
СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.314

Д.А. Алешин, Н.Н. Вихорев

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ БЕЗМОСТОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

Выпрямители – устройства для преобразования переменного сетевого напряжения в постоянное. В офисной технике, маломощных гальванических установках и зарядных устройствах аккумуляторных батарей используются мостовые выпрямители с емкостным фильтром, т.е., простейшая схемотехническая реализация однофазного выпрямителя. Главный недостаток данного преобразователя – потребление импульсного тока, которое приводит к генерации высших гармонических составляющих. Для решения проблемы применяются корректоры коэффициента мощности (ККМ), формирующие активный синусоидальный ток потребления за счет использования дроссели и транзисторного преобразователя. Однако из-за использования входного диодного моста в большинстве ККМ не выполняется условие наличия общей нейтрали сети и нагрузки. Поэтому появился отдельный тип устройств, названный безмостовыми выпрямителями, у которого отсутствует входной диодный мост. На основе анализа безмостовых выпрямителей были выделены их преимущества и недостатки, а также предложено новое схемотехническое решение, получившее название двухканальный безмостовой выпрямитель.

Ключевые слова: безмостовые выпрямители, инвертирующий преобразователь, корректоры коэффициента мощности, однофазные выпрямители, синусоидальный потребляемый ток.

1. Введение

В силу ограничений однофазных мостовых выпрямителей был выделен отдельный класс устройств, обозначенный как корректоры коэффициента мощности, в рамках которых, в свою очередь, обозначен подкласс безмостовых выпрямителей. Данные преобразователи позволяют сформировать синусоидальный потребляемый ток и имеют общую нейтраль сети и нагрузки, которая требуется в ряде устройств, например, выпрямители двигателей постоянного тока и аккумуляторных батарей с напряжением

свыше 100 В. Условие общей нейтрали важно с точки зрения электробезопасности, поскольку даже при небольшом выходном напряжении, человек, работающий с данным электрооборудованием, может оказаться под ненулевым потенциалом, что приводит к травмам или летальному исходу.

Одним из схемотехнических решений безмостового выпрямителя является преобразователь, представленный на рис. 1 и позволяющий связать общий провод сети и общий провод нагрузки [1-3]. Помимо основных преимуществ, устройство обеспечивает переключение при нулевом токе и нулевом напряжении, что позволяет минимизировать динамические потери, но из-за использования резонансного контура, образованного элементами $C1$ и $L2$, увеличиваются активные потери, у устройства отсутствует диодный мост, что позволяет немного уменьшить активные потери и снизить количество полупроводниковых элементов.

К недостаткам данного преобразователя можно отнести ограниченность его использование только на большой частоте и требование использование ШИМ совместно с ЧИМ, что усложняет систему управления [4]. Недостатком также является использование обратных диодов, интегрированных в корпус транзистора, различие алгоритмов работы и реактивных цепей по которым протекает ток при отрицательном и положительном полупериодах питающей сети.

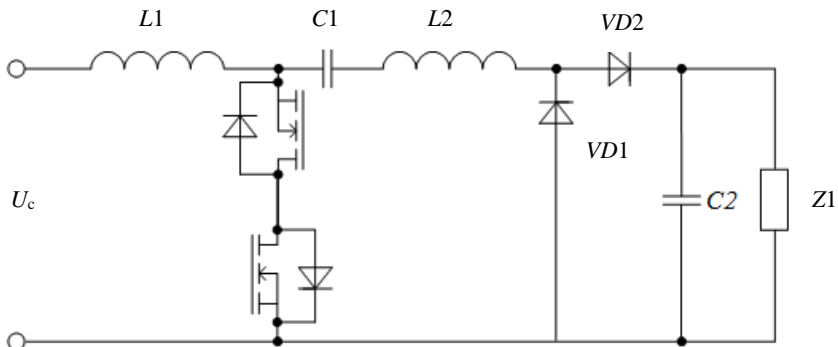


Рис. 1. Безмостовое устройство, формирующее синусоидальный активный ток потребления

Другой схемотехнической реализацией безмостового устройства, формирующего синусоидальный активный ток потребления, является преобразователь «Однофазный безмостовой корректор коэффициента мощности» [5]. Он представлен на рис. 2. Представленная схема позволяет получить на выходе любой уровень напряжения (от нуля до бесконечности),

содержит инвертирующий и повышающе-понижающий преобразователи с общим накопительным дросселем и выходным емкостным фильтром.

