

# Некоторые аспекты выбора понижающих PoL-преобразователей напряжения

## для систем распределенного электропитания

**Современная сфера прикладной силовой электроники наполнена интересными задачами и возможностями для инноваций, в том числе и в области проектирования неизолированных преобразователей (стабилизаторов) напряжения постоянного тока для систем распределенного электропитания низковольтных нагрузок (Point-of-Load или PoL). Главными трендами в решении этих задач по-прежнему остаются компактность и эффективность.**

**Олег Негреба**

onegreba@aedon.ru

Организовать электропитание узлов радиоэлектронной аппаратуры можно несколькими способами: используя полностью централизованную, полностью децентрализованную (распределенную) конфигурации либо схему с частичной децентрализацией энергоснабжения [1, 2]. Для организации системы электропитания современной цифро-аналоговой радиоэлектронной аппаратуры, требующей несколько различных номиналов питающих напряжений, наиболее эффективна система распределенного электропитания с промежуточной шиной [3, 4], пример которой показан на рис. 1.

В такой системе имеется относительно мощный преобразователь напряжения, формирующий из входного сетевого напряжения или, например, из напряжения телекоммуникационной сети 48 В промежуточную шину номиналом 5 или 12 В, от которой в свою очередь питаются неизолированные

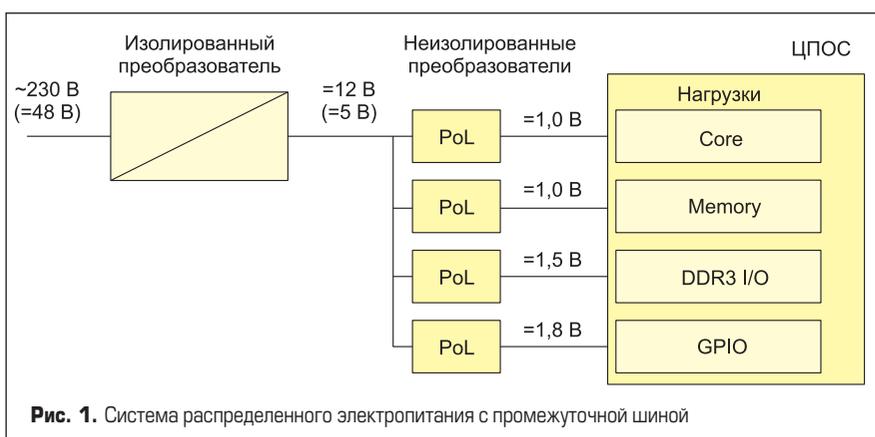
PoL-преобразователи, обеспечивая энергоснабжение находящихся рядом с ними нагрузок.

Чаще всего PoL-преобразователи для систем распределенного электропитания с промежуточной шиной строятся по топологии понижающих Buck-преобразователей с синхронным выпрямлением, что обеспечивает их компактность, высокую эффективность и превосходные динамические характеристики.

Конструктивно PoL-преобразователи могут быть реализованы тремя основными способами — полностью на дискретных электронных компонентах, в виде силового модуля с внешним дросселем или с использованием полностью готового интегрированного решения. Примеры таких исполнений показаны на рис. 2. У каждого из этих вариантов есть свои слабые и сильные стороны.

Наибольшую гибкость проектирования, а иногда и самую низкую стоимость реализации обеспечивает, конечно, конструкция преобразователя, построенная собственными силами разработчика из дискретных компонентов, пример которой показан на рис. 2а [5]. В таком случае разработчик может учесть все особенности своего устройства в части электрических характеристик и топологии печатной платы и оптимизировать под эти цели преобразователь напряжения. Однако такой вариант, во-первых, связан с увеличением затрат времени на проектирование и с потенциальными рисками ошибок, а во-вторых, почти всегда занимает больше места на печатной плате конечного устройства.

