

*АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ*

УДК 621.3.049

DOI: 10.17212/2307-6879-2018-3-4-7-15

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА
ИМПУЛЬСНОГО ПОНИЖАЮЩЕГО
DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ***

В.М. БЫКОВ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант. E-mail: wlad000-wlad@yandex.ru

Разрабатываемый ШИМ-контроллер является частью интегральной схемы импульсного DC-DC преобразователя со встроенным силовым ключом. Для импульсных преобразователей напряжения характерны состояния, когда система выходит из импульсного режима работы. В эти моменты силовой ключ либо постоянно открыт, либо постоянно закрыт. Это может происходить при бросках тока нагрузки и в начальный момент времени при включении питания преобразователя. В этой ситуации силовой ключ пропускает постоянный ток, который может достигать критических значений и вывести встроенный силовой ключ из строя. А так как параметры встроенного силового ключа ограничены технологией производства других компонентов, то он будет более предрасположен к перегреву в режиме постоянного тока, чем дискретные приборы. Для решения данной проблемы был спроектирован цифровой блок для ШИМ-контроллера, который ограничивает максимальную длительность импульса, управляющего силовым ключом. С данным цифровым блоком преобразователь работает в импульсном режиме при включении питания преобразователя и бросках тока на нагрузке, также имеется возможность устанавливать максимально возможное напряжение на нагрузке, обеспечивая последней защиту от перенапряжения.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, преобразователь, моделирование, управление

ВВЕДЕНИЕ

Разработке и исследованию импульсного DC-DC преобразователя посвящены работы [1–3]. В данных работах не учтена ситуация, когда силовой ключ работает не в импульсном режиме, а постоянно открыт, т. е. ток, протекающий через ключ в начальный момент времени или в момент броска тока

* Статья получена 16 июля 2018 г.

1. СХЕМА ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА

[illegible]

Входы схемы Vref и Uos – это входы опорного напряжения и напряжения сигнала ошибки. Сигнал ошибки получается делением выходного напряжения понижающего DC-DC преобразователя на определенный коэффициент. Данные сигналы поступают на вход операционного усилителя (ОУ) DA2, который включен в режиме дифференциального усилителя. Сигнал с выхода ОУ по-

ступает на один вход компаратора, а на другой поступает пилообразное напряжение. В результате сравнения получаются прямоугольные импульсы с управляемым коэффициентом заполнения и с частотой повторения, равной частоте генератора пилообразного напряжения.

Входы U_{ph} , Unl – это входы для подачи напряжения смещения, необходимого для корректной работы операционного усилителя и компараторов. Входы $INenable$ и $INtemp$ – это входы логических сигналов разрешения работы и аварийного запрещения работы в результате перегрева интегральной схемы соответственно. Сигналы со входов OUT и OUT_{inv} служат входными сигналами для драйвера вертикального МОП транзистора. Вывод «а» подключен к источнику напряжения 15 В, а VCC – к источнику напряжения 36 В, «b» и «dgnd» – аналоговая и цифровая «земля» соответственно.

Схема генератора пилообразного напряжения построена на компараторе DA4 и RS-триггере с задержкой на элементах 2И-НЕ DD3 и DD4, задержка формируется цепочкой инверторов. Выбор такой схемы генератора обусловлен простотой конструкции и относительной независимостью режима генерации от характеристик компаратора. Также возможно изменить частоту генерации путем лазерной подстройки резистора R5 без вмешательства в слои контактных окон и металла интегральной микросхемы. Благодаря RS-триггеру с задержкой разряд емкости C1 синхронизирован со сбросом выходов компараторов и ОУ всей ИС.

Для обеспечения импульсного режима работы DC-DC преобразователя при бросках тока нагрузки и при включении питания преобразователя нужен логический блок. Он выполняет функцию контроллера максимальной длительности выходного импульса ШИМ, тем самым защищая встроенный силовой ключ от протекания больших постоянных токов, а также в качестве предохранителя нагрузки от перенапряжения.

2. ЛОГИЧЕСКИЙ БЛОК КОНТРОЛЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА

Логический блок показан на рис. 1 и состоит из трех инверторов: DD7, DD11 и DD12; двух элементов: 2ИЛИ-НЕ DD9 и DD10; одного 2И-НЕ DD14 и 3ИЛИ-НЕ DD8.

