

## Keysight Technologies

# Десять принципов, которые необходимо знать при работе с источником питания постоянного тока

## Рекомендации по применению

### Введение

Понимание принципов работы измерительных инструментов может дать представление о том, как усовершенствовать методы испытаний. Современные технические характеристики и защитные функции источников питания обеспечивают гибкость при создании более простых и эффективных испытательных установок. Применение этих 10 принципов работы с источником питания позволяет получить преимущества от указанных свойств.



## Содержание:

- 1 Правильное программирования источника питания для работы в режиме стабилизации напряжения или тока / 3
- 2 Применение четырехпроводного подключения для стабилизации напряжения на нагрузке / 4
- 3 Использование источника питания для измерения силы тока испытуемого устройства / 5
- 4 Последовательное или параллельное соединение выходов источника питания для достижения большей мощности / 6
- 5 Минимизация поступления шумов источника питания в испытуемое устройство / 7
- 6 Обеспечение безопасности испытуемого устройства с помощью встроенных в источник питания защитных функций / 8
- 7 Использование выходных реле для физического отключения испытуемого устройства / 9
- 8 Захват динамических сигналов с помощью встроенного в источник питания дигитайзера / 10
- 9 Создание изменяющегося во времени напряжения выходного сигнала с помощью режима работы по списку LIST / 11
- 10 Советы по монтажу источника питания в стойку / 12

# 1

## Правильное программирование источника питания для работы в режиме стабилизации напряжения или тока

Выход источника питания может работать в режиме стабилизации напряжения (CV) или в режиме стабилизации тока (CC), в зависимости от установки напряжения, установки предела силы тока и сопротивления нагрузки. В большинстве случаев источник питания работает в режиме CV или CC. Однако, при некоторых условиях источник может войти в третий режим, называемый нерегулируемым (UNR). Понимание этих трех режимов поможет запрограммировать источник питания правильно более быстро.

### Стабилизация напряжения

Источник питания будет работать в режиме стабилизации напряжения (CV) при условии, что нагрузке не требуется ток больший, чем установленный предел силы тока. Согласно закону Ома,  $V = I \times R$ , для поддержания постоянного напряжения во время изменения сопротивления нагрузки необходимо, чтобы сила тока возрастала или уменьшалась. До тех пор, пока потребление тока  $I_{\text{вых}} = V_s / R_L$  меньше, чем установленный предел силы тока, источник питания стабилизирует выход при установленном значении напряжения. Источник питания будет работать вдоль горизонтальной линии  $V_s$  (см. рисунок 1), при  $I_{\text{вых}} = V_s / R_L$ .

### Стабилизация тока

Если сопротивление нагрузки уменьшается, например, в случае, неисправности элемента испытываемого устройства, и сопротивление нагрузки,  $R_L$ , меньше, чем  $R_C$ , где  $R_C$  — отношение установленного напряжения источника питания к установленному пределу силы тока, источник питания будет стабилизировать ток. И наоборот, закон Ома диктует изменение напряжения, если сила тока остается постоянной, равной установленному

пределу. Такой режим работы называется режимом стабилизации тока ( $C_C$ ). Источник питания будет работать вдоль вертикальной линии  $I_s$  (см. рисунок 1), значение напряжения на выходе будет равно  $V_{\text{вых}} = I_s \times R_L$ .

### Нерегулируемое состояние

Если источник питания не способен стабилизировать выходное напряжение или силу тока, то источник питания переходит в нерегулируемый (UNR) режим. Ни сила тока, ни напряжение не будут находиться в установленных пределах, а реально установившиеся значения не могут быть predetermined. Хотя режим UNR может наступать вследствие множества причин, это происходит не очень часто. Возможные причины нерегулируемого режима:

- Источник питания имеет внутреннюю неисправность.
- Напряжение в сети питания переменного тока ниже нормированного диапазона.

- Сопротивление нагрузки равно  $R_C$ , то есть значению, при котором выход переходит из режима CV в режим CC, или из CC в CV (см. рисунок 1).
- Существует еще один источник мощности, соединенный с выходом источника питания, например, в случае, если применяется параллельное соединение выходов.
- Выход переходит из режима CV в CC, или из CC в CV. Такой переход вызовет кратковременное состояние UNR.

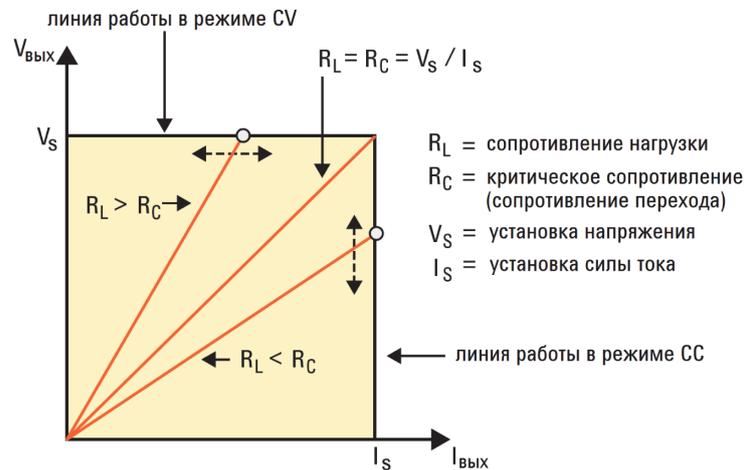


Рисунок 1: Выходная характеристика источника питания

## 2

## Применение четырехпроводного подключения для стабилизации напряжения на нагрузке

В идеальном случае провода, соединяющие источник питания с нагрузкой, не имеют сопротивления. В действительности сопротивление провода зависит от его длины и сечения. В конечном итоге напряжение на нагрузке может уменьшиться, когда источник питания доставляет ток по проводам. Для компенсации такого эффекта следует применять четырехпроводное подключение, чтобы скорректировать падения напряжения.

