

# Включение гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с последовательным соединением его входной и выходной цепей

Сергей Чернышов (serj.chernyshov@mail.ru)

В статье пойдёт речь о способах нестандартного включения изолированных DC/DC-преобразователей. Рассмотренные схемы могут быть применены во вторичных источниках питания и позволяют работать с ультрашироким диапазоном напряжений сети постоянного тока. В статье также рассмотрены способы включения DC/DC-преобразователей, при определённых условиях увеличивающие КПД источников питания.

Идея представленных ниже схем состоит в том, что входная цепь гальванически развязанного DC/DC-преобразователя (модуля питания, конвертера) последовательно соединяется с его выходной цепью. Есть два варианта такого соединения: первый вариант – с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя, второй вариант – с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания.

Рассмотрим первый вариант – с суммированием напряжения первич-

ного источника питания и выходного напряжения преобразователя. При таком включении существенно расширяется диапазон входных напряжений по сравнению с входным диапазоном DC/DC-преобразователя в обычном включении (в два и более раза, за счёт смещения вниз нижней границы диапазона). Это может быть полезно в применении в источниках питания, работающих с большим диапазоном напряжения первичной сети, в частности, сильных при долговременных просадках напряжения. На рисунке 1 представлена схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с последо-

вательным соединением входной и выходной цепей – с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя, и стабилизированным напряжением на нагрузке, включённой относительно плюса первичного источника питания.

Нижняя граница напряжения первичного источника питания, необходимого для работы схемы, равна  $V_{inDCDC}^{min} - V_{out}$ , а верхняя –  $V_{inDCDC}^{max} - V_{out}$ .  $V_{inDCDC}^{min}$  и  $V_{inDCDC}^{max}$  – нижняя и верхняя границы диапазона входных напряжений DC/DC-преобразователя,  $V_{out}$  – выходное напряжение преобразователя. Для такого включения справедливо выражение:

$$P_{in} - P_z = P_{inDCDC} - P_{out} \quad (1)$$

где  $P_{in}$  – потребляемая от первичного источника мощность,  $P_z$  – выходная мощность на нагрузке (полезная мощность),  $P_{inDCDC}$  – входная мощность DC/DC-преобразователя,  $P_{out}$  – выходная мощность DC/DC-преобразователя.

Запишем  $P_{in}$  следующим образом:

$$P_{in} = \frac{P_z}{\eta - \frac{V_{out}}{V_{in}}(1-\eta)} \quad (2)$$

где  $V_{out}$  – выходное напряжение преобразователя,  $V_{in}$  – напряжение первичного источника питания,  $\eta$  – КПД DC/DC-преобразователя.

Нижняя часть выражения представляет собой КПД схемы. Как можно видеть, он меньше чем у преобразователя и зависит от напряжения первичного источника питания и КПД самого преобразователя. Рассмотрим эту схему включения на примере DC/DC-преобразователя с выходным напряжением 5 В и входом 9...36 В, включённым по схеме с последовательным соединением входной и выходной цепей (с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя и стабилизированным напряжением на нагрузке, включённой относи-

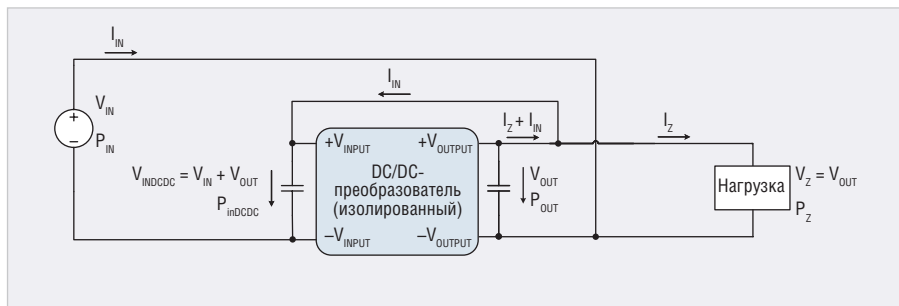


Рис. 1. Схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с последовательным соединением входной и выходной цепей