Элементы DD8 и DD9 составляют RS-триггер, а элементы DD11, DD12 и DD14 с помощью сигнала $INtemp$ позволяют аварийно блокировать работу триггера при превышении критической температуры кристалла. Ниже представлена таблица истинности, поясняющая работу RS-триггера на элементах ИЛИ-НЕ.

Таблица истинности RS-триггера

DD9_IN1	DD8_IN1	DD8_IN2	DD10_IN2	DD8_IN3
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	0	0

Компаратор DA5 и резистивный делитель R3-R4 формируют широкий импульс заданной длительности, которую можно контролировать лазерной подстройкой резистора R4.

В неимпульсном режиме работы преобразователя (например, когда к преобразователю подключается нагрузка) компаратор DA3 формирует постоянный сигнал, который может удерживать силовой ключ открытым, пока напряжение на нагрузке не достигло бы определенного значения, а при разорванной цепи обратной связи выходное напряжение может достигнуть значения напряжения питания. Но благодаря наличию логического блока на выходе формируются импульсы заданной длительности, что можно увидеть на рис. 2. Даже при условии разорванной цепи обратной связи напряжение на нагрузке не достигло бы напряжения питания, что важно для типов нагрузки, чувствительных к превышению питающих напряжений. Таким образом, логический блок контроля максимальной длительности импульса выступает в роли предохранителя нагрузки от перенапряжения и как защита ключевого транзистора от протекания постоянного тока.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА

Логический блок предназначен для формирования импульсов максимальной длительности. Результаты моделирования работы DC-DC преобразователя показаны на рис. 2. Моделирование разработанной схемы проведено в САПР OrCAD Family Release 9.2.

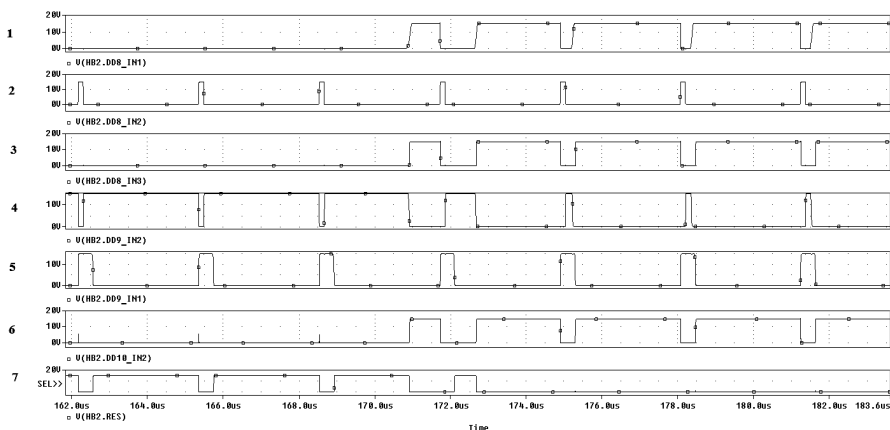


Рис. 2. Моделирование работы логического блока

Осциллограммы на рис. 2 показывают: 1 – сигнал с выхода компаратора DA3; 2 – синхронизирующий сигнал; 3 – сигнал с выхода элемента 2И-НЕ DD14; 4 – сигнал с выхода элемента 3ИЛИ-НЕ DD8; 5 – инвертированный выход компаратора DA5, формирующего широкие импульсы ограниченной длительности; 6 – выход RS-триггера логического блока; 7 – сигнал с выхода DC-DC преобразователя.

На рис. 2 показано, как на выходе преобразователя (осциллограмма 7) меняется длительность импульсов напряжения. Так, при включении питания преобразователя или подключении к его выходу нагрузки присутствуют импульсы максимальной на промежутке времени от 0 до 168 мкс. При этом на выходе ШИМ (осциллограмма 1) постоянный уровень напряжения. Когда же напряжение на нагрузке приближается к номинальному значению (промежуток времени от 168 до 174 мкс), появляются импульсы на выходе ШИМ с изменяемой скважностью и логический блок повторяет это изменение скважности. Таким образом, моделирование разработанной схемы подтвердило корректность работы логического блока, контролирующего максимальную длительность импульса. Было установлено, что в начальный момент времени включения напряжения питания преобразователя и в момент подключения нагрузки силовой ключ работает в импульсном режиме, а также подтвержден факт ограничения напряжения на нагрузке при разорванной ОС, когда вход U_{os} был закорочен на «землю». Напряжение на нагрузке ограничивается напряжением питания преобразователя, умноженным на коэффициент заполнения выхода преобразователя, где коэффициент заполнения определяется величиной резистора R4.

