

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРОДУКЦИИ ФИРМЫ RECOM)

Сергей Кривандин, ЗАО «КОМПЭЛ»

Модульный принцип построения радиоэлектронной аппаратуры назывался прогрессивным и перспективным еще в вузовских учебниках 60–70-х гг. XX века. Неотъемлемой частью любого изделия, часто определяющей основные характеристики аппаратуры, является источник питания. В настоящее время в связи с прогрессом в области построения импульсных источников питания разработчикам и производителям оборудования рынок предлагает большое разнообразие источников питания в модульном исполнении. Эти источники выпускаются в виде законченных изделий, предназначенных для применения в разнообразной аппаратуре. Разработчик практически может считать модульный источник питания «черным ящиком» с гарантированными входными, выходными и внутренними параметрами.

По мнению автора, использование указанных приборов сдерживается недостаточным объемом систематизированной информации по применению на русском языке. Предлагаемый материал призван частично восполнить этот пробел.

Рекомендации в статье носят общий характер, но иллюстрируются примерами использования приборов фирмы RECOM [1, 2]. Приведенные схемы и рекомендации можно распространить на преобразователи других фирм, уточнив параметры применяемых приборов и сделав соответствующие поправки там, где это необходимо.

DC/DC-преобразователи (DC/DC-конверторы) — это малогабаритные модульные импульсные источники вторичного электропитания. Диапазон входного напряжения преобразователей может лежать в пределах от 1,8 до 200 В; выходное напряжение, как правило, стандартное. Модули бывают с одним, двумя, тремя, четырьмя и более выходами. DC/DC-преобразователи выпускаются на разные мощности: от долей ватта до десятков и сотен ватт. Импульсные модули питания имеют высокий КПД в отличие от линейных, которых выпускается все меньше. DC/DC-конверторы, как правило, предназначены для монтажа на печатную плату. Маломощные модули выпускаются в малогабаритных пластмассовых корпусах типа SIP, DIP. Модули мощностью несколько десятков ватт размещаются в металлическом корпусе, залитом с нижней стороны эпоксидным компаундом. Размеры корпусов варьируются, например, от 11,5 × 6,0 × 10,0 мм до 140 × 50 × 90 мм. Металлический корпус выполняет дополнительную функцию экрана и защищает внешние цепи от высокочастотных импульсных помех.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Гальваническая изоляция выходов позволяет соединять несколько преобразователей последовательно, просто подключив положительный вывод одного преобразователя к отрицательному выводу другого (см. рис. 1). Таким образом можно получить напряжение питания нестандартного значения. При этом следует следить за тем, чтобы выходной ток преобразователя с более высоким выходным напряжением не превысил предельного значения.

Импульсные схемы преобразователей при последовательном включении не синхронизированы, это приводит к увеличению напряжений пульсаций и появлению напряжений на частотах биений. Поэтому необходима дополнительная фильтрация, которая осуществляется с помощью LC-цепочек, подключенных к выходу.

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Параллельное включение преобразователей используется для увеличения выходной мощности, когда мощ-

ности одного прибора недостаточно. Необходимо отметить, что предпочтительным является параллельное включение преобразователей одного и того же типа. При этом арифметическая сумма выходных мощностей преобразователей должны быть равна или, что лучше, больше требуемой мощности. Дело в том, что выходные напряжения преобразователей согласованы не полностью, поэтому нет гарантии, что параллельное включение двух модулей увеличит выходную мощность точно в 2 раза. Кроме того, у параллельно включенных конвертеров даже одинакового типа нагрузка может быть несимметричной. Асимметрия может достигать 10% даже при хорошем согласовании выходных напряжений.

Например, необходим DC/DC-преобразователь мощностью 2,5 Вт, но конверторы с такой мощностью не выпускаются или недоступны. В этом случае можно параллельно включить два прибора мощностью 2 Вт каждый или три одноваттных модуля. В первом случае это два модуля серий RC/RD фирмы RECOM, во втором — 3 модуля серий RA или RB той же фирмы.

При расчетах необходимо применять корректирующий коэффициент, учитывающий рассогласование и снижение выходной мощности схемы. Рекомендуется подбирать конверторы по параметрам, проводя тест при полной нагрузке таким образом, чтобы различия выходного напряжения не превышали 1–2%. Обычно применяется коэффициент снижения мощности 0,9 для того, чтобы обеспечить необходимый запас мощности.