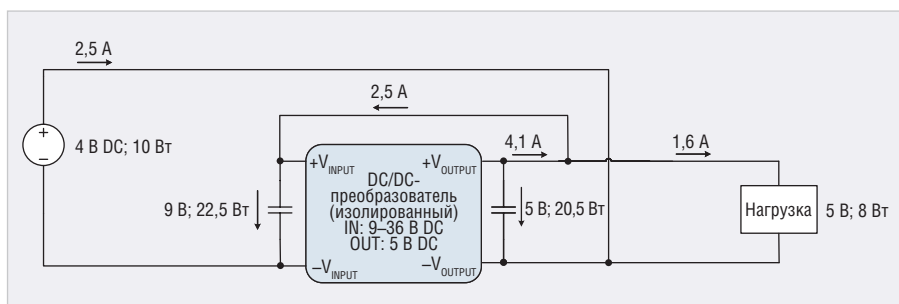


Рис. 2. Схема DC/DC-преобразователя с выходным напряжением 5 В, входным напряжением 9...36 В с последовательным соединением входной и выходной цепей

тельно плюса первичного источника питания) (см. рис. 2).

Напряжение первичного источника питания составляет 4 В – минимальное напряжение для работы схемы. При этом на входе преобразователя сохраняется напряжение 9 В, которое является суммой напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя. Диапазон входного напряжения схемы составляет от 4 до 31 В (увеличение почти в два раза, по сравнению с входным диапазоном DC/DC-преобразователя). Преобразователь выдаёт 20,5 Вт мощности при полезной мощности на нагрузке 8 Вт и потребляемой от входной сети мощности 10 Вт. КПД схемы в этих условиях и с учётом КПД преобразователя (91%, как в лучших DC/DC-модулях питания) составляет почти 80%. При входном напряжении 12 В КПД схемы равно 87%, при 24 В – 89%. При этом КПД преобразователя считается независимым от входного напряжения и постоянным в пределах коэффициента нагрузки от 0,3 до 1.

Один из вариантов схемы представлен на рисунке 3 – схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с последовательным соединением входной и выходной цепей (с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя и стабилизированным отрицательным напряжением на нагрузке, включённой относительно минуса первичного источника питания).

Следующая схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с суммированием напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя представлена на рисунке 4. Отличие этой схемы в том, что нагрузка заземлена, напряжение на ней нестабилизированное и также является суммой напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя. Границы диапазона входных напряжений схемы рассчитываются так же, как и в предыдущем примере.

Для такого включения справедливо выражение (1), но выражение  $P_{in}$  приобретает следующий вид:

$$P_{in} = \frac{P_z}{1 - \frac{V_{out}}{V_{in}} \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)} \quad (3)$$

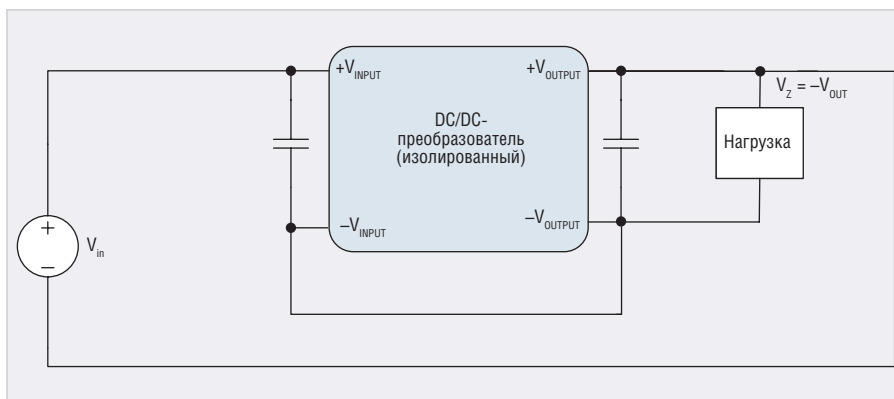


Рис. 3. Схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с последовательным соединением входной и выходной цепей

