



A Tektronix Company

Искусство выбора источника питания

Роберт Грин (Robert Green),
Джеймс Ниманн (James Niemann)
Куинг Д. Старкс (Qing D. Starks)

Keithley Instruments, Inc.

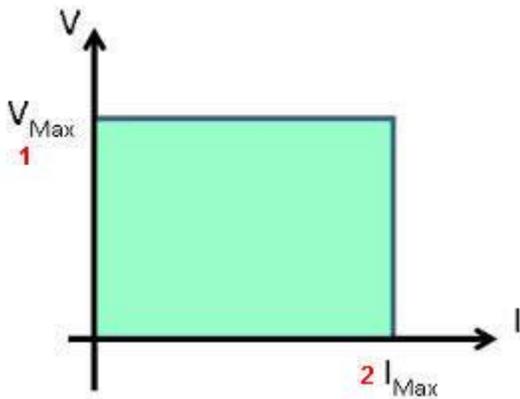
Источники питания традиционно относят к самым простым приборам, поскольку обычно они представляют собой устройство, выполняющее единственную функцию – подачу на выход регулируемого напряжения. Поэтому многие инженеры считают, что знают о них всё. Тем не менее, источники питания значительно сложнее, чем может показаться на первый взгляд. Например, они представлены множеством схемотехнических решений, рассчитанных на широкий диапазон требований, и могут обладать массой функций, ориентированных на удовлетворение потребностей постоянно расширяющегося диапазона приложений.

Специалист, выбирающий источник питания, должен стремиться к тому, чтобы выбранная модель соответствовала требованиям нагрузки, которые не всегда однозначны. Кроме того, в зависимости от приложения, нужно учитывать некоторые тонкие аспекты, например, уровень шума для маломощных и чувствительных к шуму приложений, таких как маломощные компоненты, модули и устройства, работающие при малых напряжениях или с малым потребляемым током. Многие эксперименты в области физики низких температур требуют чрезвычайно низкого уровня шума. Для модулей и устройств, требующих различных напряжений по нескольким линиям питания, не имеющим общих точек, весьма важной может оказаться изоляция каналов многоканального источника питания. И, наконец, в некоторых важных случаях могут потребоваться источники питания особого типа, например, для выполнения измерений потребляемого тока с высоким разрешением, измерения импульсных потребляемых токов с определенными типами нагрузок или измерения параметров устройств с биполярным питанием. В этой статье рассказывается, как определить основные параметры, по которым следует выбирать оптимальный источник питания для конкретного приложения.

Во-первых, источник питания должен обеспечивать достаточную мощность для питания тестируемого устройства (ТУ). Разные типы источников питания могут сильно отличаться выходными характеристиками. Источники одного типа могут иметь универсальную прямоугольную выходную характеристику (*рис. 1а*), которая позволяет подать на нагрузку любой ток при любом напряжении в

пределах максимальных значений. Источники другого типа (**рис. 1б**) имеют разные прямоугольные выходные характеристики в разных диапазонах. Такой тип обладает тем преимуществом, что обеспечивает более высокое значение одного параметра за счет другого. Например, источник такого типа может подать большой ток, но только при малом максимальном напряжении. Некоторые источники питания обладают гиперболической выходной характеристикой (**рис. 1в**), которая обеспечивает более плавную регулировку, чем выходная характеристика многодиапазонных источников питания. В этом случае один параметр обратно пропорционален другому. Мощные источники питания обычно являются многодиапазонными или имеют гиперболическую выходную характеристику. Не пожалейте времени на оценку мощности, потребляемой устройствами, которые понадобится питать, и выберите источник питания, способный обеспечить необходимые для испытаний значения тока и напряжения.

Рис. 1а. Прямоугольная выходная характеристика источника питания. Максимальный ток можно получить при любом выходном напряжении.



1. $V_{\text{макс.}}$
2. $I_{\text{макс.}}$

Рис.1б. Многодиапазонный источник. Эта характеристика позволяет использовать большие напряжения при малых токах или большие токи при малых напряжениях.

