

Точные измерения цепей питания

Ли Морган (Tektronix)

На сегодняшний день анализ цепей питания является одной из важнейших задач, с которыми сталкиваются разработчики систем электропитания. При этом специфические проблемы, возникающие при измерении параметров источников питания постоянного тока, могут быть решены при помощи соответствующих измерительных приборов. В данной статье автор подробно расскажет о цепях питания и даст необходимые рекомендации для решения конкретных задач.

Для работы многих компонентов требуется несколько источников питания. Особенно это касается высокоинтегрированных систем на кристалле, ПЛИС и процессоров, где могут взаимодействовать несколько различных технологий. Кроме того, имеется тенденция снижения уровней напряжения, что ведёт к сокращению допусков на шумы в шинах питания.

В то же время потенциальные возможности возникновения шумов рас-

ширяются в связи с появлением следующих факторов:

- функции повышения энергоэффективности, такие как стробирование питания, динамическое управление напряжением и частотой (DVFS);
- динамически меняющиеся нагрузки с быстрыми переходными процессами;
- повышенные перекрёстные помехи и взаимовлияние;
- импульсные стабилизаторы напряжения с крутыми фронтами.

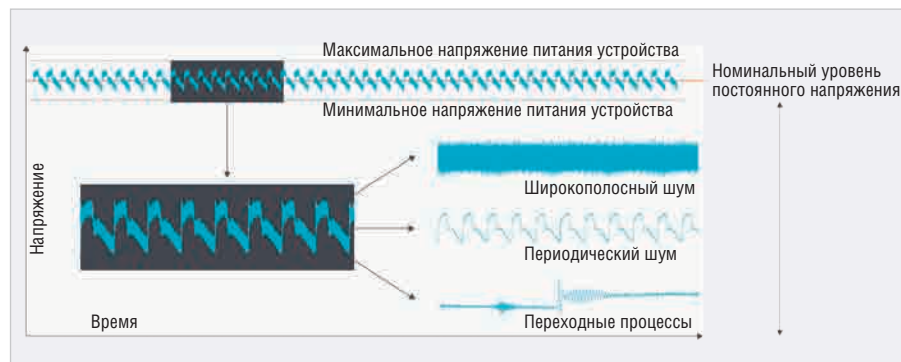


Рис. 1. Компоненты шума источника питания постоянного тока

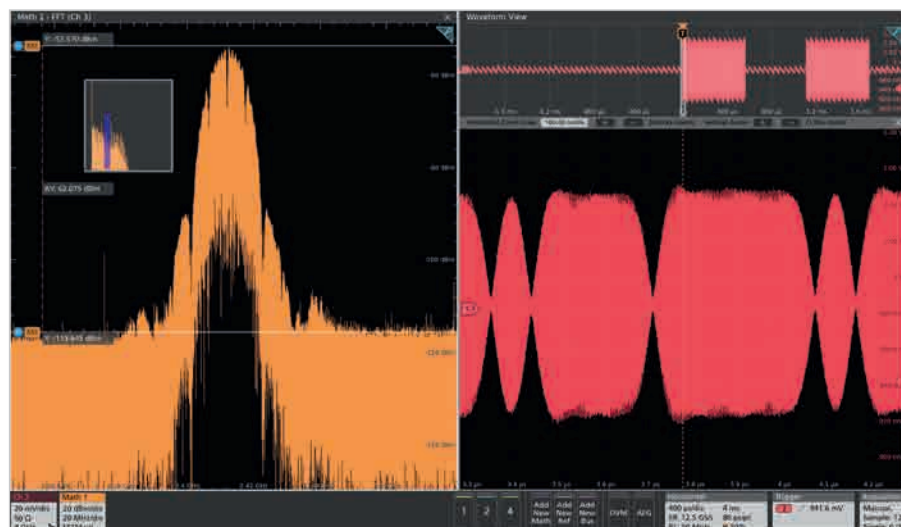


Рис. 2. Осциллограмма шумов: канал 3 (красная кривая) использовался для захвата сигнала шины питания, на которую наводилась высокочастотная помеха. Если энергия этой помехи слишком велика, она может повлиять на работу устройства или вызвать его повреждение

Точное измерение шумов в цепях питания требует применения таких решений, о которых раньше могли и не задумываться, например, специальных пробников цепей питания.

