

Новое поколение контроллеров для источников питания с промежуточной силовой шиной

Раис МИФТАХУТДИНОВ
(Rais MIFTAKHUTDINOV)
Лин ЧЕНГ (Lin SHENG)
Илья ГОЛУБЕВ
i-golubev@ti.com

Распределенные системы питания, построенные с использованием промежуточной силовой шины, приобретают в последнее время все большую популярность среди разработчиков по причине относительной простоты и универсальности. Основа такой архитектуры — нестабилизированный конвертер промежуточной шины IBC (intermediate bus converter), так называемый трансформатор постоянного напряжения, который вырабатывает постоянное напряжение, обычно в диапазоне от 8 до 14 В. Соответствующее количество конвертеров питается от промежуточной шины и снабжает энергией конечных потребителей. В таких системах питания КПД IBC-преобразователя особенно важен. В статье дано описание нового IBC-контроллера, позволяющего повысить КПД устройства при одновременном сокращении его размеров и стоимости, а также приводятся результаты практических измерений.

Введение

Устройства питания для телекоммуникационного оборудования часто строят с использованием промежуточной шины питания. В общем случае на входе такой системы питания применен выпрямитель с выходным напряжением 24 или 48 В. Это напряжение подается на IBC-преобразователь, который питает промежуточную шину напряжением которое обычно выбирается в диапазоне от 8 до 14 В. В свою очередь, от промежуточной шины через соответствующие неизолирующие преобразователи, обеспечивающие напряжение необходимой величины и качества, питаются конечные потребители [1, 2].

Широкое распространение такой архитектуры вызвано увеличением числа различ-

ных напряжений питания, используемых в современном цифровом или аналоговом оборудовании, и доступностью POL (point of load) преобразователей, питающих непосредственно нагрузку. Так как архитектура с промежуточной шиной питания включает дополнительный преобразователь, особенно важными становятся КПД и удельная габаритная мощность такого преобразователя. Обычно IBC-преобразователь строится по полумостовой, мостовой или двухтактной схеме. Для увеличения КПД часто используется синхронный выпрямитель. Соответствующие схемы показаны на рис. 1.

В зависимости от диапазона входных напряжений и требований к стабильности выходного напряжения, IBC-преобразователь может быть стабилизированным, с обратной связью, использующей выходной сиг-

нал, частично стабилизированным с прямым управлением от входного напряжения и нестабилизированным [3, 5]. Последние работают с коэффициентом заполнения, близким к 100%, обеспечивая наибольшую плотность мощности, и имеют низкую себестоимость.

Проблемы, возникающие при проектировании IBC-преобразователей

При работе с нерегулируемым IBC-преобразователем с синхронным выпрямителем возникает несколько проблем.

Во-первых, преобразователи, построенные по топологиям, приведенным на рис. 1, способны передавать энергию в обе стороны. При отключении первичного питания или при его резком снижении синхронный выпрямитель, построенный по схеме самовозбуждения, способен перейти в колебательный режим, передавая энергию обратно в первичную часть преобразователя, что обычно вызывает значительные и трудно предсказуемые всплески напряжения и тока на транзисторах.

Во-вторых, в таких преобразователях для получения высокого КПД необходимо строго выдерживать последовательность включения и выключения транзисторов. В частности, активный в следующем полупериоде транзистор первичной стороны не должен быть включен раньше, чем полностью закроется транзистор синхронного выпрямителя, который был активен в предыдущий полупериод. Этого можно достичь внесени-

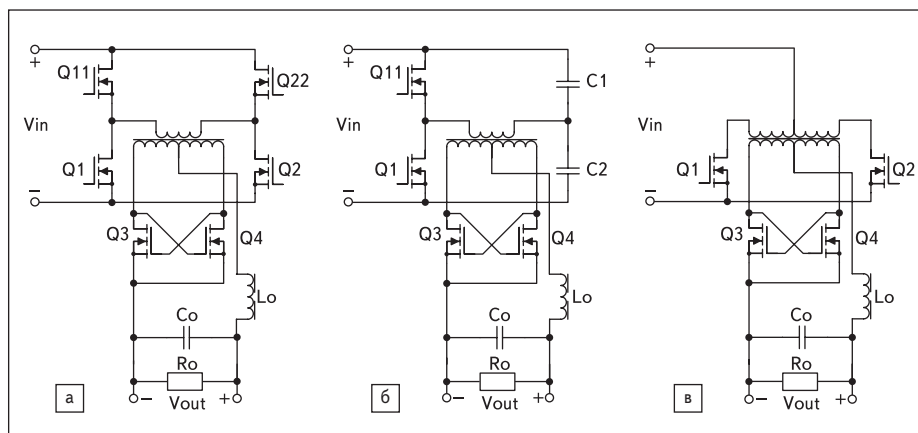


Рис. 1. Топологии, используемые при построении IBC: а) мостовой IBC; б) полумостовой IBC; в) дифференциальный IBC