На рис. 3 показаны осциллограммы, полученные в ходе измерения характеристик ИС понижающего импульсного DC-DC преобразователя. Напряжение питания ИС было задано от источника напряжения Аггау 3645А. Ограничение по току один ампер и напряжение выхода источника 24 В. Измерения произведены с помощью осциллографа KEYSIGHT MSOX3104T.

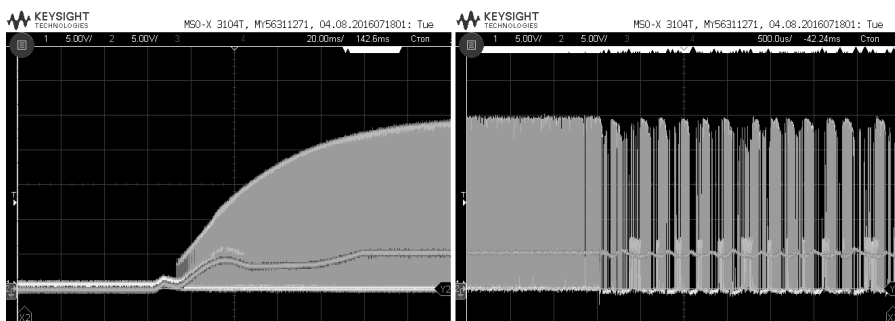


Рис. 3. Экспериментальные осциллограммы работы логического блока в составе ИС понижающего импульсного DC-DC преобразователя. Слева момент включения питания преобразователя, справа момент броска тока нагрузки

На рис. 3 шаг сетки по оси ординат 5 В, по оси абсцисс 20 мс. Первый канал (переменный сигнал) – напряжение выхода ИС, второй канал (постоянный сигнал) – напряжение на нагрузочном резисторе преобразователя.

Из рис. 3 видно, что и в момент включения питания преобразователя, и в момент броска тока нагрузки встроенный силовой ключ работает в импульсном режиме. Бросок тока нагрузки был осуществлен включением резистора номиналом 6 Ом параллельно основному резистору нагрузки номиналом 20 Ом.

Таким образом, с помощью математического моделирования экспериментально была доказана работоспособность логического блока, контролирующего максимальную длительность импульса. Встроенный силовой ключ работает в импульсном режиме при включении питания и при бросках тока нагрузки, а напряжение на нагрузочном резисторе ограничено максимальной шириной выходного импульса ИС преобразователя и может изменяться в широких пределах путём изменения резистора R4.

Для контроля максимальной длительности сигнала управления силовым ключом и, как следствие, контроля максимально возможного напряжения на нагрузке возможно изготовление ИС с выводом под внешний резистор R4. Тогда пользователь сам сможет устанавливать то значение максимальной длительности, которое сочтет необходимым.

Данное схемотехническое решение простое и функциональное. В интегральном исполнении схема логического блока занимает относительно малую площадь кристалла, но выполняет сразу несколько защитных и ограничительных функций, что позволяет увеличить срок службы всей интегральной схемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данной работы является спроектированный ШИМ-контроллер с управляемой максимальной длительностью сигнала силового ключа с помощью резистора R4. Данная схема может быть применена в ИС DC-DC преобразователей со встроенными силовыми ключами. Внедрение такой схемы позволяет получать импульсный сигнал управления силового ключа вместо постоянного в момент запуска преобразователя и в моменты скачкообразного изменения тока нагрузки. Такая система предотвращает выход из строя встроенных силовых ключей, обусловленный протеканием постоянного тока, и позволяет увеличить срок службы устройства, а также предохранить от перенапряжения нагрузку преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vinodini D., Vasanprabhu V., Rajini V.* Design and analysis of digital PWM controller for DC-DC power converter // International Journal of Computer Applications. – 2013. – Vol. 65, N 12. – P. 38–43.
2. *Abdessamad B., Salah-ddine K., Elidrissi C.M.* Designing a high efficiency pulse width modulation step-down DC/DC converter for mobile phone applications // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. – 2012. – Vol. 9, iss. 5. – P. 70–76.
3. *Prodic A., Maksimovic D., Erickson R.W.* Design and implementation of a digital PWM controller for a high-frequency switching DC-DC power // IECON'01. The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2001. – Vol. 2. – P. 893–898.
4. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники. – М.: Бином, 2014. – 704 с.
5. *Буйских А.* Распространенные причины возникновения неисправностей источников питания и методы их устранения // Компоненты и технологии. – 2013. – № 2. – С. 90–92.
6. *Уэйкерли Дж.* Проектирование цифровых устройств. Т. 1. – М.: Постмаркет, 2002. – 544 с.

