

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-31-43>



УДК 621.311.6:621.3.089.2

## **Пульсации напряжения отрицательной полярности на выходе двухполярного DC–DC преобразователя LM27762 при близком к предельному входном напряжении**

**В.К. Битюков,  
Н.Г. Михневич,  
В.А. Петров<sup>@</sup>**

*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия*

*<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: vapetrov@mirea.ru*

Представлены результаты исследований работы инвертирующего DC–DC преобразователя с накачкой заряда и LDO, входящих в состав комбинированного двухполярного источника вторичного электропитания LM27762, в предельном режиме при входном напряжении 5.5 В и выходном напряжении –4.9 В. Измерялись пульсации напряжений при различных токах нагрузки от 10 до 250 мА на положительном полюсе летающего конденсатора, на выходе из системы накачки заряда и на выходе микросхемы. На основе полученной информации впервые показано, что при малых токах нагрузки примерно до 107 мА система накачки заряда работает в режиме пачек импульсов, а при токах выше 109 мА – в режиме накачки заряда с постоянной частотой. Результаты не подтверждают имеющееся в документации на микросхему сведения о том, что при предельном входном напряжении 5.5 В накачка заряда может войти в режим широтно-импульсной модуляции в горячих условиях. При работе в режиме пачек импульсов наличие LDO в микросхеме LM27762 уменьшает пульсации отрицательного напряжения на выходе, однако они значительно превышают значения, приведенные в документации на микросхему. При переходе в режим постоянной частоты уровень пульсаций отрицательного напряжения на выходе микросхемы резко уменьшается, однако при дальнейшем увеличении тока нагрузки увеличивается и превышает величины, приведенные в документации.

**Ключевые слова:** микросхема, DC–DC преобразователь, накачка заряда, инвертор, летающий конденсатор, LDO, режимы пачки импульсов и постоянной частоты.

## Negative Output Voltage Ripples of Bipolar DC-DC Converter LM27762 near Maximum Input Voltage

Vladimir K. Bityukov,  
Nikolay G. Mikhnevich,  
Vadim A. Petrov<sup>@</sup>

*MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia*

*@Corresponding author e-mail: vapetrov@mirea.ru*

The paper presents the results of studies of the operation of the inverting DC-DC converter with charge pump and LDO, which are part of the combined bipolar secondary power supply LM27762, at the near to maximum input voltage of 5.5 V and an output voltage of -4.9 V. The ripple voltages were measured at various load currents from 10 to 250 mA at the positive pole of the flying capacitor, at the output of the charge pump system and at the output of the microcircuit. It was shown for the first time on the basis of the obtained information that at low load currents up to about 107 mA the charge pump system operates in the burst mode, and at currents greater than 109 mA – in the charge pump mode with a constant frequency. The results do not confirm the information in the documentation on the microcircuit that, at the maximum input voltage of 5.5 V, the charge pump can enter the PWM mode in hot conditions. When working in burst mode, the presence of LDO in the LM27762 chip reduces the ripples of the negative voltage at the output. However, they significantly exceed the values given in the documentation on the chip. During switching to the constant-frequency mode, the level of negative voltage ripples at the output of the microcircuit decreases sharply, but it increases with further increase of the load current and exceeds the values given in the documentation.

**Keywords:** integrated circuit, DC-DC converter, charge pump, inverter, flying capacitor, LDO, burst and constant frequency modes.

### Введение

Двухполярное электропитание необходимо для многих мобильных устройств современной техники. К ним, в частности, относятся операционные усилители источников электропитания, различные устройства систем беспроводной связи, усилители наушников, электропитание интерфейсов и преобразователей данных, переносные измерительные приборы, причем в большинстве случаев первичным источником энергии являются литий-ионные батареи или перезаряжаемые аккумуляторы. Их напряжение изменяется, уменьшаясь в процессе эксплуатации. Для создания источников электропитания со стабильным выходным напряжением используются микросхемы вторичных DC-DC преобразователей. Основными требованиями, предъявляемыми к таким преобразователям, являются стабильность выходного напряжения и малая величина его пульсаций, а также высокие значения КПД при работе в различных режимах. Одним из видов микросхем, обеспечивающих получение стабилизированного напряжения положительной или отрицательной полярности, являются микросхемы с накачкой заряда. Большинство производителей электронных компонентов предлагает микросхемы, предназначенные для построения либо повышающих, либо понижающих, либо полярно-инвертирующих

преобразователей. И лишь небольшое число микросхем может использоваться для получения регулируемого однополярного стабилизированного напряжения как в режиме понижения, так и в режиме повышения входного напряжения. Анализ работы подобных микросхем представлен в [1–3]. Основными недостатками разработанных в начале 2000-х годов и выпускаемых вплоть до настоящего времени микросхем, использующих классическую технологию накачки заряда, являются достаточно большая величина пульсаций выходного напряжения, обычно составляющая 20...40 мВ, и значительное уменьшение КПД при отклонениях соотношений между входным и выходным напряжением от оптимальных.

Микросхемы двухполярных DC–DC преобразователей, в которых используется накачка заряда, появились совсем недавно. Вероятно, первой из них была микросхема LTC3260 (Linear Technology) [4]. Эта микросхема является комбинированной. Отрицательное напряжение вырабатывает инвертор с накачкой заряда, за которым следует LDO (low dropout linear regulator - линейный стабилизатор с малым падением напряжения), а положительное выходное напряжение вырабатывает LDO положительного напряжения. В этой микросхеме система накачки заряда в тракте получения отрицательного напряжения с целью повышения КПД работает в режиме пачек импульсов при малых токах нагрузки, и в режиме постоянной частоты при больших токах нагрузки. LDO в тракте отрицательного напряжения уменьшает пульсации напряжения на выходе, что особенно важно для режима пачек импульсов.

По-видимому, самой новой разработкой двухполярного комбинированного источника электропитания, в котором используется накачка заряда, является микросхема LM27762 (Texas Instruments) [5], исследованная в настоящей работе.

