

# Выбор осциллографических токовых пробников для работы с маломощными устройствами

**Кенни Джонсон, Keysight Technologies  
(ранее группа электронных измерений Agilent Technologies)**

Для разработки более экономичных устройств нужны более совершенные средства измерений, позволяющие измерять малые токи потребления. В статье оцениваются различные виды осциллографических токовых пробников с точки зрения их применимости для работы с малыми токами.

## ВВЕДЕНИЕ

Покупая новое электронное устройство, пользователи рассчитывают, что оно будет экономичнее. То есть его батареи будут разряжаться реже, а при питании от сети оно будет потреблять меньше электроэнергии. Осциллографы, являясь универсальными измерительными приборами, при оснащении их токовыми пробниками становятся основными инструментами измерения мощности, потребляемой исследуемыми устройствами.

Измерение тока в маломощных приложениях имеет свою специфику, поэтому очень полезно оценить, насколько токовые пробники отвечают следующим требованиям:

- воспроизводимость,
- чувствительность,
- динамический диапазон и разрешение,
- небольшие размеры.

В настоящее время используются два типа осциллографических токовых пробников переменного и постоянного тока: токовые клещи и токовые пробники с шунтом.

Токовые клещи выпускаются всеми производителями осциллографов. В этих пробниках для измерения тока используются датчик Холла (для измерения постоянного тока) и трансформатор (для измерения переменного тока).

Датчик Холла состоит из проводящей пластины, через которую протекает небольшой ток. При размещении её рядом с проводником, по которому также течёт ток, магнитное поле, создаваемое этим током, вызывает смещение электронов в пластине к одному из её краёв в направлении, перпендикулярном току в датчике. В результате на датчике возникает напряжение, пропорциональное индукции внешнего магнитного поля, которая, в свою очередь,

пропорциональна току, протекающему в проводе.

В токовых клещах используется трансформатор тока с ферритовым сердечником, сконструированным таким образом, чтобы его можно было размыкать и замыкать. Это даёт возможность фиксировать провод питания испытываемого устройства. Датчик Холла при этом находится внутри сердечника.

Работа токовых пробников с шунтом основана на измерении падения напряжения на сопротивлении, включённом последовательно с нагрузкой. Токовые пробники данного типа – N2820A и N2821A – выпускаются только компанией Keysight Technologies. В них используются несколько дифференциальных усилителей, предназначенных для устранения влияния постоянного напряжения на проводах питания, а возможность выбора коэффициента усиления сигнала с токового шунта обеспечивает широкий динамический диапазон измерений. Ввод пользователем значения сопротивления шунта позволяет программному обеспечению осциллографа правильно отображать величину измеряемого тока.

Отметим, что шунты широко используются для измерения тока в маломощных системах. При этом системы сбора данных или цифровые мультиметры используются в режиме измерения напряжения с последующим вычислением величины тока. Режим непосредственного измерения тока цифровым мультиметром обычно не применяется, так как в диапазонах измерения микро- и миллиампер сопротивление встроенного шунта обычно составляет 1 кОм, а падение напряжения на нём – единицы вольт, что превышает допустимые пределы. Следует также отметить, что цифровые мультиметры и низкоскоростные системы сбора данных не

подходят для измерений потребляемого тока в устройствах с динамическим режимом работы, так как не позволяют точно измерять импульсные токи.

## Воспроизводимость результатов

В процессе доработки своих конструкций с целью минимизации энергопотребления разработчики должны иметь возможность адекватно оценивать результаты изменений. Однако следствием внесения этих изменений может стать разброс результатов измерений. На рисунке 1 показан профиль тока типичного устройства с батарейным питанием – мобильного телефона.

У токовых клещей погрешность воспроизводимости обычно составляет от десятков до сотен миллиампер. Основные источники этой погрешности – остаточная индукция и термически или механически индуцированное напряжение. После протекания большого тока во время режима активности исследуемого устройства (см. рис. 1) остаточная индукция ферритового сердечника вызывает появление ошибочного сигнала на выходе пробника. Кроме того, из-за пьезорезистивного эффекта деформация пластины датчика Холла приводит к изменению его сопротивления и, следовательно, к изменению напряжения на пластине и изменению выходного сигнала пробника. Токовые клещи являются активными: они разогреваются во время работы, что приводит к появлению термического или механического напряжения на датчике Холла. Ток в цепи пробника пропорционален измеряемому току, поэтому термически индуцированные напряжения зависят от измеряемого тока. При измерении тока в течение цикла, показанного на рисунке 1, погрешность увеличивается в 100...1000 раз по сравнению с погрешностью измерения тока в режиме ожидания устройства, который отличается минимальным энергопотреблением.