Обычно в комплект поставки источника питания с фабрики входят провода, подключенные в определенном месте к выходным клеммам. Однако, в случае установок с длинными проводами для подключения нагрузки или для сложных установок с реле и соединителями, напряжение на выходных клеммах не будет в точности соответствовать напряжению на нагрузке (рисунок 2).

В зависимости от сечения и длины провода, сопротивление соединений с нагрузкой может приводить к тому, что напряжение на нагрузке будет существенно ниже, чем необходимо. Ситуации с высокими значениями силы тока, например, будут неизменно приводить к значительным падениям напряжения, даже при коротких проводах для подключения нагрузки. Сопротивления для различных сечений медного провода представлены в следующей таблице:

Сечение провода (мм <sup>2</sup> )	Сопротивление (Ом/м)
0,5	0,03400
0,75	0,02267
1	0,01700
1,5	0,01133
2,5	0,00680
4	0,00425
6	0,00283
10	0,00170
16	0,00106
25	0,00068

Таблица 1: Сопротивление в Ом/м для различных сечений медного провода

При подключении клемм к нагрузке, внутренний усилитель с обратной связью видит напряжение непосредственно на нагрузке, а не на выходных клеммах. Поскольку цепь управления считывает напряжение непосредственно на нагрузке, источник питания будет сохранять напряжение нагрузки постоянным, невзирая на падения напряжения, вызванные калибром и длиной провода нагрузки, выходными реле или соединителями.

При использовании четырехпроводного подключения необходимо помнить следующее:

- Используйте двухпроводной экранированный кабель со скрученными жилами в качестве проводов считывания
- Соединяйте экран провода считывания с землей только с одного конца кабеля.
- Не связывайте и не переплетайте провода для четырехпроводного подключения с проводами для подключения нагрузки.
- Следует предотвращать размыкание цепи на клеммах считывания, поскольку они являются частью тракта обратной связи выхода.
- Компания Keysight использует внутренние резисторы для защиты системы считывания. Эти резисторы предотвращают рост

выходного напряжения более чем на несколько процентов в случае, если провода для считывания по ошибке оказались разомкнутыми.

- Большинство источников питания могут компенсировать максимум несколько вольт падения напряжения на проводах нагрузки.

Для реализации четырехпроводного подключения (рисунок 3) следует:

1. Отсоединить клеммы считывания от основных выходов.
2. Подключить каждую клемму считывания к контакту нагрузки с подходящей полярностью.
3. Если необходимо, установить источник питания в четырехпроводной режим.

Рисунок 2: Влияние проводов длиной 0,9 м сечением 1 мм<sup>2</sup> при отсутствии четырехпроводного подключения. На проводах появляется падение напряжения 0,3 В (0,15 В на провод).

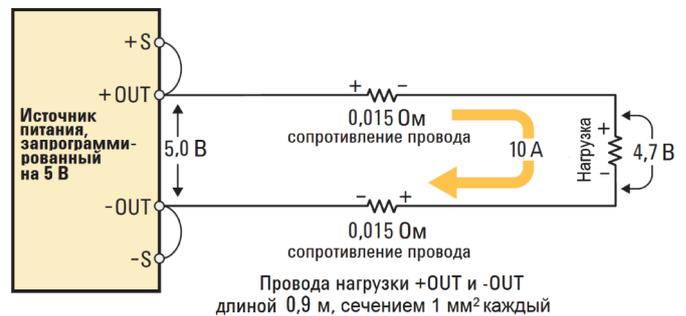


Рисунок 3: Применение четырехпроводного подключения для компенсации падения напряжения на проводах нагрузки



# 3

## Использование источника питания для измерения силы тока испытуемого устройства

Точные результаты измерений тока испытуемого устройства можно получить с помощью амперметра, токового шунта или встроенной в источник питания возможности измерения. В конечном счете, рассмотрев преимущества и недостатки каждого подхода, нужно выбрать один из них. Чаще всего функция измерения силы тока источником питания может обеспечить необходимую точность измерения.

### Амперметр

Наиболее распространенный способ измерения тока испытуемого устройства – использование настольного цифрового мультиметра в режиме амперметра. Несмотря на то, что амперметр имеет преимущество в виде определенной погрешности измерений, приходится разрывать цепь, чтобы включить в нее амперметр. Кроме того, цифровой мультиметр имеет предел максимальной силы тока, которую можно измерить, обычно он составляет несколько ампер.

### Внешний токовый шунт/цифровой мультиметр

Измерения силы тока можно проводить с помощью шунтов. Используя токовый шунт, пользователь может выбрать наиболее подходящий шунтирующий резистор, соответствующий нужному диапазону силы тока. Точность измерений основывается на точности измерения напряжения цифровым мультиметром и точности шунта. Несмотря на то, что таким методом можно получить результаты измерения с очень высокой точностью, некоторые ошибки могут неблагоприятно повлиять на результаты измерений. Следует обратить внимание на следующие сложности, которые обычно остаются вне поля зрения:

- **Термо-ЭДС** – в цепях, где применяются разнородные металлы, возникает ЭДС, влияющая на результат измерений
- **Калибровка шунта** – прецизионные измерения могут быть выполнены только при использовании откалиброванного шунта
- **Эффекты саморазогрева** – повышенная температура, вызванная протеканием электрического тока, может вызывать изменение сопротивления шунта.