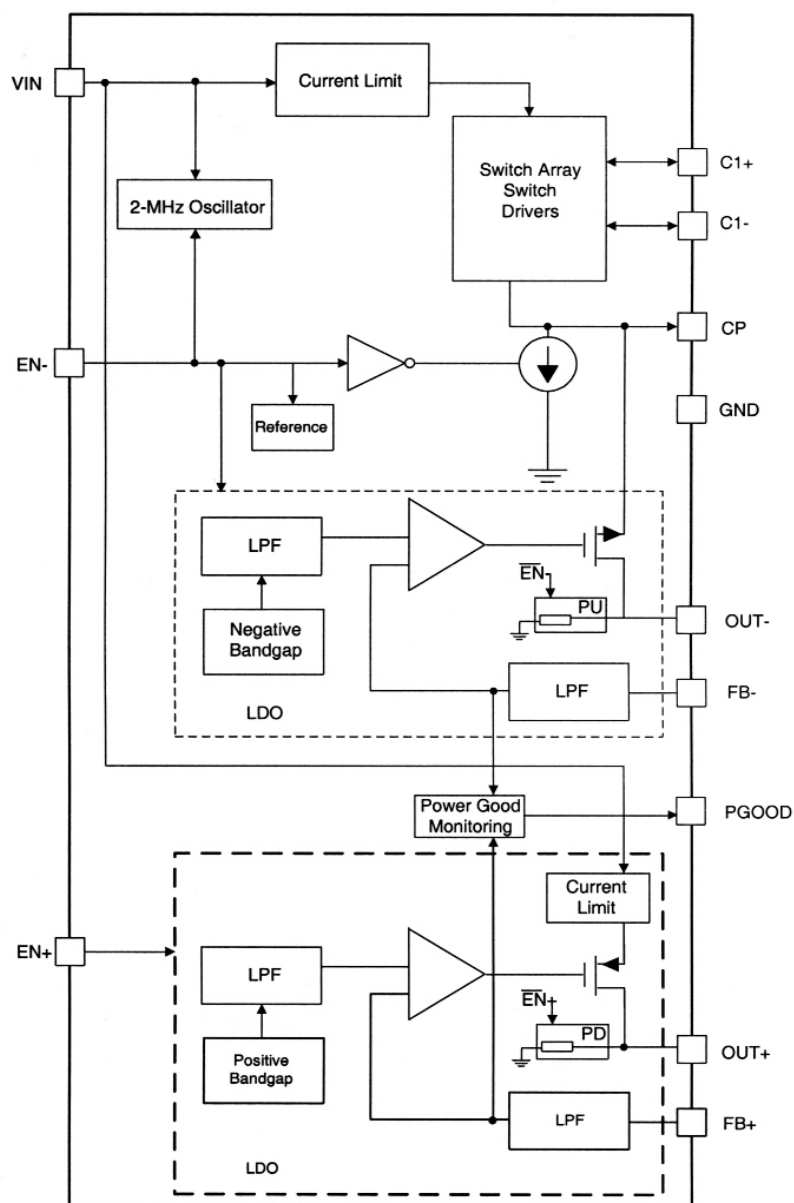
### Объект и методика исследований

В соответствии с [5], LM27762 может вырабатывать напряжение положительной и отрицательной полярности, величины которых в диапазонах от  $\pm 1.5$  до  $\pm 5.0$  В могут устанавливаться отдельно с помощью необходимых резисторов в цепях обратной связи выходных напряжений LDO. Диапазон входного напряжения от 2.7 до 5.5 В. Выходные токи не должны превышать  $\pm 250$  мА. Несомненным достоинством этой микросхемы является низкая величина тока покоя, составляющая всего 390 мкА, что дает возможность получать высокие значения КПД при малых токах нагрузки. Высокая тактовая частота осциллятора 2 МГц, по замыслу производителя микросхемы, должна уменьшать выходное сопротивление и пульсации напряжения.

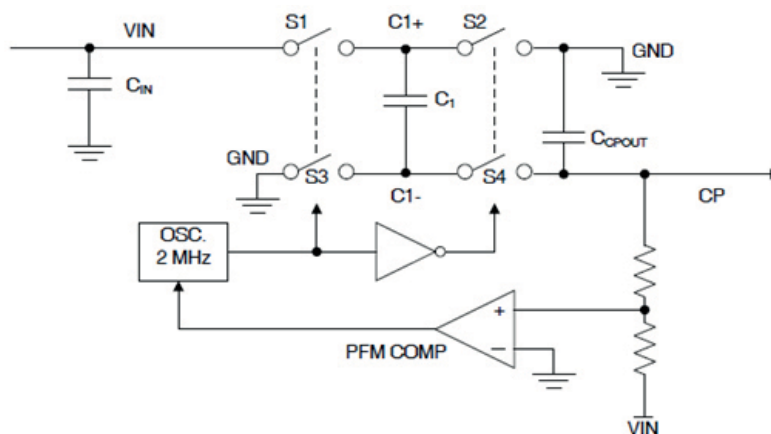
Блок-схема LM27762, имеющаяся в [5], показана на рис. 1. Из этого рисунка видно, что в верхней части блок-схемы представлена инвертирующая накачка заряда с использованием внешнего летающего конденсатора (выводы C1+ и C1–). Ниже показан LDO, выходом которого является напряжение отрицательной полярности. Выходное напряжение положительной полярности без накачки заряда создается с помощью LDO, показанного в средней части блок-схемы.

LM27762 имеет также ряд новых важных особенностей в системе управления. В частности, у нее есть выводы EN+ и EN–, позволяющие независимо включать и отключать положительный LDO и отрицательный LDO с системой накачки заряда. Имеется система мониторинга PGOOD, которую можно отключать. К сожалению, имеющееся в [5] описание блок-схемы очень краткое, и по нему трудно представить алгоритм ее работы.

Использованный в LM27762 принцип работы системы накачки заряда с инвертированием напряжения показан на рис. 2.