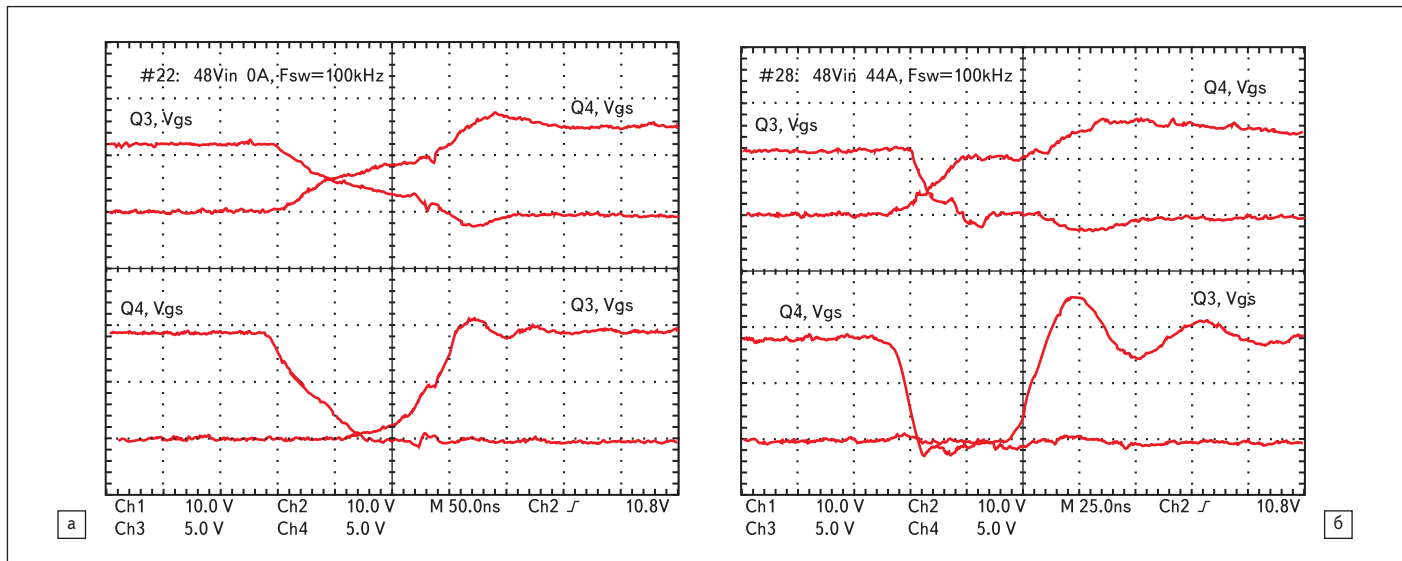


Рис. 2. Эпюра переключения синхронного выпрямителя: а) холостой ход 50 нс/дел; б) нагрузка 44 А, 25 нс/дел

ем соответствующей задержки в сигнал управления. На практике оптимальное значение такой задержки зависит от параметров силового каскада и, что особенно важно, от тока, протекающего через силовой каскад. При малых токах нагрузки оптимальное время задержки увеличивается, что можно наблюдать на рис. 2.

Следующая проблема связана с изменением уровня пульсации тока через индуктивность. В стационарном режиме пульсации тока малы, что обусловлено практически 100% коэффициентом заполнения. Однако в момент включения коэффициент заполнения последовательно изменяется от 0 до 100%. При ограничении мгновенного тока коэффициент заполнения также может принимать произвольные значения между 0 и 100%. В общем случае пульсации тока через индуктивность, ΔIL , определены следующим выражением:

$$\Delta IL = \frac{V_{in} \times D(1-D)}{2 \times N_{tr} \times L_o \times F_{sw}}, \quad (1)$$

где $F_{sw} = 1/T_{sw}$ — частота переключения; $D = T_{on}/(0,5T_{sw})$ — коэффициент заполнения после выпрямителя; $N_{tr} = W_{pr}/W_{sec}$ — коэффициент трансформации; L_o — величина выходной индуктивности; V_{in} — напряжение, приложенное к первичной обмотке трансформатора. На рис. 3 представлены графики, полученные при $V_{in} = 50$ В, $N_{tr} = 5$ и $L_o = 0,1$ мкГн, которые показывают, что пульсации тока могут быть очень низкими вблизи коэффициентов заполнения $D = 0$ и 1 и могут достигать 125 А при $D = 0,5$.