Принцип работы устройства заключается в следующем. На положительном полупериоде при одновременно открытых транзисторах $VT1$ и $VT2$ энергия запасается в индуктивном накопителе $L1$. Ток протекает по контуру от фазы сети к нейтрали по следующему контура: фаза сети – диод $VD1$ – транзистор $VT1$ – индуктивный накопитель $L1$ – транзистор $VT2$ – диод $VD4$ – нейтраль сети. При выключении транзисторов $VT1$ и $VT2$ накопленная энергия передается в нагрузку по цепи: нейтраль сети – диод $VD3$ – индуктивный накопитель $L1$ – диод $VD5$ – конденсатор фильтра $C1$. На отрицательном полупериоде накопление энергии в индуктивности $L1$ происходит при отпирации транзистора $VT2$. Ток протекает по контуру: нейтраль сети – диод $VD5$ – индуктивный накопитель $L1$ – транзистор $VT2$ – диод $VD2$ – фаза сети. При размыкании транзистора $VT2$ энергия передается в нагрузку по цепи: нейтраль сети – диод $VD3$ – индуктивный накопитель $L1$ – диод $VD5$ – конденсатор фильтра $C1$.

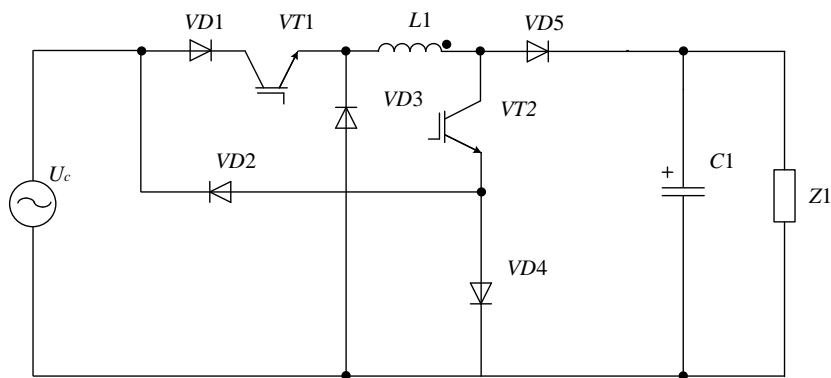


Рис. 2. Однофазный безмостовой корректор коэффициента мощности

В данной схеме сохраняется общая нейтраль сети и нагрузки. К достоинствам схемы можно отнести отсутствие резонансных контуров, алгоритм управления в отрицательный и положительный полупериоды одинаковый, использование общего индуктивного накопителя. К недостаткам схемы относится большое количество последовательно соединенных полупроводниковых элементов, что увеличивает статические и динамические потери в преобразователе.

Схема сетевого выпрямителя с корректором коэффициента мощности представлена на рис. 3 [6]. Данная схема содержит полумостовой инвертор напряжения, индуктивные накопители и цепи коммутации. Преоб-

разователь позволяет формировать синусоидальный активный ток потребления, получая на выходе двухполярное выпрямленное напряжение.

Принцип работы сетевого выпрямителя с корректором коэффициента мощности аналогичен активному выпрямителю на базе полумостового инвертора напряжения. Поскольку в сетевом выпрямителе с корректором коэффициента мощности на выходе установлены две емкости с общей точкой, связанной с нейтралью сети, схема упрощается из-за отсутствия обратных диодов. В то же время из-за добавления коммутационных элементов происходит усложнение.

