

ОСЦИЛЛОГРАФЫ R&S RTO: АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Б.Роланд

Разработка современных импульсных источников питания (ИИП) требует детального исследования их характеристик. Анализ некоторых из них можно выполнить посредством цифровых мультиметров (ЦММ), однако для измерения динамических характеристик и параметров стабильности ИИП рекомендуется применять цифровые осциллографы с соответствующими пробниками и вспомогательным оборудованием. К таким приборам относятся осциллографы серии RTO компании Rohde & Schwarz (R&S). Об их использовании для измерения динамических характеристик ИИП рассказывается в статье.

ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИИП

В работе ИИП можно выделить две фазы, в одной из которых источник входного напряжения V_{in} подключен к цепям ИИП, а в другой – отключен (рис.1а). Длительность этих фаз составляет t_{on} и t_{off} соответственно. В идеальном случае значение коэффициента заполнения (t_{on}/t_{off}) определяет выходное напряжение $V_{out} = V_{in} t_{on}/t_{off}$.

В первой фазе коммутации ток источника напряжения протекает через ключ SW1 в катушку индуктивности L , заряжает выходной конденсатор C и поступает в нагрузку Z (см. левую часть рис.1а). Ток катушки индуктивности увеличивается с возрастанием запасенной энергии. В случае стабильных значений V_{in} и V_{out} напряжение на катушке индуктивности остается постоянным и определяется разностью $V_{in} - V_{out}$. Наклон кривой тока при этом также должен быть постоянным (рис.1б); иное может указывать на повышенный уровень пульсаций напряжения V_{in} , насыщение сердечника или чрезмерное значение

сопротивления по постоянному (DCR) или переменному (ACR) току катушки. Значение ACR характеризует частотно-зависимые потери, включающие скин-эффект в обмотке катушки, эффект близости (электромагнитное взаимодействие между соседними витками катушки), потери на вихревые токи и явление гистерезиса в материале сердечника*. Поскольку коммутирующее устройство обладает ненулевым сопротивлением, напряжение на нем будет возрастать с увеличением тока катушки индуктивности.

Во второй фазе коммутации накопленная в катушке индуктивности и выходном конденсаторе энергия обеспечивает протекание тока в направлении нагрузки (зеленые стрелки в правой части рис.1а). Напряжение на катушке будет противоположно напряжению в первой фазе.

* 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>.

В точке подключения коммутирующего устройства к катушке индуктивности будет наблюдаться отрицательное напряжение, уменьшающееся при снижении тока катушки. Как и прежде, наклон кривой тока катушки должен оставаться постоянным; значительное отклонение от линейной кривой указывает на насыщение катушки или на чрезмерное значение сопротивления DCR или ACR.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ИИП

Для тестирования ИИП различного назначения следует использовать универсальную измерительную установку, включающую несколько элементов.

Осциллограф с полосой частот 500 МГц – обеспечивает точные измерения необходимых характеристик и отслеживание их изменения во времени. Рекомендуется использовать четырехканальный осциллограф, поддерживающий одновременное отображение нескольких ключевых сигналов. Для этих целей подходит прибор R&S RTO1004, по возможности 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; 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 их стабильности и точности на выходе. По возможности для его соединения с ИИП следует использовать многожильные скрученные проводники минимальной длины, что позволит снизить индуктивное сопротивление.

Цифровой мультиметр, обеспечивающий возможность контроля напряжений и токов в стационарном режиме. Для этих целей подходит 5¼-разрядный

ЦММ Nameg НМС8012 или 6½-разрядный ЦММ НМ8112-3.

Генератор импульсов или сигналов произвольной формы, позволяющий сформировать сигналы для управления коммутаторами, источниками напряжения или нагрузками. Для этих целей подойдет, например, функциональный генератор Nameg НМF2525, поддерживающий работу в диапазоне частот до 25 МГц.

Электронная нагрузка – обеспечивает проведение испытаний ИИП с использованием широкого спектра выходных токов.

КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИИП

При настройке ИИП нужно контролировать ряд параметров. Для их измерения используют специальные контрольные точки (рис.2). К контролируемым параметрам относятся следующие.