Во многих случаях компромиссным вариантом может быть использование интегрального силового модуля совместно с внешним дросселем (рис. 2б). В этом случае силовой модуль уже содержит контроллер, драйвер и силовые ключи, а разработчику остается лишь дополнить это решение входными



**Рис. 1.** Система распределенного электропитания с промежуточной шиной

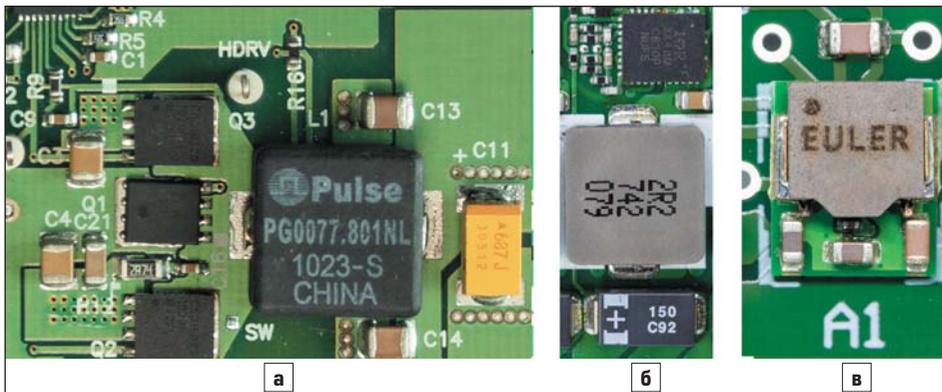


Рис. 2. Примеры реализации PoL-преобразователей: а) на дискретных электронных компонентах; б) с использованием интегрального силового модуля; в) полностью интегрированное решение



Рис. 3. Технология 3D-сборки с размещением элементов под силовым дросселем

и выходными конденсаторами и подходящим внешним дросселем.

И наконец, наиболее удобное в использовании интегрированное решение (рис. 2в), уже включающее в себя как силовой дроссель, так и минимальный набор входных и выходных конденсаторов.

Компактность импульсных регуляторов в большой мере определяется их конструктивной компоновкой. Чтобы сэкономить полезную площадь на печатной плате, применяется объемный монтаж. Показательным примером трехмерной компоновки является размещение низкопрофильных активных и пассивных электронных компонентов непосредственно под силовым дросселем (рис. 3) [6].

Рассмотрим ключевые показатели, влияющие на эффективность использования неизолированных PoL-преобразователей в системах распределенного электропитания, на примере преобразователя Euler («Эйлер») [7]. Его основные технические характеристики:

- диапазон входного напряжения: 4,5–18 В;
- выходное напряжение: 0,765–7 В;
- выходной ток: до 3 А;
- габаритные размеры: 7,5×6,4×2,7 мм.

**Компактность**

Современная радиоэлектронная аппаратура предъявляет высокие требования к габарит-

ным размерам электронных компонентов, в том числе и преобразователей напряжения. Кроме этого, повышение технологичности сборки радиоэлектронной аппаратуры предусматривает использование электронных компонентов, рассчитанных под автоматический поверхностный монтаж (SMT).

Преобразователь «Эйлер» представляет собой компактное SMT-решение в открытом исполнении с контактными площадками в виде LGA-матрицы (рис. 4).

Толщина преобразователя «Эйлер» составляет менее 3 мм, что позволяет разместить его в особо критичной к высоте компонентов электронной аппаратуре. За счет того, что часть электронных компонентов преобразователя «Эйлер» размещилась под его силовым дросселем [8], площадь, занимаемая преобразователем на печатной плате конечного устройства, не превышает 0,5 см<sup>2</sup>.

**Коэффициент полезного действия (КПД)**

Ключевым показателем эффективности преобразователей напряжения служит их КПД. Причем во многих случаях необходим не только высокий КПД преобразователя при полной или половинной нагрузке, немаловажен и низкий ток потребления преобразователя в выключенном состоянии по сигналу дистанционного управления, а также на холостом ходу

и при малых нагрузках. На рис. 5а, б показана зависимость КПД преобразователя «Эйлер» от тока нагрузки при входном напряжении 5 и 12 В соответственно для различных выходных напряжений.