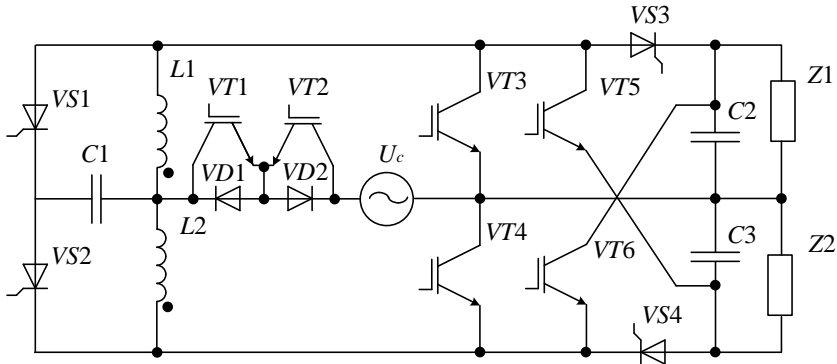


Рис. 3. Сетевой выпрямитель с корректором коэффициента мощности

К недостаткам схемы можно отнести излишнее количество полупроводниковых элементов; также данная схема при работе на однополярную нагрузку не имеет общую нейтраль.

II. Предложенные схемотехнические решения

Другим вариантом безмостового выпрямителя является схема безмостового устройства, формирующего синусоидальный активный ток потребления, на базе понижающего и инвертирующего преобразователей. Она представлена на рис. 4.

Преобразователь содержит 2 транзистора ($VT1$, $VT2$), 2 диода ($VD1$, $VD2$), 2 катушки индуктивности ($L1$, $L2$), емкостной фильтр ($C1$) и нагрузку ($Z1$). В состав схемы входят понижающий и инвертирующий преобразователи с общим выходным фильтром. Понижающий сформирован транзистором $VT1$, дросселем $L1$, диодом $VD1$, и работает в положительный полупериод питающей сети. Инвертирующий преобразователь сформирован транзистором $VT2$, дросселем $L2$, диодом $VD2$, и работает в отрицательный полупериод питающей сети. Оба преобразователя работают на общую нагрузку $Z1$ и емкостной фильтр $C1$. Входное напряжение сети обозначено буквой U_c .

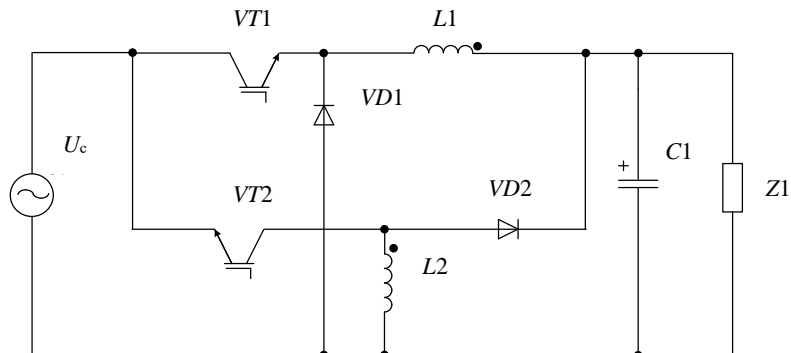


Рис. 4. Безмостовое устройство, формирующее синусоидальный активный ток потребления, на базе понижающего и инвертирующего преобразователей

При соответствующих алгоритмах управления преобразователь будет потреблять из сети активный синусоидальный ток и формировать на выходе постоянное напряжение, однако значения выходных напряжений находятся в диапазоне от нуля до среднего значения напряжения сети. Данное ограничение связано с тем, что используется понижающий преобразователь. Поскольку коэффициенты передачи преобразования по напряжению в различные полупериоды отличаются, отличаться будут и алгоритмы, что в свою очередь усложнит систему управления.

