

# Измерение малых токов источника питания

## С ПОМОЩЬЮ ШУНТА

Боб Золло (Bob Zollo)

Распространенный способ измерения малых выходных токов источников питания (ИП) заключается в применении шунта, поскольку встроенные измерительные системы многих серийно выпускаемых ИП не обладают для этого достаточной точностью. Шунт работает очень просто: возьмите шунтирующий резистор известного номинала, измерьте падение напряжения на нем и рассчитайте ток по закону Ома. На практике это означает, что нужно точно знать сопротивление шунта, учитывать возможный дрейф этого значения и внимательно подойти к выбору сопротивления шунта, чтобы напряжение на нем не падало слишком сильно (падение напряжения на шунте вычитается из выходного напряжения источника, подаваемого на тестируемое устройство).

Для статических или мало изменяющихся (не более чем в 10 раз) токов этот метод работает хорошо. Для динамических токов применение шунта становится более проблематичным. Если выбрать шунт для малого тока, то на большом токе падение напряжения станет слишком большим. Если выбрать шунт для большого тока, то на малом токе падение напряжения будет недостаточным для выполнения точных измерений.

Это может навести на мысль о применении нескольких шунтов, что будет удачным решением, если есть возможность контролировать протекающий ток. Если при управлении тестируемым устройством и последовательностью тестовых операций известно, что «в этом тесте будет потребляться боль-

шой ток, а в этом тесте — малый», то можно использовать реле для переключения шунтов и расширения динамического диапазона измерений. Но коммутация шунтов может занять многие миллисекунды и усложнить схему, поэтому для высокопроизводительных автоматизированных систем тестирования это может оказаться неприемлемым.

Альтернативно можно попробовать использовать один шунт во всем динамическом диапазоне. Рассмотрим более тщательно проблемы измерения больших и малых токов с помощью одного шунта.

С расширением динамического диапазона измеряемого тока для минимизации падения напряжения при больших токах приходится применять шунты с меньшим сопротивлением. Но на малых токах падение напряжения на таких шунтах очень мало. Допустим, устройство потребляет 10 А в активном режиме и лишь 10 мА в режиме ожидания. Динамический диапазон тока в этом случае равен 100:1. Если выбрать шунт сопротивлением 10 мОм, чтобы обеспечить малое падение напряжения на большом токе, то при токе 10 А падение напряжения будет равно 100 мВ, а при токе 10 мА оно уменьшится до 100 мкВ. Если вы думаете, что это напряжение легко измерить, то ознакомьтесь с некоторыми практическими соображениями, приведенными в таблице.

Другой подход заключается в выборе ИП, внутренняя измерительная система которого может выполнять необходимые измерения. В этом случае решение полностью создается производителем

Таблица. Факторы, которые необходимо учитывать при измерении тока с помощью шунта

Влияющие факторы	Описание
Известное значение шунта	Знание точного сопротивления шунта играет очень важную роль, поэтому нужно точно измерить его. Используя 8,5-разрядный прецизионный цифровой мультиметр, в минимальном диапазоне сопротивления можно достичь погрешности 0,3% при измерении резистора сопротивлением 10 мОм. Вместо этого можно начать с типового прецизионного шунта с известным сопротивлением и допуском 0,1–0,5%. В любом случае это внесет в измерения тока некоторую дополнительную погрешность в диапазоне 0,1–0,5%.
Температурный дрейф	При прохождении через шунт большого тока он нагревается. С изменением температуры сопротивление всех резисторов меняется. Это изменение описывается температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) и измеряется в миллионных долях на градус Цельсия. Расчет тока будет неверным, если не учитывать температурный дрейф сопротивления.
Время установки температуры	Пока шунт не достигнет теплового равновесия, его сопротивление будет непрерывно меняться вслед за изменениями тока. Для шунтов большого размера тепловая постоянная времени может достигать нескольких минут. Ожидание прогрева шунта может существенно снизить производительность тестирования.
Погрешность смещения цифрового мультиметра	Хороший цифровой мультиметр может измерять напряжение порядка микровольт, но при этом нужно учитывать погрешность смещения напряжения. Погрешность смещения напряжения мультиметра обычно выражается микровольтами, что может составить ощутимый процент от измеряемого напряжения шунта. Например, типовой 6,5-разрядный мультиметр на нижнем диапазоне дает погрешность 3 мкВ при напряжении 100 мкВ. Так что одна только погрешность мультиметра может достигать 3%.
Эффект Зеебека (термопарный эффект)	Эффект Зеебека возникает в том случае, когда цепь, состоящая из двух разных металлов, испытывает перепад температур. Величина этого эффекта зависит от контактирующих металлов, например от материала шунта и подключаемых к нему проводов. Обычно напряжение Зеебека имеет порядок нескольких мкВ/°С. При подключении шунта медным проводом напряжение Зеебека может достигать 3,33 мкВ/°С. Так что при разности температур 3 °С в пределах соединения эффект Зеебека может легко дать напряжение 10 мкВ. Если пытаться измерить 100 мкВ, то добавление 10 мкВ даст дополнительную погрешность в 10%.

контрольно-измерительного оборудования с учетом всех перечисленных в таблице факторов, что позволяет получить отслеживаемые, документированные спецификации. И хотя такой ИП обойдется дороже простого источника с шунтом, это позволит снизить сложность схемы и значительно поднять достоверность и скорость тестирования. Примером ИП, специально предназначенных для измерения токов с большим динамическим диапазоном, являются динамические ИП постоянного тока серии Agilent Advanced Power System N7900 (рисунок). Источники серии N7900 выполняют быстрые и точные измерения тока с динамическим диапазоном 5000:1, что позволяет измерять токи от единиц миллиампер до десятков ампер.

Agilent Advanced Power System — это семейство ИП постоянного тока, состоящее из 24 моделей с напряжением до 160 В, током до 200 А и мощностью 1000 Вт (верхний прибор) и 2000 Вт (нижний прибор). ИП серии



**Рисунок.** Источник питания постоянного тока серии Agilent Advanced Power System N7900

N7900 могут точно измерять токи с динамическим диапазоном 5000:1 с использованием двух измерительных диапазонов. Кроме того, они обладают возможностью безразрывного переключения измерительных диапазонов,

что обеспечивает мгновенную автоматическую смену диапазона без коммутационных помех, что позволяет всегда находиться в оптимальном диапазоне в соответствии с величиной измеряемого тока.