Например, при параллельном включении двухваттных конверторов

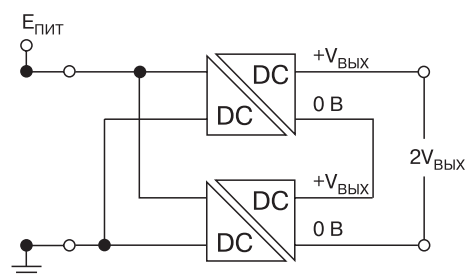


Рис. 1. Последовательное включение DC/DC-преобразователей

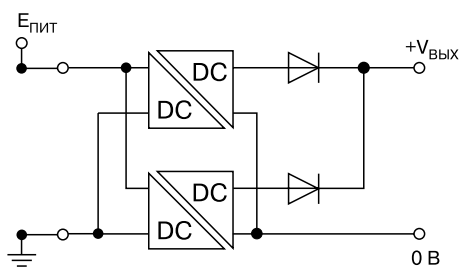


Рис. 2. Параллельное включение DC/DC-преобразователей с диодной защитой на выходе

RC/RD выходная мощность не должна превышать $(2 \times 2 \text{ Вт}) \times 0,9 = 3,6 \text{ Вт}$.

При необходимости можно включить параллельно и три конвертора, при этом аналогично надо учесть запас по мощности. Если же требуется достичь большей мощности, чем это возможно при параллельном включении трех преобразователей, необходимо все же подобрать и использовать один конвертор с более высокой мощностью.

Конверторы с регулируемым выходом нельзя включать параллельно, поскольку их выходы должны быть согласованы очень точно для обеспечения расчетной нагрузки. Регулируемые конверторы, включенные параллельно, могут стать причиной перегрузки. Если требуется регулируемый источник большой мощности, можно включить параллельно нерегулируемые конверторы и применить внешний линейный регулятор.

При параллельном включении необходимо помнить о том, что приборы не синхронизированы, поэтому требуется принять меры по согласованию преобразователей. Одним из решений является включение диодов (см. рис. 2). Падение напряжения на кремниевых диодах с p-n переходом составляет порядка 0,6 В. При выходном напряжении преобразователя более 12 В этим падением можно пре-

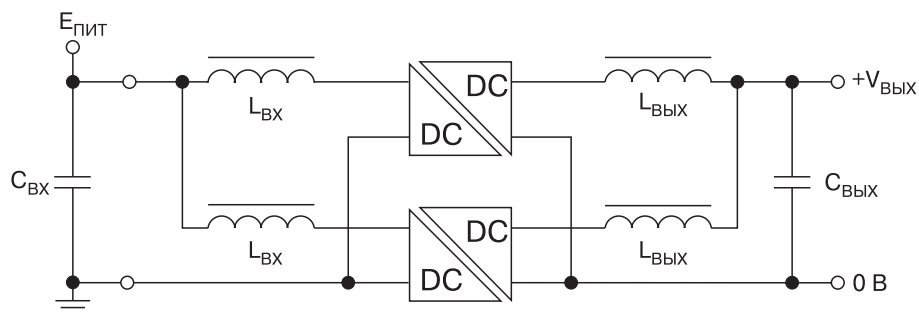


Рис. 3. Фильтрация помех при параллельном включении DC/DC-преобразователей

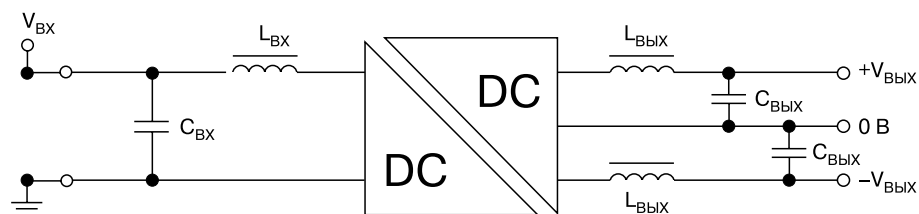


Рис. 4. Фильтрация помех на входе и выходе DC/DC-преобразователя

небречь. При выходных напряжениях 9 В и менее пренебречь падением напряжения на диодах уже нельзя и его нужно учитывать в расчетах.