Основные особенности цепей питания и некоторые их характеристики

Очень важно измерить параметры цепей постоянного тока и убедиться, что питающие напряжения лежат в пределах допуска для конкретной системы или устройства. При этом надо учитывать не только значение постоянного напряжения, но уровень шумов. Шум в цепях питания можно разделить на широкополосный, периодический и переходные процессы (см. рис. 1).

Чтобы минимизировать эти типы шумов, сначала нужно их выделить и точно измерить. Однако измерения в цепях питания связаны с некоторыми специфическими особенностями, в ходе их выполнения нужно учитывать следующие аспекты:

- требования к полосе измерения;
- шум измерительной системы и пробников;
- динамический диапазон измерительной системы;
- влияние пробника на измеряемую цепь.

ПОЛОСА ИЗМЕРЕНИЯ

Исследуя конструкцию разных систем питания можно прийти к выводу, что для измерения их параметров достаточно использовать измерительную систему с полосой пропускания несколько десятков МГц. Большинство импульсных источников питания используют частоту преобразования в несколько десятков кГц, и в редких случаях до нескольких МГц. Крупные конструкции и устройства, использующие большие напряжения питания, менее чувствительны к шумам. Поэтому шумы с частотами выше 20 МГц обычно не учитываются.

Однако по упомянутым выше причинам современные конструкции чувствительны к высоким частотам и подвержены влиянию высокочастотных шумов (см. рис. 2).

Изменилась также и схемотехника источников питания. В то время как

рабочие частоты преобразователей напряжения остались по-прежнему сравнительно низкими, фронты сигналов стали более крутыми из-за появления быстродействующих коммутаторов.

Высокое быстродействие ключей в источниках питания, перекрёстные помехи, одновременное переключение компонентов и другие источники помех могут порождать в цепях питания шумы и гармоники с очень высокими частотами. Компания Tektronix предлагает пробники с полосой пропускания 1 ГГц и 4 ГГц, предназначенные специально для измерения цепей питания.

Шумы измерительной системы и окружающей среды

Шум базовой линии

Для точного измерения шумов цепей питания измерительная система и применяемые методы измерения должны обеспечивать минимальный вклад собственных шумов. Чем меньше шумов добавляет измерительная система, тем больше уверенности в том, что наблюдаемый сигнал действительно соответствует сигналу в исследуемом устройстве.

Уровень шума базовой линии измерительного прибора и пробника позволяет оценить общие шумовые параметры измерительной системы. Простые измерения двойного размаха или среднеквадратического значения входного напряжения при отсутствии входного сигнала позволяют быстро оценить уровень аддитивных шумов системы снятия сигнала (см. рис. 3).

Не ослабляйте сигнал цепей питания слишком сильно

Пробники с большим коэффициентом деления предлагают широкий динамический диапазон, но могут вносить шум в измерения, поскольку осциллограф будет вынужден усиливать сигнал, чтобы скомпенсировать ослабление в пробнике (см. рис. 4).

Это связано с тем, что пробник ослабляет сигнал, приближая его к уровню собственных шумов измерительной системы. Это можно показать, рассчитав отношение сигнала к шуму (С/Ш).

