

Keysight Technologies

Оптимизация устойчивости источника питания при значительных переходных процессах в нагрузке

Содержание:

- Почему происходит падение напряжения
- Как достичь минимально возможного падения напряжения за счет:
 - Использования оптимальных проводников для подключения нагрузки
 - Выбора правильного источника питания
 - Использования локального обходного соединения

Рекомендации по применению



Вводная часть

Существующие на сегодняшний день интегральные схемы характеризуются значительным быстродействием. Увеличение быстродействия при эксплуатации обуславливает в высшей степени динамичную потребность в энергии, поступающей от источника питания, что является проблемой во время тестирования, когда в качестве источника энергии используются программируемые источники питания. Наличие высокочастотных колебаний тока может привести к падению напряжения в интегральной схеме. Если величина такого падения окажется достаточно существенной, следствием может стать сброс микропроцессора или искажение результатов проводимого испытания. В данном документе содержатся пояснения, почему происходит подобное падение напряжения, и предложены несколько способов, которые помогут обеспечить минимально возможное падение напряжения за счет выбора оптимального источника питания и проводников для подключения нагрузки, а также при помощи использования локального обходного соединения.

Выбор программируемых источников питания

Традиционно, для обеспечения наилучшего регулирования выходного напряжения следует использовать линейный источник питания. Однако, при повышении уровней тока линейные источники питания, как правило, характеризуются большими размерами, высокой стоимостью и низкой эффективностью. Совершенствование технологий в области импульсных источников питания сделало возможной замену линейного источника питания на импульсный в тех установках, к которым предъявляются высокие эксплуатационные требования.

Проектировщики импульсных источников питания сталкиваются, казалось бы, с противоречивыми задачами – обеспечить низкий уровень помех на выходе, малую длительность переходных процессов, низкую стоимость и высокую удельную мощность. Низкий уровень помех на выходе обычно обеспечивается применением многоступенчатой фильтрации или использованием более производительных компонентов фильтра, однако, оба этих способа приводят к повышению стоимости, уменьшению показателя удельной мощности и замедлению переходных процессов. В более совершенных источниках питания используется повышенная частота широтно-импульсной модуляции, фильтры улучшенной конструкции и более сложные схемы управления, которые обеспечивают оптимизацию по всем критериям. Если для установки, обеспечивающей тестирование интегральных схем, выбран импульсный источник питания, важно предварительно убедиться, что его переходная характеристика напряжения и полное выходное сопротивление обеспечат приемлемые эксплуатационные показатели установки.

Оптимизация проводки, используемой для подключения нагрузки

Во многих случаях имеющиеся физические ограничения вынуждают пользователя располагать источник питания на некотором расстоянии от испытываемой интегральной схемы, что подразумевает использование проводов для подключения нагрузки длиной, как минимум, 1 метр. Полное сопротивление проводки, присоединенной к выводам для подключения нагрузки, может вызвать ухудшение полного сопротивления источника питания, к которому подключена тестируемая интегральная схема. Почти во всех программируемых источниках питания предусмотрены контрольные входные подключения, которые позволяют пользователю выбрать точку регулирования напряжения для подключения выводов датчика напряжения. В данной испытательной установке точка контрольного подключения должна быть расположена как можно ближе к интегральной схеме. Однако, контур регулирования напряжения способен подавлять переходные процессы в этой контрольной точке только в пределах диапазона схемы управления. Следовательно, изменение напряжения в переходном процессе может происходить в этой контрольной точке при условии, что увеличение переходного тока происходит достаточно быстро. Полное сопротивление выводов для подключения нагрузки при пониженных частотах может быть смоделировано как последовательность индуктивности и сопротивлений, которая показана на Рис. 1.