В рассматриваемой цепи возникает напряжение с частотой пульсаций, которое накладывается на шумы обоих конвертеров. Это напряжение может быть уменьшено подключением внешнего конденсатора параллельно выходной цепи.

Более предпочтительным с точки зрения фильтрации помех является другой метод: с конденсаторами на входе и выходе и дросселями, подключенными последовательно выводам конверторов (см. рис. 3). Преимуществами этой схемы по сравнению с диодной являются меньшее снижение напряжения на выходе и меньший уровень шумов и помех.

В таблице 1 приведены рекомендуемые индуктивности дросселей при параллельном включении DC/DC-конверторов производства фирмы

RECOM. Применение дросселей с указанными параметрами позволяет снизить уровень напряжения с частотой биений и шумов в 10 раз.

Емкость параллельного конденсатора должна составлять не менее 1 мкФ на один параллельный канал, т.е. при параллельном включении двух преобразователей на их выходе между положительным выводом и «землей» необходимо включить конденсатор емкостью не менее 2 мкФ.

Необходимо отметить, что параллельное включение конверторов является все же вынужденной мерой. Предпочтительным является применение одного преобразователя соответствующей мощности.

ФИЛЬТРАЦИЯ ПОМЕХ

Как правило, DC/DC-преобразователи имеют фиксированную частоту преобразования. Это упрощает фильтрацию помех. Наилучшие результаты достигаются при использовании LC-фильтров (см. рис. 4). Можно использовать RC-фильтры, однако при этом необходимо учитывать падение напряжения на резисторах и соответствующие потери мощности и снижение эффективности.

Для предотвращения паразитных резонансов собственная резонансная частота f_L дросселя должна быть значительно больше рабочей частоты DC/DC-преобразователя. Для преобразователей RECOM типичное значение частоты составляет 100 кГц. Соответственно условие выбора выглядит следующим образом: $f_L > 100 \text{ кГц}$.

Таблица 1. Рекомендуемые значения индуктивности дросселей при параллельном включении DC/DC-преобразователей RECOM

Серия DC/DC-преобразователей RECOM	Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	Индуктивность, мкГн
RM/RL	3,3	33
RA	5	47
RB		
RU	9	100
RT		
RN	12	220
RO		
RD/RC	15	330
RI		
RJ/RG		
RK/RH		

Допустимое значение тока через дроссель должно быть, по крайней мере, в 2 раза больше выходного тока преобразователя. Для уменьшения потерь мощности олическое сопротивление катушки должно быть как можно меньше.

Рекомендуемые значения индуктивностей дросселей и емкостей конденсаторов, подключаемых к преобразователям RECOM, приведены в таблице 2.

Значения емкостей подобраны таким образом, чтобы внешние элементы составляли П-образный LC-фильтр с входной и выходной емкостями преобразователя соответственно. Значения индуктивностей выбраны с точки зрения максимального подавления колебаний на рабочей частоте преобразователя.

ФИЛЬТРАЦИЯ ПОМЕХ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО ВСТРОЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

На выходе DC/DC-преобразователей со встроенными линейными регуляторами подключать внешние фильтры не требуется. На входе таких преобразователей рекомендуется использовать фильтры, аналогичные рассмотренным (см. рис. 4 и табл. 2). К преобразователям с линейным регулятором, относятся, например, приборы серий RX, RY RECOM.

ОГРАНИЧЕНИЕ ПУСКОВОГО ТОКА

Применение дросселя на входе преобразователя необходимо еще по одной причине. Рассмотрим процесс включения (см. рис. 5). Входной ток цепи без дросселя описывается следующим выражением:

$$I = \frac{V}{R} \times e^{-\frac{t}{R \times C}},$$

где V — входное напряжение;
 R — сопротивление входной цепи;
 C — емкость входной цепи;
 t — время.

В момент включения ($t = 0$) ток на входе $I = V/R$. Если входное напряжение равно 5 В, а сопротивление печатных проводников и проводов около 50 мОм, пусковой ток может превысить 100 А. Не все DC/DC-конвертеры рассчитаны на такой ток. Подключение дросселя на вход конвертера снимает эту проблему. Таким образом, дроссель на входе преобразователя выполняет две функции: фильтрация помех и ограничение пускового тока.

МАКСИМАЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ НА ВЫХОДЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Самым простым способом снижения помех на выходе является подключение параллельно выходу конвертера конденсатора большой емкости. Это дешевое решение может применяться там, где не требуется той степени фильтрации, какая достигается при применении LC-фильтров. Если емкость конденсатора будет слишком большой, могут возникнуть проблемы, связанные с высокими зарядными токами, которые могут перегрузить выходные каскады преобразователя.

Пусковой ток может превысить предельно допустимое значение, в результате чего прибор перейдет во внешний режим работы: преобразователь будет выдавать на выходе пониженное напряжение при высоком уровне шумов. Конвертор может выдержать такой режим, однако цепь, источником питания которой он служит, будет работать некорректно. RECOM рекомендует максимальную емкость выходного конденсатора не более 10 мкФ на канал. Если же на выходе преобразователя используется LC-фильтр для лучшего подавления помех, значение емкости конденсатора может быть увеличено до 47 мкФ.

ВРЕМЯ ВКЛЮЧЕНИЯ

Во многих приложениях требуется быстрое включение аппаратуры, при этом наличие дросселя на входе преобразователя нежелательно. После включения питания напряжение на выходе преобразователя появляется достаточно быстро. Например, испытаниям были подвергнуты несколько преобразователей серий RB, RC, RD без подключения входного фильтра и с полной нагрузкой. Время включения не превышало 500 мкс. Применение внешних фильтров или фильтрующих конденсаторов на входе и вы-

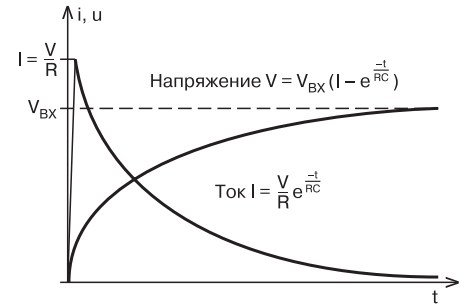


Рис. 5. Графики тока и напряжения на входе преобразователя при его включении

ходе приведет к увеличению времени включения преобразователя. При проектировании цепи разработчик должен найти компромисс между требованиями к быстродействию аппарата и допустимым уровнем шумов.

ЕМКОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ И ТОК УТЕЧКИ

Изоляционный барьер между входом и выходом преобразователя имеет емкостной характер. Значение емкости служит мерой связи входа и выхода. Зная емкость изоляции (C_{is} в описании прибора), можно оценить значение тока утечки. Для этого необходимо также знать частоту шумового или тестового сигнала.

Общее сопротивление изоляции

$$Z_f = \frac{1}{j \times 2\pi \times f \times C_{is}}$$

Например, емкость изоляции конвертеров R05B05/RB0505D составляет 18 пФ, сопротивление изоляции этих конвертеров на частоте 50 Гц:

$$|Z_{50}| = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 18 \times 10^{-12}} \approx 177 \text{ МОм.}$$

При тестовом напряжении 1 кВ ток утечки составит

$$i = V_{test} / Z_f = \frac{10^3}{177 \times 10^6} = 5,65 \text{ мкА.}$$

Таблица 2. Параметры элементов входных и выходных фильтров

Серия DC/DC-преобразователей RECOM	Входное напряжение $U_{вх}$, В	$L_{вх}$, мкГн	$C_{вх}$, мкФ	Выходное напряжение $U_{вых}$, В	$L_{вых}$, мкГн	$C_{вых}$, мкФ
RM/RL	3,3	33	1,5	3,3	33	1,5
RA RB RU RT	5	47	1,0	5	47	1,0
RN RO	12	220	1,0	9	100	1,0
RD/RC RI	24	470	0,470	12	220	1,0
RJ/RG RK/RH	48	680	0,180	15	330	1,0

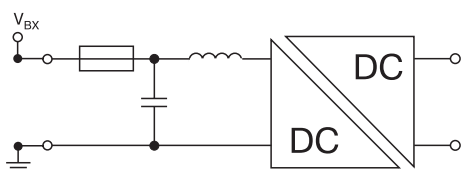


Рис. 6. Простая схема защиты преобразователя от перегрузки

Как видно из приведенных выражений, чем выше тестовое напряжение или напряжение шумов, тем больше ток утечки. Аналогично, чем меньше емкость изоляции, тем меньше ток утечки. Если при разработке изделия требуется малый ток утечки и низкая чувствительность к помехам и шумам, необходимо выбирать DC/DC-преобразователи с большой электрической прочностью изоляции и малым значением емкости изоляции.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