Достаточно высокий КПД преобразователя в начале графиков достигается за счет того, что его схема снижает частоту преобразования на малых нагрузках, что наглядно проиллюстрировано на рис. 6 для выходного напряжения 1,8 В при входном напряжении 5 В. Начало снижения частоты преобразования соответствует моменту перехода понижающего преобразователя из режима непрерывных токов в граничные.

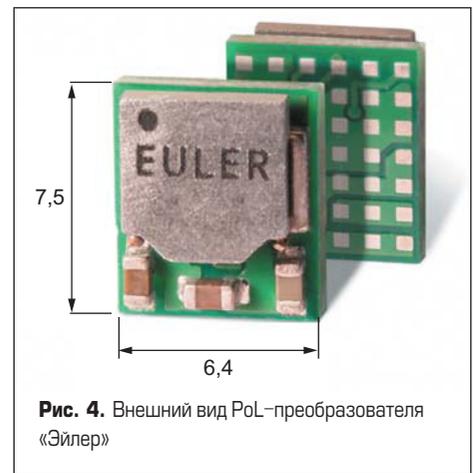


Рис. 4. Внешний вид PoL-преобразователя «Эйлер»

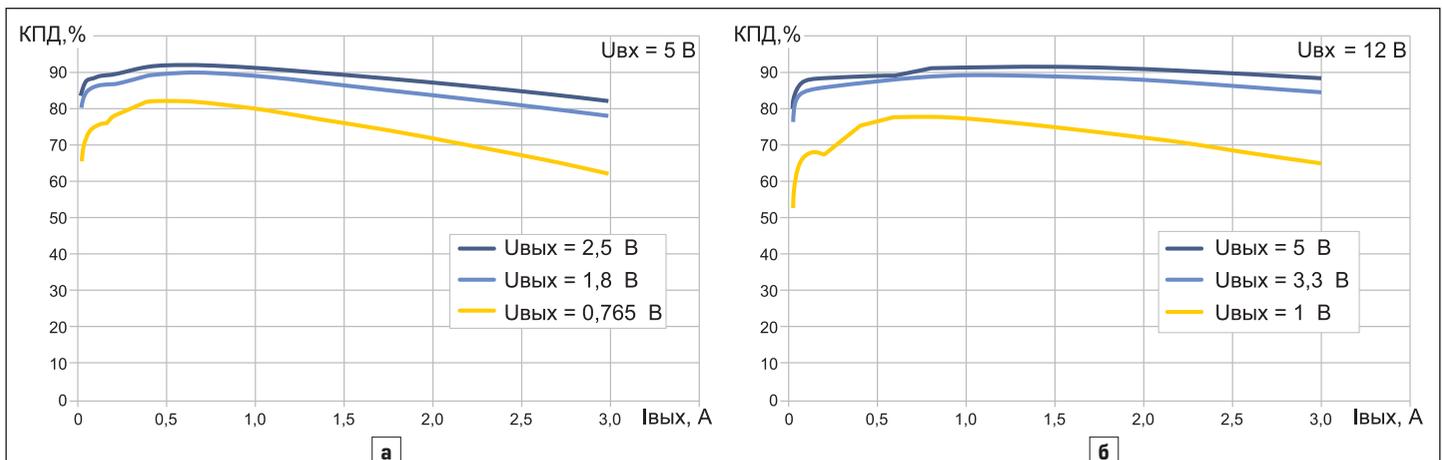


Рис. 5. Зависимость КПД преобразователя «Эйлер» от тока нагрузки при входном напряжении: а) 5 В; б) 12 В

Ток потребления преобразователя «Эйлер» в выключенном состоянии по сигналу дистанционного управления составляет всего 0,5 мкА при 5 В входного напряжения и 3,5 мкА при 12 В. Потребление на холостом ходу не превышает 1,5 мА при всех допустимых значениях входного и выходного напряжений.