Схема безмостового устройства, формирующего синусоидальный активный ток потребления, на базе повышающего и инвертирующего преобразователей представлена на рис. 5. Преобразователь содержит 2 транзистора ($VT1$, $VT2$), 2 диода ($VD1$, $VD2$), 2 катушки индуктивности ($L1$, $L2$), емкостной фильтр ($C1$) и нагрузку ($Z1$). В состав схемы входят повышающий и инвертирующий преобразователи с общим выходным фильтром. Повышающий преобразователь сформирован транзистором $VT1$, дросселем $L1$, диодом $VD1$, и работает в положительный полупериод питающей сети. Инвертирующий преобразователь сформирован транзистором $VT2$, дросселем $L2$, диодом $VD2$, и работает в отрицательный полупериод питающей сети. Оба преобразователя работают на общую нагрузку $Z1$ и емкостной фильтр $C1$. Входное напряжение сети обозначено буквой U_c .

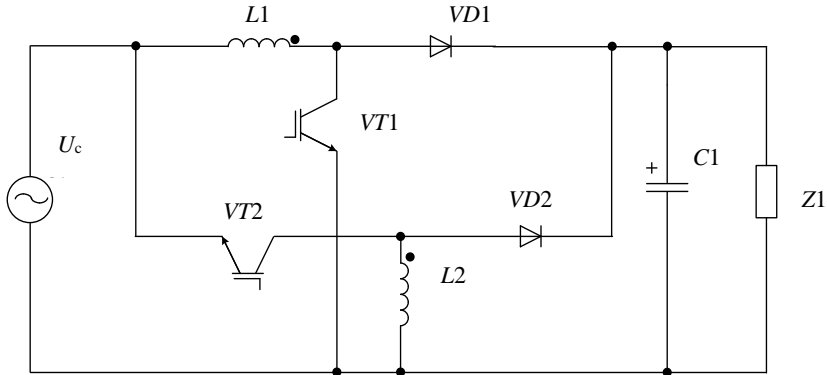


Рис. 5. Безмостовое устройство, формирующее синусоидальный активный ток потребления, на базе повышающего и инвертирующего преобразователей

При соответствующих алгоритмах управления преобразователь будет потреблять из сети активный синусоидальный ток и формировать на выходе постоянное напряжение. Значения выходных напряжений преобразователя находятся в диапазоне от нуля до бесконечности, однако, из-за использования повышающего преобразователя, минимальные пульсации выходного напряжения при выходном напряжении будут в диапазоне от среднего значения напряжения питания до бесконечности. Поскольку коэффициенты передачи преобразования по напряжению в различные полупериоды отличаются, отличаться будут и алгоритмы, что усложнит систему управления.

Последним рассмотренным вариантом безмостового выпрямителя является схема безмостового устройства, формирующего синусоидальный активный ток потребления, на базе двух инвертирующих преобразователей. Она представлена на рис. 6 [7]. Предложенная схема содержит 3 транзистора ($VT1$, $VT2$, $VT3$), 3 диода ($VD1$, $VD2$, $VD3$), 2 катушки индуктивности ($L1$, $L2$), емкостной фильтр ($C1$) и нагрузку. В состав схемы входят два инвертирующих преобразователя с общим выходным фильтром. Первый сформирован транзисторами $VT1$ и $VT3$, дросселем $L1$, диодами $VD1$ и $VD2$, и работает в положительный полупериод питающей сети. Второй сформирован транзистором $VT2$, дросселем $L2$, диодом $VD3$, и работает в отрицательный полупериод питающей сети. Оба преобразователя работают на общие нагрузку $Z1$ и емкостной фильтр $C1$. Входное напряжение сети обозначено буквой U_c .

