

# Четыре аспекта использования современных ИП в составе испытательных систем

Дмитрий Титов (dmitry.titov@keysight.ru)

В статье представлены рекомендации, позволяющие максимально эффективно применять системные источники питания, не беспокоясь о безопасности испытываемых устройств. Приведённые советы позволят специалистам успешно интегрировать источники питания в испытательную систему.

Инженеры, отвечающие за разработку и эксплуатацию испытательных систем, постоянно сталкиваются с новыми требованиями. Кроме того, им приходится постоянно расширять и дополнять планы проведения испытаний. Решить такие задачи бывает непросто. Познакомьтесь с несколькими рекомендациями, позволяющими максимально эффективно применять системные источники питания (ИП), не беспокоясь о безопасности испытываемых устройств. Четыре приведённых ниже совета позволят специалистам успешно интегрировать ИП в испытательную систему.

## 1. Монтаж системного ИП в стойку

В процессе планирования конфигурации стойки для испытаний

могут возникнуть затруднения, связанные с выбором расположения необходимых приборов. При установке системного источника питания в стойку автор рекомендует опираться на перечисленные ниже рекомендации.

- **Распределение массы.** Правильно распределяйте массы приборов, чтобы стойка оставалась устойчивой.
- **Комплекты для монтажа в стойку.** Источники питания зачастую поставляются с уникальными комплектами для монтажа в стойку, позволяющими оптимально использовать пространство.
- **Обеспечение правильного питания стойки.** Обеспечьте необходимую мощность переменного тока на входе, чтобы не допустить чрезмерных просадок по току.

- **Контроль тепловыделения.** Используйте соответствующую систему контроля температуры и теплоотвода, чтобы не допустить чрезмерно высоких температур.
- **Прокладка проводов.** Прокладывайте провода так, чтобы свести к минимуму наведённые и излучаемые шумы.

### Распределение веса

Обычно источник питания – один из самых массивных приборов в стойке для испытаний. Устанавливайте ИП в нижней части стойки, чтобы уменьшить высоту центра тяжести стойки и, соответственно, уменьшить риск её опрокидывания.

### Комплекты для монтажа в стойку

Системные ИП разрабатывают таким образом, чтобы они занимали как можно меньше места в стойке. Это означает, что производителям приходится уменьшать высоту ИП, так как их ширина ограничена шириной стандартной 19" стойки. Системные ИП имеют большую длину, и из-за своих размеров и массы они зачастую поставляются со специальными комплектами для монтажа в стойку.

Например, в ИП серии N6700 используется уникальное крепление для монтажа в стойку (см. рис. 1), для которого не требуются направляющие. Благодаря отказу от направляющих источники питания серии N6700 занимают всего 1U высоты стойки. При разработке базового блока высокой мощности N6702C глубина прибора была увеличена на 2 дюйма (4,8 см), но при этом высота 1U осталась неизменной. На самом деле разработка ИП с высокой плотностью мощности (Вт на 1U стойки) и специализированных комплектов для монтажа в стойку требует значительных усилий.

### Обеспечение правильного питания стойки

При расчёте характеристик сетевого шнура переменного тока учитывайте максимальное значение номинального тока, потребляемого каждым прибором в стойке. Это позволит рассчитать адекватные параметры линии электропитания.

Большинство приборов потребляют относительно стабильное значение тока.