Кроме того, установка токового шунта требует разрыва цепи, чтобы подключить шунт последовательно. Токовый шунт, установленный в системе, которая смонтирована в стойке, может даже потребовать сложных подключений, включающих реле и коммутаторы.

### Встроенное измерение силы тока

Можно избежать трудностей, связанных с подключением токовых шунтов, за счет использования встроенной в источник питания функции измерения силы тока. Функция измерения силы тока в источнике питания использует внутренний шунт, выбранный, чтобы дополнить номинальное выходное значение источника питания. Нет необходимости отсоединять испытуемое устройство или подключать цифровой мультиметр.

Ниже приведен уровень погрешности измерений, который можно ожидать при использовании высококачественного источника питания (таблица 2).

В измерительных характеристиках источника питания учтены ошибки, связанные с внешним шунтом. Таким образом, точности измерения источником питания может оказаться уже достаточно для большинства приложений, в которых требуется измерять силу тока, особенно для случаев, когда сила тока находится в пределах от 10% до 100% от номинального значения источника питания.

Встроенную функцию измерения силы тока следует выбирать в случае, если вы получите преимущества от следующих свойств этой функции:

- Уменьшение количества оборудования, необходимого для подключений – не требуются реле, коммутаторы и прокладка проводов

Погрешность измерения силы тока источником питания	
Уровень выходного тока	Типовая погрешность
100% от номинального значения	от 0,1% до 0,5%
10% от номинального значения	от 0,5% до 1%
1% от номинального значения	около 10%

Таблица 2: Относительная погрешность считывания силы тока источником питания

# 4

## Последовательное или параллельное соединение выходов источника питания для достижения большей мощности

Пользователь может соединить два или более выходов источника питания последовательно для получения большего значения напряжения или соединить выходы параллельно для достижения больших значений силы тока.

При последовательном соединении выходов для получения больших значений напряжения необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- Никогда не превышайте пределы плавающего напряжения (изоляция выходной клеммы) любого из выходов
- Никогда не допускайте попадания на выходы источника питания напряжения обратной полярности
- Соединяйте последовательно только те выходы, которые имеют одинаковые пределы силы тока и напряжения

Следует настроить каждый выход источника питания независимо так, чтобы сумма напряжений оказалась равной полному требуемому значению. Для этого сначала следует настроить каждый выход на максимальный нужный предел силы тока, который нагрузка сможет безопасно обработать. Затем следует установить значение напряжения каждого из выходов так, чтобы сумма этих значений была равна полному желаемому напряжению. Например, если используется два выхода, следует установить напряжение каждого из них равным половине суммарного желаемого значения напряжения. Если используется три выхода, следует установить напряжение каждого из них равным одной трети от суммарного желаемого значения напряжения.

При параллельном соединении выходов для получения больших значений силы тока, необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- Один выход должен работать в режиме стабилизации напряжения (CV), а другой (другие) – в режиме стабилизации тока (CC)
- Потребление электрического тока выходной нагрузкой должно быть достаточным для поддержания выхода (выходов) в режиме CC.

- Параллельно следует соединять только те выходы, которые имеют идентичные номинальные значения напряжения и силы тока

Установите пределы силы тока одинаковыми для всех выходов так, чтобы в сумме они были равны желаемому значению полной силы тока. Установите значение напряжения CV-выхода немного меньшим, чем значение напряжения CC-выходов. CC-выходы генерируют выходной ток, на который они были настроены, и снижают напряжение до тех пор, пока оно не будет соответствовать напряжению CV-блока, который генерирует ток достаточный только для того, чтобы выполнить все требования нагрузки.

Для измерения напряжения непосредственно на нагрузке можно использовать функцию четырехпроводного подключения при использовании последовательной или параллельной конфигурации источников питания. Для некоторых источников питания необходимо преднамеренно установить для каждого выхода режим дистанционного считывания, иногда называемый “4-проводной режим”.

**Использование четырехпроводного подключения при последовательных соединениях:**

При использовании четырехпроводного подключения в последовательной конфигурации, соедините последовательно клеммы четырехпроводного подключения на каждом выходе и подключите их к нагрузке, как это показано на рисунке 4.

**Использование четырехпроводного подключения при параллельных соединениях:**

Когда используется четырехпроводное подключение в параллельной конфигурации, следует соединить параллельно клеммы четырехпроводного подключения на каждом выходе и подключить их к нагрузке, как это показано на рисунке 5.

Чтобы упростить настройку для параллельного соединения выходов, некоторые источники питания поддерживают расширенную функциональную

возможность, называемую “группировка выходов”. До четырех одинаковых выходов могут быть “сгруппированы”, предоставляя пользователю возможность управлять всеми сгруппированными выходами, как если бы они представляли собой единственный выход с более высокой силой тока.

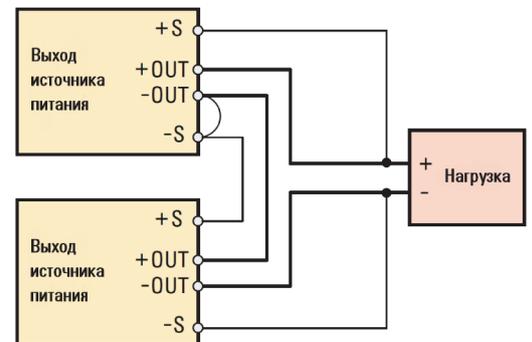


Рисунок 4: Последовательное соединение с четырехпроводным подключением

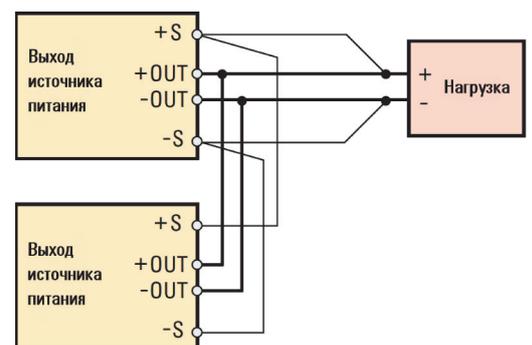


Рисунок 5: Параллельное соединение с четырехпроводным подключением

# 5

## Минимизация поступления шумов источника питания в испытуемое устройство

Если испытуемое устройство (ИУ) чувствительно к шуму на входе питания, необходимо сделать все возможное, чтобы минимизировать шум на входе. Ниже приведены три простых шага, которые помогут этого добиться.

