

Микросхема широтно-импульсного контроллера 1310EY015

Александр ОДНОЛЬКО

odnolko@milandr.ru

Дмитрий КОЛЕСНИКОВ

kolesnikov.d@milandr.ru

Евгений СУХОТЕРИН

sukhoterin.e@milandr.ru

Данил ДЕМИДОВ

demidov.danila@milandr.ru

Вадим БОГДАНОВ

bogdanov.v@milandr.ru

В статье проведен краткий обзор основных параметров микросхемы синхронного широтно-импульсного контроллера 1310EY015, разрабатываемого в рамках ОКР «Источник-И14». Цель настоящей публикации — ознакомление с характеристиками и особенностями применения данной микросхемы. Завершение разработки планируется в июне 2019 года.

Компания АО «ПКК Миландр» разрабатывает и производит широкий спектр изделий микроэлектроники (микроконтроллеры, микропроцессоры, микросхемы памяти, универсальные электронные модули и т. д.). Среди этих изделий присутствуют микросхемы и электронные модули преобразователей напряжения. Анализ рынка показал, что наиболее востребованными среди российских потребителей являются источники питания относительно малой мощности, предназначенные для создаваемых конечных систем, — так называемые преобразователи Power on Load.

Поэтому в компании особое внимание уделяется разработкам, связанным именно с этим сегментом. По принципу работы все источники питания (ИП) можно разделить на два типа: с непрерывным и дискретным (ключевым) принципом стабилизации. К первому типу относится микросхема 1309EP1T, представляющая собой линейный стабилизатор напряжения. Ко второму типу относятся микросхема 1310NH015, представляющая собой полностью интегральный DC/DC-преобразователь, микросхема ШИМ-контроллера 1310EY015 и ряд созданных на его основе электронных модулей им-

пульсных источников питания с внешними силовыми ключами.

На рис. 1 представлена блок-схема DC/DC-преобразователя на основе микросхемы ШИМ-контроллера 1310EY015. В его состав входят усилитель ошибки и цепь компенсации, драйвер нижнего плеча, драйвер верхнего плеча, два МОП-транзистора, внутренний стабилизатор напряжения (LDO), ШИМ-компаратор, блоки логики, ZCD-компаратор, датчик уровня тока, индуктивность, резистор датчика тока, резистивный делитель, цепь вольтодобавки, элементы генератора пилообразного напряжения и емкость нагрузки.