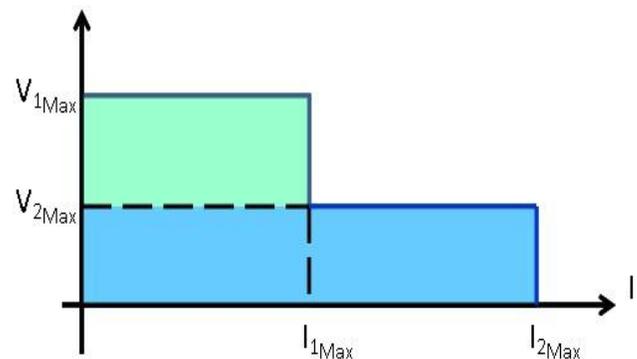
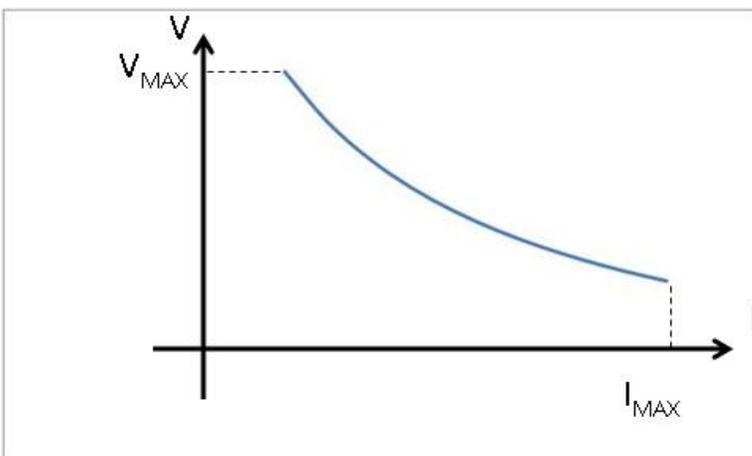


Рис.1в. Гиперболическая выходная характеристика. Максимальное напряжение и ток изменяются в соответствии с кривой.



В цепях, работающих при очень малых напряжениях или очень малых токах (таких как детекторы датчиков), внешние источники могут создавать значительные помехи. Внешний шум, создаваемый самим источником питания, можно разделить на две составляющие: *аддитивный шум* и *синфазный шум*. Для таких приложений предпочтительны линейные источники питания, поскольку они создают обычно значительно меньший аддитивный шум, чем импульсные источники. Компромисс заключается в том, что линейные источники питания обладают низким КПД и могут иметь большие размеры и вес. Импульсные источники питания обладают высоким КПД и большой выходной мощностью при малых размерах. Аддитивный шум линейных источников питания обычно от пяти до десяти раз меньше шума импульсных источников, и создаваемый ими синфазный шум тоже, как правило, меньше. Синфазный шум генерируется при возникновении скачков напряжения в первичной или вторичной обмотке развязывающего трансформатора, которые порождают ток, преодолевающий развязку между первичной и вторичной обмотками. Любой шумовой ток, возникший в цепи первичной (вторичной) обмотки, должен возвращаться в первичную (вторичную) обмотку, замыкая цепь. Когда такой ток протекает через сопротивление, он генерирует шумовое напряжение, которое, в некоторых ситуациях, может влиять на характеристики ТУ или породить погрешности измерения. Величина шумовой составляющей непосредственно зависит от скорости изменения напряжения (dv/dt) в цепи питания переменного тока, и от величины неэкранированной емкости развязывающего трансформатора источника питания. Другими источниками синфазного шума являются скачки напряжения на выпрямительных диодах (во вторичной обмотке), которые открываются и закрываются с частотой питающей сети 50/60 Гц, или крутые скачки напряжения, возникающие в первичных цепях импульсных источников питания. Если шум для вас очень важен, используйте везде, где возможно, линейные источники питания.

Важным показателем качества источника питания является степень развязки выхода источника от сети питания. Хорошая развязка способствует снижению уровня шума на выходе источника питания. Очень хорошей характеристикой можно считать значения сопротивления развязки выше 1 ГОм с параллельно включенной емкостью менее 1 нФ при обеспечении достаточной экранировки, допускающей синфазные токи менее 4 мкА. К сожалению, не все приборы демонстрируют такие характеристики, не говоря уже о более лучших показателях. Линейные источники могут хорошо подавлять синфазный ток, но при этом иметь недостаточную развязку по постоянному и переменному току; импульсные источники могут иметь хорошую развязку по постоянному и переменному току, но создавать при этом чрезмерный синфазный ток. В некоторых приложениях, таких как тестирование источников питания с гальванической развязкой, более важными параметрами являются развязка по постоянному и переменному току. В отличие от этого, источнику, используемому для питания низковольтного резистивного делителя или пикоамперметра, может потребоваться очень малый синфазный ток, независимо от сопротивления развязки.