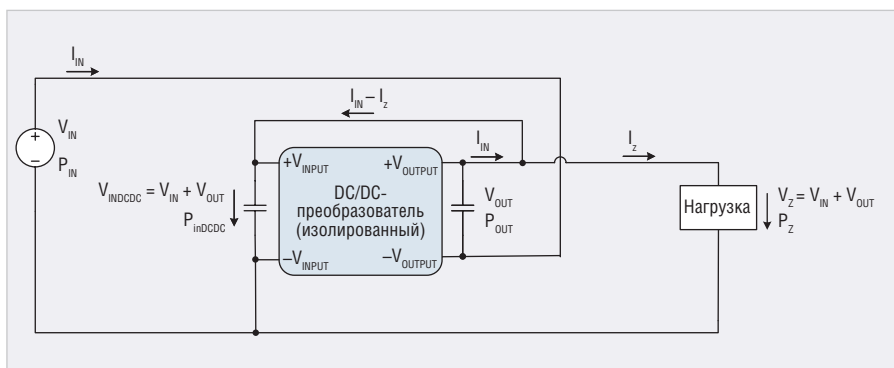


Рис. 4. Схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с суммированием напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя

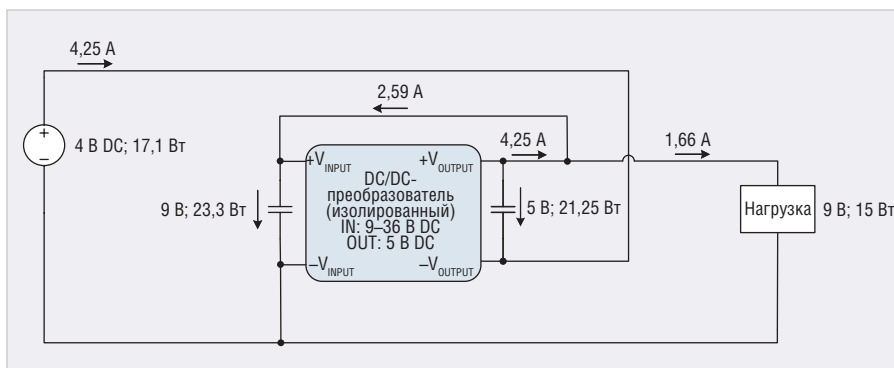


Рис. 5. DC/DC-преобразователь с выходным напряжением 5 В, входным напряжением 9...36 В, с нестабилизированным напряжением на нагрузке, включённой относительно минуса первичного источника питания

Рассмотрим схему, приведённую на рисунке 5, – DC/DC-преобразователь с выходным напряжением 5 В, входом 9...36 В, включённый по схеме с последовательным соединением входной и выходной цепей (с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя и нестабилизированным напряжением на нагрузке, включённой относительно минуса первичного источника питания).

Напряжение первичного источника питания составляет 4 В, как и в преды-

дущем примере это – нижний предел работы схемы. На нагрузке и на входе преобразователя напряжение составляет 9 В (минимальное для его работы) и является суммой напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя. Диапазон входного напряжения схемы так же, как и в предыдущем случае составляет от 4 до 31 В. Преобразователь выдаёт 21,25 Вт мощности при полезной мощности на нагрузке 15 Вт и потребляемой от первичного источника питания – 17,1 Вт. КПД схемы, с учётом КПД преобразователя 91%, составляет почти 88%. При