**Максимальная емкость нагрузки**

В некоторых случаях нагрузка бывает зашунтирована батареей конденсаторов значительной емкости. В момент заряда существенной емкостной нагрузки многие PoL-преобразователи переходят в режим включения/выключения, расценивая ситуацию как короткое замыкание на своем выходе. При перегрузке во время заряда выходной емкости преобразователь «Эйлер» работает в режиме ограничения выходного тока, поэтому максимальная емкость выходных конденсаторов не ограничена, то есть теоретически в условиях хорошего охлаждения преобразователь «Эйлер» за конечное время зарядит любую конечную емкость. Однако следует учитывать, что режим перегрузки является для преобразователя все же аварийным, поэтому злоупотреблять им не следует. В качестве примера на рис. 7 показан процесс плавного заряда выходной емкости величиной 30 000 мкФ с подключенной к ней в параллель резистивной нагрузкой, потребляющей в установившемся режиме ток 3 А.

**Пульсации выходного напряжения**

В каждой конкретной системе распределенного электропитания предъявляются свои требования к качеству энергоснабжения конечных нагрузок, в том числе и к размаху пульсаций питающего напряжения. Размах пульсаций напряжения на выходе преобразователя в основном зависит от емкости и от типа его выходных конденсаторов. Минимально необходимую выходную емкость производители обычно указывают в документации на свою продукцию. Для преобразователя «Эйлер» минимальная внешняя выходная емкость составляет 44 мкФ, тип конденсаторов — керамический. На рис. 8 показаны пульсации выходного напряжения преобразователя «Эйлер», размах которых не превышает значения 10 мВ при входном напряжении 5 В, выходном напряжении 1,8 В и токе нагрузки 3 А с данной минимально необходимой емкостью.

При необходимости дальнейшего снижения размаха пульсаций на особо чувствительной к ним нагрузке емкость выходных конденсаторов PoL-преобразователя следует дополнительно увеличить.

**Динамические характеристики**

Ряд областей применения современной радиоэлектронной аппаратуры характеризуется ярко выраженным импульсным энергопотреблением. Например, ток потребления современных высокопроизводительных процессорных устройств напрямую зависит от динамической загрузки процессора и может меняться в очень широком диапазоне за короткие промежутки времени. Такая динамика нагрузки предъявляет к преобразователям напряжения достаточно жесткие требования по качеству их выходного напряжения при скачкообразном изменении выходного тока.

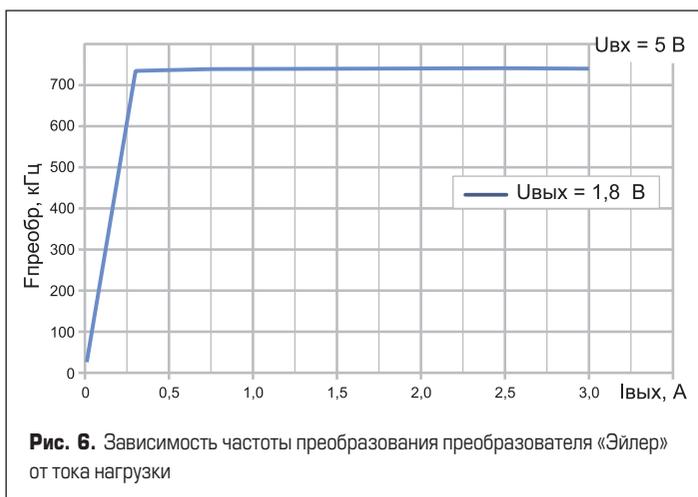


Рис. 6. Зависимость частоты преобразования преобразователя «Эйлер» от тока нагрузки

