

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СНАББЕРНЫХ СХЕМ

ПОЛ ЛЭЙСИ (PAUL LACEY), инженер по применению, Power Integrations

В статье рассматриваются эффективные методы повышения надежности MOSFET в обратноходовых преобразователях.

Принцип работы обратноходовых преобразователей основан на накоплении энергии в трансформаторе при открытом состоянии силового ключа с последующей передачей этой энергии на выход устройства во время закрытого состояния ключа. Обратногоходовой трансформатор состоит из двух или более взаимосвязанных обмоток на сердечнике с воздушным зазором, в котором и хранится магнитная энергия до тех пор, пока она не будет передана во вторичную цепь. На практике никогда не удается добиться идеального коэффициента связи между обмотками, поэтому не вся энергия проходит через этот воздушный зазор.

Небольшое количество энергии накапливается внутри и между обмотками. Это явление называется индуктивностью рассеяния трансформатора. При открытии ключа энергия, накопленная в индуктивности рассеяния, не передается во вторичную обмотку, приводя к возникновению высоковольтных всплесков в первичной обмотке трансформатора и в ключе. Кроме того, эта энергия вызывает высокочастотный колебательный процесс в контуре, состоящем из эффективной емкости открытого ключа, индуктивности первичной обмотки и индуктивности рассеяния трансформатора (см. рис. 1).

Если пиковое напряжение всплеска

превысит напряжение пробоя переключающего элемента, чаще всего, силового транзистора MOSFET, это приведет к выходу из строя всего устройства. Более того, колебания высокой амплитуды на стоке транзистора вызывают сильные электромагнитные помехи. В источниках питания мощностью выше 2 Вт для ограничения всплесков напряжения на MOSFET используются ограничительные (снабберные) схемы, которые позволяют рассеивать энергию, накопленную в индуктивности рассеяния.

ПРИНЦИП РАБОТЫ СНАББЕРНОЙ СХЕМЫ

Снабберная схема используется для ограничения максимального напряжения на MOSFET до заданного значения. Как только напряжение на MOSFET достигает порогового значения, вся дополнительная энергия рассеяния перенаправляется в снабберную схему, где она либо накапливается и медленно рассеивается, либо возвращается в преобразователь. Одним из недостатков ограничительных схем является то, что они рассеивают энергию, снижая эффективность. В связи с этим существует несколько типов ограничительных схем (см. рис. 2). В некоторых из них используются стабилитроны (диоды Зенера), позволяющие снизить

потребление мощности. Однако из-за резкого включения стабилитронов в таких схемах часто возникают электромагнитные помехи. Ограничительные схемы RCD обеспечивают хороший баланс между эффективностью, генерацией электромагнитных помех и стоимостью и потому получили наибольшее распространение.

Ограничительная схема RCD работает следующим образом. Сразу же после закрытия MOSFET диод во вторичной цепи остается обратно смещенным, и ток намагничивания заряжает емкость стока (см. рис. 3а). Когда напряжение в первичной обмотке достигает величины выходного отраженного напряжения V_{OR} , определяемого соотношением витков трансформатора, открывается диод во вторичной цепи, и энергия намагничивания передается во вторичную обмотку. Энергия рассеяния продолжает заряжать трансформатор и емкость стока до тех пор, пока напряжение в первичной обмотке не станет равным напряжению на конденсаторе ограничительной схемы (см. рис. 3б).

В этот момент открывается блокирующий диод, и энергия рассеяния направляется через конденсатор ограничительной схемы (см. рис. 4а). Протекающий через конденсатор ток заряда ограничивает пиковое напряжение на стоке транзистора до величины $V_{IN(MAX)} + V_{C(MAX)}$. После того как энергия рассеяния полностью передана, блокирующий диод запирается, а конденсатор ограничительной схемы до начала следующего цикла разряжается через резистор этой же схемы (см. рис. 4б). Последовательно с блокирующим диодом часто ставят дополнительный небольшой резистор, предназначенный для подавления любых колебательных процессов, возникающих в контуре из индуктивности трансформатора и конденсатора ограничительной схемы в конце цикла заряда. На рисунке 5 показаны циклические пульсации напряжения V_{Δ} , наблюдаемые в ограничительной схеме, амплитуда которых определяется величиной конденсатора и резистора, стоящих параллельно друг другу.