$$C / Ш = \frac{V_{ВХ}}{(Коэффициент\ деления) \times V_{ШУМА}}$$

Например, если уровень входного сигнала равен 10 мВ, а уровень случай-

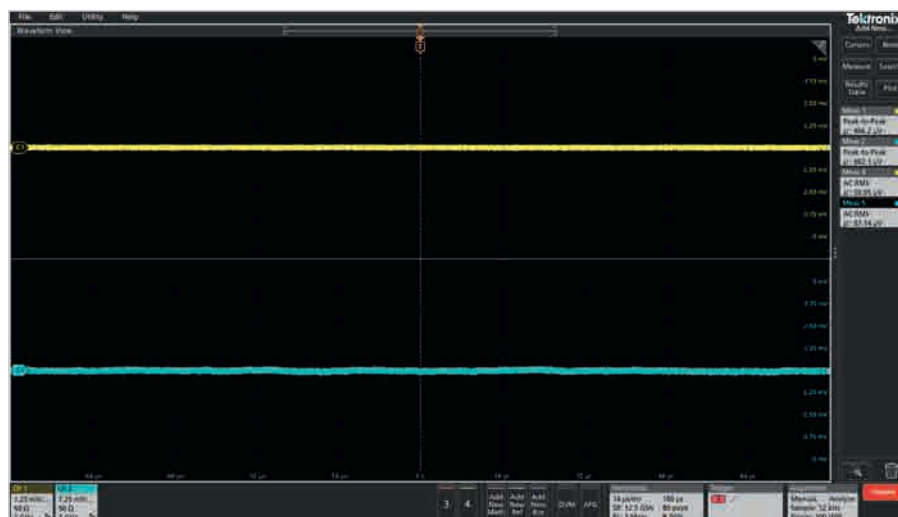


Рис. 3. Осциллограмма шумов: на канал 1 осциллографа (жёлтая кривая) не подаётся входной сигнал. К каналу 2 (голубая кривая) подключён пробник цепей питания TPR1000 с закороченным входом. В полосе 1 ГГц пробник добавляет к входу осциллографа всего 17 мкВ шума

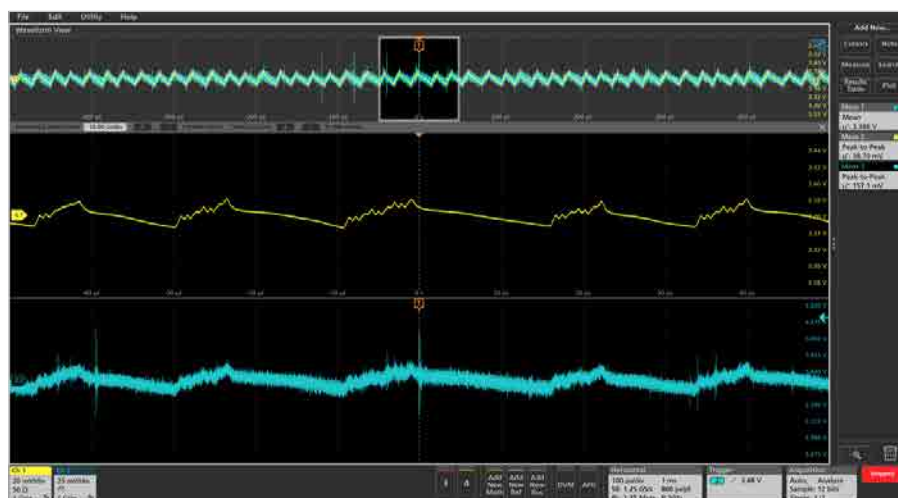


Рис. 4. Осциллограмма шумов: канал 2 (голубая кривая) показывает шум с двойным размахом 157,1 мВ для традиционного пассивного пробника 10х, в то время как специальный пробник цепей питания Tektronix TPR1000, подключённый к каналу 1 (жёлтая кривая), демонстрирует двойной размах напряжения 38,7 мВ

ных шумов согласно спецификациям – 200 мкВ (этот параметр можно найти в технических характеристиках осциллографа, обычно он приводится в виде среднеквадратического значения), то отношение С/Ш универсального пробника с коэффициентом деления 10х будет равен:

$$\frac{10\text{ мВ}}{(10) \times 200\text{ мкВ}} = 5:1$$

С другой стороны, пробник цепей питания с малым коэффициентом деления 1,25х обеспечивает С/Ш, равный:

$$\frac{10\text{ мВ}}{(1,25) \times 200\text{ мкВ}} = 40:1$$

Используйте максимальную чувствительность осциллографа

Шумовые характеристики осциллографа масштабируются с изменением

чувствительности. Чем выше установлена чувствительность осциллографа, тем лучше его шумовые характеристики.

Максимально растягивая по вертикали отображаемый на экране сигнал, вы получаете более точное его представление. Часто малые значения чувствительности приводят к тому, что шум сигнала выглядит бóльшим, чем он есть на самом деле (см. рис. 5).