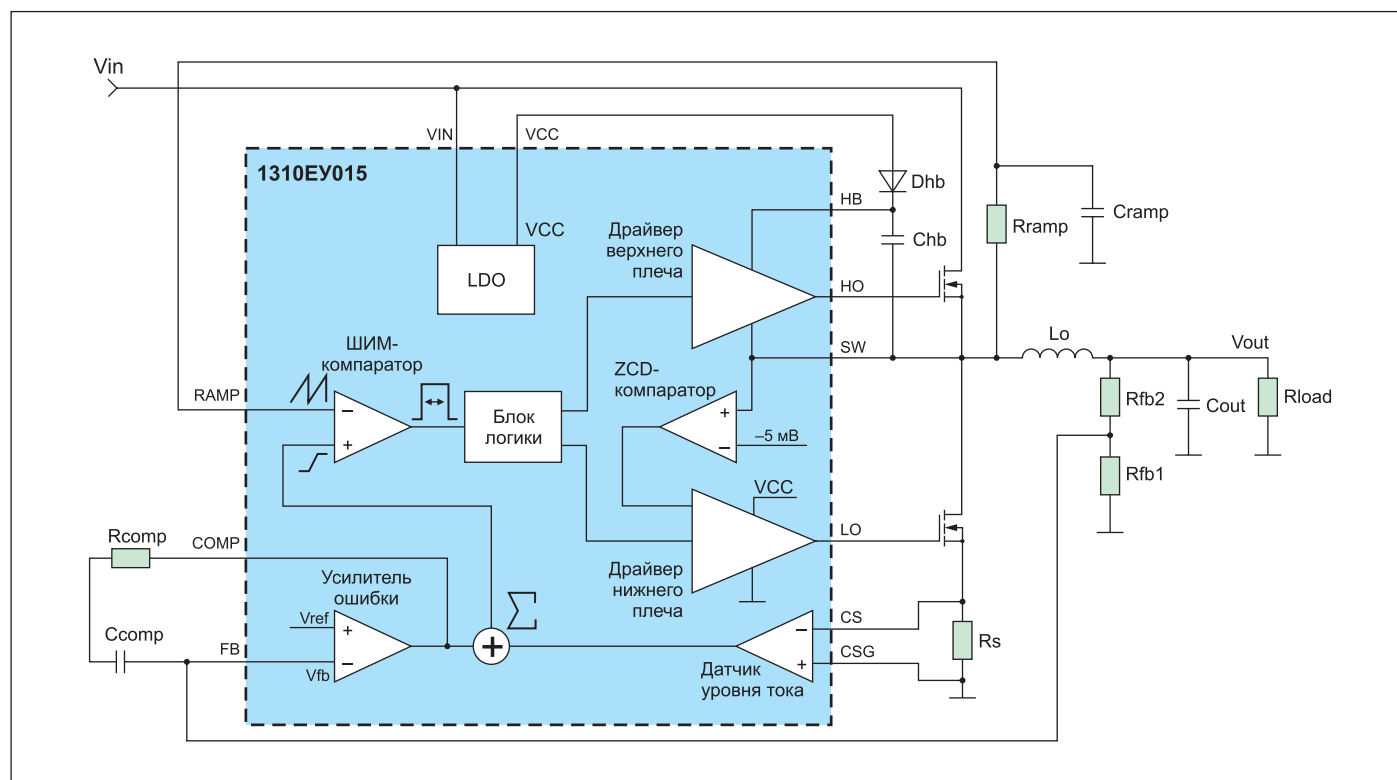


Рис. 1. Блок-схема DC/DC-преобразователя на основе микросхемы ШИМ-контроллера 1310EY015

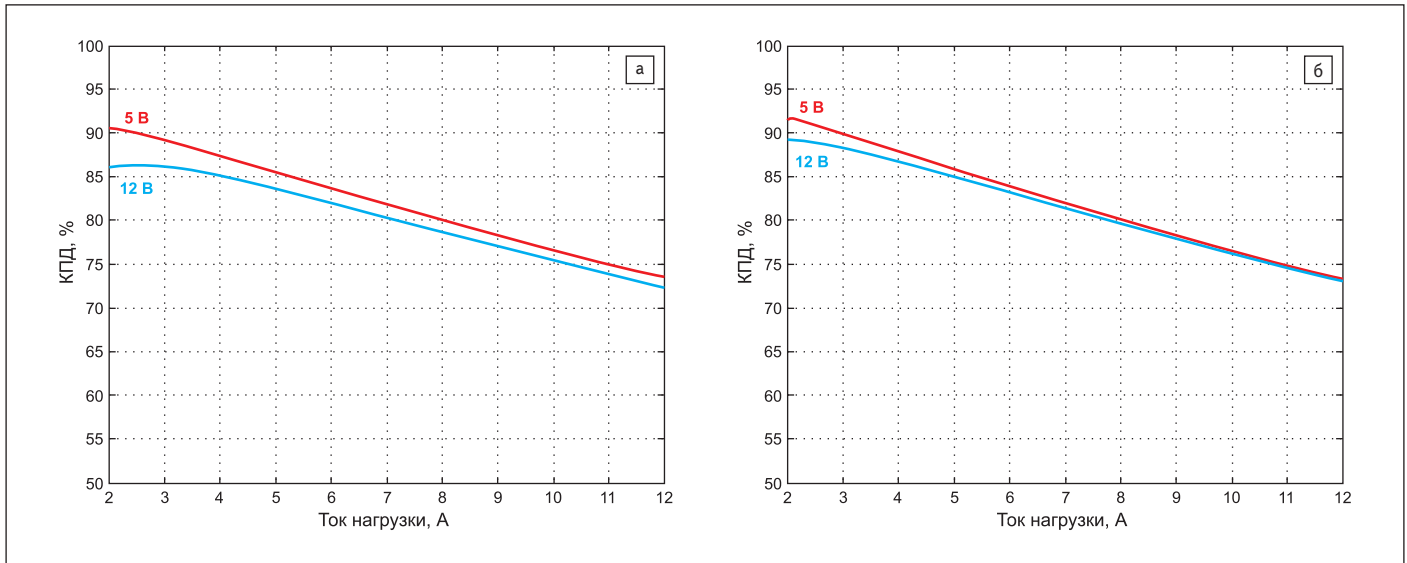


Рис. 2. Расчетная зависимость КПД DC/DC-преобразователя от тока нагрузки при двух значениях питающего напряжения 5 и 12 В: а) кремниевые транзисторы SI7884BDP; б) нитрид-галлиевые транзисторы EPC2111

Как видно на блок-схеме, приведенной на рис. 1, для управления током дросселя используются два силовых МОП-транзистора, работающие в противофазе. Такое конструктивное решение позволяет получить более высокие значения коэффициента полезного действия (КПД) по сравнению с асинхронными DC/DC-преобразователями, использующими один МОП-транзистор и обратный диод Шоттки.