Принцип работы ограничительной схемы RCDZ аналогичен принципу работы RCD-схемы, за исключением того, что рассеиваемая энергия делится между стабилитроном и стоящим последова-

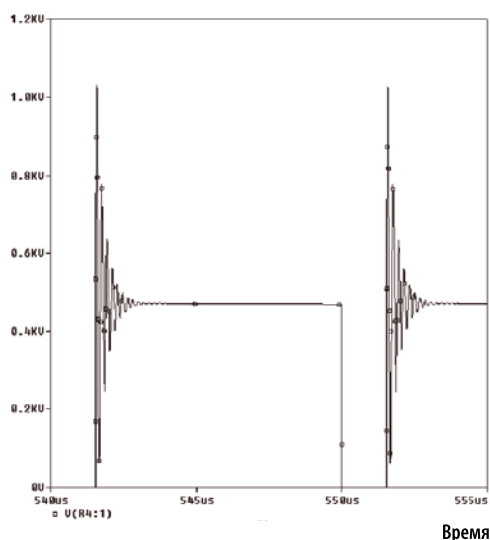


Рис. 1. Переходные процессы в стоке транзистора, вызванные индуктивностью рассеяния трансформатора

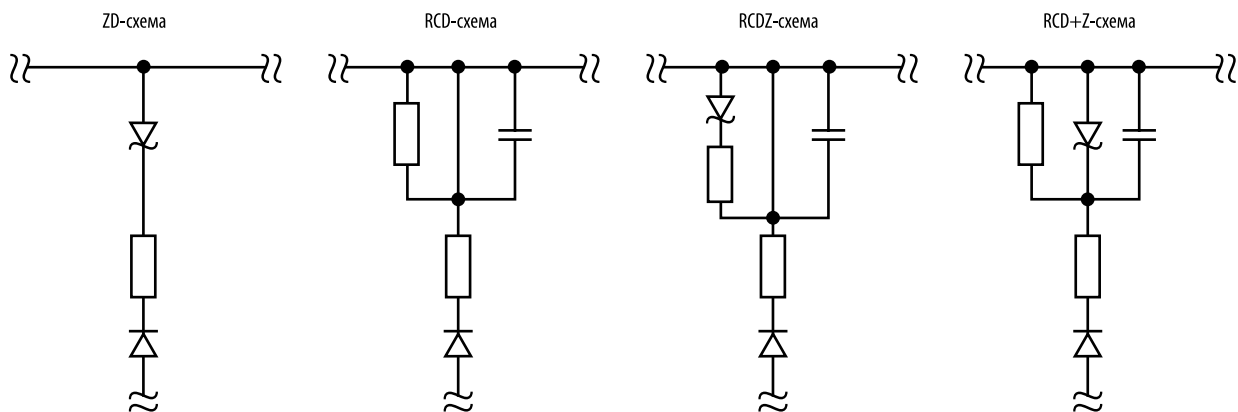


Рис. 2. Типы ограничительных схем

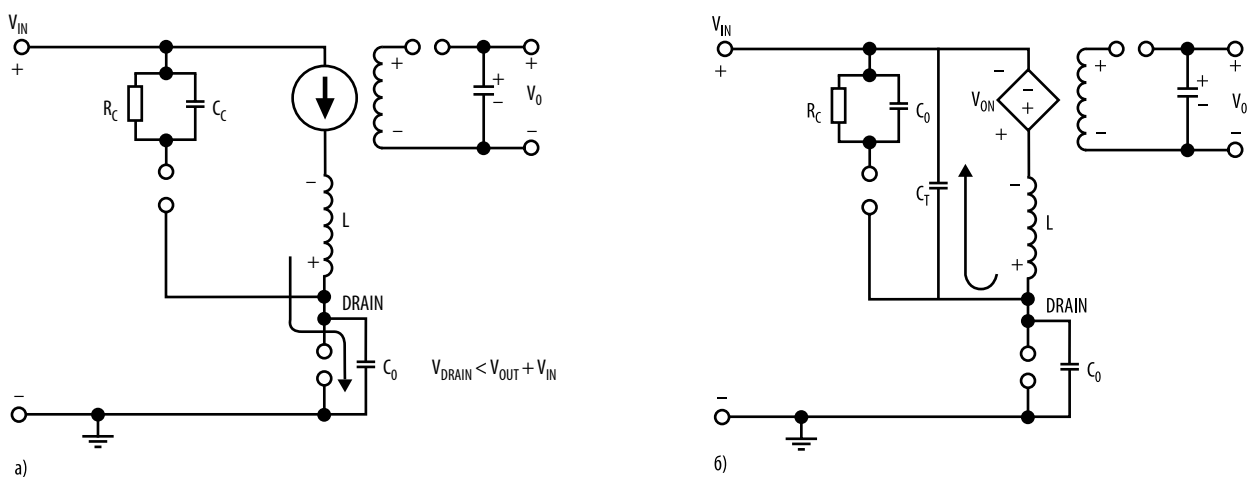


Рис. 3. Первичная цепь ограничительной схемы

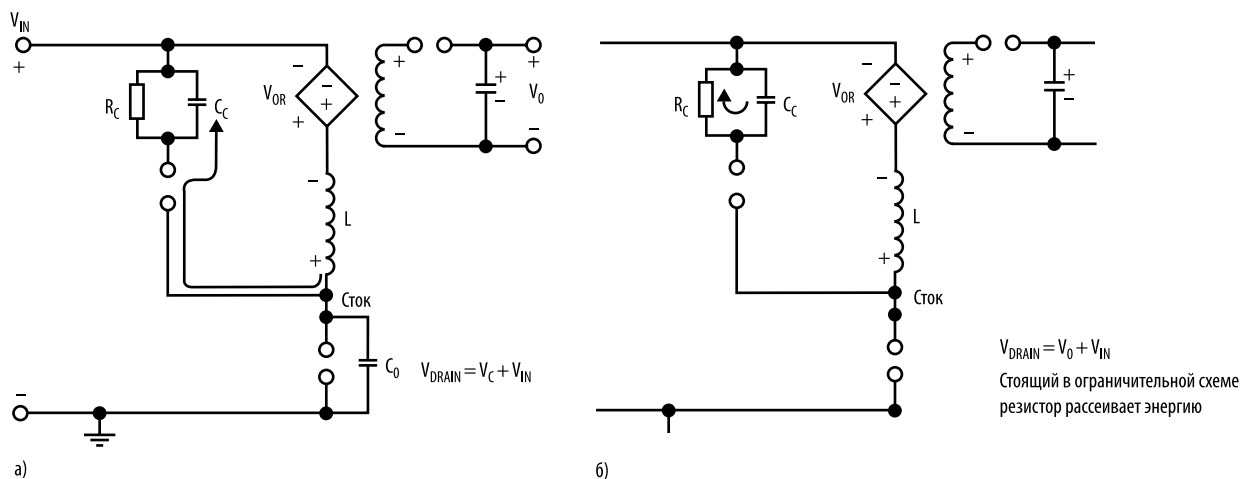


Рис. 3. Первичная цепь ограничительной схемы

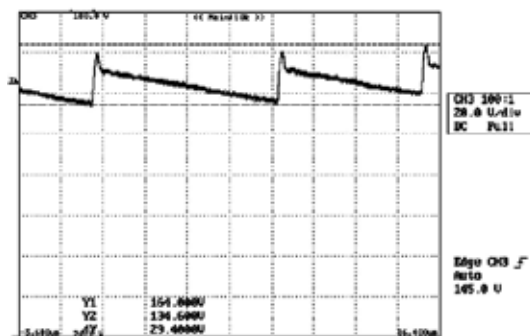


Рис. 5. Измерение напряжения в ограничительной схеме RCD

тельно с ним резистором (см. рис. 2). Стабилитрон предотвращает конденсатор от разряда ниже уровня блокирующего напряжения стабилитрона, что ограничивает рассеяние мощности и улучшает эффективность, особенно при небольших нагрузках. Схема ZD обеспечивает жесткое ограничение напряжения на MOSFET, определяемое величиной блокирующего напряжения стабилитрона. И, наконец, ограничительная схема RCD+Z работает, как и RCD-схема, но введение в нее стабилитрона обеспечивает безопасное ограничение напряжения на MOSFET во время переходных процессов. Как и RCD-схема, она характеризуется пониженной генерацией электромагнитных помех во время нормального режима.