**Рис. 1.** Блок-схема LM27762 [5].

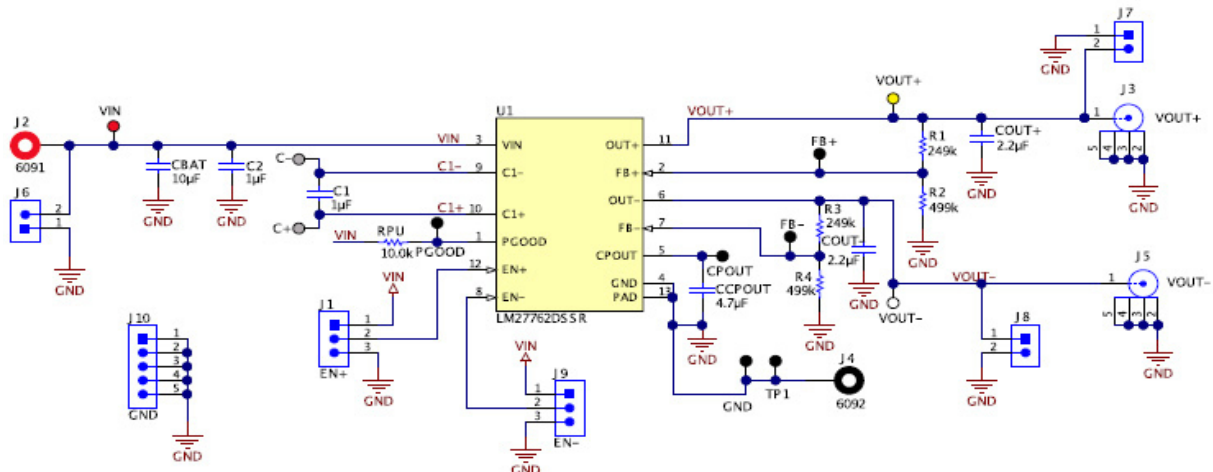


**Рис. 2.** Принцип инвертирования напряжения [5].

Схема инвертора имеет три внешних конденсатора – входной  $C_{IN}$ , летающий  $C_1$ , и стоящий перед LDO конденсатор  $C_{CPOUT}$ , иногда обозначаемый в [5] как  $C_{cp}$ . Инвертируемое входное напряжение  $V_{IN}$  берется с входного конденсатора  $C_{IN}$ . Заряд с помощью четырех ключей  $S1...S4$  и летающего конденсатора  $C_1$  переносится на конденсатор  $C_{CPOUT}$ . Цикл переноса состоит из двух стадий. В первой происходит заряд летающего конденсатора  $C_1$  от входного напряжения на  $C_{IN}$  при замыкании ключей  $S1$  и  $S3$ , во второй происходит перенос заряда от  $C_1$  к  $C_{CPOUT}$  при замыкании ключей  $S2$  и  $S4$ . Поскольку при этом положительный полюс  $C_{CPOUT}$  подсоединен к земле, напряжение на его отрицательном полюсе, близкое к значению  $-V_{IN}$ , подается на выход и на систему регулирования через цепь обратной связи. Алгоритм работы системы регулирования и компаратора частотно-импульсной модуляции (PFM COMP) в [5] не описан.

К сожалению, приводимые в [5] на имеющихся там рисунках 1 и 2 в виде графиков типичные электрические характеристики пульсаций напряжения на выходе микросхемы очень ограничены. Из первого рисунка можно лишь заключить, что при входном напряжении 3.7 В и выходном –3 В при увеличении тока нагрузки от 5 до 75 мА пульсации отрицательного выходного напряжения составляют около 0.7 мВ, а при дальнейшем увеличении тока нагрузки от 75 до 250 мА увеличиваются от 0.7 до 3.2 мВ. Второй график показывает зависимость напряжения пульсаций от входного напряжения при выходном напряжении –3 В и токе нагрузки 100 мА. Здесь при увеличении входного напряжения от 3 до 3.2 В пульсации уменьшаются от 2.2 до 1.2 мВ, а затем при дальнейшем увеличении входного напряжения от 3.2 до 4.1 В слегка увеличиваются от 1.2 до 1.3 мВ. Эта информация по пульсациям выходного напряжения явно недостаточна для того, чтобы судить о пульсациях отрицательного напряжения на выходе микросхемы в различных режимах. В связи с тем, что в примечании (1) к таблице электрических характеристик, имеющейся в [5], было отмечено, что при входном напряжении 5.5 В накачка заряда может входить «в горячих условиях» в режим широтно-импульсной модуляции (ШИМ, PWM mode), целью настоящей работы было детальное исследование работы микросхемы при предельном значении входного напряжения 5.5 В в широком диапазоне изменения токов нагрузки от 10 до 250 мА.

Весьма важным при проведении таких исследований стала возможность получения от производителя LM27762 готовой тестовой платы – тестового модуля LM27762EVM [6]. Принципиальная электрическая схема этого модуля показана на рис. 3. Там же показано размещение контрольных точек для подключения измерительных приборов.



При установленных на плате резисторах R1 и R3, равных 249 кОм, и резисторах R2 и R4, равных 499 кОм, напряжение на выходах VOUT+ и VOUT– равно 1.8 В.

В настоящей работе предельный режим был реализован при входном напряжении 5.5 В и выходном напряжении –4.9 В. Это было осуществлено путем замены резисторов R2 и R4 на резисторы величиной 82 кОм, рассчитанной в соответствии с рекомендацией [5].

Поскольку основными причинами возникновения пульсаций на выходе отрицательного напряжения в микросхеме LM27762 являются накачка заряда и система регулирования величины отрицательного выходного напряжения, в настоящей работе им было уделено основное внимание. Для изучения этих причин использовались измерения временных зависимостей напряжения на положительном  $U_{f_{yDC+}}$  полюсе летающего конденсатора  $C_1$  емкостью 1 мкФ при открытом входе осциллографа и переменные составляющие напряжения на выходе из системы регулирования на конденсаторе  $C_{CPOUT}$  емкостью 4.7 мкФ  $U_{out-}$  и на выходе микросхемы Vout– (рис. 2 и 3) при закрытом входе осциллографа.

Формы напряжений регистрировались осциллографом GDS-72202 компании GW instek с использованием программного обеспечения FreeWave. В качестве триггера обычно использовалось напряжение  $U_{f_{yDC+}}$ . Для обеспечения высокого качества регистрации сигналов использовались имеющиеся в осциллографе GDS-72202 возможности цифровой фильтрации и однократного запуска.

### Результаты измерений

На рис. 4 и 5 показаны результаты измерений для режима, в котором ток нагрузки составлял 10 мА.

В левом поле рисунков показаны нулевые уровни сигналов. Здесь и далее сигналы, обозначенные цифрой 1, соответствуют напряжениям на положительном полюсе летающего конденсатора, а цифрой 2 – переменной составляющей напряжения  $U_{out-}$  на выходе системы накачки заряда, как это представлено на рис. 4, или переменной составляющей отрицательного выходного напряжения микросхемы Vout–, как представлено на рис. 5. При этих измерениях использовался цифровой отрезающий фильтр с частотой 30 МГц.