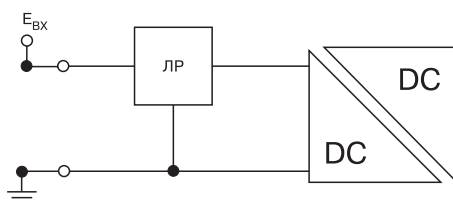
Применение фильтров ограничивает бросок тока при включении питания конвертора, но не обеспечивает защиты от перегрузки выходной цепи и от короткого замыкания на выходе. При перегрузке по току мощность, рассеиваемая преобразователем, оказывается недопустимо высока. В итоге прибор перегревается и выходит из строя, если не будет предпринято никаких мер. Следует отметить, что у нерегулируемых конверторов гарантируется защита от короткого замыкания только в течение 1 с.

Существует несколько способов предотвратить перегрузку на выходе конвертора и тем самым выход его из строя. Самый простой способ состоит в подключении предохранителя, рассчитанного на ток, больший тока включения, на вход конвертора (см. рис. 6).

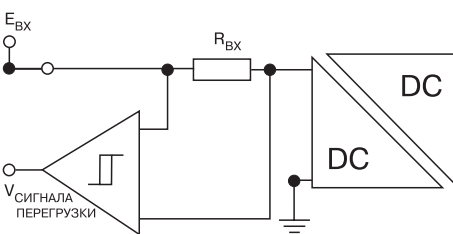
Возможны различные схемы индикации перегрузки (см. рис. 7, 8). Например, на входе конвертора может быть установлен линейный регулятор (см. рис. 7а) со встроенной схемой отключения. Применение регулятора значительно снижает общий КПД.

Другим способом является установка последовательного резистора и детектора падения напряжения (см. рис. 7б). Выходной сигнал детектора подается на модуль управления питанием прибора, при этом надо обеспечить изоляцию между цепью детектора и контроллером, например, с помощью оптопары.

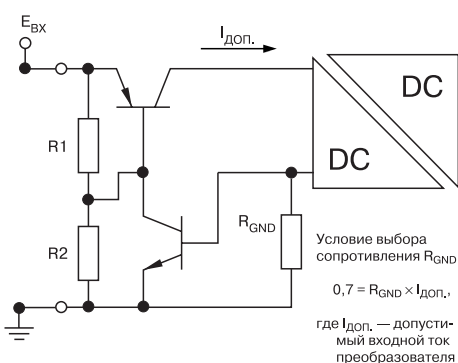
Рассеяние тепла на выходном последовательном резисторе может использоваться для индикации перегрузки, если поблизости от резистора расположить термистор или другой



а) схема защиты с линейным регулятором (ЛР) со встроенным термовыключателем



б) схема измерения входного тока с последовательно включенным резистором



в) схема ограничения входного тока

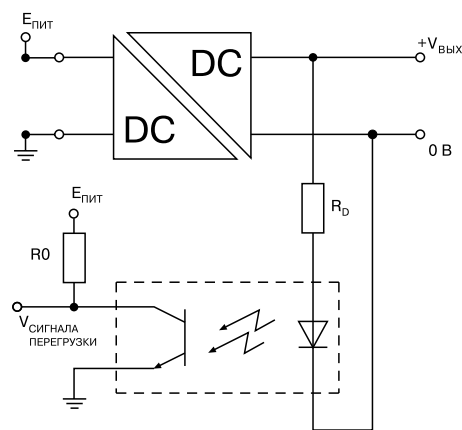
Рис. 7. Мониторинг перегрузки во входной цепи преобразователя

прибор, способный регистрировать изменение температуры (см. рис. 8б). Выбор того или иного способа обнаружения наличия перегрузки зависит от требований, предъявляемых к аппаратуре, в которой используется DC/DC-преобразователь. В ответственных случаях необходимо передать сигнал контроллеру системы о локализации модуля в режиме перегрузки. Если же достаточно просто выключить преобразователь, на выходе которого возникла перегрузка, на его входе можно установить предохранитель.