Часто изготовители преобразователей напряжения включают в документацию осциллограммы переходного процесса, иллюстрирующие реакцию выходного напряжения PoL-преобразователя на воздействие импульсной нагрузки. При анализе величины переходного отклонения выходного напряжения на фронтах наброса и сброса тока нагрузки на таких осциллограммах следует обращать внимание не только на размах изменения тока нагрузки в процентах от максимальной мощности преобразователя, но и на минимальное значение динамической нагрузки во время испытаний и на скорость изменения импульсного тока. Большинство производителей PoL-преобразователей проводят испытания своей продукции на динамическую нагрузку в достаточно щадящих условиях, чтобы продемонстрировать приемлемые показатели стабильности выходного напряжения, — например, задают размах изменения нагрузки в диапазоне всего 25 или 50%, сброс нагрузки осуществляют не до холостого хода, а фронты изменения тока устанавливают достаточно пологими, продолжительностью в десятки и сотни микросекунд. Во многих практических приложениях ни один из перечисленных подходов к испытаниям не является приемлемым — изменение выходного тока преобразователя может происходить за микро- и даже наносекунды, мощность, потребляемая нагрузкой во время пауз, может быть близка к нулю, а во время рабочего импульса составлять 70–100% от максимальной мощности преобразователя. Для того чтобы объективно оценить качество отработки преобразова-

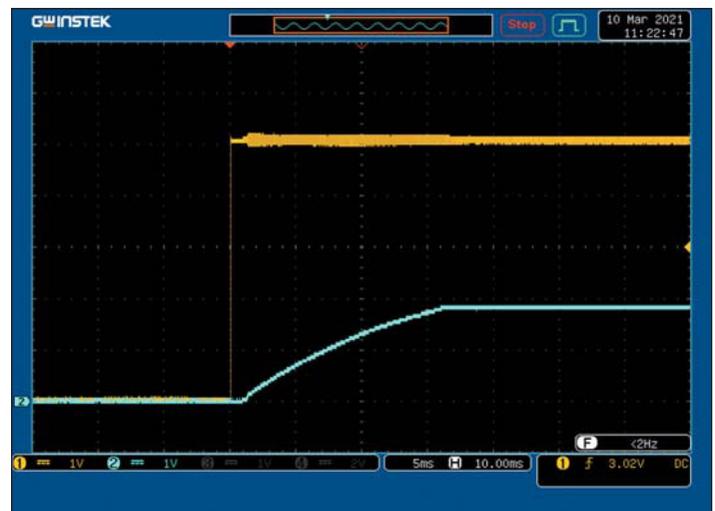


Рис. 7. Процесс заряда выходной емкости величиной 30 000 мкФ.  $U_{вх} = 5 В$ ,  $U_{вых} = 1,8 В$ . Желтый луч — входное напряжение; бирюзовый луч — выходное напряжение. Масштаб по вертикали — 1 В/дел., развертка — 5 мс/дел.