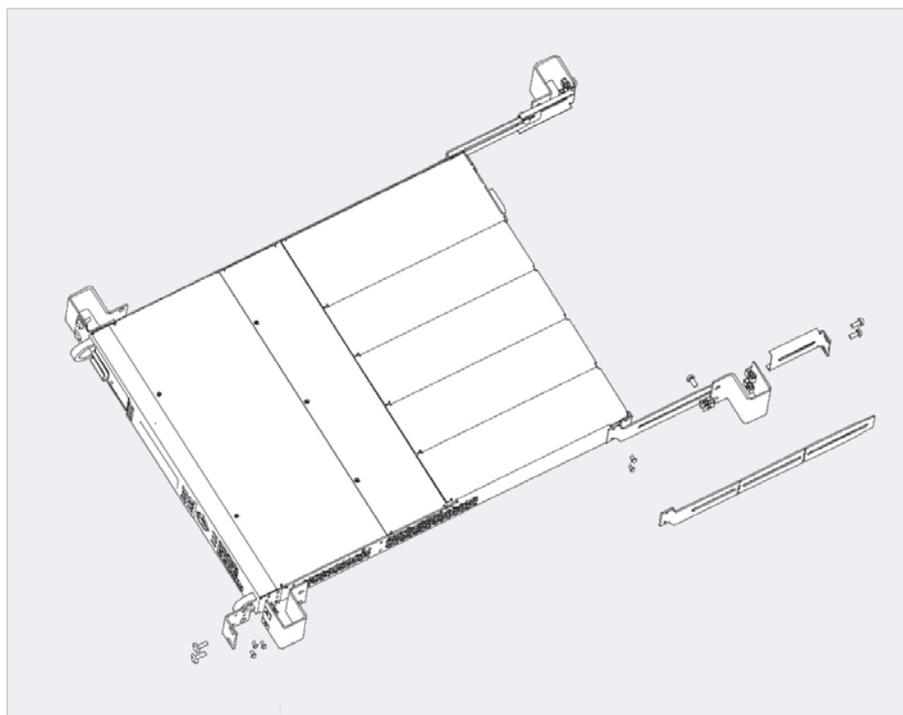


Рис. 1. Комплект монтажа системного ИП серии N6700 в стойку (устанавливается на боковых стенках ИП)



Рис. 2. Пример отображения рабочего состояния на передней панели: CV (режим стабилизации напряжения), CC (режим стабилизации тока), OV (перенапряжение) и OC (чрезмерный ток)

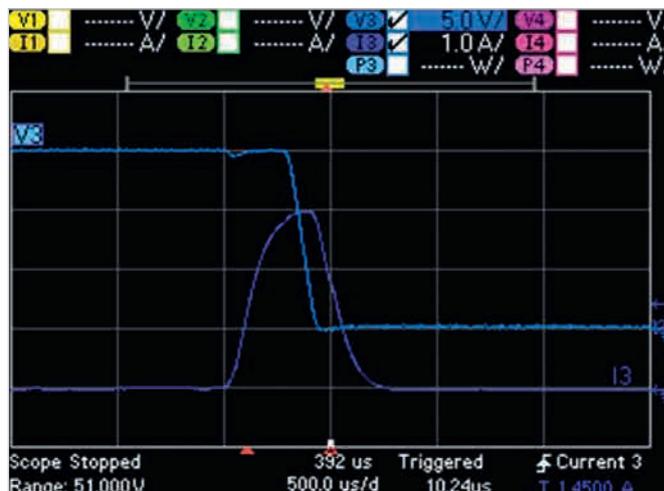


Рис. 3. Пример перегрузки по току (фиолетовая осциллограмма), при которой происходит отключение канала

Значение переменного тока на входе ИП зависит от нагрузки на его выходе. Если максимальная ожидаемая нагрузка на выходе ИП неизвестна, при расчёте максимального номинального входного тока ИП ориентируйтесь на худший вариант.

### Контроль тепловыделения

Обычно в ИП имеются внутренние охлаждающие вентиляторы. При установке ИП в стойку следует предусмотреть необходимое пространство перед входными и выходными отверстиями для воздуха. Обратите внимание на направление потока воздуха и убедитесь, что горячий воздух, выходящий из источника питания, отводится в сторону от чувствительных к нагреву приборов, например, цифровых мультиметров.

### Прокладка проводов

Сигнальные и измерительные кабели восприимчивы к шумам. Так как силовые кабели могут излучать электрический шум, их следует прокладывать отдельно от сигнальных кабелей. Экранированные кабели с витой парой позволяют чрезвычайно эффективно снизить помехи от низкочастотных шумов.

## 2. ЗАЩИТА ИСПЫТУЕМОГО УСТРОЙСТВА

Инженеры обычно выбирают системные ИП, мощность которых превышает необходимую. Именно поэтому очень важно помнить о необходимости защиты испытуемого устройства. Ниже перечислен ряд мер, позволяющих предотвратить возникновение неполадок.

- **Защита от перенапряжения.** Чтобы не допустить повреждения испытуемого устройства, ограничьте подаваемое на него напряжение.