### Выбирайте малошумящий источник питания

Чтобы минимизировать шум, следует начать с источника питания.

Поскольку фильтрация шумов от источника питания может оказаться затруднительной, желательно начать с выбора источника питания, который имеет очень низкий уровень шумов. Этого можно добиться выбором линейного регулируемого источника питания; однако линейные источники питания могут быть большими и выделять большое количество тепла. Вместо этого рассмотрите возможность выбора импульсного источника питания. Современная технология, применяемая в импульсных источниках питания, развита настолько, что характеристики шума на их выходе могут быть сравнимы с характеристиками шума линейных источников. Сравнение характеристик шума типовых линейных и импульсных источников приведено в таблице 3.

	Уровень шумов (СКЗ)	Уровень шумов (размах)
Линейный источник питания	~ 500 мкВ	~ 4 мВ
Импульсный источник питания	~ 750 мкВ	~ 5 мВ

Таблица 3: Сравнение уровня шумов линейных и импульсных источников питания

Выбор источника питания с низким уровнем шума (СКЗ и размах) на выходе - это отличный первый шаг, но также можно минимизировать шумы, уделив должное внимание соединительным проводам с ИУ.

### Экранируйте соединения “источник – испытуемое устройство”

Соединения между источником питания и ИУ могут быть восприимчивы к шумовым помехам. Различные типы помех включают индуктивную связь, емкостную связь, а также радиопомехи. Существует ряд способов уменьшить шум, однако наиболее эффективным является применение экранированных двухпроводных кабелей для подключения нагрузки и разъемов считывания.

При использовании экранированных кабелей следует обеспечить подключение экрана к земле только с одного конца. Например, подключите экран со стороны источника питания к земле, как это показано на рисунке 6. Пренебрежение подключением экрана с одного из концов может увеличить емкостную наводку.

Не следует подключать экран к земле с обоих концов, поскольку могут возникнуть токи в контуре заземления. На рисунке 7 показан ток в контуре заземления, который развился из-за разности потенциалов между заземлением источника и заземлением испытуемого устройства. Ток в контуре заземления может породить напряжение на кабелях, что проявляется в виде помех в ИУ.

В дополнение к надлежащему экранированию, балансировка импеданса кабеля может сохранить низкими параметры шума источника питания.

### Балансировка импеданса выхода относительно земли

Синфазный шум – это шум, который генерируется, когда синфазный электрический ток течет изнутри источника питания в землю и порождает напряжение на импедансе относительно земли, включая импеданс кабеля. Чтобы минимизировать влияние синфазного тока, следует выровнять импеданс положительной и отрицательной выходной клемм источника питания относительно земли. Также следует выровнять импеданс положительной и отрицательной клемм ИУ относительно земли. Чтобы решить эту задачу, следует использовать синфазный дроссель последовательно с выходными проводами и шунтирующий конденсатор между каждым проводом и землей.

Рисунок 6: Экран соединен с землей только с одного конца кабеля

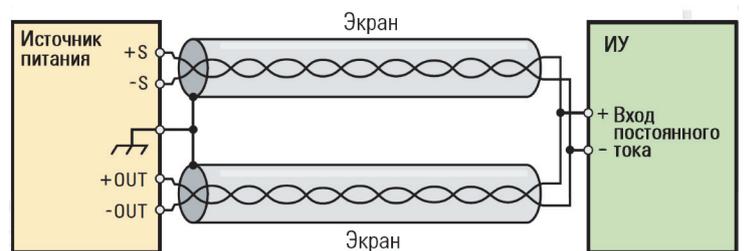
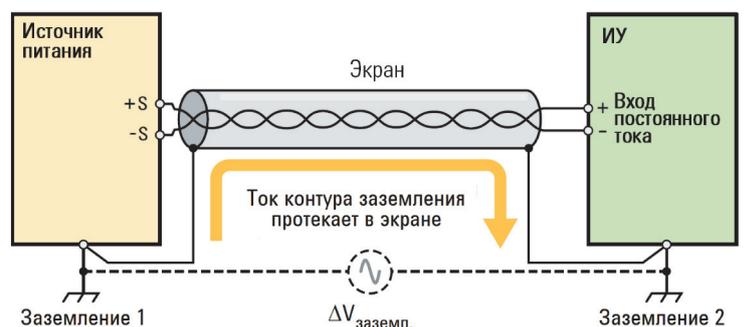


Рисунок 7: Экран подключен неправильно (с обоих концов), что приводит к возникновению тока в заземляющем контуре



# 6

## Обеспечение безопасности испытываемого устройства с помощью встроенных в источник питания защитных функций

Большинство источников питания постоянного тока имеют функции, предназначенные для защиты чувствительных испытываемых устройств и цепей от потенциально опасного напряжения или тока. Когда испытываемое устройство приводит в действие схему защиты в источнике питания, схема защиты выключает выход и выдает соответствующий сигнал. Две обычные защитные функции – защита от перегрузки по напряжению и по току.

