораторными) осциллографами при измерениях с плавающими потенциалами.

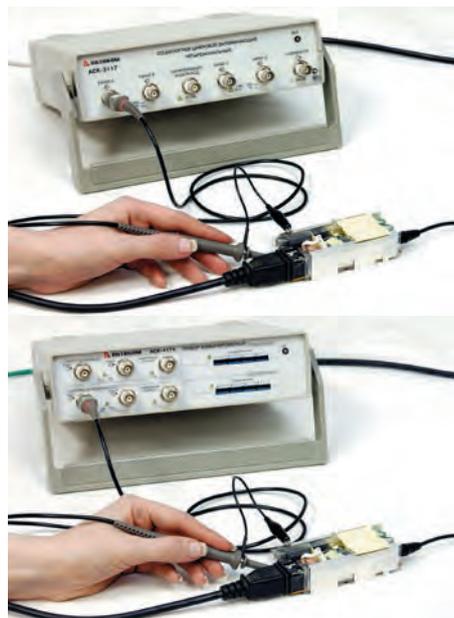


Рис. 7. Использование виртуального осциллографа АКТАКОМ АСК-3117 (с оптически изолированным USB) или многофункционального виртуального прибора АКТАКОМ АСК-4174 (с интерфейсом LAN).

5. Использование осциллографа с изолированными каналами (рис. 10). Допускается работа с обычными пассивными

ми пробниками. Изоляция каналов осциллографа обеспечивается внутри прибора. Реализуется одновременное исследование сигналов с разными опорными уровнями. Изоляция исключает протекание тока в цепях заземления между



Рис. 8. Дифференциальный пробник DP-50



Рис. 9. Применение дифференциального пробника для измерений с плавающими потенциалами



Рис. 10. Использование осциллографа с изолированными каналами ADS-4232

измеряемой схемой и прибором. Недостатком этого метода следует считать несбалансированную входную емкость из-за конструкции пробников и изоляцию внутреннего шасси прибора (не подключено к заземлению), что приводит к повышенной, по сравнению с обычным осциллографом, чувствительности к сетевым наводкам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Электронные измерения в нанотехнологиях и в микроэлектронике. Глава 6.3.3. Дифференциальные пробники. С. 380.
2. Инструкция к осциллографам Tektronix серий TPS2000 и THS700. ☑

Why are there special instruments or additional probes needed for measurements with an oscilloscope in 220V network? This topic seems to be rather well-known. But often users chose a wrong oscilloscope for this kind of measurement and it's a typical mistake. The present article introduces a solution for this measurement task.

Дифференциальные пробники

Наиболее совершенными пробниками на сегодняшний день являются активные дифференциальные пробники. Основное их назначение — исследование разности напряжений в двух точках, независимо от их среднего потенциала. Различают два режима работы пробника: дифференциальный (противофазный) и синфазный. В дифференциальном режиме выходное напряжение дифференциального пробника задается выражением

$$U_{\text{вых}} = K_d(U_{1\text{вх}} - U_{2\text{вх}}), \quad (1)$$

где K_d — дифференциальный коэффициент передачи. В синфазном включении на оба входа подается напряжение $U_{12\text{вх}}$ и

$$U_{\text{вых}} = K_{сф} U_{12\text{вх}}. \quad (2)$$

В идеале $K_d \gg 1$ и $K_{сф} = 0$, т.е. дифференциальный усилитель усиливает только разность входных напряжений. На практике, отличие $K_{сф}$ от 0 учитывают коэффициентом подавления синфазной составляющей

$$K_{\text{псф}} = K_d / K_{сф}. \quad (3)$$

Его часто выражают в децибелах. Реальные значения $K_{\text{псф}}$ составляют 40-60 дБ. Упрощенная схема включения дифференциального усилителя с источниками противофазного и синфазного сигналов показана на рисунке. Выходное напряжение ее равно:

$$U_{\text{вых}} = K_d U_{\text{вхдиф}} + K_{сф} U_{\text{вхсф}}. \quad (4)$$

Желательно, чтобы второй член в выражении (4) был как можно меньшей величины.

Промышленность выпускает массу интегральных операционных усилителей с огромными значениями K_d (от тысяч до многих миллионов) и $K_{сф}$. Однако полоса частот их редко достигает десятков и еще реже сотен МГц. Поэтому интегральные усилители общего назначения для пробников широкополосных осциллографов не подходят. Разработчики осциллографов вынуждены создавать свои собственные сверхскоростные дифференциальные усилители на уникальной элементной базе.

Поскольку современные осциллографы имеют достаточную чувствительность, то ее повышение пробниками неактуально. Куда важнее (даже при исследовании высоковольтных устройств и цепей) обеспечить измерение именно разности напряжений в двух точках. Также важно построение широкополосных дифференциальных пробников с невысокими уровнями напряжений, предназначенными для работы с устройствами на высокоскоростных интегральных микросхемах. Такие пробники могут даже ослаблять напряжение (и мощность) исследуемого сигнала, но должны иметь дифференциальный вход и как можно меньшие (до 1 пФ) входные емкости. Иными словами, они должны повышать входной импеданс Z для уменьшения шунтирования измеряемых цепей.

Энциклопедия измерений «КИПиС» (www.kipis.ru)

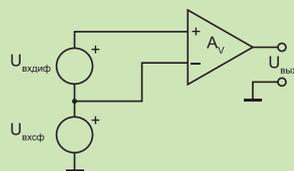


Схема включения дифференциального усилителя