- **Защита от чрезмерных токов.** Эта система защищает не только испытываемое устройство, но и всю испытательную систему от чрезмерных значений тока.
- **Блокирование передней панели.** Эта функция используется для защиты от непреднамеренного изменения настроек на передней панели.
- **Защита при повреждениях межблочных соединений или неисправностях.** Эта функция отключает все каналы (даже в разных базовых блоках) при возникновении неисправностей.
- **Сторожевой таймер.** Обеспечивает защиту устройства, отключая выход источника питания, если внешняя управляющая программа «зависает» или контроллер перестаёт отвечать.
- **Дополнительная защита.** Некоторые ИП оснащены дополнительными системами защиты, например защитой от перегрева.

### Защита от перенапряжения

Самая очевидная угроза для испытуемого устройства – слишком высокие значения напряжения или тока на входе. Простой способ защитить испытуемое устройство – задать предельное значение напряжения, немного превышающее максимальное напряжение на выходе ИП.

Большинство системных ИП используются в режиме с постоянным напряжением. Это означает, что специалист, проводящий испытания, задаёт напряжение на выходе и предполагает, что на выходе ИП всегда будет заданное значение напряжения.

В качественных системных ИП используются отдельные схемы для отслеживания состояния выхода и обнаружения перенапряжения. При обнаружении перенапряжения ИП выключает выход

и отображает сообщение о неисправности, связанной с перенапряжением.

На рисунке 2 показан пример отображения рабочего состояния на передней панели ИП.

### Защита от чрезмерного тока

Для работы функции защиты от чрезмерного тока используется параметр CC (значение предела для режима стабилизации тока). Система не позволяет току на выходе превысить значение этого параметра, но не выключает выход, если ток увеличится до этого максимального значения.

Если при выключенной функции защиты от чрезмерного тока его значение на выходе достигнет предела, заданного параметром CC, источник питания продолжит работать и на его выходе будет обеспечиваться ток, равный по значению параметру CC. Это может привести к повреждению некоторых испытуемых устройств, поскольку через них будут постоянно проходить токи нежелательного уровня.

Если при включённой функции защиты от чрезмерного тока его значение на выходе достигнет предела, заданного параметром CC, источник питания отключает выход и ток больше не подаётся на испытуемое устройство.

В системных ИП высшего класса предусмотрена задержка срабатывания функции защиты от чрезмерного тока, которая допускает наличие чрезмерного тока на выходе в течение заданного времени. Такая задержка предотвращает ложные срабатывания при бросках тока в процессе изменения напряжения.

На рисунке 3 приведён пример перегрузки по току, при которой происходит отключение канала (осциллограм-

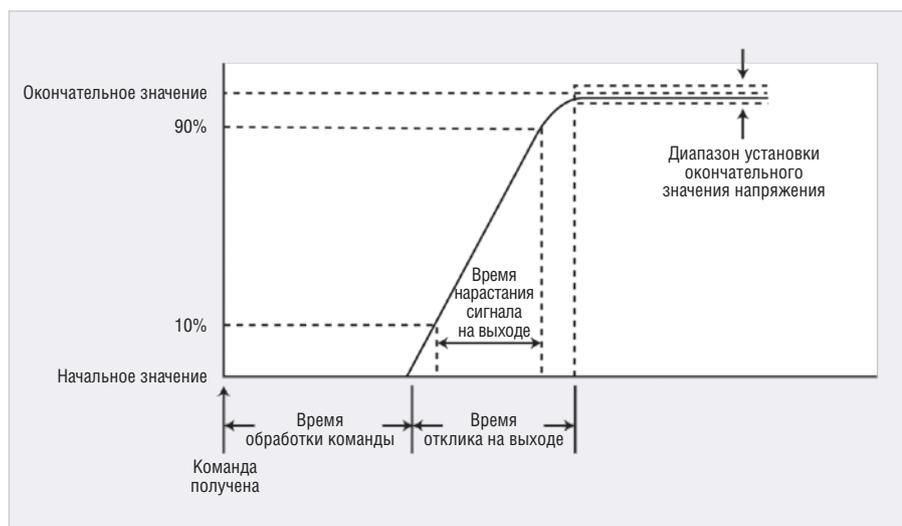


Рис. 4. Время отклика на выходе ИП

ма напряжения на выходе показана синим цветом).