Ниже показано влияние параметров компонентов схемы на КПД DC/DC-преобразователя. Для этого необходимо учесть рассеиваемую мощность всех основных компонентов схемы преобразователя:

1. Полезная мощность, рассеиваемая нагрузкой:

$$P_{out} = I_{out} V_{out} \quad (1)$$

где I_{out} — выходной ток DC/DC-преобразователя; V_{out} — выходное напряжение DC/DC-преобразователя.

2. Мощность, рассеиваемая вследствие перезарядки межэлектродных емкостей выходных МОП-транзисторов:

$$P_{sw} = 2 \times (C_{GS} \times \Delta V + C_{GD} \times (\Delta V + V_{in})) \times f_{sw} \times V_{in} \quad (2)$$

где C_{GS} — емкость затвор-исток выходного МОП-транзистора; C_{GD} — емкость затвор-сток выходного МОП-транзистора; C_{DS} — емкость сток-исток выходного МОП-транзистора; ΔV — величина изменения управляющего напряжения; f_{sw} — частота переключения МОП-транзисторов; V_{in} — входное питающее напряжение DC/DC-преобразователя. В связи с тем, что в синхронном преобразователе используется два выходных транзистора, в выражении (2) присутствует коэффициент 2.

3. Мощность, рассеиваемая на сопротивлении выходных МОП-транзисторов:

$$P_{R_{MOPI}} = I_{out}^2 R_{MOPI} (t_{ON}/T) = I_{out}^2 R_{MOPI} (V_{out}/V_{in}), \quad (3)$$

$$P_{R_{MOPII}} = I_{out}^2 R_{MOPII} (t_{OFF}/T) = I_{out}^2 R_{MOPII} (1 - V_{out}/V_{in}), \quad (4)$$

где R_{MOPI} — сопротивление транзистора верхнего плеча; R_{MOPII} — сопротивление транзистора нижнего плеча; t_{ON} — длительность открытого состояния транзистора верхнего плеча; t_{OFF} — длительность открытого состояния транзистора нижнего плеча; T — период переключения МОП-транзисторов.

4. Мощность, рассеиваемая на токоизмерительном резисторе R_s в цепи истока МОП-транзистора нижнего плеча:

$$P_{R_s} = I_{out}^2 R_s (1 - V_{out}/V_{in}), \quad (5)$$

где R_s — сопротивление токоизмерительного резистора в составе датчика тока, отслеживающего средний ток в дросселе.

5. Мощность, рассеиваемая на паразитном сопротивлении дросселя:

$$P_{dcr} = I_{out}^2 R_{dcr} \quad (6)$$

где R_{dcr} — паразитное сопротивление дросселя.

6. Мощность, рассеиваемая на паразитном сопротивлении выходной емкости C_{out} :

$$P_{esr} = (I_{pp}^2/3) R_{esr} \quad (7)$$

где R_{esr} — эквивалентное последовательное сопротивление выходной емкости; I_{pp} — ток пульсации через дроссель.

7. Мощность, рассеиваемая на паразитном сопротивлении компонентов преобразователя — сопротивлении проводников платы и т. д.:

$$P_{R_{par}} = I_{out}^2 R_{par} \quad (8)$$

где R_{par} — суммарное паразитное сопротивление всех компонентов (паразитные эффекты печатной платы и т. д.).

8. Собственная мощность потребления микросхемы ШИМ-контроллера:

$$P_{V_{in}} = I_{cc} V_{in} \quad (9)$$

где I_{cc} — собственный ток потребления микросхемы ШИМ-контроллера.

С учетом выражений (1–9) запишем формулу для КПД DC/DC-преобразователя:

$$\eta = (100\% \times P_{out}) / (P_{out} + P_{sw} + P_{R_{MOPI}} + P_{R_{MOPII}} + P_{R_s} + P_{dcr} + P_{esr} + P_{R_{par}} + P_{V_{in}}). \quad (10)$$

Используя выражение (10), можно оценить прогнозировать значение КПД преобразователя, зная характеристики компонентов устройства.