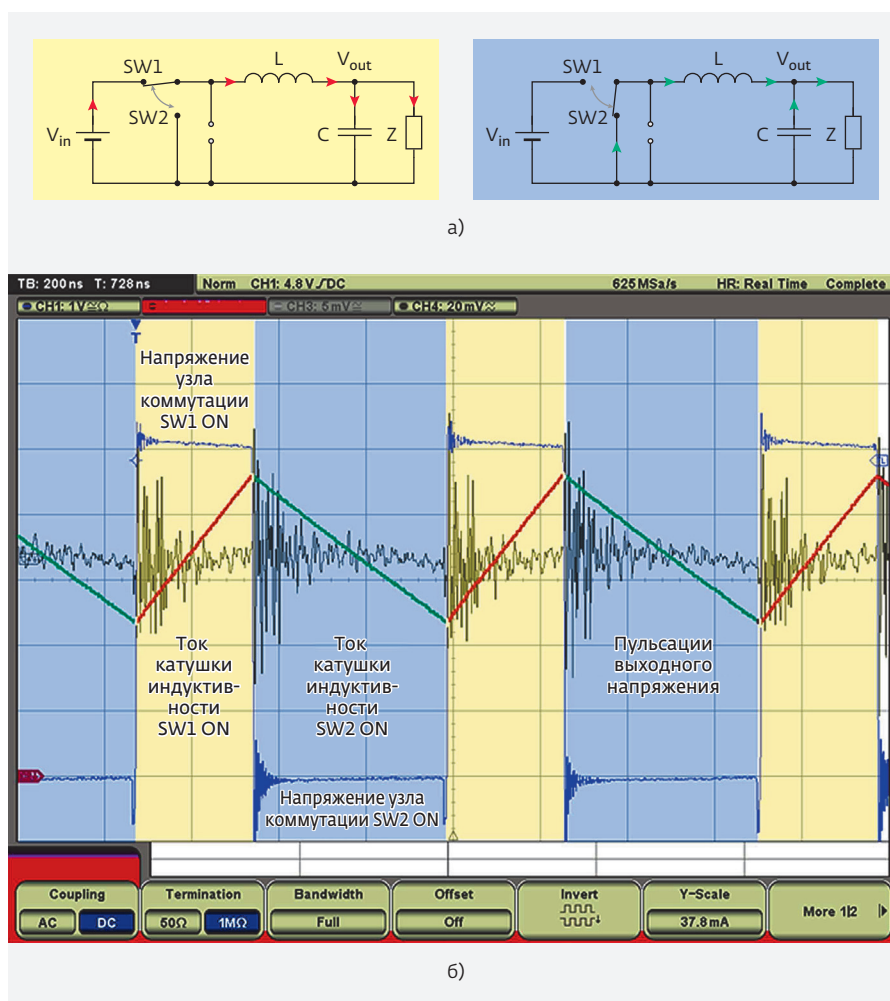


Рис.1. Функционирование ИИП: а) принципиальная схема; б) осциллограммы, характеризующие работу ИИП. Желтый цвет соответствует первой фазе коммутации, голубой – второй