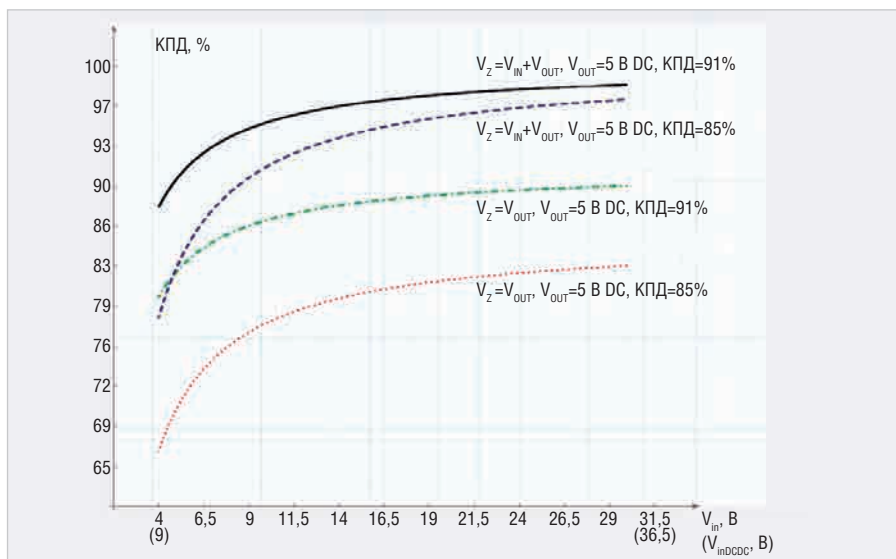


Рис. 6. Зависимость КПД преобразователя от входного напряжения

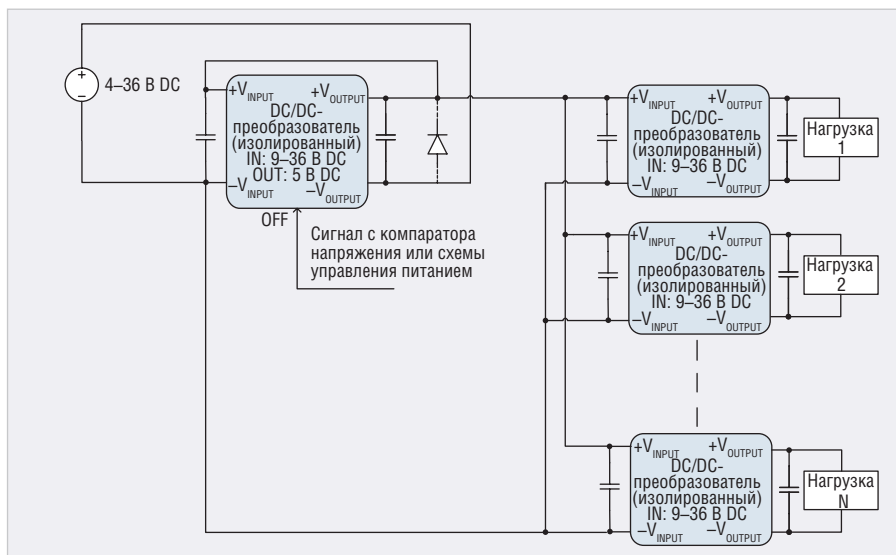


Рис. 7. Источник питания с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя

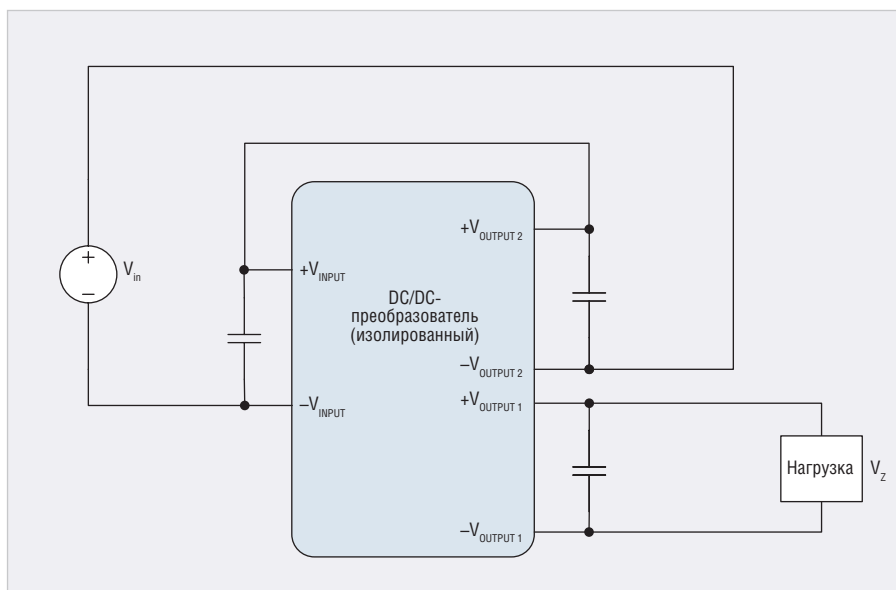


Рис. 8. Схема включения гальванически развязанного двухканального DC/DC-преобразователя с последовательным соединением входной и выходной цепей

входном напряжении 24 В КПД схемы равно 98%. Зависимости КПД описанных выше схем от напряжения первичного источника питания показаны на рисунке 6 (схемы с суммированием на входе преобразователя, напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя).