К трем наиболее важным параметрам развязки источника питания относятся: 1) сопротивление изоляции между первичной и вторичной обмотками трансформатора источника питания, 2) паразитная

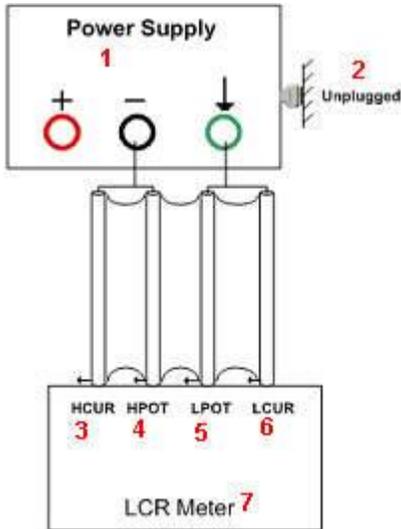
емкость между обмотками и 3) синфазный ток. Сопротивление изоляции характеризует развязку выходного разъема «Low» источника питания от корпуса по постоянному току. Правильно спроектированные источники питания, такие как новые источники питания Keithley серии 2200 (*рис. 2*), допускают разность потенциалов более 100 В между любым из выходных разъемов и корпусом. Эта характеристика свидетельствует о хорошей развязке между сетью электропитания (цепь первичной обмотки) и разъемом «Low» (цепь вторичной обмотки). Недавно для сравнения мы измерили сопротивление изоляции источников питания двух разных изготовителей, для чего на разъем «Low» каждого источника подавалось напряжение 200 В (при этом сам источник питания не подключался и не заземлялся), после чего измерялся результирующий ток с помощью электромера (как показано на *рис. 3*). Один источник продемонстрировал ток 130 нА, что соответствует сопротивлению изоляции 1,5 ГОм; второй источник питания пропустил ток 65 нА, что соответствует сопротивлению изоляции 3 ГОм. Оба результата были достаточно хороши.

Рис.2. Линейка программируемых источников питания Keithley серии 2200 состоит из пяти источников с максимальной мощностью от 86 до 150 Вт и выходным напряжением от 20 до 72 В.



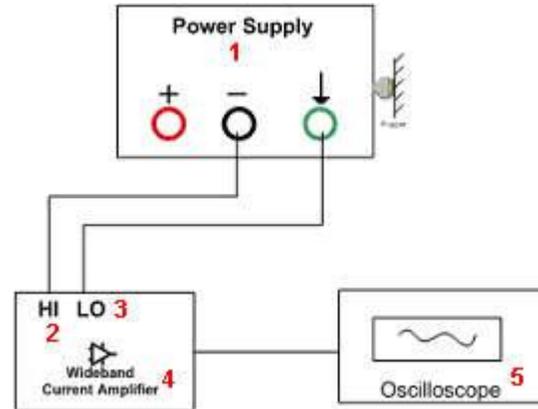
Паразитная емкость характеризует изоляцию источника питания по переменному току. Если источник питания разработан неправильно, процессы в цепях первичной обмотки трансформатора будут влиять на работу цепей вторичной обмотки. Эту емкость можно измерить измерителем RLC, включенным между разъемом «Low» и корпусом незаземленного источника питания (*рис. 4а*). Паразитная емкость на частоте 1 кГц у первого источника питания составила примерно 18 нФ, а у второго источника питания – 800 пФ. На частоте 100 Гц эти емкости оказались равными 20 нФ и 1,15 нФ соответственно.

Рис.4а. Схема измерения паразитной емкости источника питания.



1. Источник питания
2. Не подключен
3. HCUR
4. HPOT
5. LPOT
6. LCUR
7. Измеритель RLC

Рис.4б. Схема измерения синфазного тока источника питания.



1. Источник питания
2. Hi
3. Lo
4. Широкополосный усилитель тока
5. Осциллограф

Синфазный ток характеризует проникновение шума с корпуса источника питания на разъем «Low» в рабочем режиме. Правильно спроектированный источник с хорошей экранировкой первичной и вторичной обмоток трансформатора будет демонстрировать очень малый синфазный ток (как правило, несколько микроампер). Столь малый ток можно измерить малошумящим осциллографом с широкополосным активным пробником тока, как показано на **рис. 4б**. Осциллограммы на **рис. 5а и 5б** представляют собой синфазные токи двух вышеупомянутых источников питания. Они соответствуют синфазному току около 4 мкА для первого источника питания и 20-30 мкА для второго. Оба источника питания имеют хорошую изоляцию, но отдельные параметры могут достаточно сильно отличаться.