Рисунки 4 и 5 показывают, что при токе 10 мА перенос заряда осуществляется пачками импульсов разряд–заряд летающего конденсатора. Во время разряда напряжение на

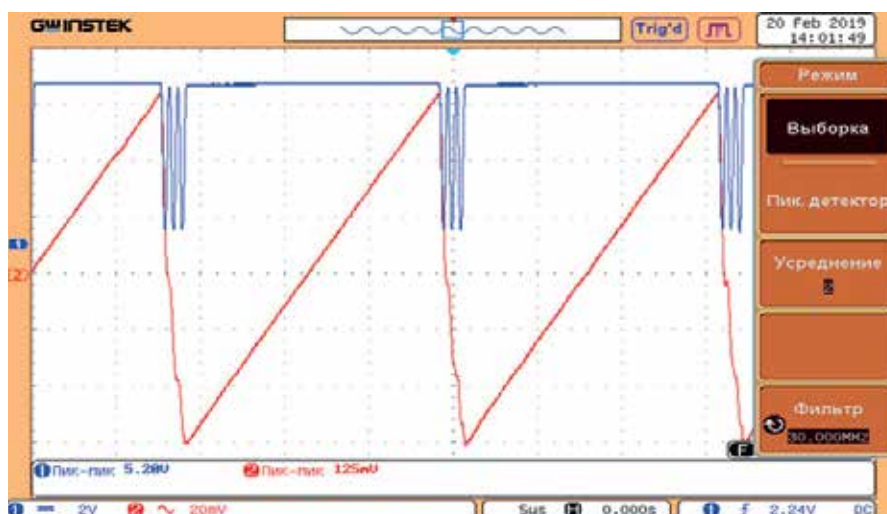


Рис. 4. Формы сигналов (5 мкс/дел) напряжений  $U_{f_{yDC+}}$  (2 В/дел) и  $U_{out-}$  (20 мВ/дел) при токе нагрузки 10 мА.



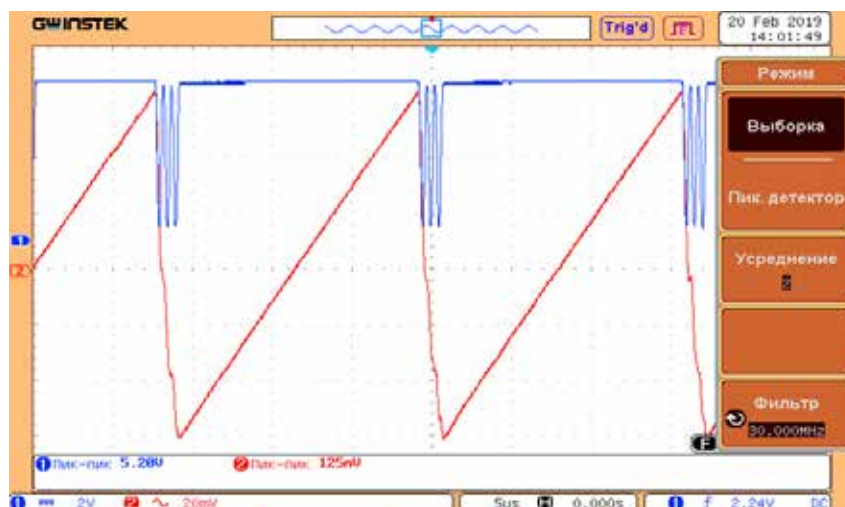


Рис. 5. Формы сигналов (5 мкс/дел) напряжений  $U_{f_{yDC+}}$  (2 В/дел) и  $V_{out-}$  (1 мВ/дел) при токе нагрузки 10 мА.

положительном полюсе летающего конденсатора равно нулю, так как с целью инвертирования выходящего из микросхемы напряжения, как показано на рис. 2, положительный полюс при переносе заряда соединен с землей. Трех циклов разряд–заряд суммарной продолжительностью 1500 нс в пачке при токе нагрузки 10 мА оказалось достаточным, чтобы на выходе микросхемы поддерживать постоянным и равным  $-4.9$  В отрицательное выходное напряжение. При этом промежуток времени между пачками составлял около 15 мкс, за 3 цикла в пачке отрицательное напряжение на выходе из системы регулирования уменьшалось на 125 мВ, а размах колебаний отрицательного напряжения на выходе микросхемы не превышал 1.8 мВ.

На рис. 6 и 7 представлены результаты, полученные при токе нагрузки 50 мА.

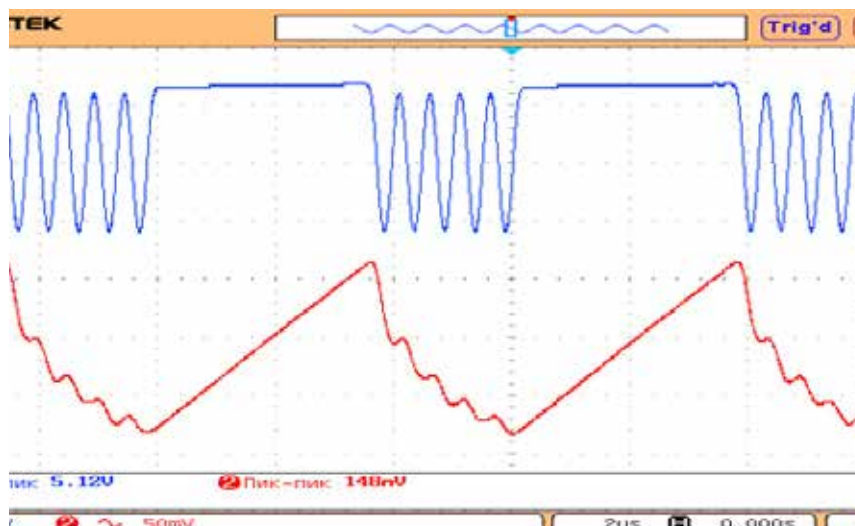


Рис. 6. Формы сигналов (2 мкс/дел) напряжений  $U_{f_{yDC+}}$  (2 В/дел) и  $U_{out-}$  (50 мВ/дел) при токе нагрузки 50 мА.