При измерении тока (рис. 1) пробником с шунтом, температура шунта зависит от величины протекающего через него тока. Температурный коэффициент

ент тока для шунтов обычно составляет  $20...100 \times 10^{-6}$ . Если в течение цикла, показанного на рис. 1, температура шунта изменяется на  $100^\circ\text{C}$ , то результаты измерения тока в следующем цикле будут отличаться от предыдущих показателей на  $0,2...1\%$ .

### Чувствительность

Чувствительность токового пробника характеризует его способность выдавать достаточно большое напряжение при измерении небольшого тока. Минимальный измеряемый ток зависит, в первую очередь, от вольт-амперной характеристики пробника и уровня собственных шумов комбинации «пробник + осциллограф». Производители осциллографов публикуют значение этого тока, поэтому измерять его не нужно.

Токовые клещи, подходящие для измерения малых токов, имеют чувствительность  $0,1 \text{ В/А}$  или  $1,0 \text{ В/А}$ . Пробники с чувствительностью  $0,1 \text{ В/А}$  выдают на вход осциллографа напряжение  $0,1 \text{ В}$  при измеряемом токе  $1 \text{ А}$ . С учётом уровня собственных шумов комбинации «пробник + осциллограф», минимальный измеряемый ток при такой чувствительности составляет  $10...30 \text{ мА}$ . Пробники с чувствительностью  $1,0 \text{ В/А}$  выдают на вход осциллографа напряжение  $1 \text{ В}$  при измеряемом токе  $1 \text{ А}$ . Минимальный измеряемый ток при такой чувствительности составляет  $1...3 \text{ мА}$ . Эти пробники не подходят для измерения токов менее  $1 \text{ мА}$ .

Чувствительность пробника с шунтом можно регулировать, изменяя сопротивление шунта. Чем больше сопротивление шунта, тем больше измеряемое пробником напряжение. Пробники N2820A и N2821 компании Keysight имеют чувствительность на уровне единиц микровольт. Это означает, что для выполнения измерений с помощью пробника падение напряжения на шунте может быть относительно небольшим. Заявленный производителем минимальный измеряемый ток для этих пробников равен  $500 \text{ нА}$ .

### РАЗРЕШЕНИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН

На рисунке 1 видно, что изменение состояний маломощного устройства может приводить к быстрому и значительному (в  $1000$  раз и более) изменению тока в цепи пробника. Для одновременного измерения максимального и минимального значений тока требу-

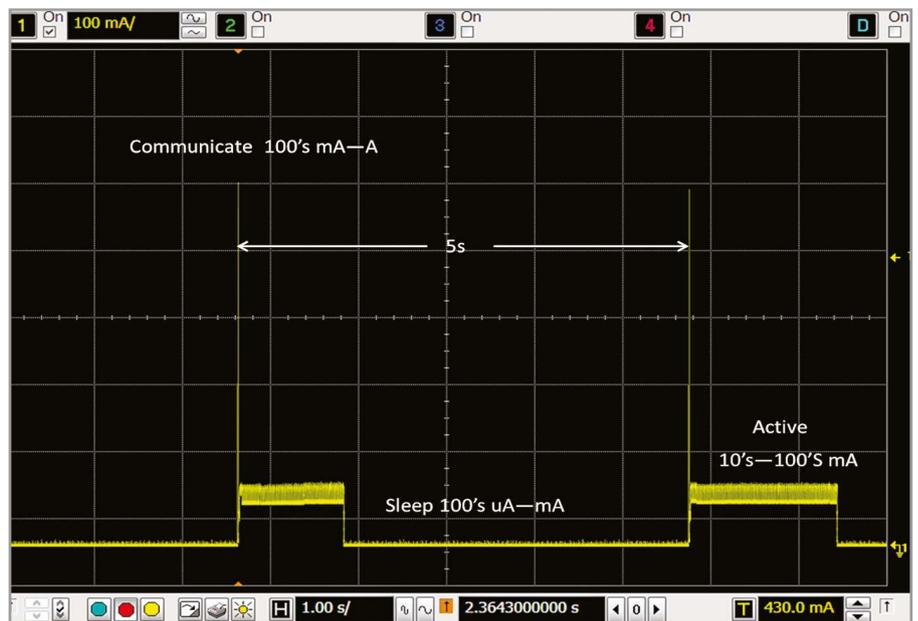


Рис. 1. Профиль тока типичного устройства с батарейным питанием (мобильный телефон в режиме ожидания и в режиме связи)