Рис.5а. Синфазный ток источника питания №1.

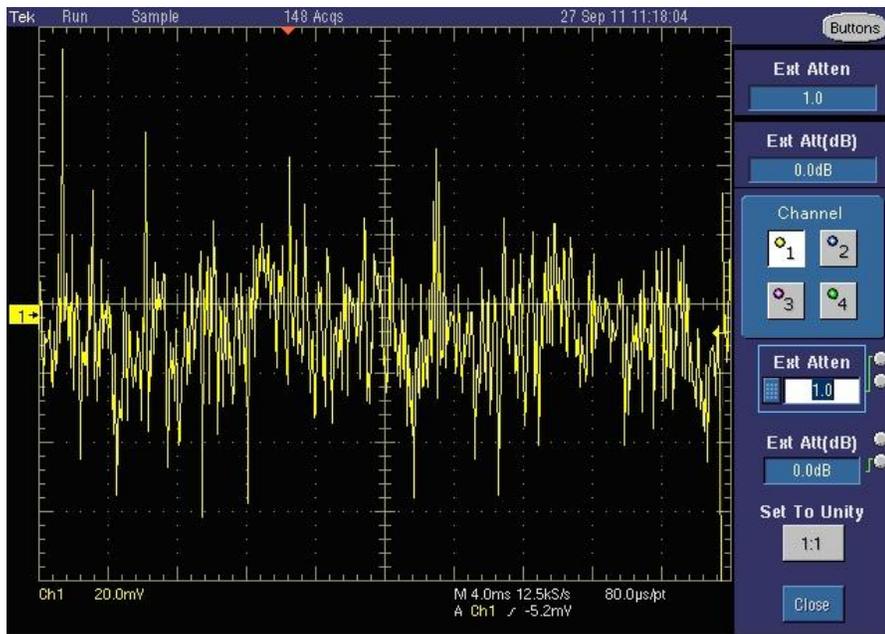
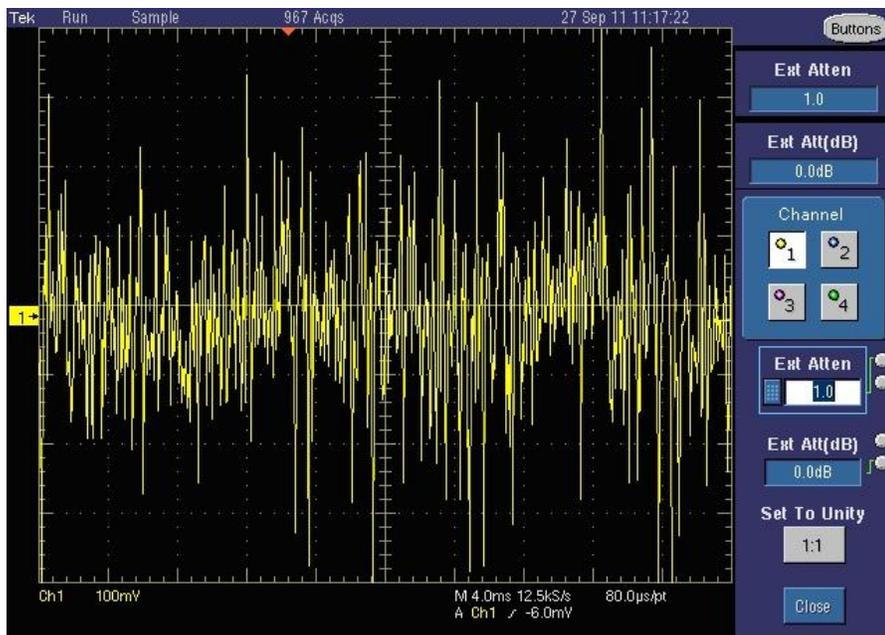


Рис.5б. Синфазный ток источника питания №2.