При разработке ограничительных схем необходимо учитывать параметры как трансформатора, так и MOSFET. Если минимальное ограничивающее напряжение ниже V_{OR} трансформатора, ограничительная схема работает как нагрузка. При этом теряется большее количество энергии, чем при рассеивании, что снижает эффективность. При выборе компонентов ограничительной схемы меньших размеров, чем требуется, они перегреваются, не справляются с опасными напряжениями и генерируют электромагнитные помехи. Необходимо, чтобы ограничительная схема обеспечивала защиту MOSFET от любых всплесков входного напряжения питания, тока нагрузки и учитывала допуски на компоненты.

Компания Power Integrations опубликовала руководство по проектированию ограничительных схем Clamp Sizing Design Guide (PI-DG-101), в котором приведена поэтапная последовательность подбора компонентов для четырех основных типов ограничительных схем, применяемых в обратноходовых источниках питания. Это руководство предназначено для использования совместно с программным пакетом PI Expert. Данная интерактивная программа автоматически подбирает на

основе параметров источника питания пользователя все компоненты (включая характеристики трансформатора), необходимые для генерации требуемого рабочего напряжения импульсного источника питания. PI Expert автоматически создает ограничительную схему, которая, впрочем, слегка отличается от схемы, спроектированной по алгоритму из упомянутого руководства.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАНИЧИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ RCD

Ниже приведена последовательность шагов при проектировании ограничительной схемы RCD (подробнее см. руководство Clamp Sizing Design Guide). Все перечисленные ниже значения, не измеренные и не определенные пользователем, следует искать в таблице результатов проектирования PI Expert.

1. Измерьте L_L — индуктивность рассеяния первичной цепи трансформатора.
2. Проверьте f_s — частоту переключения источника питания.
3. Определите I_p — точное значение тока в первичной цепи.
4. Определите полное напряжение в первичной цепи MOSFET и рассчитайте $V_{maxclamp}$ при помощи следующего выражения:

$$V_{MOSFET\ max} = (V_{AChighLine} \cdot \sqrt{2}) + V_{maxclamp}$$

(Примечание: предусмотрите для MOSFET запас, по крайней мере, в 50 В ниже уровня BVDSS, а дополнительно к нему — запас в 30–50 В на всплески напряжения при переходных процессах).