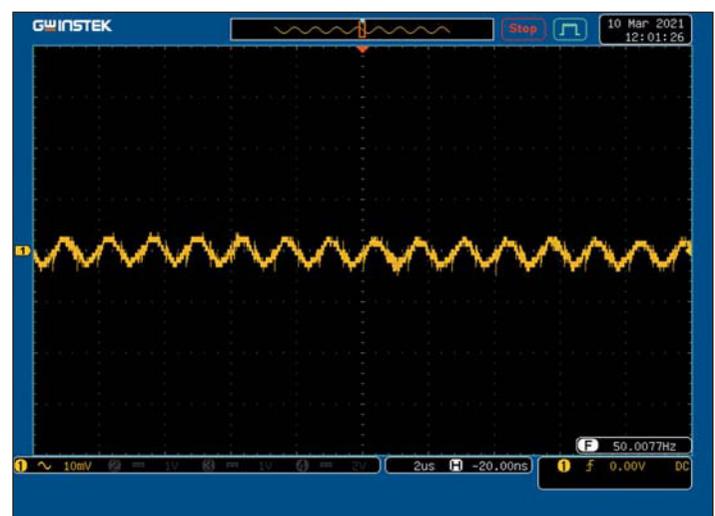
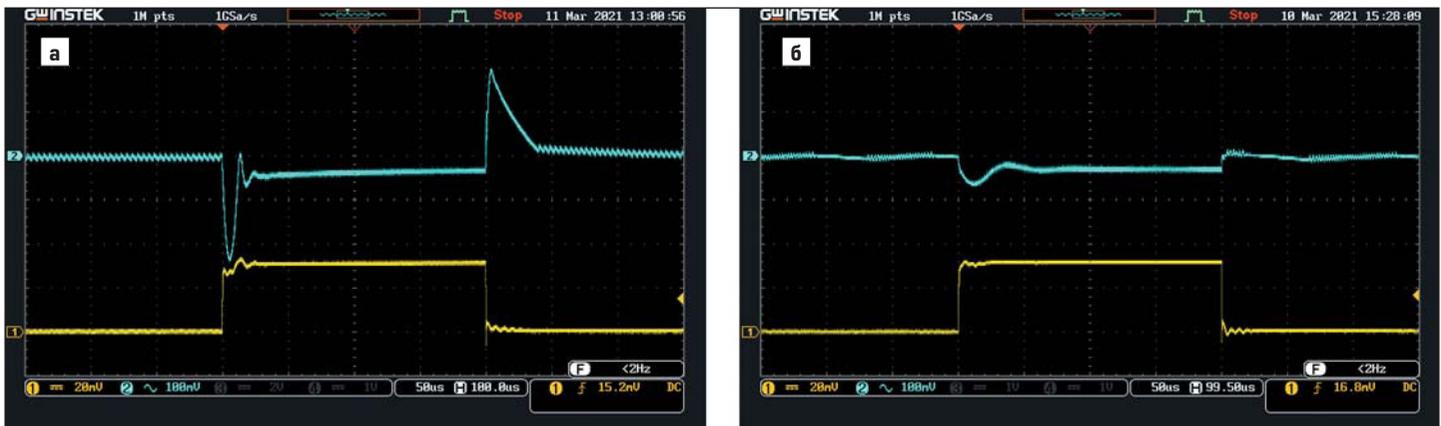


Рис. 8. Пульсации выходного напряжения преобразователя «Эйлер» с минимально необходимой выходной емкостью. Масштаб по вертикали — 10 мВ/дел., развертка — 2 мкс/дел.



**Рис. 9.** Переходное отклонение выходного напряжения при скачкообразном изменении тока нагрузки (0–100%): а) с минимально необходимой выходной емкостью; б) дополнительно подключенным полимерным конденсатором емкостью 470 мкФ. Желтый луч – выходной ток, 2 А/дел., бирюзовый луч – выходное напряжение, 100 мВ/дел., развертка – 50 мкс/дел.

телем импульсной нагрузки, необходимо либо запрашивать у техподдержки производителя осциллограммы переходных процессов выходного напряжения преобразователя в требуемом для системы электропитания режиме, либо проводить такие измерения самостоятельно.

На рис. 9а показано переходное отклонение выходного напряжения преобразователя «Эйлер» при скачкообразном изменении тока нагрузки от холостого хода до 3 А и обратно для входного напряжения 5 В, выходного напряжения 1,8 В с рекомендуемой производителем минимальной выходной емкостью 44 мкФ. Провалы и выбросы выходного напряжения преобразователя в этих условиях достигают примерно ±13% (±240 мВ в абсолютном выражении), что может быть недопустимо для некоторых приложений. Установка дополнительного полимерного конденсатора емкостью 470 мкФ на выход преобразователя снизила переходное отклонение выходного напряжения до приемлемых ±4% (рис. 9б).