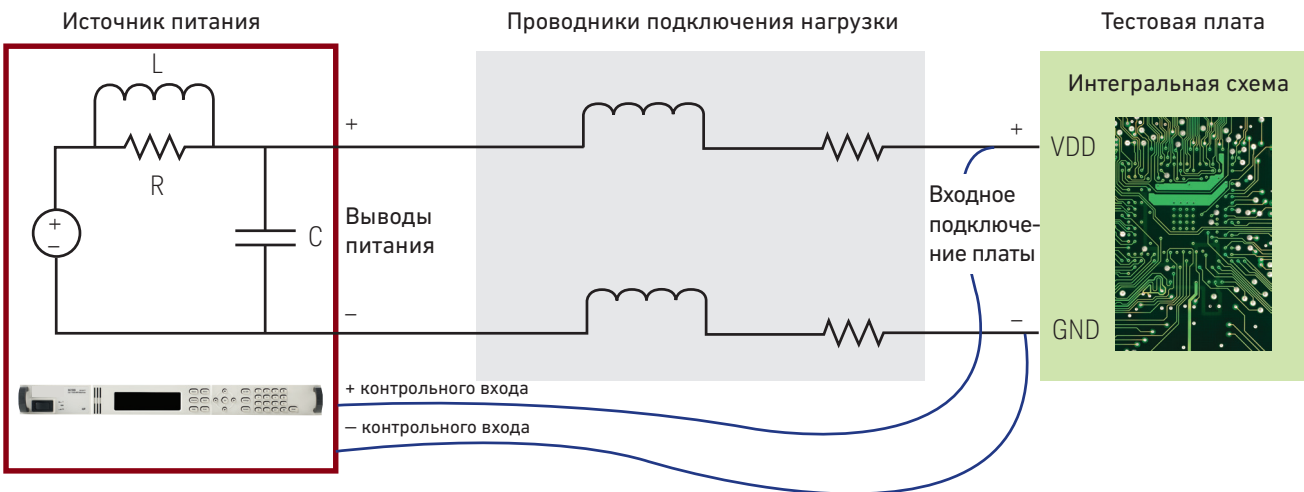


Рис. 1: Упрощенное представление полного выходного сопротивления источника питания и полного сопротивления выводов для подключения нагрузки.

Выполним проверку для установки, рассчитанной на ток силой 25 А и величину переходного тока 5 А, при этом источник питания настроен на напряжение 2,5 В и подключен к тестовой плате для интегральных схем проводниками длиной 5 футов (1,5 м) и калибром 14AWG (2 мм²). Поскольку данная установка является низковольтной, отклонение напряжения от номинального значения более чем на 100 мВ является, в целом, неприемлемым. Удельное сопротивление проводников калибра 14AWG составляет 2,5 мОм/фут, следовательно, сопротивление проводников, соединяющих источник питания и тестовую плату для интегральных схем, будет 25 миллиом.

$$\begin{aligned} V_{(пад.-R)} &= R_{пров.} \times I_{перех.} \\ \text{Ур. 1} \quad V_{(пад.-R)} &= 0.025 \text{ Ом} \times 5 \text{ А} = 125 \text{ мВ} \end{aligned}$$

Рассчитанное падение напряжения в 125 мВ будет компенсировано контуром контроля напряжения источника питания согласно его пропускной способности. Тем не менее, это падение напряжения в 125 мВ все же будет воздействовать на интегральную схему. В данном практическом примере одного только влияния сопротивления проводников, использованных для подключения нагрузки, достаточно, чтобы вызвать недопустимое падение напряжения на тестовой плате. Кроме того, еще одним существенным фактором, который нуждается в проверке, является индуктивность проводников, использованных для подключения нагрузки. Для испытательного стенда не редкостью являются ситуации, когда нарастание переходного тока в 5 А происходит в течение 10 нс. Такая высокая скорость изменения тока может вызвать постоянное падение напряжения в соединительных проводниках на время переходного броска тока. Для того, чтобы охарактеризовать такое падение напряжения, необходимо выполнить аппроксимацию, поскольку точная величина индуктивности проводников, использованных для подключения нагрузки, в значительной степени зависит от степени сближения положительного и отрицательного проводников. В большинстве случаев, соединительная проводка, выполненная из невитого провода, может быть смоделирована как индуктивность 250 нГн/фут.

$$\begin{aligned} V_{(пад.-L)} &= L \frac{I_{тран}}{t} \\ \text{Ур. 2} \quad V_{(пад.-L)} &= 2 \times 5 \text{ футов} \times 250 \times 10^{-9} \text{ Гн} \times \frac{5}{10 \times 10^{-6} \text{ с}} \\ V_{(пад.-L)} &= 1.25 \text{ В} \end{aligned}$$

Объединяем эффекты от сопротивления и индуктивности проводников:

$$\begin{aligned} V_{(пад.-Общ.)} &= V_{пад.-R} + V_{(пад.-L)} \\ \text{Ур. 3} \quad V_{(пад.-Общ.)} &= 125 \text{ мВ} + 1.25 \text{ В} = 1.375 \text{ В} \end{aligned}$$