5. Определите V_{delta} — амплитуду пульсаций в ограничительной схеме.
6. Рассчитайте минимальное напряжение в ограничительной схеме:

$$V_{minclamp} = V_{maxclamp} - V_{delta}$$

7. Рассчитайте среднее напряжение в ограничительной схеме:

$$V_{clamp} = V_{maxclamp} - \frac{V_{delta}}{2}$$

8. Рассчитайте энергию, накопленную в индуктивности рассеяния:

$$E_{LL} = \frac{1}{2} L_L I_p^2$$

9. Оцените E_{clamp} — энергию, рассеиваемую в ограничительной схеме:

$$1,5 Wt \leq P_{out} \leq 50 Wt$$

$$E_{clamp} = 0,8 E_{LL}$$

$$E_{clamp} = E_{LL}$$

$$E_{clamp} = E_{LL} \cdot \left(\frac{V_{clamp}}{V_{clamp} - V_{OR}} \right)$$

10. Рассчитайте величину резистора в ограничительной схеме:

$$R_{clamp} = \frac{V_{clamp}^2}{E_{clamp} \cdot f_s}$$

11. Расчетная мощность резистора в ограничительной схеме должна быть больше, чем:

$$\frac{V_{clamp}^2}{R_{clamp}}$$

12. Рассчитайте емкость конденсатора в ограничительной схеме:

$$C_{clamp} = \frac{E_{clamp}}{\frac{1}{2} [V_{maxclamp}^2 - V_{minclamp}^2]}$$

13. Расчетное напряжение на конденсаторе в ограничительной схеме должно быть больше, чем $1,5 V_{maxclamp}$.

14. В качестве блокирующего диода в ограничительной схеме необходимо использовать диод с коротким или очень коротким временем восстановления.

15. Пиковое обратное напряжение блокирующего диода должно быть больше, чем $1,5 V_{maxclamp}$.

16. Расчетный пиковый ток прямого смещения должен быть больше I_p . Если этот параметр не перечислен в таблице данных, средний расчетный ток прямого смещения должен быть больше $0,5 I_p$.

17. Величина демпфирующего резистора (если он используется) выбирается из соотношения:

$$\frac{20}{0,8 I_p} \text{ Ом} \leq R_{damp} \leq 100 \text{ Ом}$$

18. Расчетная мощность демпфирующего резистора должна быть больше, чем

$$I_p^2 R_{\text{damp.}}$$

После проведения первоначальных расчетов для проверки рабочих характеристик источника питания необходимо сконструировать прототип такого устройства, поскольку индуктивность рассеяния трансформатора может значительно меняться в зависимости от техники намотки. В некоторых случаях следует измерить среднее напряжение V_{clamp} и сравнить его с рассчитанным в п. 7 значением (см. рис. 5). В случае существенных различий этих значений можно произвести корректировку R_{clamp} . Если полученные результаты существенно отличаются от ожидаемых, расчет следует повторить с использованием уточненных данных.

Для расчета параметров ограничительных схем других типов используют аналогичную последовательность шагов, добавляя шаги для каждого нового элемента. Следует быть очень внимательными при выборе диодов и стабилитронов — у них должна быть соответствующая мощность. Почти во всех случаях применения стабилитронов для обеспечения требуемой пиковой мгновенной мощности необходимо использовать цепи подавления всплесков напряжений при переходных процессах.





- Керамические конденсаторы (высокодобротные, с низкими ESR, высоковольтные, большой емкости, высокочастотные), в т.ч. в исполнении «Spase»
- Герметичные металлические корпуса



УНИКАЛЬНЫЕ
РАДИОКОМПОНЕНТЫ
ВЕДУЩИХ ФИРМ МИРА
РАДИОКОМП®

Официальный представитель

Россия, 111024, Москва,
Авиамоторная ул., д. 8
Телефоны: (495) 957-77-45,
(495) 361-09-04
Факс: (495) 925-10-64
e-mail: sales@radiocomp.ru
www.radiocomp.ru

Расчетная мощность компонентов проверяется методом измерения температур корпусов компонентов в то время, когда источник питания работает на полную нагрузку при минимальном входном напряжении. Если рабочая температура какого-либо компонента схемы выходит за установленные производителем пределы, компонент следует заменить, а схему необходимо тщательно проверить.