При разработке испытательных систем важно понимать эти защитные функции, чтобы предохранить испытываемое устройство.

### Защита от перегрузки по напряжению (OVP)

OVP является установленным значением в вольтах, предназначенным для защиты испытываемого устройства от чрезмерного напряжения. Когда значение выходного напряжения источника питания превысит установку OVP, защита выключит выход.

Функция OVP всегда включена. Когда источники питания отгружаются с фабрики, значение OVP обычно установлено существенно выше максимального номинального выходного значения источника питания. Следует установить напряжение срабатывания OVP достаточно низким для защиты испытываемого устройства от чрезмерного напряжения, но достаточно высоким, чтобы предотвратить случайное срабатывание вследствие нормальных флуктуаций выходного напряжения. Флуктуации могут появляться во время переходных состояний выхода, таких как изменения тока нагрузки.

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** На большинстве источников питания функция OVP реагирует на напряжение на выходных разъемах, а не на разъемах, предназначенных для измерений. При использовании четырехпроводного подключения следует запрограммировать значение напряжения срабатывания OVP достаточно высоким, чтобы обеспечить падение напряжения на выводах для подключения нагрузки.

Схемы OVP могут реагировать на состояние перегрузки по напряжению за микросекунды, однако понижение самого выходного напряжения займет больше времени. Время, необходимое для отключения выхода, зависит от способности источника питания к быстрому снижению напряжения и нагрузки, которая подключена к выходу.

Некоторые источники питания имеют однооперационный тиристор, включенный параллельно выходу и открывающийся, когда переключается OVP, что снижает напряжение гораздо быстрее.

### Защита от перегрузки по току (OCP)

Большинство источников питания имеют установку выходного напряжения и установку предела силы тока. Установка предела силы тока определяет значение в амперах, при котором источник питания будет предотвращать протекание электрического тока слишком большой силы. Такой режим стабилизации тока (CC) регулирует выходное значение силы тока так, чтобы она была равна предельному значению тока, но не отключит выход. Напротив, напряжение уменьшается ниже установленного значения, и источник питания продолжает генерировать ток в соответствии с установками предела для режима стабилизации по току.

Функция защиты от перегрузки по току выключает выход, чтобы предотвратить поступление избыточного электрического тока в испытываемое устройство. Ограничение тока следует установить достаточно низким, чтобы защитить испытываемое устройство от избыточного тока, но достаточно высоким, чтобы предотвратить случайное переключение вследствие нормальных флуктуаций выходного тока, которые могут иметь место во время переходных состояний выхода, например, при изменении значения напряжения на выходе. Когда источник питания поставляется с фабрики, защита от перегрузки по току выключена.



Рисунок 8: Панель источника питания, показывающая защиту от перегрузки по напряжению, защиту от перегрузки по току, режимы стабилизации напряжения и стабилизации тока.

# 7

## Использование выходных реле для физического отключения испытываемого устройства

Многие считают, что если установлено состояние выключения выхода, то выход источника питания полностью разомкнут, а это не всегда верно. При установке в состояние "отключено" выходной импеданс будет различным для разных моделей, а также может зависеть от опций, установленных в источнике питания. Состояние "выход отключен" обычно устанавливает нулевые значения выходного напряжения и тока, а также отключает внутренние схемы генерации мощности. Тем не менее, эти установки не гарантируют, что ток перестанет течь в или из испытываемого устройства (ИУ), как если бы выходные клеммы были физически отсоединены от ИУ.

Когда выход источника питания отключен, но не разомкнут, на тестирование ИУ может неблагоприятно повлиять ряд причин:

- ИУ содержит источник энергии, который подключен непосредственно к выходу источника питания.
- ИУ содержит источник энергии, который подключен к выходу источника питания в конфигурации с обратной полярностью.
- ИУ чувствительно к излишней емкостной нагрузке.
- ИУ приводит к изменениям напряжения на выходе источника питания.

Некоторые модели источников питания имеют опцию внутреннего выходного реле, которое может полностью отсоединять выход источника питания от ИУ. Реле, показанное на рисунке 9, открывается, когда пользователь использует установку "выход отключен" и полностью останавливает протекание электрического тока в ИУ. Но даже если опция реле установлена, отдельные модели могут иметь выходные конденсаторы, или цепи с емкостной связью, соединяющие выходные клеммы с заземлением шасси вследствие расположения реле, таким образом, ИУ будет все еще подключено к этим компонентам (см. рисунок 10).

В критически важных приложениях, где требуется полное отсоединение ИУ от выхода источника питания, следует обратиться к производителю источника питания, чтобы выяснить, существует ли опция реле, обеспечивающая полное отключение. Если

такая конфигурация недоступна, возможно, следует предусмотреть собственные внешние реле для отключения выхода.

Недостатками конфигурации с внешним реле являются дополнительная стоимость и усложнение испытательной установки, а также необходимость в дополнительном пространстве. В этом случае необходимо предусмотреть реле, соединить провода от выхода источника питания с реле, а также установить

средства управления реле. Кроме того, синхронизация открытия и закрытия внешних реле с другими событиями, связанными с электропитанием, может оказаться более сложной.

