

Начало в №6'2013

Особенности построения импульсных преобразователей с гальванической развязкой. Часть 2

В первой части статьи были обозначены основные ограничительные (снабберные) схемы, которые позволяют рассеивать энергию, накопленную в индуктивности рассеяния. Рассмотрим каждую из них более подробно.

Александр Петрушенко

Стабилитроны (диоды Зенера)

Стабилитрон — это полупроводниковый диод, работающий в режиме электрического пробоя. До наступления пробоя через стабилитрон протекают незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко. При наступлении пробоя ток через стабилитрон резко возрастает, а его дифференциальное сопротивление падает до величины, составляющей для различных приборов от долей до сотен ом. Поэтому в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов.

Особые импульсные лавинные стабилитроны («подавители переходных импульсных помех», «супрессоры», «TVS-диоды») применяются для защиты аппаратуры от перенапряжений, вызываемых разрядами молний и статического электричества, а также от выбросов напряжения на индуктивных нагрузках. Такие стабилитроны выдерживают пиковые импульсы тока в десятки и сотни ампер лучше, чем «обычные» силовые стабилитроны той же рассеиваемой мощности.

Как правило, применение стабилитронов в цепях ограничения перенапряжений ограничено мало-мощными импульсными источниками питания и используется для защиты транзисторов по цепям управления.

Конденсаторы (снабберные конденсаторы)

Снабберные конденсаторы применяются как для ограничения переходных перенапряжений, так и для снижения динамических потерь в силовых ключах. В последнем случае с их помощью формируется траектория переключения: параллельные емкости снижают скорость нарастания напряжения, индуктивности в цепях коммутации ограничивают скорость нарастания тока.

Практически все современные транзисторы и модули IGBT имеют прямоугольную область безопасной работы (Safe Operating Area, SOA или ОБР), то есть допускают работу в режиме «жесткого переключения», когда коммутруются максимальный ток и напряжение. В этом случае, как правило, и рекомендуется применение простейшего снаббера, представляющего собой низкоиндуктивный пленочный конденсатор, установленный параллельно шинам питания полумоста. Конструкция снабберной емкости должна обеспечивать не только минимальную распределенную индуктивность, но и удобство подключения к полюсам силового модуля.

Для ограничения переходных перенапряжений в большинстве случаев применяются специальные снабберные конденсаторы, размещаемые непосредственно на DC-полюсах модулей транзисторов. В самом общем смысле снаббер работает как фильтр низких частот, замыкающий через себя ток переходного процесса. Номинал конденсатора вычисляется исходя из заданного уровня перенапряжения и значения энергии, запасенной в паразитной индуктивности шины при коммутации тока. Принцип снабберных конденсаторов заключается в предотвращении наведения опасного напряжения из-за индуктивностей коммутационной цепи L_K путем включения конденсаторов, которые поглощают энергию, сохраненную в паразитной индуктивности (индуктивности рассеяния в трансформаторе):

$$E = L_K/2 \times i^2.$$

Конденсатор будет заряжен разностью напряжений

$$DV^2 = L_K/2 \times i^2/C$$

и установит предел перенапряжениям. Поглощенная энергия должна разрядиться между двумя процессами заряда для сохранения работоспособности схемы.

RC-снаббер

Простейший RC-снаббер — это последовательно соединенные конденсатор и резистор. Расчет RC-снаббера заключается в определении номиналов конденсатора и резистора, а также в определении мощности резистора. Покажем, как рассчитываются эти величины.

Номинал резистора снаббера рассчитывается исходя из того, что оптимальное сопротивление резистора должно быть равно характеристическому импедансу (сопротивлению) колебательного контура:

$$R_{SN} = \sqrt{L/C},$$

где L и C — это соответственно паразитные индуктивность и емкость.

Паразитная емкость — это, в основном, емкость между стоком (коллектором) и истоком (эмиттером) транзистора (выходная емкость C_{oss}). Ее величину можно определить из документации на транзистор. Но как найти величину паразитной индуктивности? Она определяется расчетным путем по осциллограмме. Для этого измеряем осциллографом частоту паразитных колебаний, и из соотношения

$$f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$$

находим паразитную индуктивность

$$L = 1/(4\pi^2 f^2 C).$$

Величина емкости RC-снаббера обычно является компромиссным решением, поскольку, с одной стороны, чем больше емкость — тем лучше сглаживание (меньше число колебаний), с другой стороны, каждый цикл емкость перезаряжается и рассеивает через резистор часть полезной энергии, что сказывается на КПД (обычно нормально рассчитанный снаббер снижает КПД очень незначительно, в пределах одного-двух процентов).

Так вот, на практике величину этой емкости обычно определяют из условия, что постоянная времени RC-снаббера должна быть в три и более раз больше периода паразитных колебаний:

$$R_{SN} \times C_{SN} = 3T = 3/f,$$

где T и f — это, соответственно, период и частота паразитных колебаний. Отсюда

$$C_{SN} = 3/(R_{SN} \times f).$$

Мощность резистора оценивается по величине энергии, которую он каждый цикл должен рассеивать вследствие перезаряда конденсатора C_{SN} :

$$P_{RSN} = 1/(2C_{SN} \times U \times 2f_S),$$

где U и f_S — это, соответственно, входное напряжение и рабочая частота, на которой работают транзисторы.

В дополнение отметим, что располагать элементы RC-снаббера рекомендуется как можно ближе к силовым ногам транзистора.

RCD-снаббер

Ограничительные схемы RCD-снабберов обеспечивают хороший баланс между эффективностью, генерацией электромагнитных помех и стоимостью, вследствие чего они и получили наибольшее распространение. По своему принципу действия данные снабберы очень похожи на описанные ранее RC-снабберы, но при этом диод дает возможность образовывать дополнительный независимый контур разряда конденсатора, что позволяет применять конденсаторы более высокой емкости, получая лучшее сглаживание при сохранении КПД. Преимущество RCD-снаббера заключается в том, что заряд конденсатора в цепочке RCD происходит плавно, т. е. напряжение на конденсаторе изменяется медленно (относительно). А вот стабилитрон (диоды Зенера, TVS-диоды) открывается очень быстро (почти мгновенно), и падение напряжения на нем происходит также быстро. От такой жесткой коммутации возникают электромагнитные помехи. ■

Продолжение следует