Для поддержания стабильного напряжения на выходе микросхемы равным  $-4.9$  В при этом токе нагрузки пачка импульсов разряд–заряд летающего конденсатора состояла из 5 циклов. За это время напряжение на выходе из системы накачки заряда уменьшалось на 148 мВ, а размах пульсаций напряжения на выходе микросхемы увеличился и составлял 5.52 мВ.

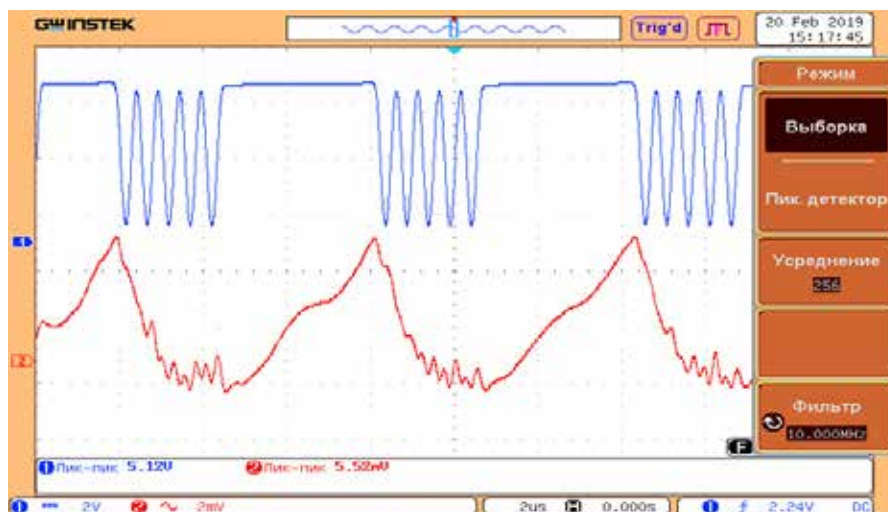


Рис. 7. Формы сигналов (2 мкс/дел) напряжений  $U_{fVDC+}$  (2 В/дел) и  $V_{out} \sim$  (2 мВ/дел) при токе нагрузки 50 мА.

Временной промежуток между пачками в этом режиме уменьшился и составлял примерно 4 мкс.

При дальнейшем увеличении тока нагрузки ситуация с увеличением числа циклов разряд-заряд в пачках импульсов, уменьшением промежутка времени между пачками и увеличением размаха пульсаций напряжения на выходе микросхемы сохранялась. В качестве примера на рис. 8 показан результат для тока нагрузки 100 мА.

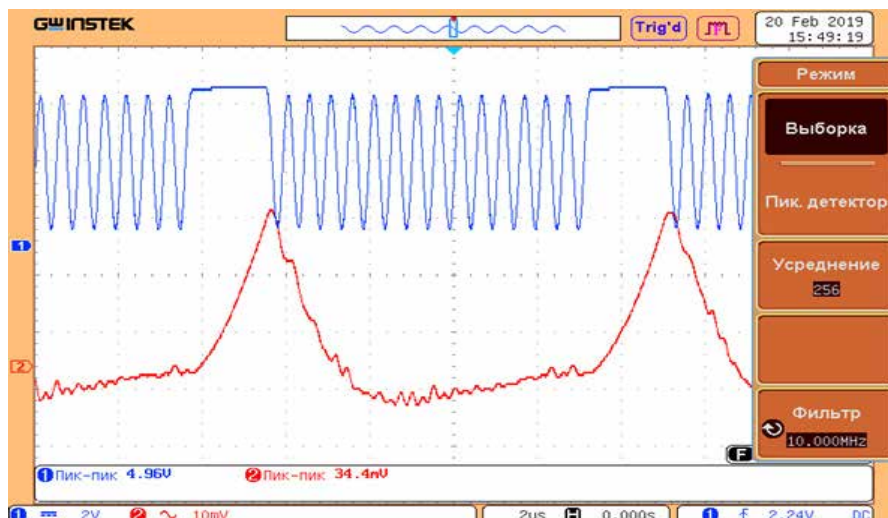


Рис. 8. Формы сигналов (2 мкс/дел) напряжений  $U_{fVDC+}$  (2 В/дел) и  $V_{out} \sim$  (10 мВ/дел) при токе нагрузки 100 мА.

Эта тенденция сохранялась вплоть до тока нагрузки 107 мА (рис. 9 и 10).

Однако при токе нагрузки 109 мА характер работы системы регулирования выходного напряжения принципиально изменился. Полученные для этого значения тока результаты показаны на рис. 11 и 12.

Из рис. 11 видно, что нет режима переноса пачками, а циклы разряд-заряд летающего конденсатора следуют с постоянной частотой 2 МГц, соответствующей тактовой частоте осциллятора. Существенно уменьшилась величина пульсаций напряжения на вы-



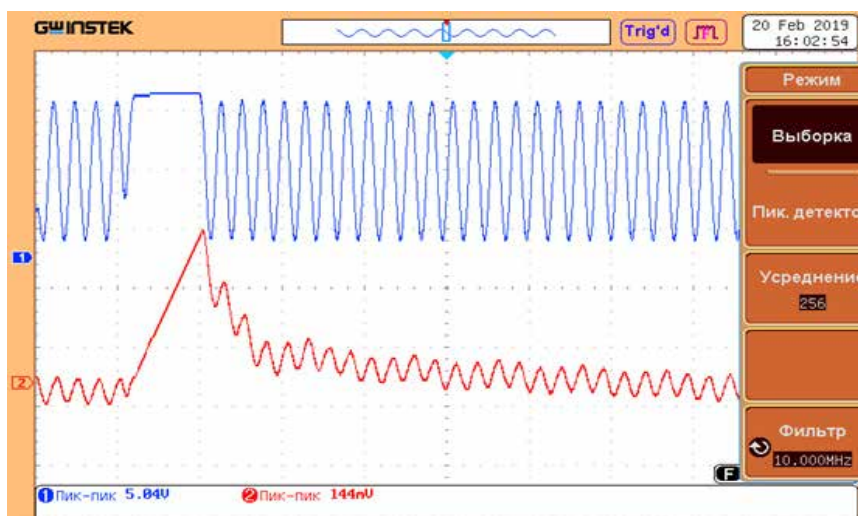


Рис. 9. Формы сигналов (2 мкс/дел) напряжений  $U_{fbDC+}$  (2 В/дел) и  $U_{out-}$  (50 мВ/дел) при токе нагрузки 107 мА.