Значительные пульсации тока через индуктивность, в режиме токового ограничения, вызывают преждевременное срабатывание защиты от перегрузки по току и снижают средний ток на выходе преобразователя. В ре-

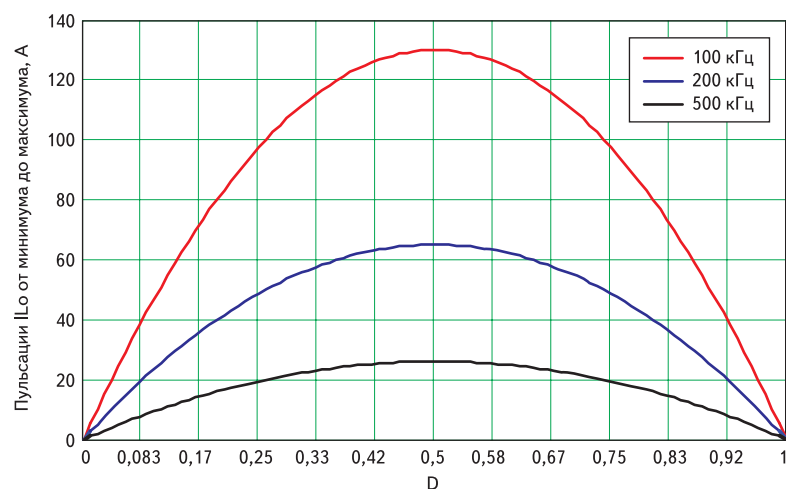


Рис. 3. Пульсации тока в зависимости от коэффициента заполнения

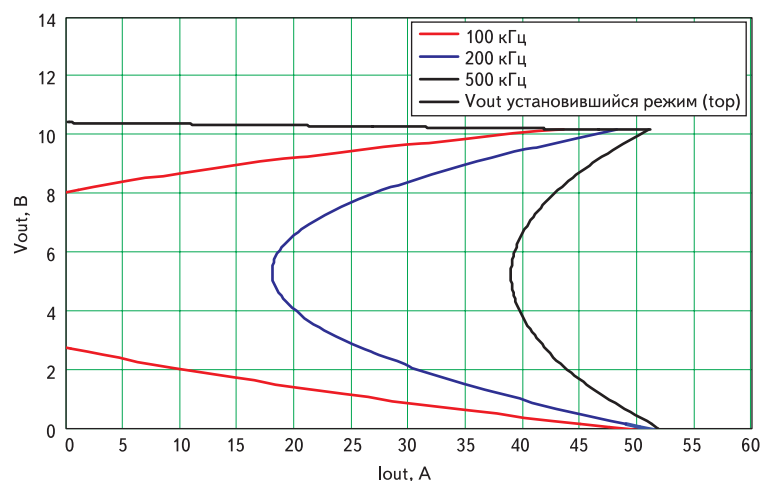


Рис. 4. Выходное напряжение в режиме ограничения тока

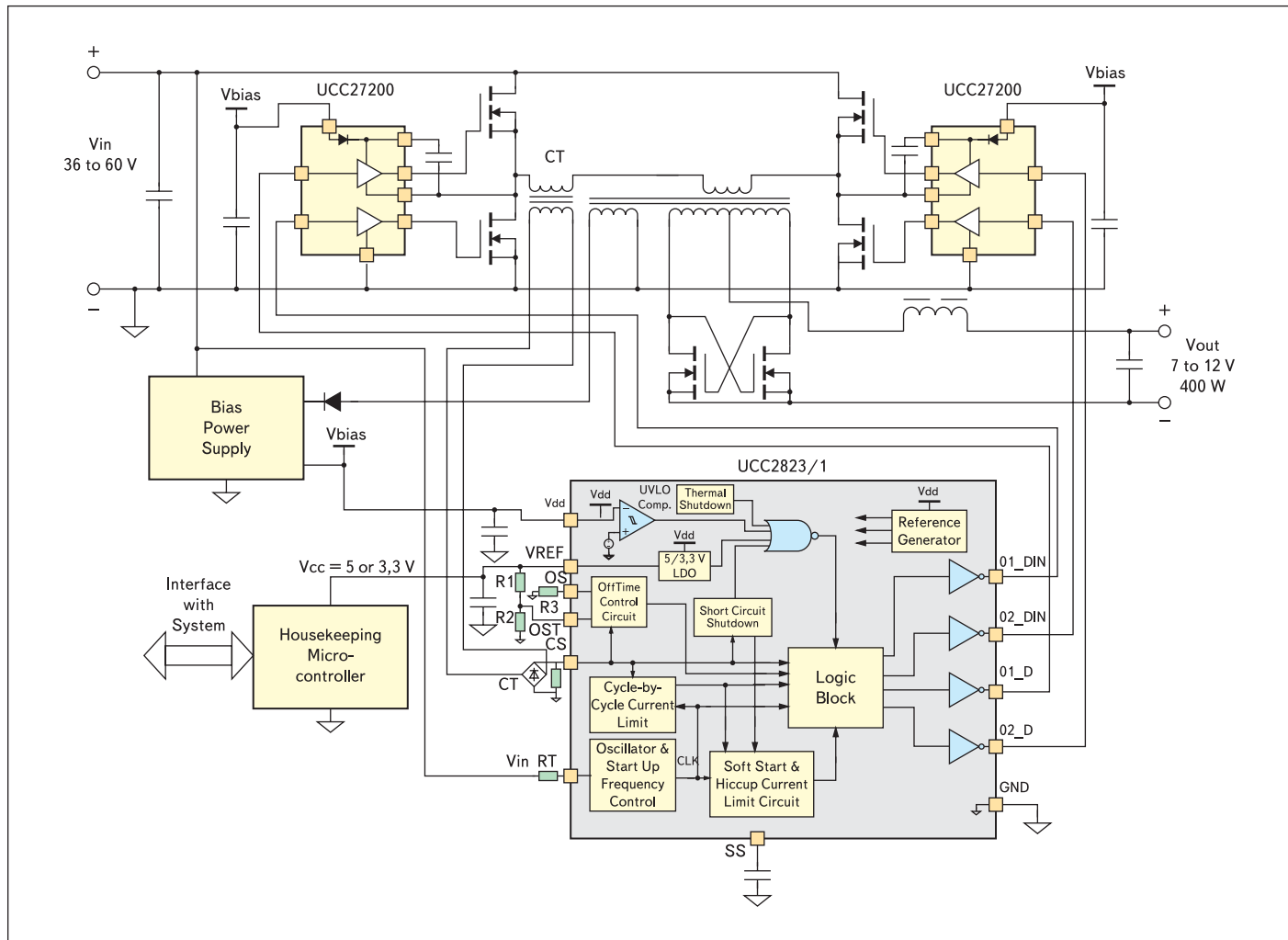


Рис. 5. Типовая схема IBC-преобразователя с использованием усовершенствованного контроллера

зультате выходная характеристика преобразователя приобретает вид, подобный приведенному на рис. 4.

Графики на рис. 4 построены для следующих условий: $V_{in} = 50 \text{ В}$, $N_{tr} = 5$ и $L_o = 0,1 \text{ мкГн}$. На графиках видно, как снижается максимальный выходной ток преобразователя в переходном режиме. В конечном счете, это приводит к необходимости увеличивать максимальный ток преобразователя, а также размер, мощность и стоимость устройства.

Схема управления IBC-преобразователем должна выполнять следующие дополнительные функции:

- Предотвращать автогенерацию и ограничивать обратный ток в переходном режиме, в выключенном состоянии и при снижении входного напряжения.
- Увеличивать КПД преобразователя в целом путем выбора оптимального времени задержки включения транзисторов во всем диапазоне нагрузок.
- Увеличивать КПД, снижать размер и стоимость преобразователя путем ограничения пульсации тока в переходном режиме и в режиме защиты от перегрузки по току.

Усовершенствованная схема управления IBC-преобразователя

Типовая электрическая схема нерегулируемого IBC-преобразователя приведена на рис. 5. Соответствующие временные диаграммы представлены на рис. 6. Для лучшего представления временных параметров диаграммы даны для относительно небольшого коэффициента заполнения. Контроллер имеет push-pull выходы O1_D и O2_D, которые управляют верхними транзисторами силового моста, и комплементарные выходы O1_DIN, O2_DIN для управления нижними транзисторами. Управление осуществляется через дополнительный драйвер.