СОБЫТИЯ РЫНКА

| TEXAS INSTRUMENTS ПРИОБРЕТАЕТ NATIONAL SEMICONDUCTOR ЗА 6,5 МЛРД ДОЛЛ. | National Semiconductor (NS) будет преобразована в подразделение Texas Instruments (TI), специализирующееся на полупроводниках. Поглощение объединит двух промышленных лидеров в аналоговых решениях. Обе компании будут работать независимо, ожидая окончания сделки, на которую потребуется 6–9 мес.

Texas Instruments является четвертым в мире производителем полупроводниковых приборов, уступая лишь Intel, Samsung и Toshiba. TI занимает первое место по производству микросхем для мобильных устройств, а также лидирует в производстве цифровых сигнальных процессоров и аналоговых полупроводников.

Что означает эта сделка для заказчиков?

- Единая номенклатура аналоговой продукции — 42 тыс. наименований изделий с широким диапазоном параметров для любой электронной системы, а также общий набор интерактивных инструментов, упрощающий выбор компонентов и проектирование.
- Большой, чем у любой другой отраслевой компании, отдел продаж. Объединение отделов продаж общей численностью более 2500 сотрудников в 10 раз превышает нынешний штат отдела сбыта компании NS. Новое подразделение обеспечит полноценную индивидуальную поддержку клиентов.
- Производственные мощности, отвечающие растущему спросу заказчиков. Недавно запущенные мощности TI, в т.ч. первой в индустрии 300-мм аналоговой фабрики, совместно с производственными площадями NS позволят увеличить объемы выпуска продукции, пользующейся повышенным спросом.
- Плавный переход к объединенной структуре с учетом интересов заказчиков. TI будет работать на фабриках NS, продолжит выпускать ее продукцию под теми же серийными номерами. Перспективные планы развития продукции останутся прежними.

www.elcomdesign.ru

НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

| ИССЛЕДОВАТЕЛИ СОЗДАЮТ MEMS-ПАМЯТЬ НА УГЛЕРОДНЫХ ТРУБКАХ | Совместное использование MEMS-консоли и транзистора из углеродных нанотрубок позволит создать энергонезависимую память. Инженеры создали устройство, энергопотребление которого меньше, чем у стандартной памяти. Прежние попытки использования транзисторов на углеродных нанотрубках в запоминающих устройствах сталкивались с ограничениями на быстродействие и время хранения. Однако коллективу инженеров из Эдинбургского университета удалось улучшить эти параметры за счет механической консоли, позволяющей заряжать электрод плавающего затвора.

Консоль шириной в 1 мкм и длиной более 10 мкм нависает над электродом и плавающим затвором. При подаче на электрод напряжения смещения электростатическая сила вынуждает консоль соприкоснуться с плавающим затвором. Консоль состоит из тройного слоя Cr/Al/Cr, а затвор — из слоя золота на 80-нм изолирующем основании из оксида алюминия.

Заряд на плавающем затворе управляет током истока-стока полупроводникового канала р-типа из углеродных нанотрубок. У такого вида памяти имеется способность к хранению больших объемов данных. Рабочая скорость этого устройства ограничена лишь скоростью переключения консоли, которая намного превосходит скорость флэш-памяти. При этом исследователи ничего не сообщают о размерах, плотности и масштабируемости новой конструкции запоминающего устройства. Теоретически, транзистор из углеродных нанотрубок хорошо масштабируется, чего нельзя сказать о MEMS-консолях.

www.elcomdesign.ru



Новая платформа цифровых осциллографов WaveRunner 6 Zi

LeCroy

Полосы пропускания 400 МГц - 4 ГГц
Частота дискретизации до 40 Гвыб/с
Память до 64 МБ на канал

ООО «ЛеКрой Рус»

г. Москва, 2-й Донской пр., д. 10, стр. 4

Тел./факс: (495) 777-5592

www.lecroy-rus.ru