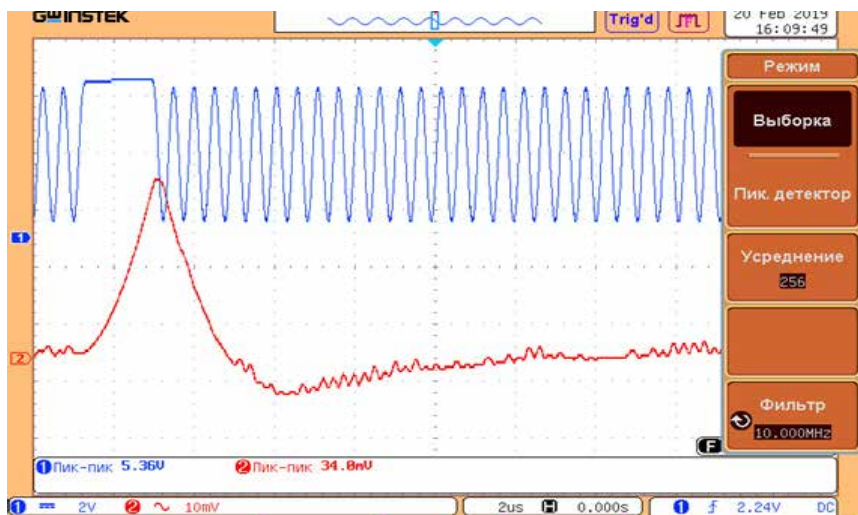


Рис. 10. Формы сигналов (2 мкс/дел) напряжений  $U_{fbDC+}$  (2 В/дел) и  $U_{out-}$  (10 мВ/дел) при токе нагрузки 107 мА.

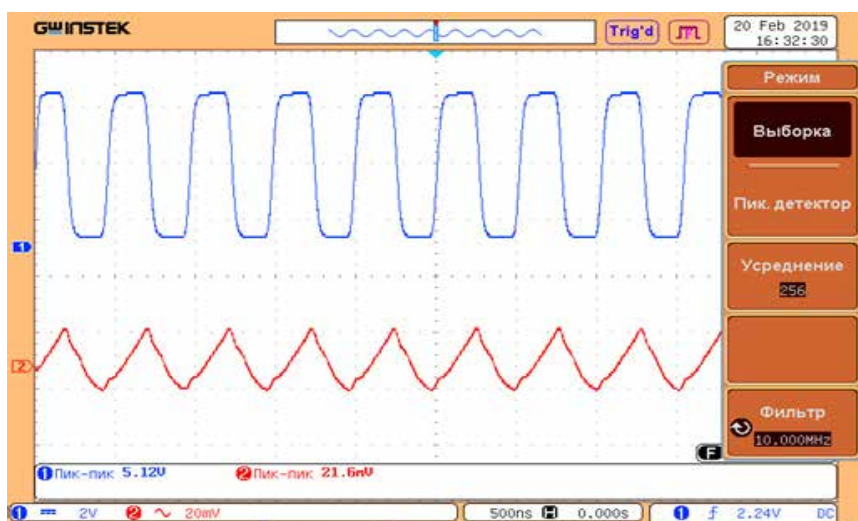


Рис. 11. Формы сигналов (500 нс/дел) напряжений  $U_{fbDC+}$  (2 В/дел) и  $U_{out-}$  (20 мВ/дел) при токе нагрузки 109 мА.

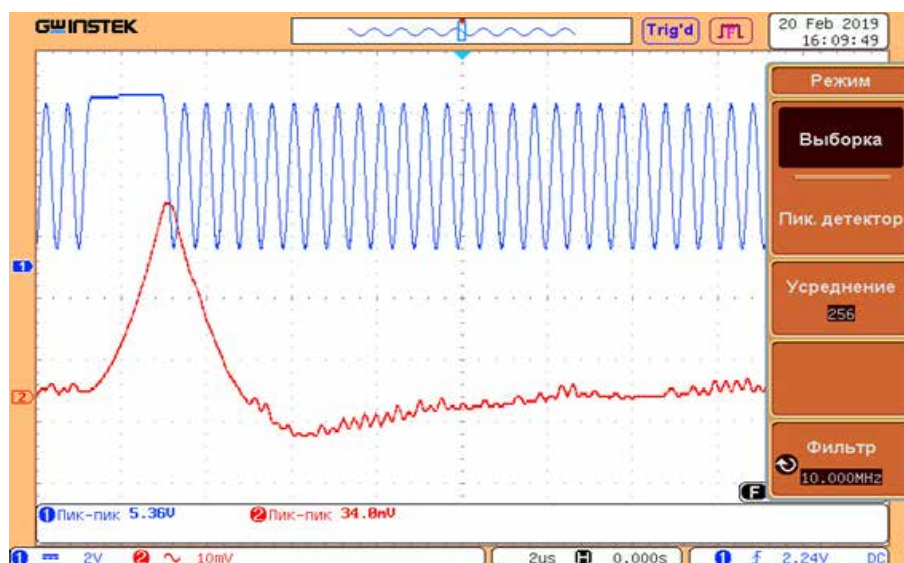


Рис. 12. Формы сигналов (500 нс/дел) напряжений  $U_{f_{DC+}}$  (2 В/дел) и  $V_{out-}$  (1 мВ/дел) при токе нагрузки 109 мА.

ходе микросхемы. Если при токе нагрузки 107 мА размах напряжения пульсаций составлял 34 мВ, то при токе нагрузки 109 мА он составляет всего 2.2 мВ.

При токах нагрузки больше 109 мА режимы накачки заряда с постоянной частотой, равной 2 МГц, сохраняются. На рис. 13 и 14 в качестве примера показаны результаты измерений для токов нагрузки 152 и 250 мА.

При этом с увеличением тока нагрузки немного уменьшается напряжение на летающем конденсаторе при окончании его заряда и несколько увеличивается размах пульсаций напряжения на выходе микросхемы. При максимальном токе нагрузки 250 мА его величина составляет 7.28 мВ.