Встроенные реле отключения выхода, если таковые доступны, дают следующие преимущества по сравнению с внешними реле:

- Простота
  - Упрощение монтажа
  - Отсутствие схемы управления внешним реле
- Требуется меньше места
- Лучшая встроенная синхронизация открытия/закрытия реле с другими событиями, зависящими от электропитания
- Реле открываются при наступлении состояния отказа, например, перегрузки по напряжению или току

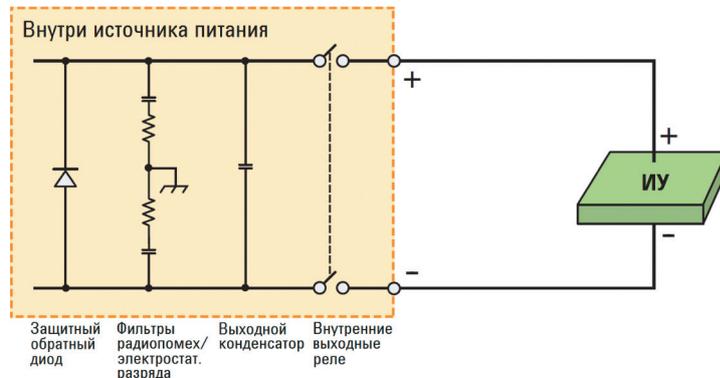


Рисунок 9: Пример источника питания с внутренними реле, расположенными непосредственно на выходе источника питания. Когда реле открыты, ИУ полностью отключено.

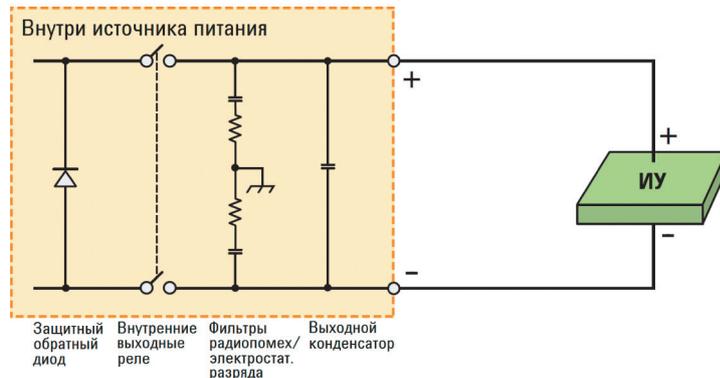


Рисунок 10: Пример источника питания с внутренними реле и другими компонентами, встроенными в цепь выхода источника питания. Когда реле открыты, эти компоненты остаются подключенными к испытываемому устройству.

# 8

## Захват динамических сигналов с помощью встроенного в источник питания дигитайзера

В то время как большинство источников питания могут измерять установившиеся значения напряжения и силы тока испытываемого устройства (ИУ), некоторые источники питания также могут измерять динамические значения напряжения и тока. Такие источники имеют встроенный дигитайзер.

Обычно дигитайзеры используются при сборе данных для захвата и хранения аналоговых сигналов. Как и осциллограф, который использует дигитайзер для отображения аналогового сигнала, присутствующего на одном из его входов, встроенный дигитайзер источника питания захватывает динамические сигналы напряжения и тока, создаваемые на его выходе.

### Основы работы дигитайзера

На рисунке 11 показан дигитайзер, преобразующий аналоговый сигнал в набор точек данных. По сигналу запуска дигитайзер захватывает выборки измерений и сохраняет их в буфере.

Когда осуществляются измерения с использованием дискретизации, можно установить два из следующих трех параметров:

- **Временной интервал** – время между выборками
- **Количество выборок** – полное число выборок, которое требуется захватить
- **Время захвата** – полное время, в течение которого требуется захватывать выборки

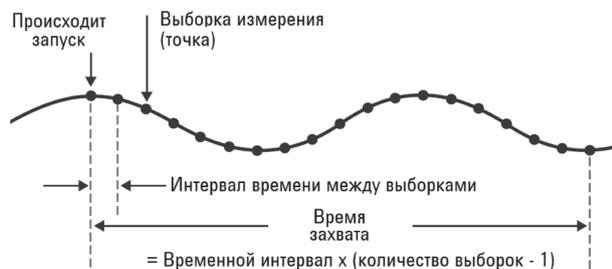


Рисунок 11: Дигитайзер преобразует аналоговый сигнал в точки данных с помощью выборки.

Когда два параметра заданы, оставшийся параметр будет определяться следующим равенством:

$$\text{Время захвата} = \text{Временной интервал} \times (\text{Количество выборок} - 1)$$

Похожим образом встроенный дигитайзер источника питания может быть сконфигурирован на запуск и захват сигналов напряжения и тока источника. Дигитайзер источника будет сохранять точки данных сигнала в буфер отсчетов. Пользователь может извлечь эти данные и использовать любое стандартное программное обеспечение для анализа. Также можно использовать собственную программу или доступное программное обеспечение для измерения параметров устройств, чтобы легко визуализировать результаты во временной области (просмотр как на осциллографе или системе сбора данных) или провести статистический анализ.

### Пример применения дигитайзера

Если источник питания используется вместо батареи, вы можете получать динамическую информацию об электрическом токе, который течет в ИУ, что позволяет лучше понять потребление тока батарей ИУ. Благодаря этому можно внести соответствующие корректировки в проект, чтобы оптимизировать управление электропитанием ИУ во время различных режимов его работы.

На рисунке 12 представлен образец сигнала, полученный при потреблении тока мобильным телефоном с помощью

выходного дигитайзера источника питания и программного обеспечения (это не экран осциллографа).

При использовании программного обеспечения, захваченные данные графически отображаются во временной области так же, как осциллограф отображает сигнал. На отображении сигнала различимы состояния ожидания, приема и передачи. Конечно, вы можете анализировать дискретизированные данные и другими способами.

Можно использовать интерфейс шины, например, USB, LAN или GPIB, для захвата и выборки дискретизированной информации о сигнале. Выбранные данные могут возвращаться как скалярное значение, которое вычисляется источником питания как единственное число, полученное усреднением данных (как это происходит на дисплее передней панели), или как массив значений. Можно даже захватывать данные, предшествующие или следующие за событием запуска, изменяя задержку запуска для захвата сигналов, таких как пиковое потребление тока во время испытаний пускового тока.

