

Анализ характеристик импульсного источника питания постоянного тока

Барри РОЛАНД (Barry ROWLAND)

В статье рассматривается вопрос о тестировании импульсных источников электропитания на основе накопительной индуктивности. Проанализированы основные контролируемые параметры, и приведен пример их определения в пусковом режиме.

Введение

Импульсные источники питания (ИИП) обладают высокой универсальностью относительно применения их в современном электронном оборудовании. Анализ ряда характеристик ИИП может быть выполнен посредством цифровых мультиметров (ЦММ) и источников питания, однако для измерения динамических характеристик и параметров стабильности ИИП рекомендуется использовать цифровой осциллограф с соответствующими пробниками и вспомогательным оборудованием.

Ключевые параметры и характеристики ИИП включают пусковой ток, пиковый ток катушки индуктивности, выходной и входной токи, пульсации выходного напряжения и его спектр, а также частоту и напряжение коммутации накопительного элемента. Необходимость измерений этих характеристик определяет требования к испытательному оборудованию.

В настоящей работе приведено описание предварительного тестирования с помощью

прототипа ИИП, позволяющего определить его динамические характеристики в пусковом режиме. При измерениях использовались осциллографы серии R&S RTO, пробники напряжения и тока и вспомогательное оборудование.

Принцип функционирования ИИП

На рис. 1а отражен основной принцип работы ИИП. Простейший механизм стабилизации подразумевает управление коэффициентом заполнения при переключении фаз посредством обратной связи по напряжению. В идеальном случае значение коэффициента заполнения (t_{on}/t_{off}) коммутатора, подключенного к V_{in} , определяет выходное напряжение: $V_{out} = V_{in} t_{on}/t_{off}$.

В первой фазе коммутации ток источника напряжения V_{in} протекает через ключ SW1, поступая в катушку индуктивности L , заряжая выходной конденсатор C и поступая затем в нагрузку Z . Ток катушки индуктивности увеличивается с возрастанием запасен-

ной энергии. При стабильных значениях V_{in} и V_{out} напряжение на катушке индуктивности остается постоянным и определяется разностью $V_{in} - V_{out}$. Крутизна фронта тока при этом также должна быть постоянной; иное может указывать на повышенный уровень пульсаций напряжения V_{in} , насыщение сердечника или чрезмерное значение сопротивления по постоянному (DCR) или переменному (ACR) току катушки. Поскольку коммутирующее устройство обладает ненулевым сопротивлением, напряжение на нем будет возрастать с увеличением тока катушки индуктивности. Значение ACR характеризует частотно-зависимые потери, включающие поверхностный эффект в обмотке катушки, эффект близости, потери на вихревые токи и явление гистерезиса в материале сердечника [1, 2].

Во второй фазе коммутации энергия, накопленная в катушке индуктивности и выходном конденсаторе, обеспечивает протекание тока в направлении нагрузки (зеленые стрелки на рис. 1а). Напряжение на катуш-