По возможности используйте режимы захвата с высоким разрешением

Режим высокого разрешения High Res в осциллографах Tektronix MSO серий 4, 5 и 6 позволяет дополнительно снизить шум, используя избыточную частоту дискретизации для получения более высокого разрешения. В этом режи-

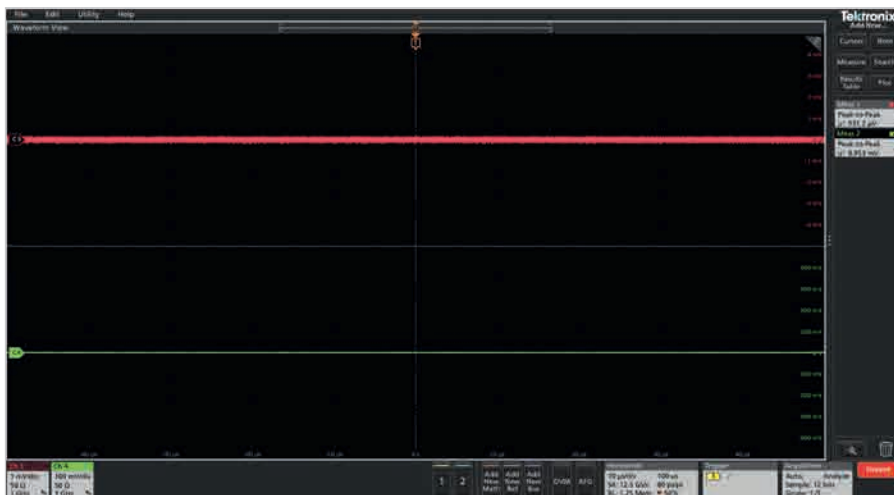


Рис. 5. Влияние чувствительности на измеренный случайный шум. В обоих каналах входной сигнал отсутствует. Канал 3 при чувствительности 1 мВ/дел. показывает двойной размах шума 521,2 мкВ, тогда как канал 4 при чувствительности 100 мВ/дел. показывает двойной размах шума 8,953 мВ. Это примерно в 17 раз больше шума в канале 3. Заметьте, что 8,953 мВ в канале 4 не превышают 1% от полной шкалы

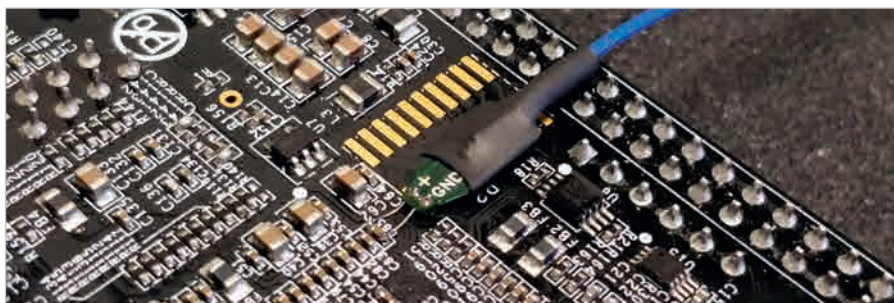


Рис. 6. Припаяемый адаптер TPR4SIAFLEX, подключённый к развязывающему конденсатору 0402



Рис. 7. Осциллограмма. Изменения нагрузки могут породить низкочастотные провалы напряжения в цепях питания. Связь по переменному току подавляет такие низкочастотные изменения



Рис. 8. Пример устройства, изменяющего входное напряжение с ростом частоты. Сигналы с частотой примерно 2 Гц, возникающие между шагами, будут подавлены большинством фильтров со связью по переменному току

ме происходит усреднение выборок, выполняемое аппаратными фильтрами с конечной импульсной характеристикой (КИХ), которые выбираются в зависимости от текущей частоты дискретизации. Эти фильтры обеспечивают максимально возможную полосу пропускания для данной частоты дискретизации, не допуская наложения зеркальных частот.

Обеспечьте надёжные соединения

Подключение измерительного прибора к исследуемому устройству оказывает огромное влияние на качество измерений. Соединения, обладающие малой паразитной индуктивностью относительно земли и минимальной эффективной ёмкостью, снижают «звон» и обеспечивают максимальную полосу пропускания.