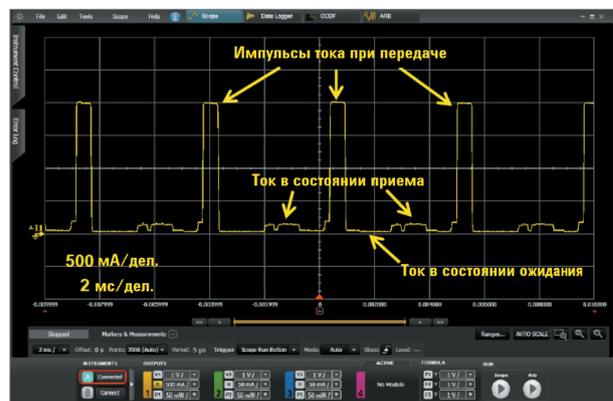


Рисунок 12: Программное обеспечение использует встроенный дигитайзер источника питания для захвата данных, показывая потребление тока от источника питания мобильным телефоном.

# 9

## Создание изменяющегося во времени напряжения выходного сигнала с помощью режима работы по списку LIST

Обычно источники питания применяются для подачи напряжения с постоянным значением на цепи питания испытуемого устройства. Однако для более сложных приложений может потребоваться изменяющееся во времени напряжение (или ток). Современные источники питания могут легко справиться с обеими задачами, используя режим свипирования по списку в приложениях, для которых характерны изменения во времени.

### Режим работы по списку LIST

В обычной ситуации вы можете запрограммировать ПК для изменения напряжения на выходе источника питания в течение дискретных периодов времени. В этом случае пользовательская программа управляет переходами между значениями напряжения, позволяя проводить тестирование испытуемого устройства (ИУ) при различных напряжениях.

Режим работы по списку LIST позволяет генерировать такие последовательности напряжений и синхронизировать их с внутренними или внешними сигналами без использования компьютера. Вам нужно установить раздельно программируемые

шаги напряжения (или силы тока), а также соответствующую длительность шага. После установки длительности для каждого шага необходимо запустить список на исполнение непосредственно на источнике питания. Можно настроить источник питания для перехода на следующий шаг на основе времен выдержки или сигналов запуска. Список может быть запрограммирован на повторение один или несколько раз (см. рисунок 13).

Для создания списка необходимо установить следующие параметры:

- Один или более шагов напряжения или силы тока – определенные значения напряжения или силы тока
- Времена выдержки – длительность, связанная с каждым шагом напряжения или силы тока
- Число повторений – необходимое количество повторений списка

### Два способа применения режима работы по списку LIST для испытаний

Режим работы по списку LIST в источнике питания может быть эффективным инструментом для запуска двух типов испытаний:

- Тестирование последовательностью

напряжений – испытание, при котором измерения осуществляются в то время, когда заданные значения напряжения воздействуют на ИУ.

- Тестирование напряжением произвольной формы – испытание, при котором измерения осуществляются в то время, когда сигнал напряжения произвольной формы воздействует на ИУ.

В обоих случаях создается последовательность шагов напряжения. В первом случае имеется несколько уровней установившегося напряжения, а во втором – непрерывно изменяющийся профиль напряжения. Оба испытания обычно применяются при тестировании ИУ на этапе разработки. Следует учитывать, что источник питания постоянного тока имеет ограничения по полосе пропускания и обычно может генерировать сигналы напряжения только с частотой до десятков кГц. Также большинство источников питания являются униполярными устройствами, которые создают только положительные значения напряжения.

### Использование режима работы по списку LIST

Режим работы по списку LIST может использоваться для тестирования автомобильных электронных систем.

Во время запуска двигателя внутреннего сгорания, также известного как холодный пуск, уровень напряжения батареи существенно падает из-за потребления огромного количества тока электромотором стартера (см. рисунок 14). Как только двигатель запускается, сигнал напряжения батареи становится плоским и достигает окончательного уровня после выключения электрического стартера.

Можно ввести упрощенную последовательность, приведенную в таблице 4, в список, чтобы осуществить испытания управляющего блока автомобильной электронной системы на этапе разработки. (Имитировать переходы между уровнями напряжения с помощью дополнительных шагов.) Такое испытание позволяет убедиться, что автомобильная электроника имеет достаточную устойчивость к переходным помехам по цепи питания. Используйте режим работы по списку LIST таким способом в случаях, когда необходимо приложить изменяющееся во времени напряжение к ИУ.

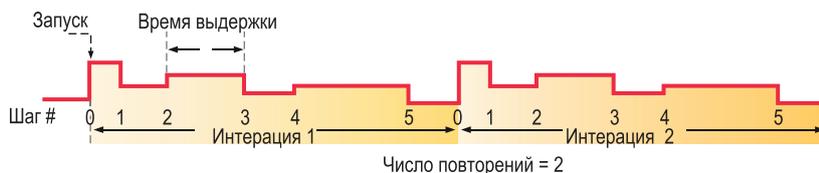


Рисунок 13: Список – это последовательность отдельно запрограммированных шагов напряжения (или силы тока), инициализированная с помощью сигнала запуска