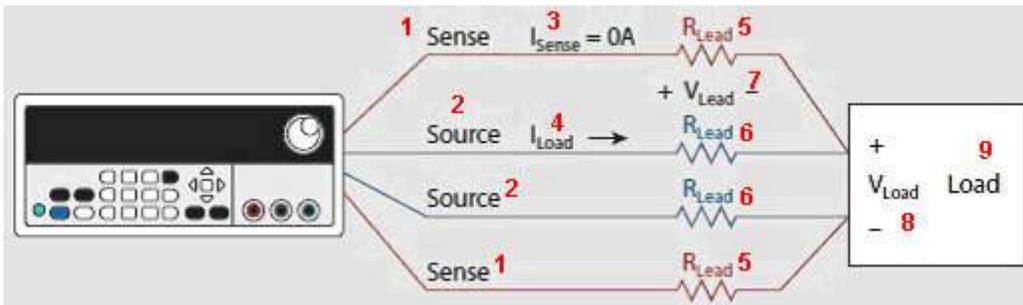


В общем случае, чем выше сопротивление изоляция, тем меньше шум, проникающий из сети переменного тока через источник питания. Проблема усложняется, когда в измерительной схеме используются дополнительные приборы. В этом случае недостаточная изоляция источника питания по постоянному току может стать причиной протекания большого синфазного тока из одного прибора в другой. Таким образом, выбирая источник питания для конкретного приложения, нужно учитывать влияние его сопротивления изоляции по постоянному и переменному току на тестируемое устройство, и цепь или контур, по которому могут протекать синфазные токи первичной или вторичной обмотки. Затем можно оценить напряжение шума (умножив синфазный ток на сопротивление этой цепи) и понять, насколько этот шум будет мешать.

Если для вашего ТУ необходимы отдельные изолированные каналы питания, вам может понадобиться несколько отдельных изолированных источников питания или источник питания с несколькими выходными каналами. Если вы выбираете многоканальный источник питания, всегда следите за тем, чтобы сопротивление изоляции между каналами превышало необходимое сопротивление изоляции между цепями тестируемого устройства. Это может оказаться трудно определить по техническому описанию источника питания (или даже по схеме тестируемого устройства). Некоторые источники питания не обеспечивают надежную изоляцию между каналами, поэтому не пожалейте времени на измерение сопротивления изоляции между каналами, если изоляция цепей питания ТУ для вас особо важна.

Если важную роль играет хорошая стабилизация напряжения на нагрузке, обратите внимание на точность выходного напряжения источника питания и тщательно изучите его технические характеристики. Эта точность может снижаться, если источник питания контролирует напряжение только на выходных разъемах. Для повышения точности нужно измерять напряжение прямо на тестируемом устройстве. Для этого источник питания должен иметь дополнительные измерительные провода, подключаемые в той же точке тестируемого устройства, где подключаются провода питания. При таком подключении напряжение измеряется непосредственно на тестируемом устройстве, и источник питания может компенсировать падение напряжения на соединительных проводах (*рис. 6*).

Рис.6. Дополнительные измерительные провода гарантируют, что на нагрузке будет присутствовать заданное напряжение. Напряжение измеряется непосредственно на нагрузке с целью регулировки выходного напряжения так, чтобы $V_{\text{нагрузки}} = \text{Заданному напряжению}$. Выходное напряжение источника питания устанавливается так, чтобы скомпенсировать падение напряжения на соединительных проводах, $V_{\text{провода}} = I_{\text{нагрузки}} * R_{\text{провода}}$



1. Измерительный провод
2. Провод питания
3. $I_{\text{измерения}}$
4. $I_{\text{нагрузки}}$
5. $R_{\text{провода}}$
6. $R_{\text{провода}}$
7. $V_{\text{провода}}$
8. $V_{\text{нагрузки}}$
9. Нагрузка

Если Вы хотите узнать больше о выборе оптимального источника питания для конкретного приложения, воспользуйтесь бесплатными рекомендациями по применению компании Keithley «Интерпретация характеристик линейных источников питания», которые можно скачать со страницы <http://www.keithley.com/data?asset=55945>.

Об авторах

Роберт Грин старший менеджер по расширению рынка компании Keithley Instruments, Кливленд, штат Огайо, которая входит в состав компании Tektronix. Во время работы в Keithley Грин принимал участие в разработке и внедрении в производство широкого диапазона приборов. Он имеет степень бакалавра электротехники Вашингтонского университета в Сент-Луисе, штат Миссури.

Являясь штатным инженером компании Keithley, **Джеймс Ниманн** отвечает за разработку приборов для измерений малых величин. Он имеет степень бакалавра электротехники Акронского университета. Был награжден тремя дипломами и обладает более чем 23-летним опытом работы в сфере проектирования измерительных приборов.

Куинг Д. Старкс работает в компании Keithley штатным инженером по приложениям. До прихода в Keithley в 2006 г, она занимала инженерные должности в компаниях Infineon Technologies/Qimonda и Cypress Semiconductor. Имеет степень бакалавра электротехники Университета Калгари и степень магистра электротехники Стэнфордского университета.