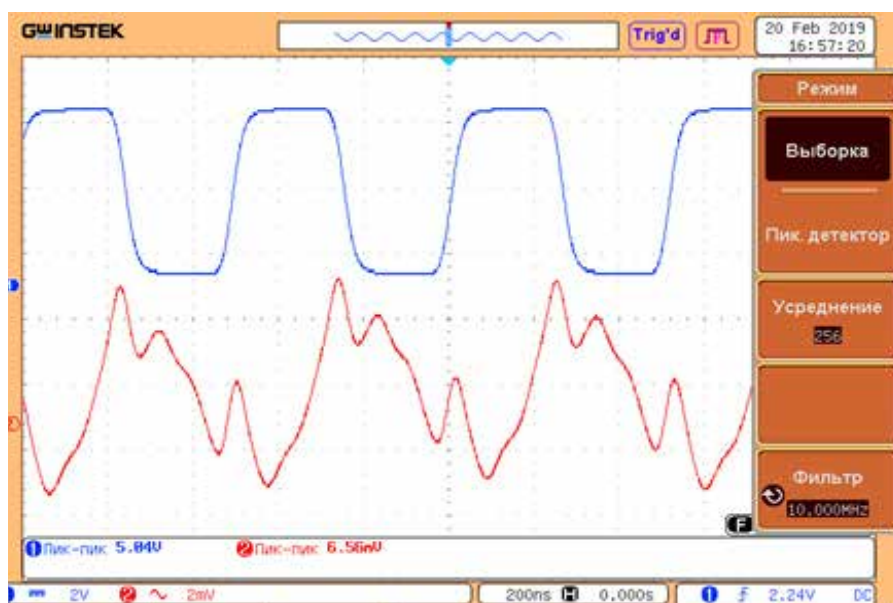


Рис. 13. Формы сигналов (200 нс/дел) напряжений  $U_{f_{DC+}}$  (2 В/дел) и  $V_{out-}$  (1 мВ/дел) при токе нагрузки 152 мА.

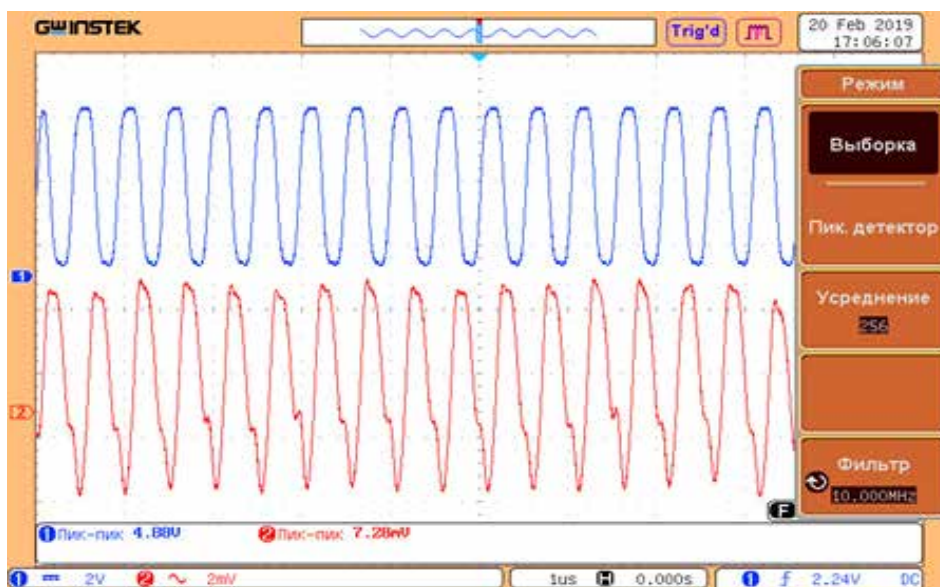


Рис. 14. Формы сигналов (1 мкс/дел) напряжений  $U_{f_{yDC+}}$  (2 В/дел) и  $V_{out}$  (1 мВ/дел) при токе нагрузки 250 мА.

### Анализ полученных результатов

Полученные в настоящей работе результаты экспериментального исследования не подтверждают имеющееся в [5] примечание к таблице с электрическими характеристиками LM27762 о том, что при предельном входном напряжении 5.5 В накачка заряда может войти в режим ШИМ в горячих условиях. При таком входном напряжении обнаружено лишь два режима работы системы регулирования отрицательного выходного напряжения. При относительно малых токах нагрузки до 107 мА система работает с использованием пачек импульсов накачки, разделенных промежутками времени, в которых перенос заряда отсутствует. Длительность этих промежутков времени уменьшается по мере увеличения токов нагрузки, а число циклов разряд–заряд в пачке увеличивается.

Необходимо отметить, что использование режима пачки импульсов при накачке заряда в случае малых токов нагрузки, по-видимому, впервые было применено компанией Linear Technology в преобразователе LTC3245 [7]. Оно получило название Burst Mode® Operation. Применение пачки импульсов накачки при малых токах в [7] реализовано на основе совместного использования обычной системы регулирования накачки по верхнему и нижнему пределу совместно с контролем и регулированием заряда, переносимого за один цикл. Когда преобразователь LTC3245 находится в Burst Mode® Operation, при легких нагрузках за один цикл переносится минимальное количество заряда. Регулировка тока заряда в пачке позволяет без использования LDO держать пульсации выходного в пределах 50 мВ.

Производитель микросхемы LM27762 не называет алгоритм ее работы при малых токах режимом пачки. Но из наших измерений следует, что в ней используется именно такой режим. Однако пульсации напряжения на выходе из системы накачки заряда у LM27762, во-первых, много больше, чем у LTC3245, и, во-вторых, они зависят от тока нагрузки. Заряд, передаваемый за один цикл в режиме пачки, может зависеть от ряда факторов, в частности, от сопротивления ключей, характеристик использованных кон-

денсаторов, величины напряжения на входе в инвертор и др. Поэтому контроль за количеством передаваемого заряда или за током при такой передаче является очень важным. По-видимому, в LM27762 такого контроля нет. Здесь осуществляется лишь постоянный контроль величины выходного напряжения. Именно этим объясняются полученные в настоящей работе и показанные на рис. 4, 6 и 9 большие колебания напряжения на выходе из системы накачки. Наличие LDO в микросхеме LM27762 уменьшает пульсации отрицательного напряжения на выходе микросхемы, однако, как это видно из рис. 7, 8 и 10, они могут значительно превышать значения, показанные в [5] на рис. 1 и 2.