На рис. 6 видно, что между импульсами D и 1-D всегда присутствует задержка T_d , которая помогает избежать сквозных токов в первичной цепи преобразователя. Когда коэффициент заполнения меньше своего максимального значения, то между импульсами наблюдается перекрытие, соответствующее время обозначено на диаграмме как T_{clamp} . В эти интервалы времени первичная обмотка закорочена двумя одновременно открытыми транзисторами, что позволяет избежать

автогенерации синхронного выпрямителя и возвратного тока в течение переходного процесса в преобразователе и в те моменты, когда коэффициент заполнения меньше своего номинального значения.

Еще одна проблема, касающаяся оптимизации времени переключения транзисторов синхронного выпрямителя, решается в блоке управления задержкой. С помощью этого блока устанавливается порог тока, ниже которого начинается увеличение времени T_{off} . Максимального значения T_{off} достигает при нулевой нагрузке, что отражено на рис. 7. Таким образом, осуществляется оптимизация времени T_{off} во всем диапазоне нагрузок преобразователя.

Следующая особенность контроллера — это изменяющаяся частота преобразования. Если частота преобразования задается уравнением (2), то пульсации тока в индуктивности, которые определены уравнением (1), становятся постоянной величиной. Это позволяет преобразователю эффективно функционировать в широком диапазоне коэффициентов заполнения:

$$F_{sw} = k \times D(1-D), \quad (2)$$

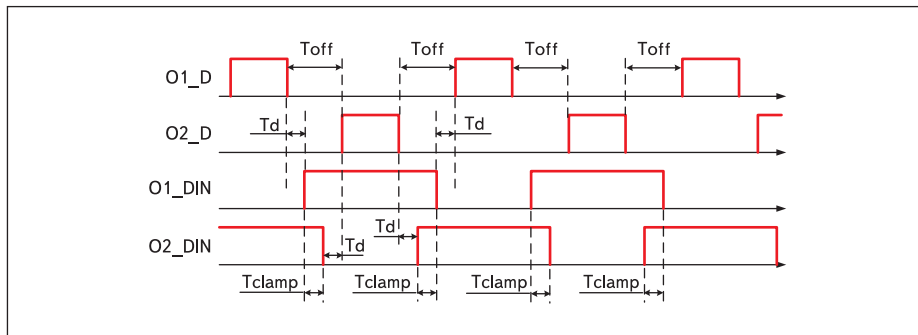


Рис. 6. Временные диаграммы для мостового IBC-преобразователя

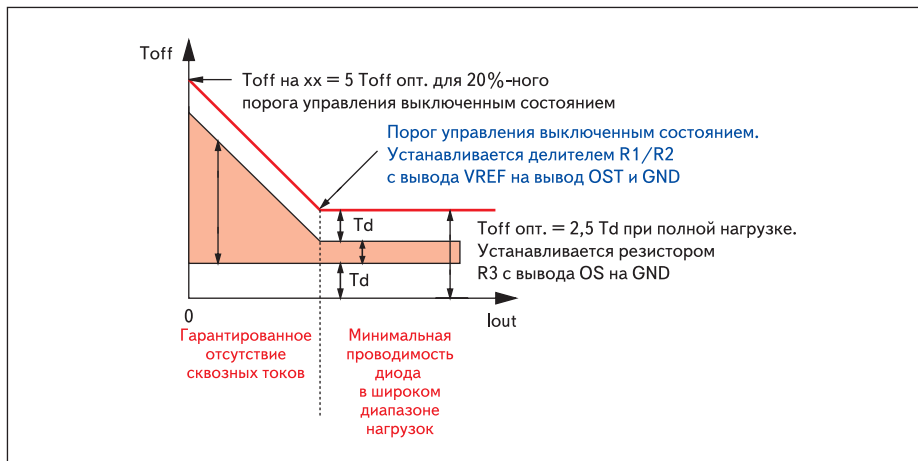


Рис. 7. Изменение T_{off} , T_d и T_{clamp} в зависимости от нагрузки

где k — константа, зависящая от параметров схемы.