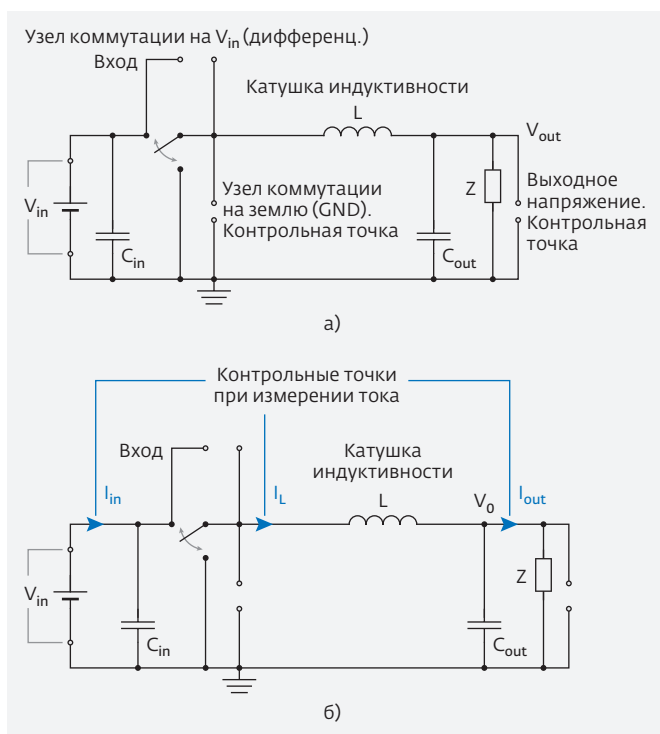


Рис.2. Контрольные точки ИИП при измерении:
а) напряжения; б) тока

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, проверяют соответствие крутизны кривой напряжения допустимому диапазону значений. Напряжение в точке V_{in} в ходе коммутации при замкнутом ключе SW1 (см. рис.1а, 2а) рекомендуется измерять с помощью дифференциального пробника, в то время как напряжение в точке заземления при замкнутом ключе SW2 и разомкнутом ключе SW1 можно определять несимметричным пробником напряжения. Основное внимание при проведении этих измерений следует уделить отслеживанию падения напряжения на каждом из этапов работы ИИП.

Выходное напряжение V_{out} . Его необходимо отслеживать в процессе "холодного" запуска для подтверждения того, что достигнуто и поддерживается требуемое значение. Если контроллер ИИП оснащен управляющим выводом Enable, параметры V_{out} также необходимо отслеживать в ходе процедуры включения/выключения Enable, когда прибор выполняет переход из ждущего режима в рабочий, и наоборот. Отслеживание и измерение пульсаций напряжения сигнала и его спектра может быть выполнено посредством подключения к контрольной точке V_{out} (см. рис.2а).

Токовые параметры. К ним относят входной I_{in} и выходной I_{out} токи ИИП, ток катушки