Важно отметить, что из выражения (10) следует, что КПД преобразователя сильно зависит от выбора МОП-ключей. Также КПД преобразователя зависит от частоты f_{sw} переключения выходных транзисторов. При одних и тех же выходных транзисторах КПД увеличивается при уменьшении частоты f_{sw} .

Ближайшим аналогом микросхемы 1310EY015 является микросхема LM25117 фирмы Texas Instruments. Рассчитаем КПД DC/DC-преобразователя на основе микросхемы LM25117 по формуле (10). В качестве выходных транзисторов используем рекомендованные производителем транзисторы SI7884BDP, имеющие следующие параметры:

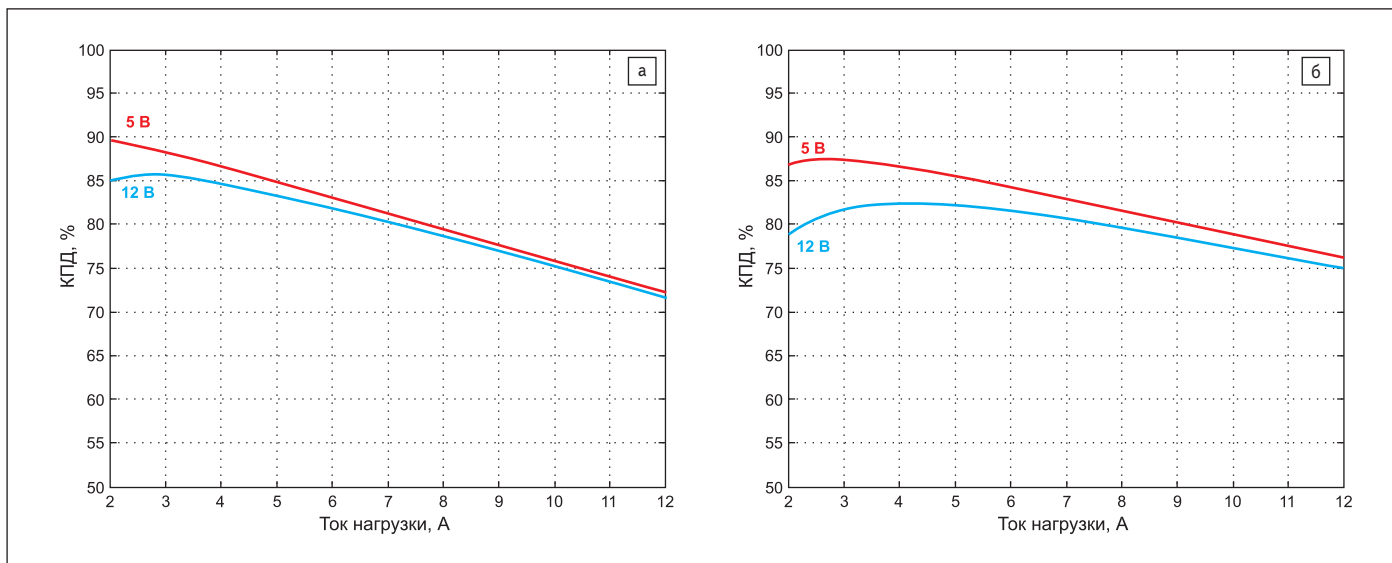


Рис. 3. Экспериментально снятые зависимости КПД DC/DC-преобразователя (в составе микросхемы 1310EY015) от тока нагрузки при двух значениях питающего напряжения 5 и 12 В: а) кремниевые транзисторы SI7884BDP; б) МОП-транзисторы российской компании «Ангстрем» (2П7248А и 2П7162А)

$C_{GS} = 3,4$ нФ, $C_{GD} = 142$ пФ, $C_{DS} = 193$ пФ, $R_{ds(on)} = 7,3$ мОм. Тогда при типовых режимах и параметрах схемы $V_{in} = 5, 12$ В, $V_{out} = 1$ В, $f_{sw} = 200$ кГц, $\Delta V = 5$ В, $I_{cc} = 2$ мА, $R_{par} = 15$ мОм, $R_S = 8$ мОм получается рассчитанная зависимость КПД от тока нагрузки, представленная на рис. 2а.