Схема с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника и выходного напряжения преобразователя имеет свои недостатки: уменьшение верхней границы входного диапазона питающих напряжений, отсутствие гальванической развязки, использование модуля DC/DC заведомо большей мощности (чем мощность, отдаваемая в нагрузку). При этом запуск схемы определяется пороговым напряжением включения DC/DC-преобразователя.

Выходное нестабилизированное напряжение схемы можно использовать для питания стандартно включённых гальванически развязанных DC/DC-модулей питания при больших просадках напряжения в первичной сети (см. рис. 7). Вычислить необходимую выходную мощность DC/DC-преобразователя для требуемой мощности в нагрузке можно из выражений (1–3).

В источнике питания, изображённом на рисунке 7, для поднятия верхней границы входного диапазона напряжений, а также для увеличения КПД схемы при работе с номинальными входными напряжениями первичного источника питания, можно использовать сигнал отключения DC/DC-преобразователя. Сигнал выдаётся компаратором напряжения или какой-либо схемой управления питанием при повышении напряжения первичного источника питания до нормального уровня. К выходу DC/DC-преобразователя рекомендуется подключить диод в обратном смещении. Входной диапазон такого источника составляет от 4 до 36 В.

Ещё один вариант схемы представлен на рисунке 8. В этом примере используется двухканальный преобразователь с развязанными выходными каналами, один канал которого используется в схеме с суммированием на входе преобразователя напряжения первичного источника питания и выходного напряжения преобразователя, а второй канал используется для подключения нагрузки.

Достоинством схемы является расширение входного диапазона и наличие гальванически развязанного канала (фактически являющимся одноканаль-

ным развязанным модулем питания с очень широким входным диапазоном). Выражение  $P_{in}$  в данном случае имеет вид:

$$P_{in} = \frac{P_z}{\eta - \frac{V_{out2}}{V_{in}}(1-\eta)}, \quad (4)$$

где  $V_{out2}$  – выходное напряжение выходной цепи последовательно соединённой с входной цепью преобразователя.

Второй вариант схем включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с последовательным соединением его входной и выходной цепей – это схема с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания. При таком включении существенно увеличивается КПД схемы по сравнению со стандартным включением преобразователя, что может быть полезно в применении в источниках питания, не требующих гальванической развязки (см. рис. 9).

Для такого включения всё так же справедливо выражение (1), выражение для  $P_{in}$  в данном случае, приобретает следующий вид:

$$P_{in} = \frac{P_z}{\eta + \frac{V_{out}}{V_{in}}(1-\eta)}. \quad (5)$$

Рассмотрим эту схему включения на примере (см. рис. 10). Полезная мощность на нагрузке 200 Вт, потребляемая от входной сети составляет 202 Вт. При такой мощности на нагрузке преобразователь выдаёт всего 29,9 Вт выходной мощности, что является несомненным достоинством схемы. Напряжение на входе преобразователя составляет 9 В (минимальное напряжение для его работы), которое является разностью напряжения первичного источника питания 57 В и выходного напряжения преобразователя 48 В. КПД схемы в этих условиях с учётом КПД преобразователя (около 93%) равен почти 99%. При напряжении первичного источника питания 84 В (верхняя граница напряжения работы схемы) КПД схемы близко к 97%. При этом выдаваемая выходная мощность преобразователя увеличивается с 29,9 до 82 Вт. По значению КПД схема лучше типовых понижающих конвертеров (buck, step-down converter) с выходным напряжением более десяти вольт. Если принять значение КПД преобразователя равным 80%, то получим значения КПД схемы примерно от 91 до 97%, при изменении входного напряжения с 84 до 57 В соответственно. Зависимость КПД схемы от напряжения первичного источника питания показаны на рисунке 11.