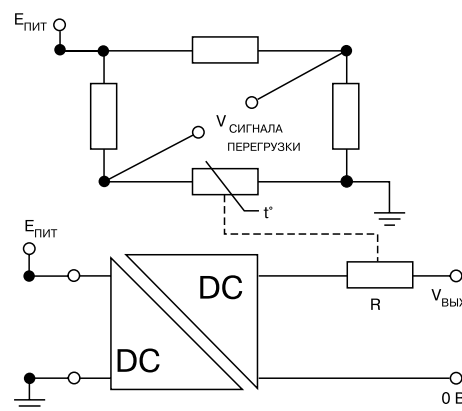
Все преобразователи фирмы RECOM со встроенными линейными регуляторами имеют термочувствительную защитную цепь, которая отключает прибор в случае перегрузки.

ЗАЩИТА ЦЕПЕЙ ПРИ РЕЗКОМ ПАДЕНИИ ВХОДНОГО НАПЯЖЕНИЯ

В случае резкого уменьшения входного напряжения напряжение на



а) детектор перегрузки с оптопарой, включенный на выходе преобразователя



б) схема с термодетектором перегрузки

Рис. 8. Мониторинг перегрузки в выходной цепи преобразователя

выходе преобразователя также резко меняется. Это приводит к тому, что цепи, питаемые от DC/DC-преобразователя, обесточиваются. Для предотвращения этого нежелательного эффекта бывает достаточно подключить на вход преобразователя цепь из электролитического конденсатора и диода (см. рис. 9). Емкость конденсатора должна быть достаточной для хотя бы кратковременного поддержания входного напряжения преобразователя. Типичное значение емкости конденсатора — 47 мкФ. Диод не позволяет конденсатору разряжаться через шину питания. Наличие на входе дросселя дополнительно обеспечивает хорошую фильтрацию помех. Падение напряжения питания на внутреннем сопротивлении диода должно быть как можно меньше, чтобы обеспечить номинальное значение входного напряжения преобразователя. Рекомендуется применять диоды Шоттки с малым падением напряжения.

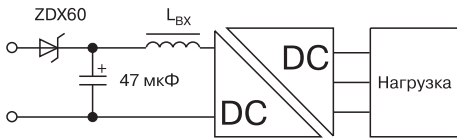
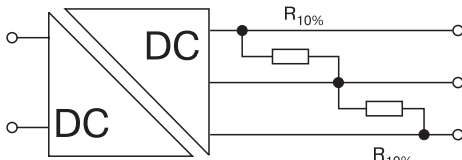
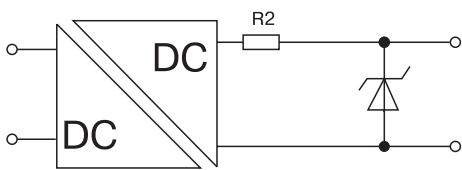


Рис. 9. Схема защиты при падении входного напряжения



а) с параллельными резисторами



б) с параллельным диодом

Рис. 10. Схемы защиты при недостаточной нагрузке

ЗАЩИТА ПРИ НЕДОСТАТОЧНОЙ НАГРУЗКЕ

Нерегулируемые преобразователи сохраняют работоспособность при уменьшении нагрузки до 10% от ее номинального значения. При дальнейшем уменьшении нагрузки выходное напряжение преобразователя не гарантировано. Такая ситуация недопустима, если преобразователь питает точные цепи. Самый простой способ обеспечения необходимого уровня нагрузки – подключение параллельно выходу преобразователя дополнительных резисторов (рис. 10а). Значение сопротивления резисторов должно обеспечивать нагрузку преобразователя, превышающую 10% от номинального значения. При расчете цепи и выборе схемы необходимо учитывать, что во внешние цепи преобразователь будет отдавать только 90% своей выходной мощности. Другим простым методом является использование стабилитронов (рис. 10б) в сочетании с последовательным резистором или фильтрующим дросселем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный материал не охватывает всех возможных случаев применения DC/DC-преобразователей. По вопросам технической поддержки, наличия продукции на складе и сроках поставки просим обращаться в фирму КОМПЭЛ по адресам:

Москва,
Тел.: (095) 995-0901,
Факс: (095) 995-0902
E-mail: compel@compel.ru

Санкт-Петербург,
Тел.: (812) 327-9404,
(812) 118-4661
Факс: (812) 118-4892
E-mail: spb@compel.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривандин С. DC/DC-преобразователи фирмы RECOM: разнообразие выбора и немецкие традиции качества. — Электронные компоненты, №6, 2003. — с. 44–49.
2. <http://www.recom-international.com>