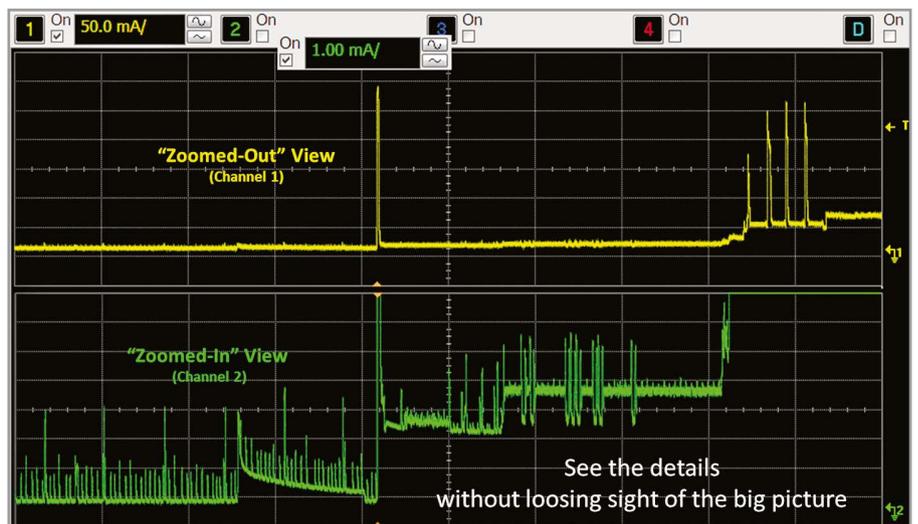


Рис. 2. Осциллограммы тока мобильного телефона, измеренные с помощью пробника N2820A. Одновременный просмотр всей осциллограммы и её увеличенного фрагмента: Channel 1 – уменьшенный вид; Channel 2 – увеличенный вид

ется комбинация «пробник + осциллограф» с довольно широким динамическим диапазоном и разрешением, достаточным для измерения малых сигналов.

В качестве примера измерения с использованием токовых клещей рассмотрим маломощное устройство с током в режиме ожидания  $300 \text{ мкА}$  и пиковым током  $2 \text{ А}$  (отношение  $6700:1$ ), и осциллограф с разрешением по вертикали  $8$  разрядов, настроенный для отображения пикового тока по всей высоте экрана. Без учёта ограничений по чувствительности пробника и уровню собственных шумов комбинации «пробник + осциллограф», минимальный различимый сигнал для осциллографа равен  $2 \text{ А}/2^8$  ( $2/256$ ) или  $8 \text{ мА}$ . Чтобы различить ток  $300 \text{ мкА}$  при

пиковом токе  $2 \text{ А}$ , потребуется разрешение по вертикали  $13$  разрядов.

Напомним, что токовые пробники с шунтами имеют несколько усилителей, измеряющих падение напряжения на шунте, каждый из которых имеет свой коэффициент усиления, что обеспечивает разные значения чувствительности и позволяет выполнять измерения в широком динамическом диапазоне. Пробник N2820A имеет два выхода, которые могут быть соединены с двумя каналами осциллографа. В эти каналы подаются сигналы, позволяющие одновременно просматривать на экране осциллографа увеличенную и уменьшенную осциллограммы. На рисунке 2 показаны полученные с помощью пробника N2820A

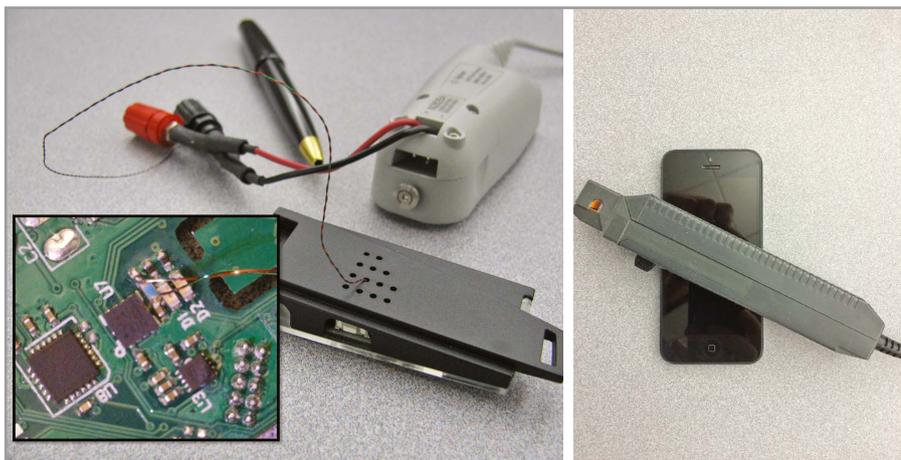


Рис. 3. Токвые клещи (слева) и токовый пробник с шунтом (справа)