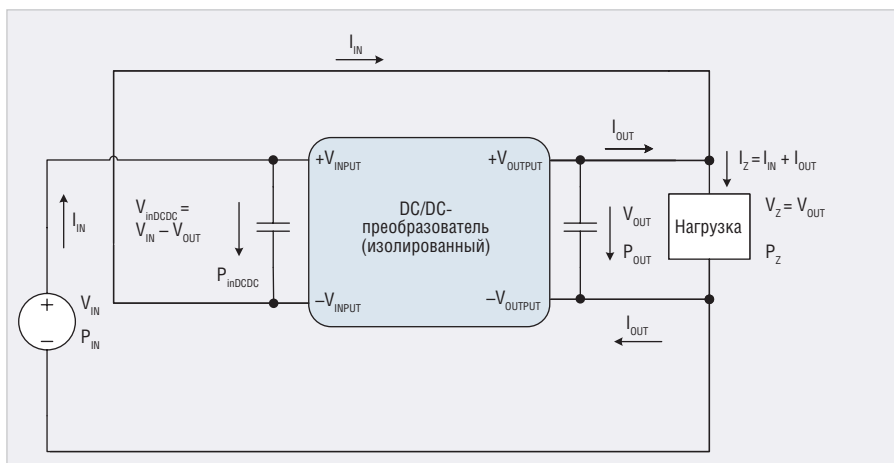


Рис. 9. Схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания

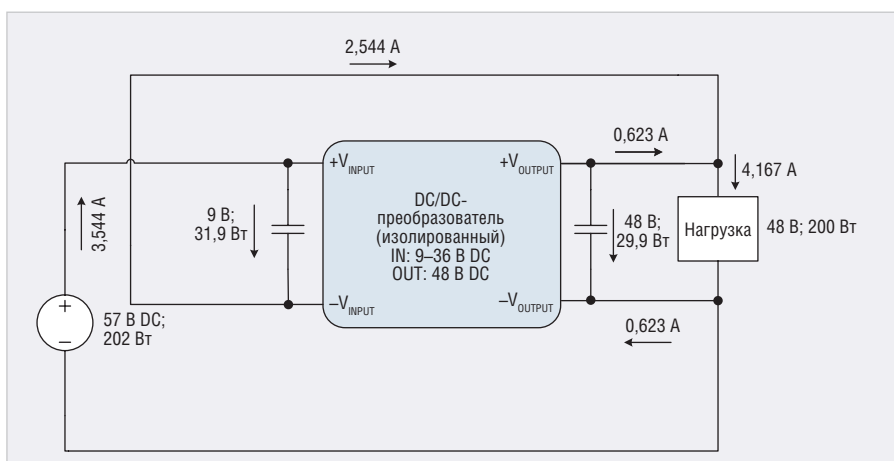


Рис. 10. DC/DC-преобразователь с выходным напряжением 48 В, входным напряжением 9...36 В с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания

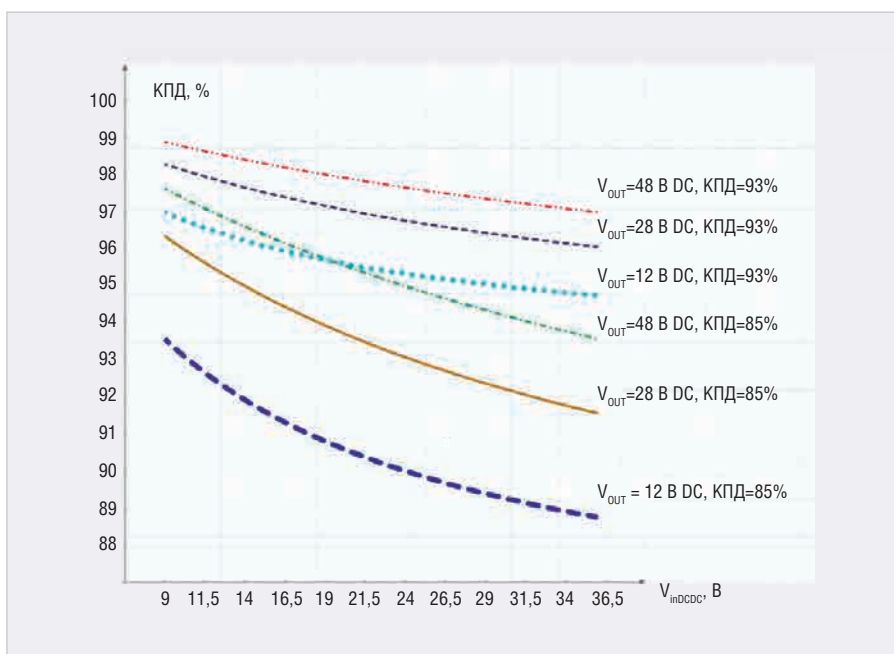
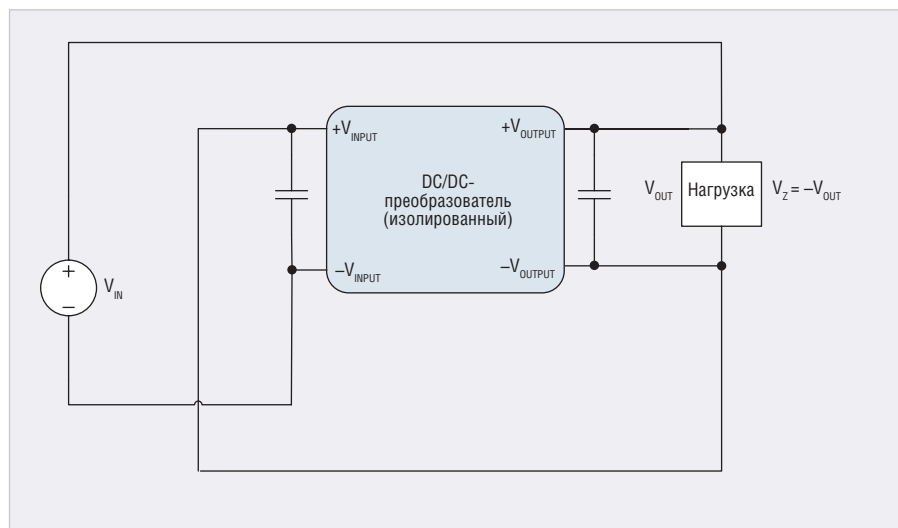