Схема управления включает в себя все основные блоки, необходимые для функционирования и защиты преобразователя. Так как в нерегулируемом IBC-преобразователе обычно нет возможности измерить выходной ток, измеряется ток в первичной цепи, например, с помощью токового трансформатора, как показано на рис. 5. И по полученному измерению оценивается ток нагрузки. При известном токе нагрузки оптимальное время T_{off} выставляется с помощью резис-

тора R_3 , включенного от вывода OS на «землю» (рис. 5, 7).

Порог выходного тока, ниже которого начинается увеличение продолжительности выключенного состояния, устанавливается резистивным делителем R_1/R_2 с вывода VREF на вывод OST и GND (рис. 5, 7).

Экспериментальные результаты

Приведенные преимущества усовершенствованной схемы управления IBC-преобразователем были проверены на блоке пита-

ния мощностью 600 Вт, с входным напряжением 48 В, выполненном в размере quarter brick. Предварительные результаты измерений КПД и выходного напряжения приведены на рис. 8, 9. Можно предположить, что дальнейшая оптимизация силового контура поможет получить еще более высокий КПД. Детальное описание силового контура, результатов измерения, включая эпюры переключения по первичной и вторичной стороне, предполагается разместить в следующих публикациях.

Заключение

Приведено описание усовершенствованной схемы управления IBC-преобразователем. Обозначены вопросы, возникающие при разработке таких преобразователей. Показаны пути их решения. В частности, показано действие метода закорачивания первичной обмотки, регулирования OFF time в зависимости от тока нагрузки и регулирования частоты преобразования во время переходного процесса и в режиме ограничения тока. Результаты эксперимента с использованием 600-Вт 48-В преобразователя, подтверждающие работоспособность предложенных методов оптимизации работы устройства. ■

Литература

- White R. Emerging On-Board Power Architectures // APEC 2003 Conference Proceedings.
- Mills F. M. An Alternative Power Architecture for Next Generation Systems // IPEMC 2004 Conference Proceedings.
- Barry M. Design Issues in Regulated and Unregulated Intermediate Bus Converters // APEC 2004 Conference Proceedings.
- Selection of Architecture for Systems using Bus Converters and POL Converters // Design Note 023. Ericsson Inc. May 2005.
- Bottrill J. The Effects of Turning off a Converter with Self-Driven Synchronous Rectifiers // Bodo's Power Systems. May 2007.

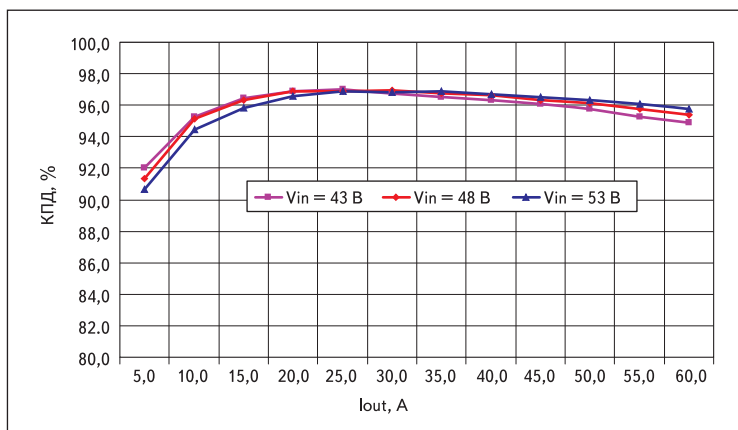


Рис. 8. КПД при входном напряжении 43, 48 и 53 В и выходном токе от 0 до 60 А

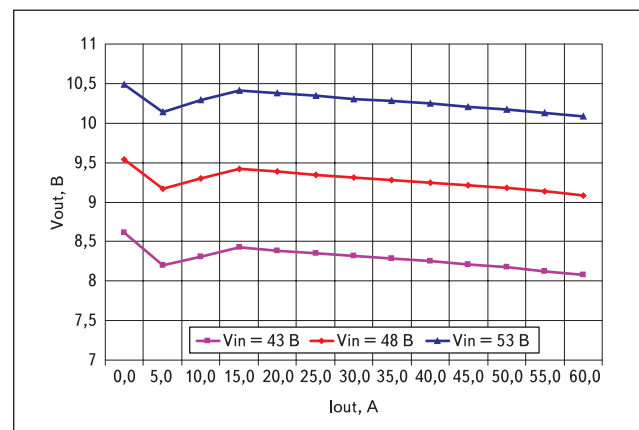


Рис. 9. Выходное напряжение при входном напряжении 43, 48 и 53 В и выходном токе от 0 до 60 А