Также вычислим зависимость КПД по формуле (10) для нитрид-галлиевых транзисторов EPC2111: $V_{out} = 1$ В, $f_{sw} = 200$ кГц, $V_{in} = 5$ и 12 В, $I_{cc} = 2$ мА, $R_{par} = 15$ мОм, $R_S = 8$ мОм, $\Delta V = 5$ В (рис. 2б).

Теперь приведем экспериментально снятую зависимость КПД от тока нагрузки для напряжения 5 и 12 В: в случае использования микросхемы 1310EY015 и МОП-транзисторов SI7884BDP (рис. 3а), а также для случая использования МОП-транзисторов российской компании «Ангстрем» (2П7248А и 2П7162А) для $V_{out} = 1$ В и $f_{sw} = 200$ кГц (рис. 3б).

Для пользователя электронного устройства большой КПД означает меньшее энергопотребление (несмотря на большее время работы от батарей), меньше проблем с отводом тепла и, соответственно, меньшие габариты и большую надежность. Максимальная рабочая температура для полупроводников составляет $+150$ °С. Чтобы поддерживать температуру полупроводникового кристалла на таком уровне, с учетом теплового сопротивления «кристалл–подложка» и «подложка–окружающая среда», температура корпуса элемента должна быть $+120$ °С, а температура платы преобразователя — еще ниже. Неприятный эффект состоит в том, что с ростом температуры электрическое сопротивление и медных проводников, и каналов силовых транзисторов увеличивается, то есть КПД преобразователя падает, и он начинает нагреваться быстрее. Проблема отвода тепла для локализованных к нагрузке преобразователей стоит особенно остро, поскольку у них

малые габариты, отсутствуют радиаторы и они работают в тесном соседстве с другими элементами электронного устройства, которые также выделяют тепло и нагревают окружающий воздух. Охлаждение модулей локализованных к нагрузке преобразователей происходит различными путями. Элементы на плате располагаются таким образом, что слабые конвекционные потоки воздуха уносятся с их поверхностей максимум тепла. При наличии принудительного обдува занимающий значительную часть конструкции дроссель может служить радиатором. Толстые проводники обмотки отводят тепло от участков металлизации на плате и рассеивают его. Таким образом, печатная плата преобразователя должна проектироваться с учетом, что ее охлаждение может осуществляться за счет отвода тепла.

Следующими важными характеристиками DC/DC-преобразователей являются время и амплитуда отклика при резком изме-

нении величины нагрузки преобразователя. Эти характеристики сильно зависят от полосы пропускания DC/DC-преобразователя по уровню 0 дБ. Преимущество микросхемы 1310EY015 заключается в возможности задать полосу пропускания с помощью внешних компонентов. Полосу пропускания по 0 дБ оценочно можно определить по следующей формуле:

$$F_{0dB} \approx R_{comp} / 2 \times \pi \times R_S \times R_{FB2} \times A_S \times C_{out} \quad (11)$$

где R_{comp} — сопротивление резистора в цепи компенсации; R_{FB2} — сопротивление резистора в цепи обратной связи; A_S — коэффициент усиления буфера датчика тока; C_{out} — емкость фильтрующего конденсатора на выходе DC/DC-преобразователя.

Для обеспечения устойчивости схемы необходимо корректно выбрать величину емкости C_{comp} конденсатора в цепи компенсации. Внешние компоненты R_{comp} и C_{comp}