Важным разделом, связанным с алгоритмом работы микросхемы LM27762, является ее переход при увеличении тока нагрузки от режима пачек к режиму накачки с постоянной тактовой частотой 2 МГц. При предельном входном напряжении 5.5 В такой переход в настоящей работе имел место в промежутке значений между токами нагрузки 107 и 109 мА. Здесь возникают два вопроса. Первый связан с условием перехода, а второй – за счет чего поддерживается постоянное напряжение на выходе при дальнейшем увеличении тока нагрузки. Из полученных результатов видно, как с увеличением тока нагрузки при работе в режиме пачек уменьшаются промежутки времени между пачками, что позволяет считать переход системы от режимов пачек в режим постоянной частоты накачки плавным. При переходе в режим постоянной частоты уровень пульсаций отрицательного напряжения на выходе микросхемы, как показано на рис. 12, резко уменьшается. Необходимо, однако, отметить, что при дальнейшем увеличении тока нагрузки размах колебаний напряжения на выходе увеличивается и при токе 152 мА составляет 6.56 мВ, а при предельном токе 250 мА он составляет 7.28 мВ. Оба эти значения существенно превышают величины, приведенные в документации [5].

Из полученных в настоящей работе результатов можно сделать вывод о том, что при предельном входном напряжении 5.5 В микросхема LM27762 работает с большими отличиями от имеющихся в [5] ее описания и основных характеристик.

### ***Благодарности***

Представленные в статье результаты исследований получены в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 8.5577.2017/8.9 на выполнение проекта по теме «Исследование шумовых характеристик и пульсаций микросхем мобильных источников вторичного электропитания».

### **Литература:**

1. Битюков В.К., Миронов А.В., Михневич Н.Г., Петров В.А. Работа системы накачки заряда DC–DC преобразователя MAX1759 в режиме повышения напряжения // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2017. № 1. С. 48–59.
2. Битюков В.К., Петров В.А., Сотникова А.А. Работа системы накачки заряда DC–DC преобразователя MCP1253 в режиме понижения напряжения // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2018. № 1. С. 10–22.
3. Битюков В.К., Петров В.А., Сотникова А.А. Алгоритм работы микросхемы DC–DC преобразователя MCP1253 в режиме повышения напряжения // Радиотехника. 2018. № 9. С. 178–184. <https://doi.org/10.18127/j00338486-201809-29>
4. Low Noise Dual Supply Inverting Charge Pump LTC3260. Datasheet 3260fa. Linear Technology. 2012. 19 p. URL: <http://www.datasheet-pdf.com/PDF/LTC3260-Datasheet-Linear-717626>
5. LM27762 Low-Noise Positive and Negative Output Integrated Charge Pump Plus LDO. Datasheet SNVSAF7B. Texas Instruments Incorporated. 2016 (Rev. 2017). 29 p. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm27762.pdf>

6. Using the LM27762EVM Evaluation Module. User's Guide, SNVU534, Texas Instruments, 2016. 19 p. URL: <http://www.ti.com/lit/ug/snvu534/snvu534.pdf>
7. Wide VIN Range, Low Noise, 250 mA Buck-Boost Charge-Pump LTC3245. Datasheet 3245fa. Linear Technology. 2013. 18 p. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1726405.pdf>

### References:

1. Bityukov V.K., Mironov A.V., Mikhnevich N.G., Petrov V.A. Charge pump system operation of DC–DC converter MAX1759 in the voltage boost mode. *Vestnik Kontserna PVO «Almaz-Antey»* [Bulletin of Concern PVO «Almaz-Antey»]. 2017; 1:48-59, (in Russ.).
2. Bityukov V.K., Petrov V.A., Sotnikova A.A. Charge pumping system operation in the buck mode of the MCP1253 DC–DC converter. *Vestnik Kontserna PVO «Almaz-Antey»* [Bulletin of Concern PVO «Almaz-Antey»]. 2018; 1:10-22, (in Russ.).
3. Bityukov V.K., Petrov V.A., Sotnikova A.A. Algorithm of operation of DC–DC converter MCP1253 in the boost mode. *Radiotekhnika* [Radio Engineering]. 2018; 9:178-184. <https://doi.org/10.18127/j00338486-201809-29>, (in Russ.).
4. Low Noise Dual Supply Inverting Charge Pump LTC3260. Datasheet 3260fa. Linear Technology. 2012. 19 p. URL: <http://www.datasheet-pdf.com/PDF/LTC3260-Datasheet-Linear-717626>
5. LM27762 Low-Noise Positive and Negative Output Integrated Charge Pump Plus LDO. Datasheet SNVSAF7B. Texas Instruments Incorporated. 2016 (Rev. 2017). 29 p. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm27762.pdf>
6. Using the LM27762EVM Evaluation Module. User's Guide, SNVU534, Texas Instruments, 2016. 19 p. URL: <http://www.ti.com/lit/ug/snvu534/snvu534.pdf>
7. Wide VIN Range, Low Noise, 250 mA Buck-Boost Charge-Pump LTC3245. Datasheet 3245fa. Linear Technology. 2013. 18 p. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1726405.pdf>

### Об авторах:

**Битюков Владимир Ксенофонович**, доктор технических наук, профессор кафедры телекоммуникаций и радиотехники Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, проспект Вернадского, д. 78). Scopus Author ID 6603797260, ResearcherID Y-8325-2018.

**Михневич Николай Григорьевич**, заведующий лабораторией кафедры телекоммуникаций и радиотехники Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, проспект Вернадского, д. 78).

**Петров Вадим Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры телекоммуникаций и радиотехники Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, проспект Вернадского, д. 78).

### About the authors:

**Vladimir K. Bityukov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Chair of Telecommunications and Radio Engineering, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

**Nikolay G. Mikhnevich**, Head of Laboratory, Chair of Telecommunications and Radio Engineering, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

**Vadim A. Petrov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Chair of Telecommunications and Radio Engineering, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

**Для цитирования:** Битюков В.К., Михневич Н.Г., Петров В.А. Пульсации напряжения отрицательной полярности на выходе двухполярного DC–DC преобразователя LM27762 при близком к предельному входном напряжении // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7. № 4. С. 31–43. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-31-43>

**For citation:** Bityukov V.K., Mikhnevich N.G., Petrov V.A. Negative output voltage ripples of bipolar DC–DC converter LM27762 near maximum input voltage. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal* = Russian Technological Journal. 2019; 7(4):31-43, (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-31-43>