

ПОЛНОМОСТОВОЙ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

Рассматривается схема реализации полномостового DC-DC преобразователя. Предлагается решение на основе фазового сдвига.

ВВЕДЕНИЕ

Фазовый сдвиг в схеме полного моста играет ключевую роль в обеспечении эффективной и надёжной работы мощных DC-DC преобразователей. Основная задача, которую он решает — реализация переключения при нулевом напряжении, позволяющая существенно снизить потери, возникающие в процессе коммутации МОП транзисторов, особенно при высоких частотах, что позволяет получать высокий КПД при передаче энергии с высоковольтной шины на низковольтную. Схема преобразователя с фазовым сдвигом предоставлена на рисунке 1.

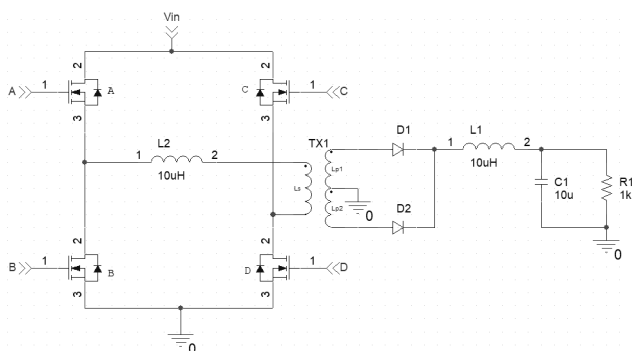


Рис. 1 – Схема PSFB преобразователя

I. ФАЗОВЫЙ СДВИГ

За счёт контролируемого сдвига между управляющими сигналами двух плеч моста создаются условия, при которых энергия, накопленная в паразитной индуктивности (например, рассеянной индуктивности трансформатора), используется для разряда выходной ёмкости выключающегося ключа и зарядки включающегося, тем самым обеспечивая его включение при практически нулевом напряжении. Это не только снижает тепловые потери и улучшает электромагнитную совместимость, но и позволяет работать на более высоких частотах, уменьшая размеры пассивных компонентов и повышая удельную плотность мощности.

Кроме того, фазовый сдвиг позволяет плавно и точно регулировать выходную мощность, делая данную топологию устойчивой и эффективной при разных уровнях нагрузки.

На рисунке 2 показаны управляющие ключами сигналы и их временные смещения относительно друг друга. На рисунке приняты обозначения: T — период управляющего импульса, U_x — напряжение на управляющем контакте соответствующего ключа. Штриховые линии на разных сигналах в один

отрезок времени говорят о передаче энергии в этот отрезок.

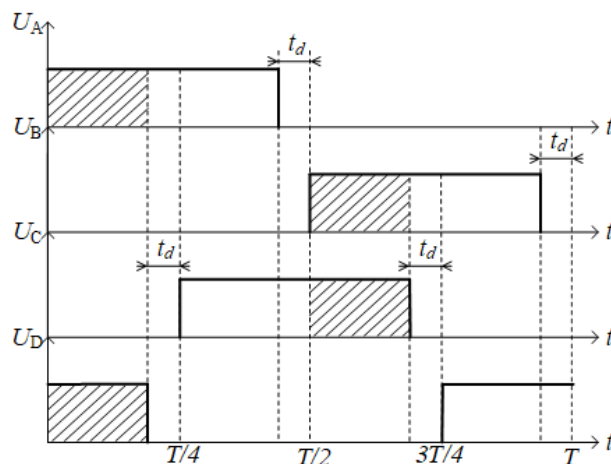


Рис. 2 – Формы сигнала, управляющего ключами

II. УПРАВЛЕНИЕ ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

В качестве управляемых ключей используются МОП транзисторы, которые формируют полный мост на стороне первичной обмотки. Диоды D1 и D2 обеспечивают двухполупериодное выпрямление в цепи вторичной обмотки трансформатора, в то время как индуктивность L1 и конденсатор C1 формируют выходной фильтр. Индуктивность L2 помогает утечке индуктивности трансформатора создать резонанс с паразитной ёмкостью МОП-транзисторов, что способствует работе в режиме коммутации при нулевом напряжении.