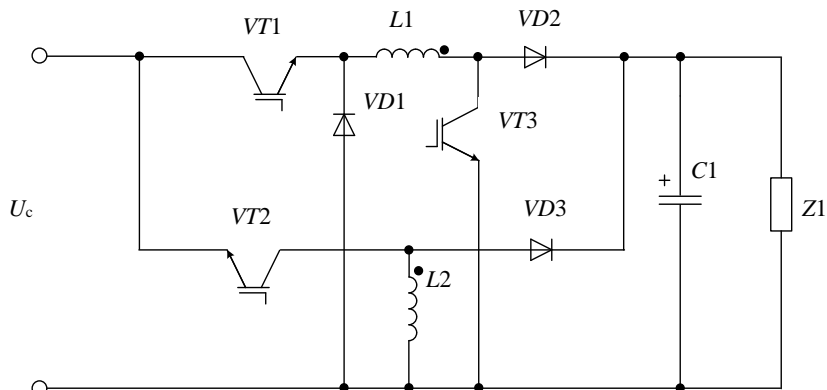


Рис. 6. Безмостовое устройство, формирующее синусоидальный активный ток потребления, на базе двух инвертирующих преобразователей

Значения выходных напряжений преобразователя находятся в диапазоне от нуля до бесконечности. Алгоритмы в различные полупериоды одинаковы, поскольку используется одинаковый тип преобразователей. К недостаткам, по сравнению с предыдущими схемами, можно отнести большее количество полупроводниковых элементов. Тем не менее, данная схема имеет больше преимуществ, чем недостатков. Предложенная схема получила название двухканальной безмостовой выпрямитель.

Были выделены основные критерии оценки безмостовых выпрямителей: общая нейтраль сети и нагрузки; минимизация активных потерь; потребление синусоидального тока; минимизация динамических потерь; простота алгоритмов управления; минимизация количества одновременно работающих полупроводниковых приборов. В табл. 1 приведены результаты сравнительного анализа безмостовых выпрямителей. Цифрами от 1 до 6 обозначены схемы, представленные на рис. 1-6.

Таблица 1.
Сравнительный анализ безмостовых выпрямителей

Критерии	Схема	1	2	3	4	5	6
Общая нейтраль		+	+	+	+	+	+
Минимизация активных потерь		-	+	-	+	+	+
Потребление синусоидального тока		+	+	+	+	+	+
Минимизация динамических потерь		+	-	-	-	-	-
Простота алгоритмов управления		-	+	-	-	-	+
Минимизация количества одновременно работающих полупроводниковых приборов		-	-	+	+	+	+

III. Заключение

Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать вывод, что максимальное количество преимуществ имеет схема двухканального безмостового выпрямителя. Единственным недостатком является отсутствие минимизации динамических потерь, однако данная проблема может быть решена при помощи добавления реактивных элементов для режима мягкого переключения.

© Алешин Д.А., 2019

© Вихорев Н.Н., 2019

Библиографический список

- [1] Кук С. Безмостовой преобразователь корректора коэффициента мощности с КПД до 98 % и КМ 0,999 // Электронные компоненты. 2010. № 8. С. 45-50.
- [2] Кук С. Безмостовой ККМ-преобразователь с КПД выше 98% и коэффициентом мощности 0,999. Часть 2 // Электронные компоненты. 2010. № 11. С. 46-52.
- [3] Кук С. Безмостовой ККМ-преобразователь с КПД выше 98% и коэффициентом мощности 0,999. Часть 3 // Электронные компоненты. 2011. № 2. С. 48-57.
- [4] Fardoun A.A., Ismail E.H., Al-Saffar M.A., Sabzali A.J. A bridgeless resonant pseudoboost PFC rectifier // IEEE Transactions on Power Electronics. 2014. № 29 (11). P. 5949-5960.
- [5] Дроздецкий С.В., Кругликов И.А., Ширияев А.О., Якименко И.В. Однофазный безмостовой корректор коэффициента мощности, Пат. 2541910 РФ, заявл. 30.12.13; опубл. 20.02.15. – Бюл. №5.
- [6] Резников С.Б., Бочаров В.В., Харченко И.А., Смирнов В.Н. Сетевой выпрямитель с корректором коэффициента мощности, Пат. 143860 РФ, заявл. 20.03.14; опубл. 10.08.14. – Бюл. №22.
- [7] Чивенков А.И., Вихорев Н.Н., Алешин Д.А. Безмостовой корректор коэффициента мощности, Пат. 189902 РФ, заявл. 14.03.19; опубл. 11.06.19. – Бюл. №17.