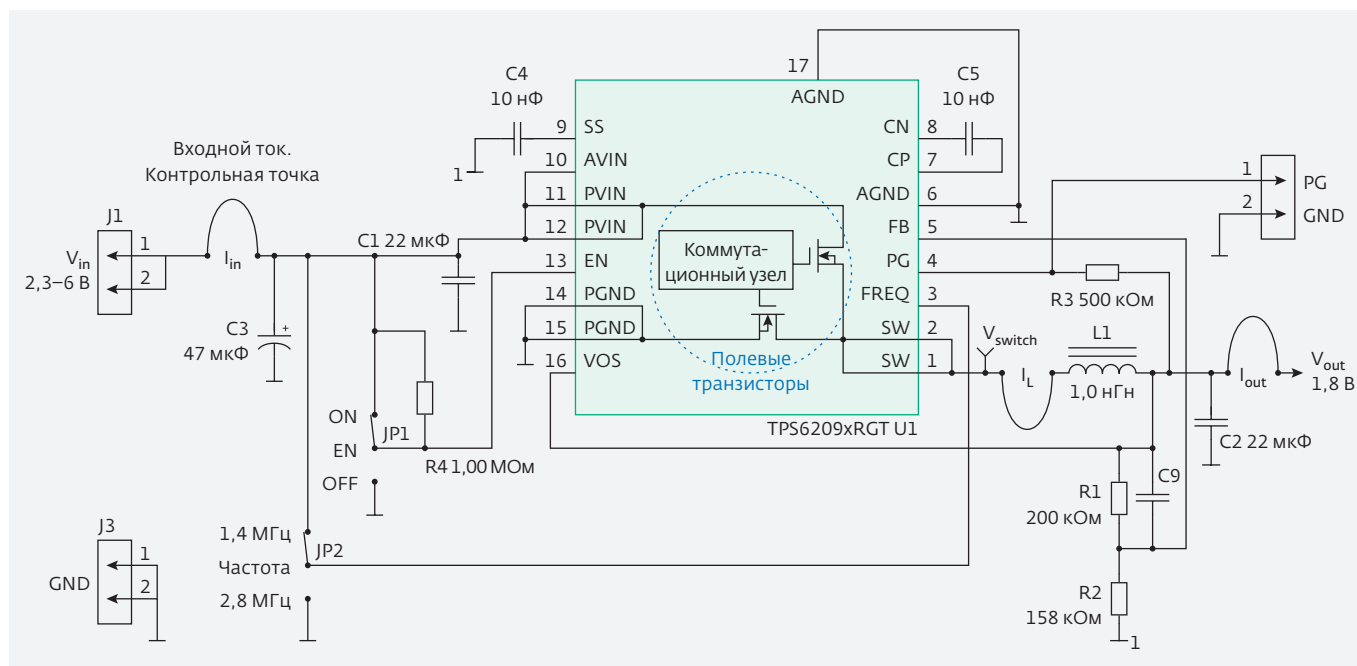


Рис.3. Упрощенная схема модуля TPS62090 EVM с указанием контрольных точек для измерения тока и напряжения

индуктивности I_L , а также их спектры и некоторые дополнительные параметры.

ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИИП

В качестве примера рассмотрим тестирование модуля ИИП TPS62090 EVM компании Texas Instruments, выполняющего DC/DC-преобразование (рис.3). Для проведения измерений в него введены контрольные точки, в которых определяются параметры V_{in} , I_{in} , I_L и V_{out} . К ним подключены пробники соответствующих типов.

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

В ходе тестирования можно измерять сигналы во всех контрольных точках в одном цикле сбора данных, поэтому в первый набор измеряемых характеристик следует включить V_{in} , I_{in} , и V_{out} , а также напряжение на коммутационном узле V_{switch} . При наличии двух токовых пробников следует подключить второй пробник для контроля тока катушки индуктивности I_L в ходе второго цикла сбора данных. Для источника питания также может быть задано ограничение по максимальному входному току. Это повышает уровень безопасности в ходе предварительного тестирования при включении питания, но может привести к сокрытию значительных импульсов пускового тока. 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.

Результаты измерений (рис.4) позволяют определить время выхода на установившийся режим при текущем уровне нагрузки, а также характеристики

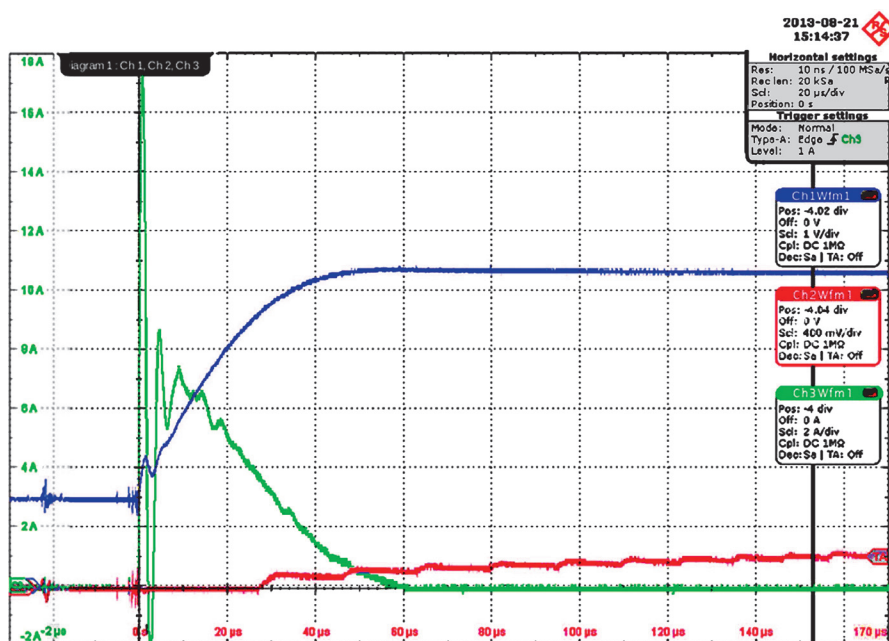


Рис.4. Осциллограммы для режима мягкого пуска: синяя кривая – входное напряжение; красная кривая – выходное напряжение; зеленая кривая – входной ток

первичного импульса входного тока. Как видно по осциллограмме входного тока, его максимальное значение достигает порядка 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, 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 (см. рис.4). Есть и другие особенности функционирования ИИП в период пуска.

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

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