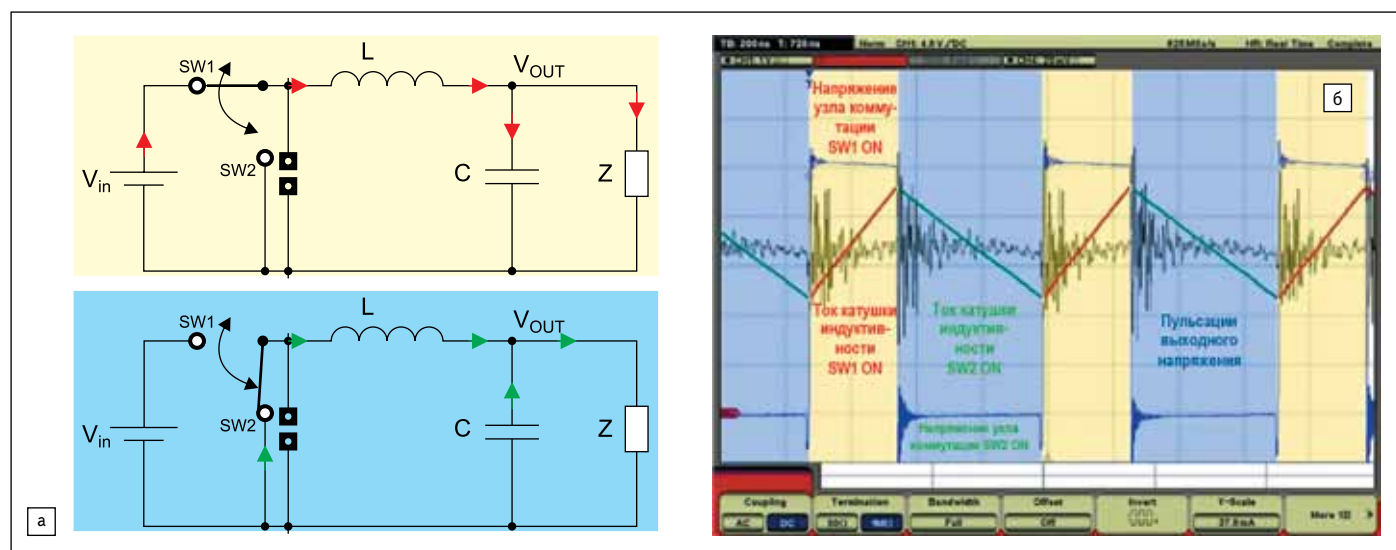


Рис. 1. Функционирование ИИП: а) принципиальная схема; б) осциллограммы, характеризующие режимы работы ИИП

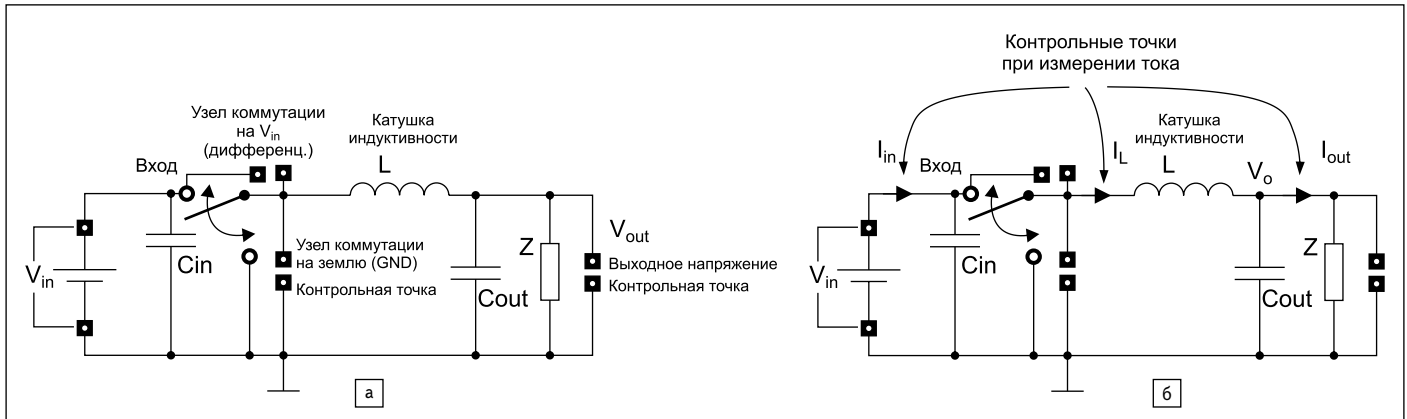


Рис. 2. Контрольные точки ИИП при измерении: а) напряжения; б) тока

ке будет противоположно напряжению на первой фазе. Поскольку коммутирующее устройство обладает ненулевым сопротивлением, в точке подключения коммутирующего устройства к катушке индуктивности будет наблюдаться отрицательное напряжение, уменьшающееся при снижении тока катушки индуктивности. Как и прежде, крутизна фронта тока катушки индуктивности должна оставаться постоянной; значительное отклонение от линейной кривой указывает на насыщение катушки индуктивности или на чрезмерное значение сопротивления DCR или ACR.