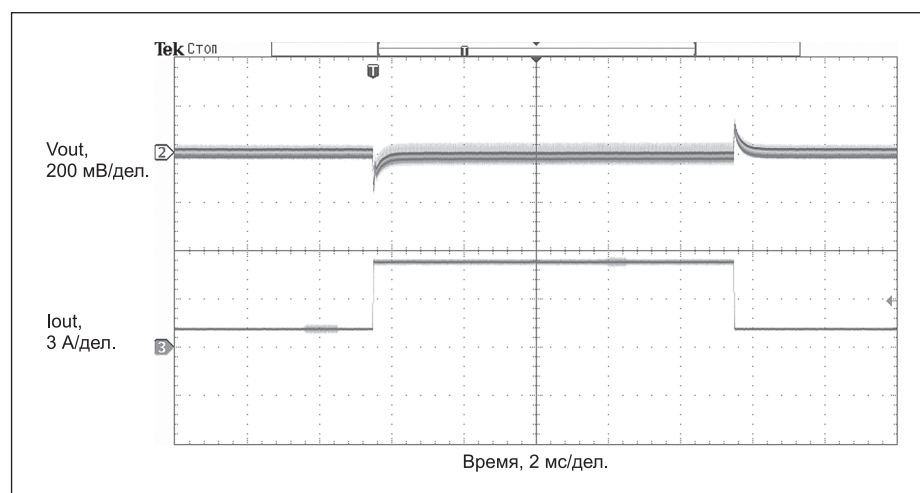


Рис. 4. Временная диаграмма отклика DC/DC-преобразователя на основе микросхемы 1310EY015

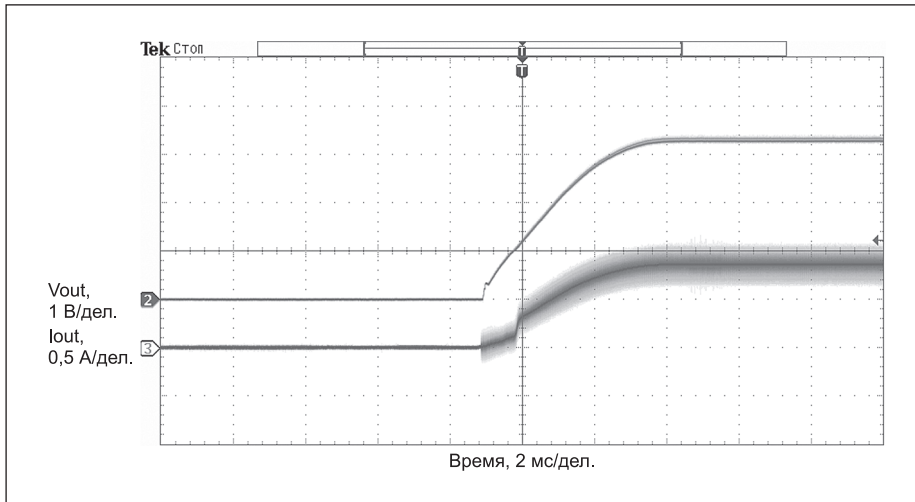


Рис. 5. Временная диаграмма плавного старта DC/DC-преобразователя на основе микросхемы 1310EY015

($R_{comp} = 20 \text{ кОм}$, $R_S = 8 \text{ мОм}$, $R_{FB2} = 3,24 \text{ кОм}$, $A_S = 13$, $C_{out} = 812 \text{ мкФ}$). Отклик мал по амплитуде и быстро затухает.

Следующим функциональным достоинством микросхемы 1310EY015 является реализация плавного старта. Микросхема имеет вывод SS для подключения внешнего конденсатора, емкость которого определяет длительность плавного старта в соответствии со следующей формулой:

$$t_{ss} = (C_{ss} \times V_{ref}) / I_{ss} \quad (14)$$

где C_{ss} — емкость конденсатора плавного старта; I_{ss} — ток заряда конденсатора плавного старта (10 мкА); V_{ref} — опорное напряжение (0,7 В).

Например:

$$t_{ss} = (47 \text{ мкФ} \times 0,7 \text{ В}) / 10 \text{ мкА} = 3,3 \text{ мс.}$$

На рис. 5 представлена осциллограмма, иллюстрирующая плавное нарастание выходного напряжения DC/DC-преобразователя при подаче напряжения питания.

Таким образом, микросхема ШИМ-контроллера 1310EY015 позволит реализовать высокоэффективные DC/DC-преобразователи, обладающие широкими функциональными возможностями и подходящие для разнообразного спектра применений. ■

формируют ноль передаточной функции DC/DC-преобразователя, которым необходимо скомпенсировать полюс нагрузки. Величину емкости C_{comp} рекомендуется выбирать следующим образом:

$$C_{comp} = (R_{out} \times C_{out}) / R_{comp} \quad (12)$$

Важно отметить, что для обеспечения устойчивой работы схемы частота пере-

ключения МОП-транзисторов f_{sw} должна быть выбрана с учетом следующей рекомендации:

$$f_{sw} \geq 5f_{0дБ} \quad (13)$$

На рис. 4 приведена временная диаграмма отклика DC/DC-преобразователя на основе микросхемы 1310EY015 с выбранной полосой пропускания $f_{0дБ} = 11,6 \text{ кГц}$