### Реализация последовательного появления нескольких питающих напряжений

Для таких сложных электронных компонентов, как ПЛИС, ЦП и ЦПОС, различные напряжения питания должны подаваться в строго

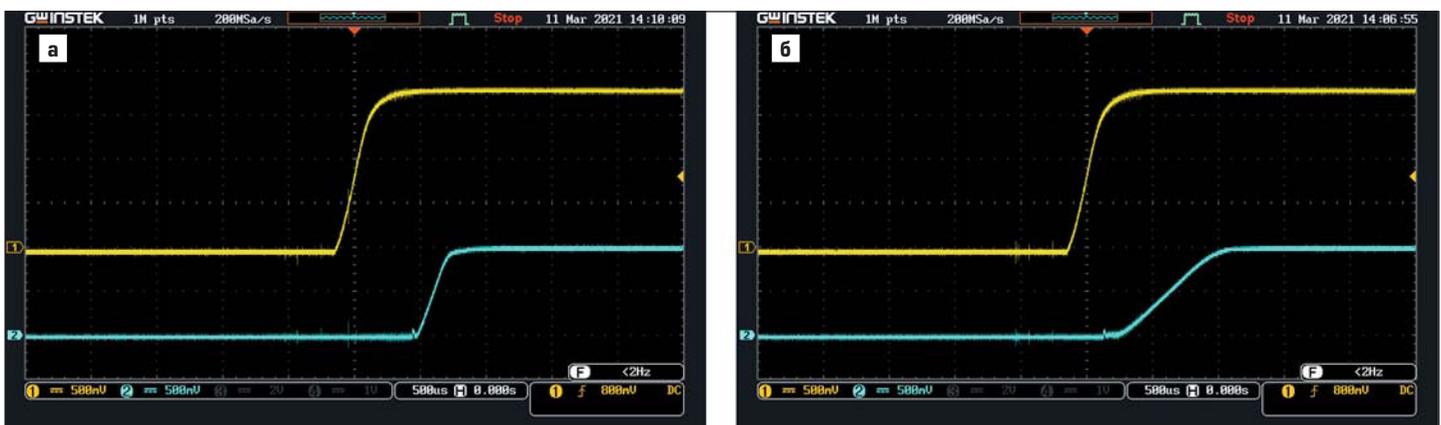
определенном порядке [9, 10], а несоблюдение требуемых последовательностей может привести к нарушению нормальной работы системы или даже к повреждению ее компонентов. Большинство PoL-преобразователей имеют вывод управления, позволяющий внешнему устройству дистанционно включать и выключать их выходное напряжение в заданном порядке (рис. 10а). Кроме этого, в некоторых случаях достаточно задать последовательность появления выходных напряжений нескольких PoL-преобразователей установкой различных времен их мягкого запуска по выводу SS (Soft Start), если таковой имеется (рис. 10б).

При использовании PoL-преобразователей напряжения в системах распределенного электропитания разработчик должен обращать внимание на все имеющиеся в его распоряжении факторы, учитывать все требования, предъявляемые в техническом задании на построение системы, и принимать решение по выбору PoL-преобразователей только комплексно, рассмотрев преимущества и недостатки всех возможных вариантов.

### Литература

1. Негреба О. Л. Некоторые аспекты организации систем электропитания АФАР. Часть 1 // Силовая электроника. 2018. № 5.

2. Лукин А. В. Распределенные системы электропитания // Электронные компоненты. 1997. № 7.  
 3. Ануфриев В. Малогабаритные модули питания и системы электропитания на их основе // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2016. № 2.  
 4. Натан В., Дмитриев С., Современные архитектуры распределенного питания полупроводников (PoL — Point of Load). [www.eltech.spb.ru/aimtec\\_pol](http://www.eltech.spb.ru/aimtec_pol).  
 5. TPS40400EVM-351. Evaluation Module for TPS40400 PMBus Synchronous Buck Controller. [www.ti.com/tool/TPS40400EVM-351](http://www.ti.com/tool/TPS40400EVM-351).  
 6. BMR461 series PoL Regulators. Technical Specification. Flex Power Modules. [flexpowermodules.com](http://flexpowermodules.com).  
 7. Серия EULER. Импульсный стабилизатор напряжения без гальванической развязки с интегрированным дросселем. <http://voltbricks.com/product/euler>.  
 8. Негреба О. Л. Патент на полезную модель № 201058.  
 9. Шаропин Ю., Будаев В. Основы построения систем питания ПЛИС // Компоненты и технологии. 2006. № 8.  
 10. Методы обеспечения заданной последовательности подачи питающих напряжений в бортовой аппаратуре космических аппаратов // Вестник электроники. 2017. № 3, 4.