Осциллограммы на рис. 16 иллюстрируют примерные характеристики по напряжению на узле коммутации, а также по току катушки индуктивности и пульсациям выходного напряжения в нормальном режиме работы. Две фазы коммутации в ходе работы преобразователя постоянного тока отмечены на схеме соответствующими цветами.

Оборудование для тестирования ИИП

Для тестирования ИИП различного назначения нужно использовать универсальную измерительную установку, включающую следующие элементы:

- Осциллограф с полосой частот 500 МГц, который обеспечивает точные измерения необходимых характеристик во времени. Рекомендуется использовать четырехканальный осциллограф, поддерживающий одновременное отображение нескольких ключевых сигналов. Для этих целей подходит прибор R&S RTO1004, в идеале оснащенный опцией анализа электропитания R&S RTO-K31. Рекомендуется использовать один токовый пробник (RT-ZC20 или аналогичный); два пассивных пробника (RT-ZP10 или аналогичных) с принадлежностями для заземления и набором инструментов для выравнивания; активный несимметричный пробник (RT-ZS10 или аналогичный); активный дифференциальный пробник (RT-ZD10 или аналогичный).

- Источник питания, который должен обеспечивать поддержку требуемых уровней напряжений и токов, а также высокий уровень стабильности и точности по выходу. По возможности следует использовать многожильные скрученные проводники минимальной длины, что позволит снизить индуктивное сопротивление.
- Цифровой мультиметр, обеспечивающий возможность контроля статических напряжений и токов в ходе тестирования. Для этих целей подходит 5,75-разрядный ЦММ Nameg HMC8012 или 6,5-разрядный ЦММ HM8112-3.
- Генератор импульсов или сигналов произвольной формы, позволяющий сформировать сигналы для управления коммутаторами, источниками напряжения или нагрузками. Для этих целей подойдет, например, функциональный генератор Nameg HMF2525, поддерживающий работу в диапазоне частот до 25 МГц.
- Электронная нагрузка, которая обеспечивает проведение испытаний ИИП с использованием широкого спектра выходных токов, что открывает возможности для дальнейшей автоматизации.

Контролируемые параметры ИИП

Основные контрольные точки ИИП на основе катушек индуктивности показаны на рис. 2. К параметрам, подлежащим контролю при настройке ИИП, относят следующие:

- Входное напряжение V_{in} . Ключевыми динамическими параметрами являются падение напряжения и уровень пульсаций напряжения при пуске и в рабочем режиме.
- Характеристики коммутационного узла. На нем измеряют уровень низкочастотных помех, наличие перегрузки/недогрузки и проверяют соответствие крутизны кривой напряжения допустимому диапазону значений. Напряжение в точке V_{in} в ходе коммутации при замкнутом ключе SW1 (рис. 1а) рекомендуется измерять с помощью дифференциального пробника, в то время как напряжение в точке заземления при зам-

кнутым ключе SW2 и разомкнутым ключе SW1 можно измерять несимметричным пробником напряжения. Основное внимание при проведении этих измерений нужно уделить падению напряжения, ожидаемому для каждого из этапов работы ИИП.

- Выходное напряжение V_{out} . Его параметры необходимо отслеживать в процессе холодного запуска для подтверждения корректности достигнутого и поддерживаемого выходного напряжения. Если контроллер ИИП оснащен управляющим выводом Enable, параметры V_{out} также необходимо анализировать в ходе процедуры включения/выключения Enable, когда прибор выполняет переход из ждущего режима в режим работы и наоборот. Отслеживание и измерение пульсаций напряжения сигнала и его спектра могут быть выполнены посредством подключения к контрольной точке V_{out} .
- Токковые параметры. К ним относят входной и выходной токи ИИП, ток катушки индуктивности, а также их спектры и некоторые дополнительные параметры.