**Функция блокирования передней панели**

При управлении источником питания с помощью удалённого интерфейса передачи данных, например локальной сети, органы управления на передней панели прибора должны быть отключены для защиты от случайного изменения параметров тока на выходе ИП.

Отключить переднюю панель можно двумя способами. Можно воспользоваться командой SCPI для блокирования и разблокирования передней панели. Кроме того, в некоторых ИП можно включить блокировку в меню на передней панели. В этом случае для разблокирования передней панели потребуется ввести пароль.

**Удалённое отключение по сигналу запрета**

Функция удалённого отключения по сигналу запрета позволяет отключать выход ИП по внешнему сигналу, например при размыкании или замыкании контактов переключателя.

Три самых распространённых случая применения этой функции:

1. Использование выключателя аварийного отключения.
2. Использование предохранительного выключателя на крышке защитного бокса.
3. Использование подключения к другим источникам питания.

Выключатель аварийного отключения предназначен для оператора и используется в чрезвычайных ситуациях, например если испытуемое устройство (ИУ) задымилось.

Если в испытуемом устройстве имеются движущиеся компоненты или высокие напряжения, на него должна быть установлена крышка или оно должно быть помещено в защитный бокс. Если в процессе испытания случайно открыть крышку, система должна выключить ИП. Использование кабелей с сигналом запрета, соединяющих несколько базовых блоков источников питания, позволяет выключать все ИП при возникновении неисправности.

**Сторожевой таймер**

Сторожевой таймер – это уникальная функция, которая используется в некоторых ИП высшего класса. Она позволяет отслеживать активность на всех интерфейсах удалённого управления (LAN, GPIB или USB). Если источнику питания не удаётся обнаружить такую активность в течение заданного периода времени, его выход отключается. Эта функция позволяет ИП защитить устройство даже при «зависании» контроллера или программы.

**Дополнительная защита**

Имеются ещё две функции защиты источника питания: защита от перегрева и защита от обратной полярности на выходе.

Если источником питания обнаруживается, что его внутренняя температура превышает предварительно заданное значение, то его выход отключается. Температура в источнике питания может возрасти из-за аномально высокой температуры окружающей среды или блокирования вентиляционных отверстий.

Одним из средств защиты ИП от обратной полярности является внутренний диод, подключённый к выходным клеммам ИП. В источниках питания для регулировки напряжения на выходных клеммах используются полярные электролитические конденсаторы. Диод защищает выходной конденсатор от напряжения обратной полярности, которое может поступать с внешнего источника.

**3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ**

Для большинства задач требуется поддерживать стабильный постоянный ток на выходе при самых различных нагрузках. Конструкция высокоскоростных системных ИП позволяет исключительно быстро изменять напряжение на выходах и реагировать на изменения параметров нагрузки.

При испытании беспроводного устройства с импульсным потреблением тока высокоскоростной ИП может работать нестабильно. Можно пойти на компромисс, увеличив время реагирования ИП, либо использовать дополнительные конденсаторы, чтобы обеспечить соответствующий импеданс ИП для нагрузки.

Понимание процессов, происходящих в нагрузке, и меры по их компенсации позволяют обеспечить необходимую реакцию ИП на запрограммированные изменения напряжения на выходе. Далее указаны три значения параметров времени отклика, которые можно уменьшить, чтобы сократить время испытаний, или увеличить, чтобы повысить стабильность. Кроме того, приведены отдельные рекомендации для ёмкостных и индуктивных нагрузок.

- *Время отклика на выходе.* Время, которое требуется на стабилизацию параметров выхода после переключения значения выходного напряжения.
- *Время отклика при снижении напряжения.* При контролируемом снижении напряжения на выходе ИП он должен рассеивать мощность, пока напряжение на выходе не станет равно заданному.
- *Время отклика при переходных процессах.* Время, которое требуется ИП для стабилизации после изменения параметров нагрузки.
- *Ёмкостные нагрузки.* Для ёмкостных устройств зачастую требуется

увеличивать время, за которое происходит изменение напряжения на выходе ИП.

- **Индуктивные или импульсные нагрузки.** Беспроводные устройства обычно потребляют ток короткими импульсами. Это приводит к падениям напряжения на выходе ИП.