Очевидно, что полученный результат в 1,375 В является неприемлемым. Как уже упоминалось ранее, контур регулирования напряжения источника питания обнаружит это переходное напряжение и скорректирует выходное напряжение источника питания таким образом, чтобы обеспечить устойчивое напряжение 2,5 В на тестовой плате. Однако, этот процесс может занять несколько миллисекунд, даже при наличии источника питания с хорошими рабочими характеристиками. Влияние индуктивности соединительных проводников может быть устранено путем плотного их соединения либо путем стягивания хомутами через равные интервалы, либо путем простого скручивания. Скручивание проводников имеет дополнительное преимущество в увеличении устойчивости к воздействию других электромагнитных полей, которые могут возникать из-за возникновения значительных переходных токов в других силовых проводниках. Скрученные проводники могут быть смоделированы как индуктивность величиной 170 нГн/фут. Эта величина индуктивности включает в себя эффект индуктивности как положительного, так и отрицательного проводника. Выполним повторный расчет с учетом использования скрученных проводников:

$$\begin{aligned} V_{(пад.-L_{скруч.})} &= 5 \text{ футов} \times 170 \times 10^{-9} \text{ Гн} \times \frac{5}{10 \times 10^{-6} \text{ с}} \\ \text{Ур. 4} \quad V_{(пад.-L_{скруч.})} &= 0.425 \text{ В} \end{aligned}$$

Хотя ситуация с падением напряжения и улучшилась, общий результат по-прежнему является неудовлетворительным. Дальнейшее улучшение можно обеспечить за счет параллельного включения кабелей. Например, параллельное включение четырех скрученных кабелей обеспечит четырехкратное снижение сопротивления и индуктивности.

$$\text{Ур. 5} \quad V_{\text{(пад.-скруч. - 4 пров.)}} = \frac{0.425 + 0.125}{4} = 0.1375 \text{ В}$$

Цель достичь показателя в 100 мВ все еще не достигнута, особенно, если учесть, что в источнике питания будет иметь место дополнительное падение переходного напряжения в соответствии с изменением тока на выходе. Снижение влияния индуктивности до уровня 10 нГн/фут можно обеспечить за счет применения специальных кабелей, таких, например, как коаксиальные кабели или кабели с плоскими проводниками, но такие варианты подключения являются дорогостоящими и не всегда доступными. Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что необходимо использовать источник энергии с низким сопротивлением, расположенный максимально близко к тестовой плате.

Локальное обходное соединение с конденсатором

Источник питания не способен достаточно быстро компенсировать падение напряжения в проводниках, используемых для подключения нагрузки, а также падение напряжение на собственных выводах, поэтому необходимо предусмотреть локальный источник энергии, как показано на Рис. 2. Конденсаторы характеризуются низким полным сопротивлением при высоких частотах, что хорошо дополняет низкое сопротивление источника питания при низких частотах. На сегодняшний день доступны конденсаторы, изготовленные с применением самых разнообразных технологий, и выбор подходящего элемента или комбинации элементов может оказаться весьма затруднительным. Керамические конденсаторы хорошо подходят для создания обходных цепей, работающих при высоких частотах и низких напряжениях. Однако, даже с учетом последних достижений в области изготовления керамических конденсаторов, они не могут сравниться по показателям плотности энергии и низкой цены с алюминиевыми электролитическими конденсаторами и алюминий-полимерными конденсаторами с твердым электролитом. Эквивалентное последовательное сопротивление обходной цепи является важным параметром, поскольку оно считается последовательно с конденсатором и может значительно уменьшить эффективность цепи обходного подключения. Выбор конденсатора с минимальным для данной системы номинальным напряжением позволит обеспечить минимальное значение эквивалентного последовательного сопротивления конденсатора и самую высокую емкостную плотность.

Взаимодействие между контуром контроля напряжения источника питания, соединительными проводниками, используемыми для подключения нагрузки, и емкостью цепи обходного подключения может оказаться достаточно сложным. Однако, некоторые полезные приближения могут помочь при выборе исходных характеристик конденсатора. Используется следующий порядок действий:

1. Расчет пикового полного сопротивления цепи:

При помощи следующего выражения рассчитывается желательное значение пикового полного сопротивления цепи подключения нагрузки и емкостного обходного подключения:

$$\text{Ур. 6} \quad Z_{\text{пик}} = \frac{\text{Макс. требуемое падение напряжения (В)}}{\text{Амплитуда переходного тока (А)}} = \frac{100 \text{ мВ}}{5 \text{ А}} = 20 \text{ МОм}$$