Пример измерения пусковых характеристик ИИП

В качестве примера рассмотрим тестирование модуля ИИП TPS62090 EVM, выполняющего DC/DC-преобразование (рис. 3). Для выполнения измерений в него введены дополнительные контрольные точки, в которых измеряются параметры V_{in} , I_{in} , I_L и V_{out} .

Целью анализа пусковых характеристик ИИП является установление их нахождения в безопасных и ожидаемых пределах. Осуществление контроля входного тока, тока катушки индуктивности, а также входного и выходного напряжений позволяет получить основную информацию о корректности характеристик устройства. При выполнении измерений необходимо подключить выход ИИП к номинальной нагрузке.

В ходе тестирования при включении питания появится возможность измерения сигналов во всех контрольных точках в одном цикле сбора данных, поэтому в первый на-

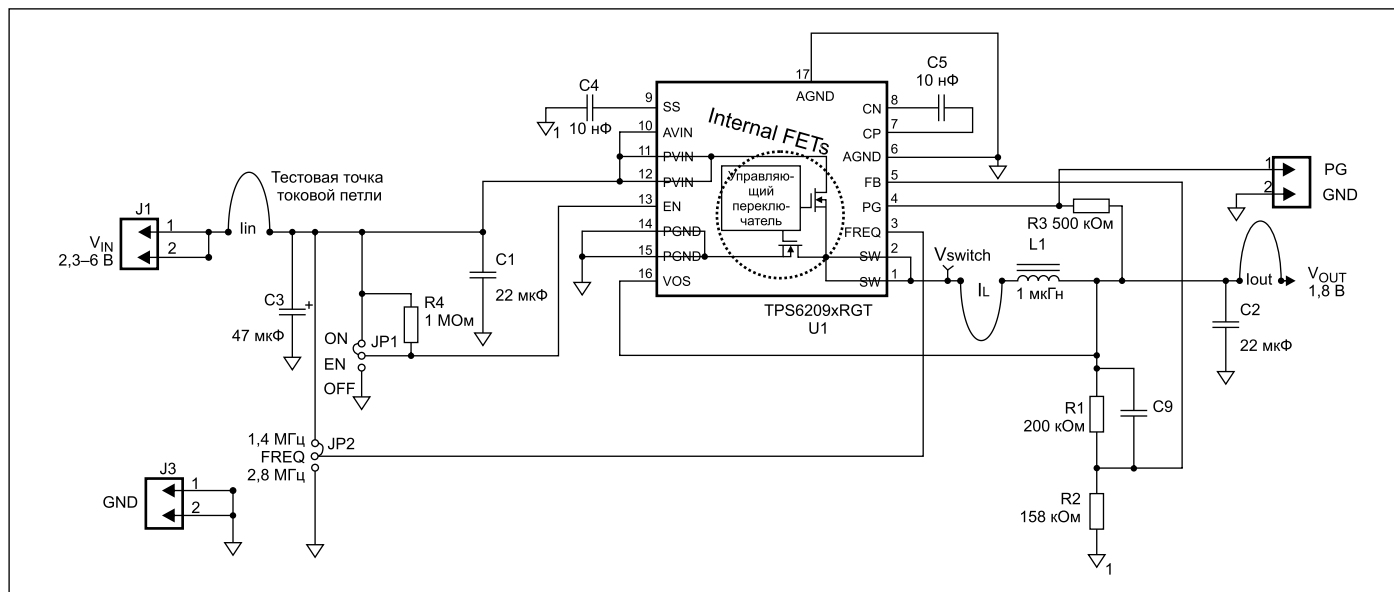


Рис. 3. Упрощенная схема модуля TPS62090 EVM с указанием добавленных контрольных точек для измерения тока и напряжения

бор измеряемых характеристик следует включить V_{in} , I_{in} , V_{switch} и V_{out} . При наличии двух токовых пробников нужно подключить второй пробник для осуществления контроля тока катушки индуктивности L_L в ходе второго цикла сбора данных. Для источника питания также может быть задано ограничение по току, определяемое максимальным номинальным/ожидаемым входным током ИИП. Применение ограничения по току повышает уровень безопасности в ходе предварительного тестирования при включении питания, однако может привести к сокрытию значительных импульсов пускового тока.