**Время отклика на выходе**

Время отклика на выходе ИП (см. рис. 4) – это время, которое требуется для переключения на новое значение напряжения. Время обработки команд измеряется отдельно.

Время отклика на выходе имеет разные названия: скорость программного изменения, время установления, время отклика выхода, характеристика отклика на выходе и время отклика при программном изменении. Оно обычно описывается значениями времени нарастания и спада напряжения, временем установления или иногда временной константой.

Значения времени нарастания (и спада) – это время, которое требуется, чтобы напряжение на выходе возросло с 10 до 90% окончательного значения. Время установления (называемое временем отклика на выходе) – это время с момента, когда напряжение на выходе начинает изменяться, до момента, когда напряжение устанавливается в заданном диапазоне настройки рядом с окончательным значением.

**Время отклика при программном уменьшении напряжения**

Время отклика при программном уменьшении напряжения аналогично времени отклика при программном увеличении напряжения за исключением того, что в этом случае выходное напряжение ИП программно снижается. Тем не менее следует рассмотреть время отклика при программном уменьшении напряжения отдельно, так как малое время отклика при программном увеличении напряжения необязательно гарантирует сравнимо малое время отклика при программном уменьшении напряжения. В базовых моделях ИП обычно нет цепей активного рассеивания мощности, которые позволяют быстро понижать напряжение на выходе. В этом случае время отклика при программном уменьшении напряжения часто зависит от того, какую нагрузку испытывает устройство оказывает на выход ИП.

**Время отклика при переходных процессах**

Время отклика при переходных процессах (или время восстановления при переходных процессах в нагрузке) – это время, которое требуется на восстановление напряжения на выходе ИП после изменения нагрузки. При увеличении тока нагрузки напряжение на выходе сначала немного снижается, а затем быстро восстанавливается до исходного значения (или близкого к нему) (см. рис. 5).

Скорость восстановления напряжения при изменении тока нагрузки определяется параметрами контура обратной связи ИП. Высокоскоростные конструкции обеспечивают более короткое время восстановления. Однако источники питания, построенные по таким схемам, менее стабильны в работе. Аналогично низкоскоростные конструкции имеют большее время восстановления, но они более стабильны в работе.

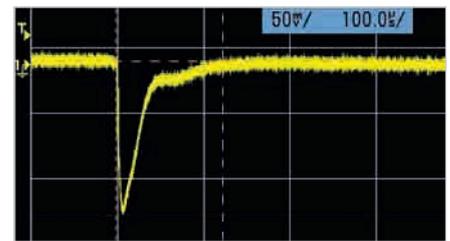
**Ёмкостные нагрузки**

При работе с ёмкостными нагрузками изменения напряжения на выходе обычно приводят к возникновению больших токов. В таких случаях высокоскоростной ИП может стать нестабильным, так как он пытается компенсировать внезапные изменения тока.

Ключевой способ, позволяющий обеспечить стабильную работу системы, – это согласование выходного импеданса ИП с нагрузкой. Последовательное сопротивление проводов и эквивалентное последовательное соединение нагрузки уменьшают ток. Кроме того, в некоторых ИП имеются системы управления скоростью нарастания напряжения на выходе. Они позволяют уменьшить скорость изменения напряжения на выходе и уменьшить полосу пропускания источника питания. Например, если установленная скорость нарастания напряжения равна 5 В/с, то для изменения выходного напряжения на 0,5 В потребуется 0,1 с.

**Индуктивные и импульсные нагрузки**

Чтобы увеличить время работы от аккумулятора, мобильные беспроводные устройства зачастую потребляют ток короткими импульсами, что приводит к внезапным изменениям параметров на выходе ИП. Можно стабилизировать выход ИП, добавив дополнительные конденсаторы в нагрузку и сведя к минимуму индук-



**Рис. 5. Падение напряжения на выходе из-за внезапного изменения тока, потребляемого нагрузкой, и его восстановление**

тивности проводов. Самый простой способ уменьшить индуктивность проводов – сделать их короче, но это не всегда возможно. Можно уменьшить индуктивность проводов, применяя витые пары.