D.A. Aleshin, N.N. Vikhorev

TWO-CHANNEL BRIDGELESS RECTIFIER

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Devices called rectifiers are used to convert alternating voltage to direct voltage. The simplest circuit design of a single-phase rectifier is a bridge with a capacitive filter. These devices are widely used in office devices, low-power galvanic installations and battery chargers. The main disadvantage of this converter is the consumption of pulsed current, which leads to the generation of higher harmonic components. To

solve this problem, power factor correctors (PFC) are used, which form an active sinusoidal current consumption through the use with chokes and a transistor converter. However, due to the use of an input diode bridge in most PFC, the condition for the presence of a common network and load neutral is not fulfilled. Therefore, a separate type of device appeared, called bridgeless rectifiers, which does not have an input diode bridge. Based on the analysis of bridgeless rectifiers, their advantages and disadvantages have been highlighted, as well as a new circuit solution, called a two-channel bridgeless rectifier, has been proposed.

Keywords: active sinusoidal current, bridgeless rectifiers, inverting converter, power factor correctors, single-phase rectifiers.

References

- [1] S. Cuk, «Bezmostovoj preobrazovatel' korrekтора koefficienta moshchnosti s KPD do 98% i KM 0,999 (Bridgeless power factor corrector converter with efficiency up to 98% and CP 0,999)», *Electronic components*, vol. 8, pp. 45-50, 2010 (in Russian).
 - [2] S. Cuk, «Bezmostovoj KKM-preobrazovatel' s KPD vyshe 98% i koeffitsientom moshchnosti 0,999. Chast' 2 (Bridgeless power factor corrector converter with efficiency above 98% and power factor 0,999. Part 2)», *Electronic components*, vol. 11, pp. 46-52, 2010 (in Russian).
 - [3] S. Cuk, «Bezmostovoj KKM-preobrazovatel' s KPD vyshe 98% i koeffitsientom moshchnosti 0,999. Chast' 3 (Bridgeless power factor corrector converter with efficiency above 98% and power factor 0,999. Part 3)», *Electronic components*, vol. 2, pp. 48-57, 2011 (in Russian).
 - [4] A.A. Fardoun, E.H. Ismail, M.A. Al-Saffar and A.J. Sabzali, «A bridgeless resonant pseudoboost PFC rectifier», *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29 (11), pp. 5949-5960, Nov. 2014.
 - [5] S.V. Drozdetsky, I.A. Kruglikov, A.O. Shiryaev and I.V. Yakimenko, «Odnofaznyj bezmostovoj korrektor koefficienta moshchnosti (A single phase bridgeless power factor corrector)», R.F. Patent 2541910, Feb. 20, 2015 (in Russian).
 - [6] S.B. Reznikov, V.V. Bocharov, I.A. Kharchenko and V.N. Smirnov, «Setevoy vypriami-tel' s korrektorom koeffitsiyenta moshchnosti (Mains rectifier with power factor corrector)», R.F. Patent 143860, Aug. 10, 2014 (in Russian).
- A.I. Chivenkov, N.N. Vikhorev and D.A. Aleshin, «Bezmostovoj korrektor koefficienta moshchnosti (A bridgeless power factor corrector)», R.F. Patent 189902, Jun. 11, 2019 (in Russian).