**Рис. 10.** Порядок появления питающих напряжений 1,8 В (желтый луч) и 1 В (бирюзовый луч): а) полученный за счет последовательного включения по выводу дистанционного управления; б) за счет различных времен мягкого запуска. Масштаб по вертикали – 0,5 В/дел., развертка – 500 мкс/дел.

# Импульсные стабилизаторы напряжения Российские PoL-микромодули

voltbricks



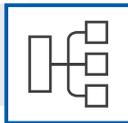
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ



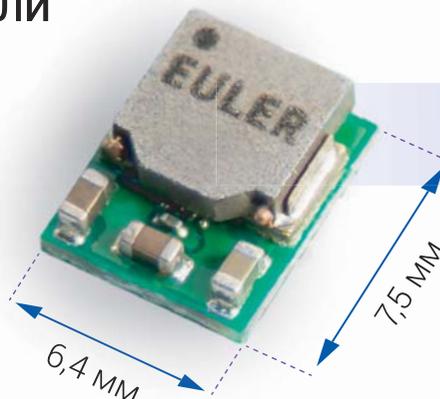
ПОРТАТИВНАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА



ПРОМЫШЛЕННАЯ  
АВТОМАТИКА



РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ  
АРХИТЕКТУРЫ  
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

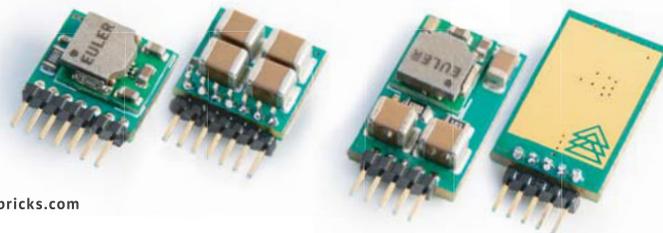


Скачать документацию:  
[voltbricks.com/product/euler](http://voltbricks.com/product/euler)

## Серия ЭЙЛЕР

- Диапазон входного напряжения 4,5...18 В
- Максимальный выходной ток 3 А
- Регулируемое выходное напряжение 0,77...7 В
- Низкий ток потребления в ждущем режиме 2 мкА
- Высота профиля не более 3 мм для SMD (LGA)
- Площадь размещения готового решения всего 50 мм<sup>2</sup>

ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ НЕ ТРЕБУЮТ ОБВЯЗКИ



000 «Вольтбрикс» / +7 (473) 211-22-80 / [info@voltbricks.com](mailto:info@voltbricks.com) / [www.voltbricks.com](http://www.voltbricks.com)

реклама



XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
**ЭНЕРГЕТИКА И  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА  
КОМИТЕТА ПО ЭНЕРГЕТИКЕ  
И ИНЖЕНЕРНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

**21–23 апреля 2021**

Санкт-Петербург  
КВЦ «Экспофорум», Павильон Н

**ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ:**

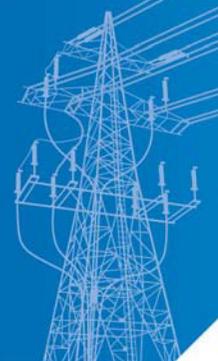
- Новинки энергетического, электротехнического и светотехнического оборудования
- Бизнес-мероприятия в «Зоне презентаций»
- B2B встречи в «Центре деловых контактов»

Организаторы:

**EXPOFORUM**  
[energetika@expoforum.ru](mailto:energetika@expoforum.ru)

**РЕСТЭК®**  
Всероссийское объединение  
[energo@restec.ru](mailto:energo@restec.ru)

[www.energetika-restec.ru](http://www.energetika-restec.ru)



реклама