**4. ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИП**

Системные ИП с функцией автоматического выбора диапазона широко распространены, поскольку они обеспечивают дополнительную гибкость по управлению напряжением и током. Довольно часто в испытываемые устройства вносят изменения и добавляют новые функции. Наличие достаточно гибких возможностей по управлению сочетаниями напряжения и тока значительно повышает вероятность того, что ИП будет соответствовать предъявляемым требованиям в будущем.

Определить ИП с двумя диапазонами или с автоматическим выбором диапазона довольно просто, так как в их характеристиках обычно используется слово «до». Кроме того, такие ИП можно определить по их максимальной номинальной мощности, так как они не позволяют достичь максимального напряжения при максимальном токе (для таких источников произведение максимального напряжения и максимального тока, то есть расчётная максимальная выходная мощность, намного превышает реальные возможности ИП). Разобраться с данной темой помогут следующие графики.

- **Выходная характеристика** – это графическое представление всех допустимых сочетаний напряжения и тока.
- **Прямоугольная выходная характеристика** – это самая распространённая выходная характеристика. Пользователю доступны все сочетания напряжения и тока вплоть до максимальных их значений.

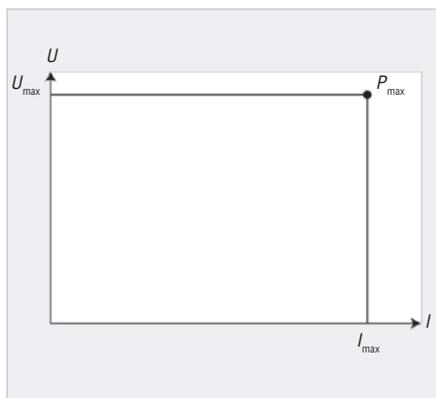


Рис. 6. Прямоугольная выходная характеристика ИП

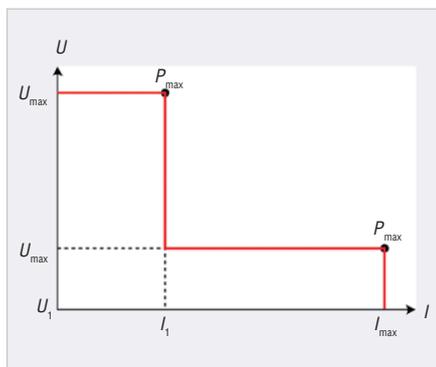


Рис. 7. Выходная характеристика с двумя диапазонами

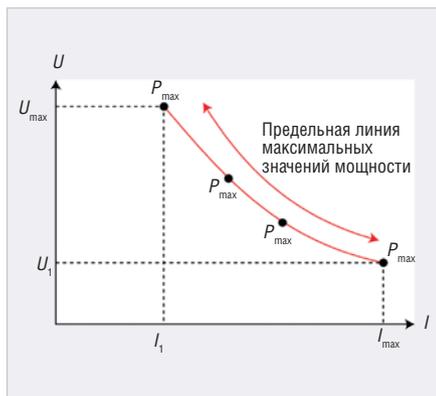


Рис. 8. Выходная характеристика ИП с автоматическим выбором диапазона

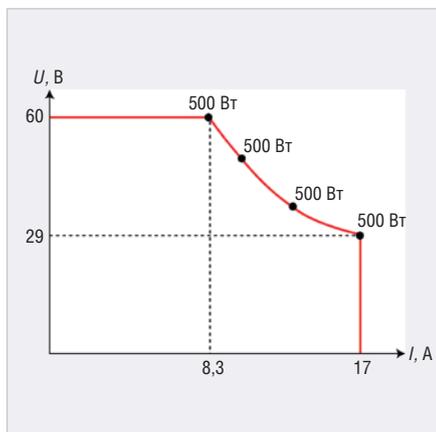


Рис. 9. Выходная характеристика ИП N6756A

- **Двухдиапазонный выход.** Источник питания с двумя диапазонами позволяет более гибко задавать сочетания напряжения и тока.
- **Функция автоматического выбора диапазона** предоставляет наиболее гибкие возможности выбора сочетаний напряжения и тока в рамках предельного значения мощности источника питания.