Наиболее надёжное соединение обеспечивают припаяемые адаптеры и высококачественные разъёмы. Если предстоит выполнять периодические измерения в незапланированных контрольных точках, то лучше применить для этого временные микроаксиальные и припаяемые адаптеры (см. рис. 6). Компактные ВЧ-разъёмы, такие как MMCX и SMA, обеспечивают воспроизводимый и надёжный доступ к сигналам в ходе испытаний.

Для быстрого и удобного снятия сигнала можно использовать переставляемые пробники и адаптеры. Компания Tektronix предлагает специальный переставляемый пробник цепей питания с полосой пропускания 1 ГГц. Важно отметить, что любые дополнительные принадлежности сужают полосу пропускания системы. Например, адаптеры с прямоугольными наконечниками и гибкими выводами обычно обладают эффективной полосой пропускания в пару сотен МГц. Но эта полоса сужается при использовании дополнительных зажимов и других средств подключения.

Для расширения динамического диапазона системы устраняйте постоянную составляющую

Как уже говорилось, малая чувствительность (большое значение В/дел.) снижает качество измерений, поскольку осциллограф использует при этом не весь динамический диапазон. Чтобы работать с большими значениями чувствительности, нужно устранить постоянную составляющую измеряемого сигнала.

Можно избавиться от постоянной составляющей, используя режим связи входа осциллографа по переменному току, но это приводит к подавлению низкочастотных составляющих сигнала, например, провалов напряжения (см. рис. 7) в ответ на изменения нагрузки и динамическое управление напряжением и частотой (см. рис. 8).

Применение к входному сигналу постоянного смещения и использование связи входа по постоянному току позволяет точнее оценить поведение устройства. Осциллографы и дифференциальные пробники зачастую предлагают возможность некоторого постоянного смещения. Однако входные интерфейсы многих осциллографов ограничивают доступный диапазон смещения в зависимости от выбранной чувствительности. Поэтому при малых значениях В/дел. доступное постоянное смещение тоже будет меньше.

Пробники цепей питания специально сконструированы так, что предлагают достаточное значение постоянного смещения для того, чтобы вход осциллографа мог работать в режи-

ме связи по постоянному току. Например, пробники Tektronix TPR4000 и TPR1000 обеспечивают смещение ± 60 В, что перекрывает большинство широко распространенных систем питания в автомобилях, промышленных установках и вычислительных системах.

Минимизация влияния пробника

Проблема измерения цепей питания заключается в выборе такого подхода, который показал бы высокочастотную переменную составляющую напряжения питания, не изменяя его постоянную составляющую настолько, чтобы это повлияло на работу устройства. Пробники с высоким входным сопротивлением обеспечивают малую нагрузку на постоянном токе, но могут вносить значительные шумы и не обладать достаточной полосой пропускания для изменения высокочастотных составляющих сигнала. 50-омный входной сигнальный тракт осциллографа обычно обладает минимальным уровнем шумов, но 50 Ом сильно нагружают шину питания по постоянному току.

Идеальный пробник для измерения цепей питания должен обладать большим входным сопротивлением по постоянному току и сопротивлением 50 Ом по переменному току. Пробники цепей питания Tektronix TPR4000 и TPR1000 имеют большое сопротивление по постоянному току, равное 50 кОм, и сопротивлением 50 Ом на высоких частотах. Это обеспечивает оптимальную работу в обоих случаях и позволяет избежать других ограничений.

Заключение

На фоне роста требований к качеству питания, анализ цепей питания остаётся важнейшим инструментом в руках инженера. Пробники Tektronix TPR4000 и TPR1000 разработаны с учётом специфических проблем, возникающих при измерении параметров источников питания постоянного тока. В совокупности с функциями захвата и измерения сигнала осциллографов Tektronix они превращаются в превосходный инструмент для анализа цепей питания, который пригодится любому инженеру.



Tektronix

Вы хотели больше выбора

Поэтому мы создали ДВА осциллографа нового поколения, разработанных для повседневной работы каждого инженера.

Новые MSO Серии 4 и MDO Серии 3

Узнайте больше о полной линейке осциллографов с сенсорным дисплеем на ru.tek.com.



Реклама