2. Расчет значения емкости цепи обходного подключения

Определяем требуемое пиковое значение полного сопротивления при помощи выражения для полного волнового сопротивления колебательного контура L-C, образованного индуктивностью соединительных проводников нагрузки и емкостью обходной цепи. Решение уравнения относительно значения емкости будет иметь вид:

$$\text{Ур. 7} \quad Z_{\text{пик}} = Z_c = \sqrt{\frac{\text{Индуктивность соединительных проводников нагрузки (Гн)}}{\text{Емкость обходной цепи (Ф)}}} \rightarrow 20 \text{ МОм} = \sqrt{\frac{5 \times 170 \text{ нГн}}{C}} \rightarrow C = 530 \text{ мкФ}$$

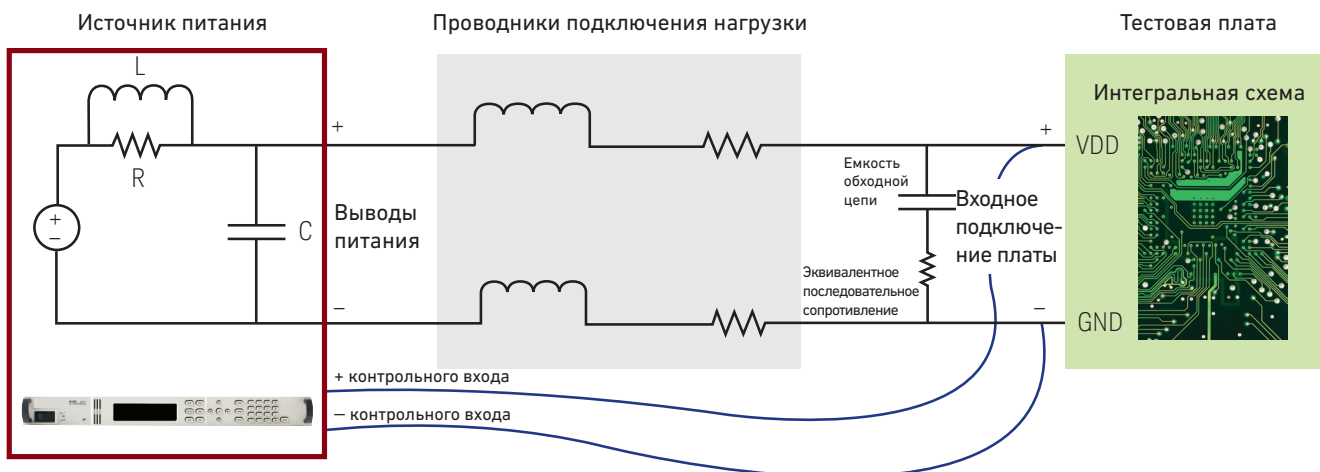


Рис. 2: Цепь соединительных проводников нагрузки с емкостным обходным подключением

Расчет обходной цепи, продолжение

3. Расчет резонансной частоты колебательного контура

Полное выходное сопротивление используемого источника питания должно быть меньше полного волнового сопротивления колебательного контура L-C, иначе выполненный расчет не будет правильно прогнозировать поведение системы. Полное выходное сопротивление источника питания будет уменьшаться по мере снижения частоты. В случае, если полное выходное сопротивление источника питания оказывается выше, чем требуемое пиковое значение полного сопротивления, резонансную частоту колебательного контура следует выбрать таким образом, чтобы она равнялась частоте, при которой полное выходное сопротивление источника питания меньше или равно значению $Z_{пик}$. Резонансная частота может быть понижена путем выбора большей емкости для конденсатора обходной цепи.

$$\text{Ур. 8} \quad F_{\text{резонанс}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{5 \times 170 \text{ нГн}}{4} \times 530 \text{ мкФ}}} = 15 \text{ кГц}$$

4. Выбор требуемого эквивалентного последовательного сопротивления конденсатора, которое обеспечит надлежащее затухание для колебательного контура L-C

Правильное затухание для резонансного колебательного контура является крайне важным, поскольку при его отсутствии в контуре будут иметь место осцилляции, которые оказывают дестабилизирующее влияние на работу контрольного контура блока управления. Комбинация активного сопротивления соединительных проводников, использованных для подключения нагрузки, и эквивалентного последовательного сопротивления конденсатора должна действовать как демпфер резонансного колебательного контура. В нашем случае целевым значением коэффициента затухания принимается 0,5 для увеличения быстродействия схемы и снижения пикового значения напряжения при уравнивании активного сопротивления и полного волнового сопротивления колебательного контура L-C.