Быков Владислав Михайлович, аспирант кафедры полупроводниковых приборов и микросистемной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – радиационно-стойкие цифро-аналоговые интегральные микросхемы. Имеет две публикации. E-mail: wlad000-wlad@yandex.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2018-3-4-7-15

Design and analysis of PWM-controller of pulse buck DC-DC converter^{*}

V.M. Bykov

Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, graduate student. E-mail: wlad000-wlad@yandex.ru

The developed PWM controller is part of an integrated circuit of a pulsed DC-DC converter with an integrated power switch. For pulsed voltage converters are characterized by the state when the system is out of the pulse mode. In these moments, the power key is either constantly open or permanently closed. This can occur when the load current sharply changing and at initial moment of the time when power turn on of the power converter. In this situation, the power switch conducted the direct current, which can reach critical values and can disable the power switch. And since the built-in power switch is limited by the production technology of other components, it will be more prone to overheating in DC mode than discrete devices. To solve this problem, a digital unit for the PWM controller was designed, which limits the maximum pulse duration that controls the power switch. With this digital unit, the converter operates in a pulsed mode when the load is connected and when current surges on the load, it is also possible to set the maximum possible the load voltage, providing the latter with overvoltage protection.

Keywords: pulse-width modulation, converter, simulation, control

REFERENCES

1. Vinodini D., Vasanprabhu V., Rajini V. Design and analysis of digital pwm controller for DC-DC power converter. *International Journal of Computer Applications*, 2013, vol. 65, no. 12, pp. 38–43.
2. Abdessamad B., Salah-ddine K., Elidrissi C.M. Designing a high efficiency pulse width modulation step-down DC/DC converter for mobile phone applications. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 2012, vol. 9, iss. 5, pp. 70–76.

^{*} Received 16 July 2018.

3. Prodic A., Maksimovic D., Erickson R.W. Design and implementation of a digital PWM controller for a high-frequency switching DC-DC power converter. *IECON'01. The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2001, vol. 2, pp. 893–898.
4. Horowitz P., Hill W. *The art of electronics*. 2nd ed. New York, Cambridge university press, 1998 (Russ. ed.: Khorovits P., Khill U. *Iskusstvo skhemotekhniki*. Moscow, Binom Publ., 2014. 704 p.).
5. Buisikh A. Rasprostrannyye prichiny vozniknoveniya neispravnostei istochnikov pitaniya i metody ikh ustraneniya [Common causes of power supply faults and methods for their elimination]. *Komponenty i tekhnologii – Components & Technologies*, 2013, no. 2, pp. 90–92.
6. Wakerly J. *Digital design: principles and practices*. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 2000 (Russ. ed.: Ueikerli Dzh. *Proektirovanie tsifrovyykh ustroystv*. Moscow, Postmarket Publ., 2002. 544 p.).

Для цитирования:

Быков М.В. Разработка и анализ ШИМ-контроллера импульсного понижающего DC-DC преобразователя // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 3–4 (93). – С. 7–15. – DOI: 10.17212/2307-6879-2018-3-4-7-15.

For citation:

Bykov V.M. Razrabotka i analiz ShIM-kontrollera impul'snogo ponizhayushchego DC-DC preobrazovatelya [Design and analysis of PWM-controller of pulse buck DC-DC converter] *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 3–4 (93), pp. 7–15. DOI: 10.17212/2307-6879-2018-3-4-7-15.