**Выходная характеристика**

Выходная характеристика ИП соответствует границам области, содержащей все допустимые сочетания напряжения и тока для определённого выхода. Любое сочетание напряжения и тока, находящееся внутри выходной характеристики, является допустимой рабочей точкой для этого ИП.

**Прямоугольная выходная характеристика**

Если посмотреть на график напряжения – тока, то прямоугольная выходная характеристика (см. рис. 6) имеет форму прямоугольника. Максимальную мощность ИП выдаёт в одной точке, соответствующей максимальным значениям напряжения и тока.

Например, источник питания мощностью 100 Вт (рассчитанный на напряжение 20 В и ток 5 А) имеет прямоугольную выходную характеристику. Можно задать любое напряжение в диапазоне 0...20 В и любой ток в диапазоне 0...5 А. Так как  $20 \text{ В} \times 5 \text{ А} = 100 \text{ Вт}$ , имеется только одна точка максимальной выходной мощности  $P_{max}$ , соответствующая максимальным значениям напряжения и тока.

**Двухдиапазонный выход**

Если посмотреть на график напряжения – тока, то выходная характеристика двухдиапазонного выхода (см. рис. 7) выглядит как две наложенные друг на друга прямоугольные выходные характеристики. Соответственно, максимальная мощность на выходе возможна при двух сочетаниях напряжения и тока.

ИП с выходной характеристикой этого типа имеют расширенные возможности по заданию выходного сигнала по сравнению с ИП с прямоугольной выходной характеристикой. В таких ИП можно использовать большее количество сочетаний напряжения и тока без дополнительных расходов. При этом размеры и масса таких блоков питания меньше, чем

у блоков питания большей мощности. Поэтому, даже если можно задавать напряжения и токи вплоть до  $U_{max}$  и  $I_{max}$  соответственно, сочетанию  $(U_{max}; I_{max})$  не будет соответствовать ни одна рабочая точка, так как при таком сочетании мощность превысит значение  $P_{max}$ .

Можно создать ИП, у которого количество диапазонов будет больше двух (хотя такие варианты менее распространены). Для таких ИП также возможны различные сочетания напряжения и тока, при которых выходная мощность не превышает значение  $P_{max}$ .

На графике напряжения – тока выходная характеристика источника питания с автоматическим выбором диапазона (см. рис. 8) выглядит как бесконечное количество перекрывающихся прямоугольных выходных характеристик, при которых выходная мощность не превышает значение  $P_{max}$ . Кривая постоянной мощности соединяет точки  $P_{max}$  при  $(I_1; U_{max})$  и  $P_{max}$  при  $(I_{max}; U_1)$ .

В качестве иллюстрации ИП с автоматическим выбором диапазона рассмотрим выходную характеристику источника питания N6756A (см. рис. 9) с максимальным напряжением 60 В и максимальным током 17 А. В автомобильной промышленности напряжения, не превышающие 60 В, считаются низкими. В современных автомобилях используется напряжение 12 В, поскольку соответствующие компоненты недороги и широко распространены.

Использование более высоких напряжений позволяет уменьшить значения тока и, соответственно, размер и массу проводов. Часто производители проводят исследования, используя компоненты, рассчитанные на напряжения 24 или 48 В. Например автомобили конструкции mild hybrid работают при напряжении 48 В, однако в них имеются системы, рассчитанные на 12 В. При использовании напряжений выше 60 В требуются дополнительные функции безопасности. Такие напряжения применяются только в электрических транспортных средствах и гибридных трансмиссиях. Максимальный ток для заданного напряжения можно определить по выходной характеристике. Источник питания N6756A обеспечивает токи 10,4 А (при напряжении 48 В) и 17 А (при напряжениях 12 и 24 В).



# ChipEXPO-2019

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

17-я  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА  
ЭЛЕКТРОНИКИ

РОССИЯ | МОСКВА  
ЭКСПОЦЕНТР

## ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России «Участники Государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы»
- Экспозиция участников конкурса на присуждение премии «Золотой Чип»
- Экспозиция «Испытания и контроль качества ЭКБ»
- Экспозиция «Новинки производителей электронных компонентов»
- Экспозиция «China electronics»
- Экспозиция предприятий Зеленограда (Корпорация развития Зеленограда)
- Экспозиция предприятий АО «Росэлектроника»

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

16.10-  
18.10

Реклама