Для выполнения измерений пусковых характеристик к контрольным точкам схемы, изображенной на рис. 3, были подключены пробники соответствующих типов. Часто при тестировании ИИП используют режим «мягкого» пуска, который соответствует постепенному нарастанию входного напряжения до требуемого значения. Это обеспечивает небольшое снижение токовой нагрузки при проведении предварительных испытаний.

На рис. 4 приведены осциллограммы входного и выходного напряжений, а также входного тока ИИП в пусковой период функционирования. Представленные кривые позволяют определить время выхода на установившийся режим при текущем уровне нагрузки, а также характеристики первичного импульса входного тока. Судя по осциллограмме входного тока, его максимальное значение достигает 18 А, что свидетельствует о необходимости тщательного подбора режимов функционирования компонентов ИИП для обеспечения требуемой надежности.

Аналогичным образом могут быть исследованы и режимы работы ключевого элемента ИИП. В частности, в пусковом режиме будет наблюдаться постепенное сокращение интервалов между коммутациями, что обусловлено нарастанием входного напряжения и снижением потребляемого тока при выходе ИИП на установившийся режим. Как показали исследования, время установления выходного напряжения намного превышает период неустойчивости входного тока, что видно на рис. 4. Имеются и другие особенности функционирования ИИП в период пуска.

С использованием контрольных точек, аналогичных тем, что приведены на рис. 3, можно исследовать характеристики ИИП и в других режимах. Это позволяет получить полную информацию о тестируемом объекте.

Заключение

Импульсные источники питания — это постоянно развивающийся класс электрических схем и приборов, требующих проведения

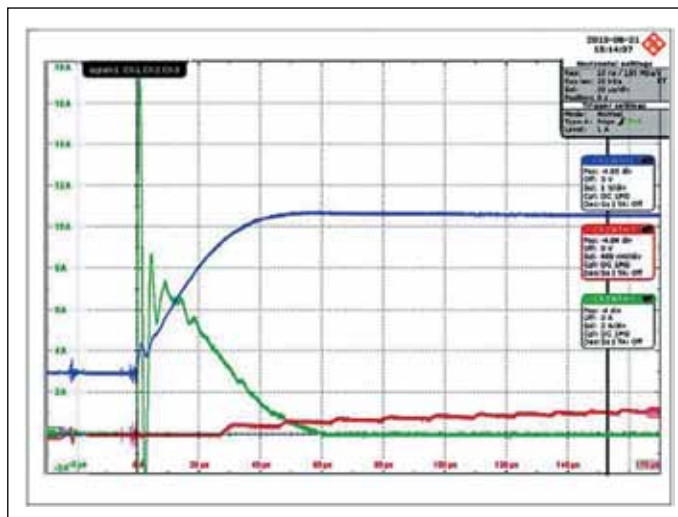


Рис. 4. Осциллограммы для режима мягкого пуска: синяя кривая — входное напряжение; красная кривая — выходное напряжение; зеленая кривая — входной ток

подробного анализа динамических характеристик. Работа ИИП в режиме коммутации усложняет проведение такого анализа, который необходимо выполнять в широких диапазонах напряжения, тока и полосы частот.

Осциллографы R&S RTO при использовании соответствующих пробников обеспечивают возможность анализа и оценки основных динамических характеристик ИИП и их катушек индуктивности. Описанные процедуры тестирования могут быть распространены и на источники вторичного электропитания других типов и принципов функционирования.

Литература

1. Fowler T. Selecting Inductors for Low-Power Buck Regulators. 01.11.2007 — <http://powerelectronics.com/sitefiles/powerelectronics.com/files/archive/powerelectronics.com/mag/711PET24.pdf>
2. Fowler T. Selecting Inductors for Low-Power Buck Regulators // Power Electronics Technology. 01.11.2007.