Рис. 11. Зависимость КПД преобразователя от входного напряжения (с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания)



**Рис. 12.** Схема включения гальванически развязанного DC/DC-преобразователя с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания

Вариант схемы с включением относительно плюса первичного источника питания представлен на рисунке 12. Недостатками схем с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичного источника питания являются уменьшение диапазона входных напряжений и отсутствие гальванической развязки. Однако очень большая часть источников питания использующих развязанные DC/DC-модули питания имеют соединение по минусам входной и выходной цепей, т.е. развязка в них отсутствует. Кроме того, при определенных условиях необходимы схемные решения для введения DC/DC-преобразователя в корректный режим работы и его защиты от переходных процессов при включении, аварийных режимах и т.д. Особенности схемы, которые следует учесть для правильной работы устройства, описаны далее.

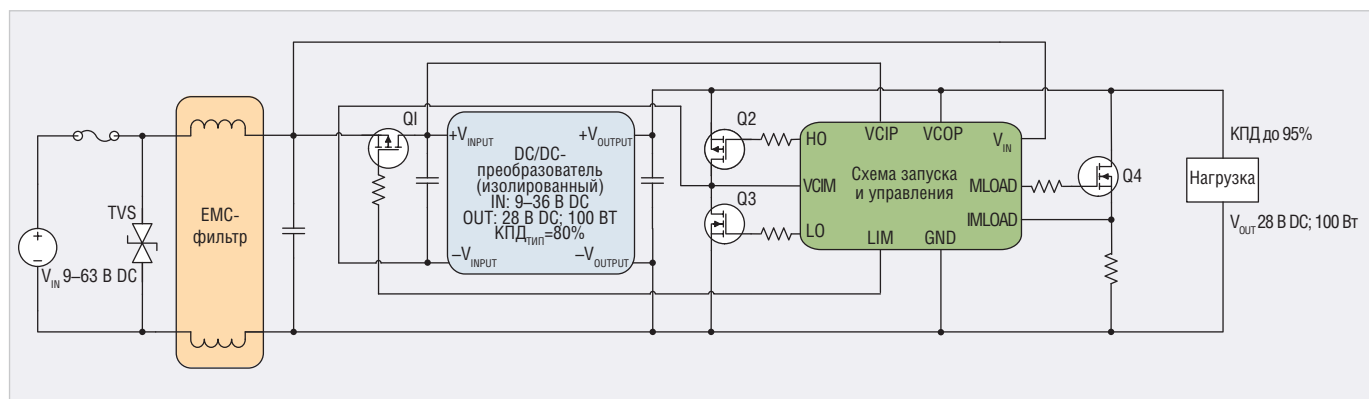
При подаче входного напряжения ниже минимально допустимого возникает «эффект заикания» (релейный режим включения и отключения преобразователя). Данный эффект возникает из-за того, что в момент включения напряжение на входе преобразователя выше минимально допустимого, а затем при вычитании из него выходного напряжения преобразователь отключается по минимальному порогу. Некоторые преобразователи при работе с входным напряжением ниже минимального значения (например, производства AEIP или ЭлТОм) не отключаются, а пропорционально входному напряжению снижают выходное напряжение. Поэтому при их использовании упомянутого эффекта не возникает. Для исключения данного эффекта необходимо использовать соответствующие средства. Также для устойчивой работы схемы на минимально допустимом напряже-