результаты измерений при переходе устройства, измерение тока которого представлено на рисунке 1, из режима ожидания в активный режим. Используя этот пробник, можно получить более детальное представление о потребляемом токе.

### НЕБОЛЬШИЕ РАЗМЕРЫ

Современные электрические устройства могут иметь настолько малые размеры, что большие размеры пробника могут потребовать внесения существенных изменений в конструкцию корпуса или конфигурацию устройства. В противном случае использо-

вать пробник просто не получится. При этом могут возникнуть проблемы, связанные с экранированием, теплоотводом и эргономичностью.

В маломощных приложениях испытываемое устройство обычно имеет небольшие размеры или высокую плотность монтажа, а представляющие интерес схемы – размещаться на печатных платах, не имеющих отдельных проводов питания, на которых можно было бы разместить пробник. На рисунке 3 слева показаны типичные размеры пробника с токовыми клещами в сравнении с исследуемым мобильным телефоном.

На том же рисунке 3 справа показан токовый пробник с шунтом N2820A, используемый для снятия сигналов с акселерометра, расположенного внутри небольшого беспроводного устройства. В качестве шунта используется резистор для поверхностного монтажа типоразмера 0402. К пробнику подходят короткие провода типа 36 AWG (сечением 0,14 мм<sup>2</sup>). Эти провода можно легко пропустить через отверстия в корпусе устройства.

### Выводы и заключения

В настоящее время осциллографические токовые пробники широко используются для измерения мощности. При измерении малой мощности особое значение имеют такие характеристики пробников, как воспроизводимость результатов, чувствительность, разрешение / динамический диапазон и размеры. В настоящее время доступны два типа осциллографических токовых пробников переменного и постоянного тока: токовые клещи и токовые пробники с шунтом. Сравнение их характеристик показывает, что для измерений токов потребления современных экономичных устройств наилучшим образом подходят только датчики на основе шунтов. ☺

## Новости мира News of the World Новости мира

### Keysight Technologies: источники питания переменного тока для обеспечения стабильных достоверных результатов испытаний

Компания Keysight Technologies Inc. (Agilent) представила семейство источников питания переменного тока, которые обеспечивают стабильные достоверные результаты тестирования в процессе разработки и производства электронных устройств.

Новая серия источников питания Agilent AC6800 включает четыре модели с выходной мощностью от 500 В·А до 4000 В·А, каждая из которых обладает полным набором возможностей для проведения основных видов испытаний.

При выполнении простых задач тестирования разработчикам и производителям электронных приборов могут потребоваться источники питания переменного тока общего назначения для моделирования условий питания устройств от розетки

или общей сети переменного тока. Кроме того, они хотят быть уверенными в том, что их продукты функционируют должным образом при воздействии колебаний напряжения, бросков пускового тока и переходных процессов в современных перегруженных электрических сетях. Источники питания переменного тока серии AC6800 являются идеальным вариантом для питания тестируемых устройств в этих условиях.

Источники питания переменного тока общего назначения серии AC6800 имеют интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который обеспечивает удобный доступ для просмотра настроек и результатов измерений непосредственно с передней панели прибора или с использованием стандартных команд программирования SCPI.

Источники питания серии AC6800 в стандартной комплектации оснащены интерфейсами USB и LAN/LXI Core. В качестве опции доступен интерфейс GPIB. Интерфейс LXI Core предоставляет возможность дистан-



ционной настройки и управления источником питания через стандартный веб-браузер. Пользователи могут использовать дополнительную плату аналогового ввода для добавления основных типов переходных сигналов в выходной сигнал источника питания.

Благодаря трёхлетнему сроку гарантии и глобальной поддержке от компании Keysight инженеры имеют возможность существенно сэкономить и увеличить время безотказной работы источников питания серии AC6800.

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)