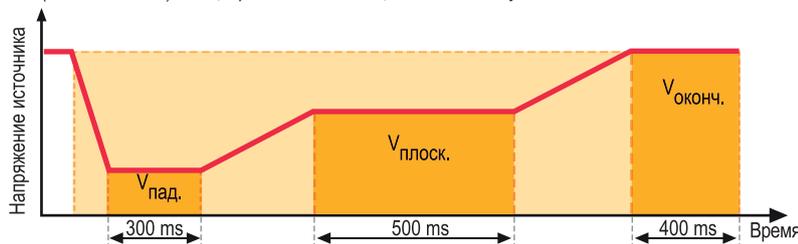


Рисунок 14: Профиль напряжения в бортовой сети автомобиля при холодном пуске двигателя, представленный списком шагов

Шаг	Уровень напряжения	Значение напряжения	Время выдержки
0	V <sub>пад.</sub>	8 В	300 мс
1	V <sub>плоск.</sub>	12 В	500 мс
2	V <sub>оконч.</sub>	14 В	400 мс

Таблица 4: Простой список, использующийся для симуляции профиля напряжения в бортовой сети автомобиля при пуске двигателя на рисунке 14

# 10

## Советы по монтажу источника питания в стойку

При планировании приборной стойки, выбор компоновки контрольно-измерительной аппаратуры может оказаться достаточно сложной задачей. Безопасность, надежность и производительность - лишь часть множества требований, влияющих на выбор.

При размещении источника питания постоянного тока в стойке следует обратить особое внимание на следующие соображения:

- **Распределение веса** Вес должен быть распределен должным образом, чтобы избежать неустойчивости стойки
- **Подвод питания от сети переменного тока** Должен быть обеспечен соответствующий подвод мощности от сети питания переменного тока, чтобы избежать чрезмерного потребления тока
- **Контроль нагрева** Следует обеспечить должный контроль нагрева во избежание слишком высоких температур. Влияние магнитного поля. Размещайте приборы должным образом, чтобы минимизировать влияние магнитного поля
- **Прокладка проводов** Прокладывайте провода так, чтобы минимизировать наведенные и излученные помехи

### Распределение веса

Как правило источник питания является одним из самых тяжелых приборов в стой-

ке. Источник питания следует монтировать в нижней части стойки, чтобы понизить её центр тяжести и, следовательно, уменьшить риск опрокидывания (рисунок 15).

**Подвод питания от сети переменного тока** При выборе сечения подводящего сетевого кабеля, следует использовать максимальные номинальные значения силы тока каждого прибора в стойке, чтобы обеспечить соответствующий подвод питания от сети переменного тока к стойке. Большинство приборов потребляет относительно постоянное количество тока. Однако подводимый переменный ток меняется вместе с выходной нагрузкой источника питания. Если максимальная ожидаемая выходная нагрузка источника питания заранее не известна, следует планировать наихудший вариант, используя максимальное номинальное значение входного тока источника питания.

### Контроль нагрева

Обычно источники питания имеют встроенные вентиляторы охлаждения. При монтаже источника питания в стойку следует убедиться, что имеется достаточно пространства для притока воздуха и для выпуска отработанного воздуха. Следует держать чувствительные к температуре приборы, например, мультиметры, на достаточном удалении от источников питания, поскольку высокие

температуры могут оказать отрицательное воздействие на показания цифрового мультиметра. Влияние магнитного поля ЖК-дисплеи заменили большую часть ЭЛТ-дисплеев; однако, если используются старые компьютеры или осциллографы с ЭЛТ-дисплеями, следует иметь в виду, что они чувствительны к магнитным полям. Магнитные поля также могут влиять на характеристики и точность некоторых измерительных приборов. Например, цепи вольтметров могут быть чувствительными к большому магнитному полю, создаваемому трансформатором таким же, какой находится внутри источника питания. Следует устанавливать источники питания постоянного тока достаточно далеко от приборов, чувствительных к магнитному полю, особенно от цифровых мультиметров.

### Прокладка проводов

Поскольку силовые провода могут излучать помехи, а измерительные провода и сенсоры восприимчивы к этим помехам, силовые и сигнальные кабели следует прокладывать отдельно.



Рисунок 15: Чтобы должным образом сбалансировать испытательную систему в стойке, следует размещать наиболее крупные и тяжелые приборы в нижней её части.

## Ресурсы

Список литературы компании Keysight

***10 Hints For Using Your Power Supply to Decrease Test Time***  
**5968-6359E**

(10 советов по уменьшению времени испытаний при использовании источника питания)  
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5968-6359E.pdf>

***10 Practical Tips You Need to Know About Your Power Products***  
**5965-8239E**

(10 практических рекомендаций по использованию источников питания)  
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-8239E.pdf>

***Test-System Development Guide***  
**5989-5367EN**

(Руководство по разработке испытательных систем)  
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-5367EN.pdf>

myKeysight

my Keysight

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

Персонализированное отображение интересующей вас информации



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

LXI является преемником шины GPIB.

Построенная на базе стандарта локальной сети (LAN), LXI обеспечивает более высокое быстродействие и более эффективные возможности подключения. Компания Keysight является членом учредителем консорциума LXI.



Три Года Стандартной Заводской Гарантии

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

Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование



Планы Технической Поддержки Keysight [www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

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

Keysight Electronic Measurement Group  
DEKRA Certified ISO 9001:2008  
Quality Management System

Торговые партнёры Keysight

Лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерительной техники и широкая номенклатура выпускаемой продукции компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнёрами.

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

Российское отделение

**Keysight Technologies**

115054, Москва, Космодамианская наб.,  
52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954  
8 800 500 9286 (Звонок по России  
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902  
e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

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

Сервисный Центр  
Keysight Technologies в России  
115054, Москва, Космодамианская наб.,  
52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930  
Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

(BP-16-10-14)

Информация в данном документе может быть изменена без предварительного уведомления

© Keysight Technologies, 2014

Published in USA, November 12, 2014

5990-8888RURU

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