нии, рекомендуется ставить выходные буферные конденсаторы большой ёмкости: соотношение выходной ёмкости к входной должно составлять не менее 5:1.

При включении устройства может появиться кратковременное перенапряжение на входе преобразователя, особенно, при напряжении первичного источника питания близком к верхнему порогу работы схемы. Это связано с тем, что в начальный момент ко входу преобразователя прикладывается всё напряжение первичного источника питания, а затем из него вычитается выходное напряжение преобразователя. Данный эффект может появляться одновременно с эффектом «заикания», описанным выше. Долговременное перенапряжение на входе может возникать, например, при коротком замыкании на выходе схемы. Хотя все модули питания способны выдерживать переходные кратковременные отклонения напряжения, необходимо обеспечить защиту входа преобразователя от перенапряжения.

При работе в режиме холостого хода на некоторых преобразователях может не хватить внутренней «подгрузки» модуля и произойдёт перенапряжение на его выходе. При этом рекомендуется использовать внешнюю «подгрузку» выхода схемы (3–5%). Для сохранения высокого КПД «подгрузку» можно сделать управляемой, т.е. она будет отключаться при нагрузке выше минимальной.

Так как при постоянной мощности в нагрузке преобразователь, используемый в схеме, выдаёт разную мощность в зависимости от величины напряжения первичного источника питания, то соответственно меняется и порог отключения по выходной мощности схемы (это справедливо и для схем с




**Рис. 13.** Источник питания с расширенным входным диапазоном на основе схемы с вычитанием на входе преобразователя выходного напряжения преобразователя из напряжения первичной сети

суммированием на входе преобразователя входного напряжения сети и выходного напряжения преобразователя). Если это критично, то следует предусмотреть схемные решения для выравнивания порога срабатывания защиты по выходной мощности.

Схема источника питания, свободного от перечисленных особенностей, с расширенным диапазоном по входному напряжению представлена

на рисунке 13. Схема запуска и управления условно показана одноимённым блоком. Для расширения входного диапазона, транзисторы Q2 и Q3 переключают топологию схемы на типовую при напряжении первичного источника ниже определённого уровня. Транзистор Q2 также используется в качестве датчика тока для включения управляемой «подгрузки» на транзисторе Q4. Транзистор Q1 слу-

жит для ограничения напряжения на входе преобразователя, включения и отключения схемы при минимальном и максимальном рабочих напряжениях, а также – для отключения схемы при перегрузке по сигналу датчика тока на Q2.

При проверке и макетировании описанных схем использовались DC/DC-модули компаний TRACOPOWER, AIMTEC, «ЭлТом» и AEIP. 

**НОВОСТИ МИРА**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ НА INTERLIGHT 2018**

Открытая образовательная площадка «Электротехническая Академия» на международной выставке освещения, систем безопасности, автоматизации зданий и электротехники Interlight 2018 объединяет мероприятия, посвящённые тематике «Электротехника»: практические кейсы компаний, новинки разделов «Электротехника», «Автоматизация зданий» и «Интегрированные системы безопасности», форумы, мастер-классы и многое другое.

Программа адресована техническим специалистам, главным инженерам, инженерам-электрикам, инженерам-инсталляторам,



проектировщикам, прорабам, сборщикам щитового оборудования, представителям оптовой и розничной торговли, дизайнерам.

Среди участников – IEK, Arlight, Interra, РАЭК, iRidium, Ай-Ти «Умный город».

*Пресс-служба Interlight 2018*

**НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

Серия **GENESYS™**

**5 кВт** (0...600 В / 0...500 А) • LAN / USB / RS-232 / RS-485

Масштабирование до 20 кВт



**PROSOFT®**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)



Реклама