$$\text{Ур. 9} \quad Z_{\text{пик}} = \frac{\text{Активное сопротивление соединительных проводников нагрузки}}{\text{Эквивалентное последовательное сопротивление}} \rightarrow \frac{\text{Эквивалентное последовательное сопротивление}}{\text{Эквивалентное последовательное сопротивление}} = 20 \text{ МОм} - \frac{25 \text{ МОм}}{4} = 13.75 \text{ МОм}$$

Поскольку подбор одного конденсатора, который обладал бы требуемой емкостью и эквивалентным последовательным сопротивлением может оказаться затруднен, пользователь может применить комбинацию параллельно включенных конденсаторов с различными показателями емкости и эквивалентного последовательного сопротивления, для получения требуемых выходных параметров.

Результаты

На Рис. 3 показана характеристика переходного напряжения, которая наблюдается в нагрузке при использовании динамического источника питания постоянного тока модели N7950A, изготовленного компанией Keysight Technologies. Данный источник питания оптимизирован для работы в условиях низкого напряжения и значительного рабочего тока, обладает очень низким выходным сопротивлением и идеально подходит для применения в рассмотренной установке.

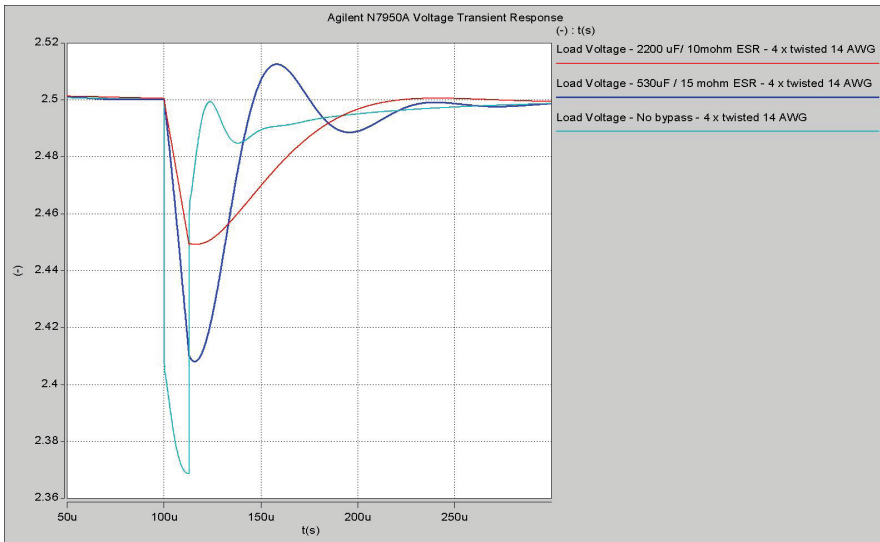


Рис. 3: Характеристика переходного напряжения при амплитуде переходного тока 5 А

Показаны два сценария, рассмотренные в примере. В обоих случаях используются четыре линии питания длиной 5 футов (1,5 м), каждая выполнена из витого провода калибром 14AWG (2 мм²), но в одном варианте возле испытываемого устройства добавлена локальная обходная цепь с конденсатором (синяя линия). Также показан третий сценарий (красная линия), в котором емкость локальной обходной цепи увеличена в 4 раза, что вызывает падение полного сопротивления колебательного контура приблизительно в два раза.

Вывод

В данном документе исследована проблема обеспечения стабильности напряжения при питании высокочастотной нагрузки от источника питания, расположенного на некотором расстоянии от испытываемого устройства. Хотя полное сопротивление соединительных проводов для подключения нагрузки может серьезно ухудшить показатели переходных процессов высокопроизводительного источника питания, при помощи рассмотренных методов смягчения этого эффекта можно добиться требуемых рабочих параметров для тестируемого устройства. Такие методы, как использование для подключения нагрузки витых проводов, которые позволяют минимизировать площадь контура, формируемого между линией питания и возвратной линией, использование плоских медных проводников или коаксиальных кабелей большого сечения, позволяют значительно снизить индуктивность проводки, используемой для подключения нагрузки. Правильный подбор параметров обходной цепи с конденсатором, расположенной возле испытываемого устройства, обеспечит дальнейшее улучшение стабильности уровня напряжения при наличии кратковременных переходных токов, возникающих под влиянием испытываемого устройства.

myKeysight

[myKeysight](http://myKeysight.com)

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное отображение интересующей вас информации.



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

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

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

Keysight Technologies, Inc.

DEKRA Certified ISO 9001:2008

Quality Management System



Торговые партнёры Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

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.

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

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