Транзисторы A и B относительно друг друга управляются сигналом, сдвинутым на 180 градусов, с коэффициентом заполнения импульсов близким к 50 процентам. Поскольку достичь моментального закрытия/открытия транзисторов не возможно, происходит уменьшение коэффициента заполнения на величину t_d , называемым мёртвым временем. Мёртвое время определяется как сумма времён открытия и закрытия ключа. Транзисторы C и D задаются тем же коэффициентом заполнения импульсов и также сдвинуты на 180 градусов.

ШИМ-сигналы управления для плеча A-B сдвинуты по фазе относительно плеча C-D. Величина этого фазового сдвига определяет степень перекрытия работы диагональных ключей, что, в свою очередь, определяет объём передаваемой энергии.

Передача энергии происходит когда открыты транзисторы A и D или B и C. В моменты времени,

когда открыты транзисторы А и С или В и D происходит упомянутый разряд паразитных емкостей.

III. СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ

На рисунке 1 использована двухполупериодная схема выпрямления на диодах. В свою очередь при необходимости получить на выходе схемы достаточно низкое стабильное напряжение, его падение на диодах может стать критичным. Не стоит забывать и про нагрев диодов.

Для уменьшения потерь в цепи выпрямления следует использовать управляемые ключи вместо неуправляемых. Предлагается использовать МОП транзисторы. В такой конфигурации к каждому транзистору добавляется дроссель, которые вместе с выходной ёмкостью образуют сглаживающий фильтр для подавления помех при работе трансформатора. Синхронное управление ключами позволяет в моменты поочерёдной работы катушек разряжать не используемую и тем самым обеспечивает стабильное подавление помех.

IV. ИСТОЧНИК УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

Одной из основных проблем такого преобразователя является управление ключами как силового моста, так и выпрямительной схемы. Из описания работы силовых ключей видно, что сигналы управления сложно объединить между собой. Увеличивать количество контроллеров не рационально, а значит надо находить другое решение данной проблемы. Задача решается применением микросхемы LM5046. Данный ШИМ-контроллер позволяет одновременно управлять всеми ключами, кроме того имеет дополнительный ряд функций. Среди таких функций можно выделить: плавный пуск, стабилизация по току и напряжению, контроль колебаний питающего и входного напряжения преобразователя, защита от скачков напряжения питания, регулировка частоты открытия/закрытия как силовых, так и выпрямительных ключей.

V. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ

При изучении работы преобразователя основное внимание уделялось следующим параметрам:

Ламака Евгений Александрович, студент кафедры теоретических основ электротехники БГУИР, lamaka.evgeny@yandex.ru.

Лешиж Захар Иванович, студент кафедры теоретических основ электротехники БГУИР, lpgl2014g@gmail.com.

Научный руководитель: Журавлёв Вадим Игоревич, заведующий кафедрой, кандидат технических наук, vadzh@bsuir.by.

напряжения на вторичной обмотке трансформатора, ток дросселя L1, пульсации в нагрузке, рассеиваемая мощность силовыми и выпрямительными ключами.

При снятии значений с коэффициентом заполнения импульсов 0,47, нагрузке 4 Ом, требуемом выходном напряжении 12 В и токе 3 А, был получен вид напряжения на вторичной обмотке трансформатора, изображённый на рисунке 3.

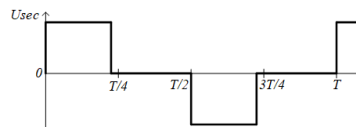


Рис. 3 – Формы сигнала на вторичной обмотке трансформатора при 47% заполнения

В моменты времени, когда напряжение на вторичной обмотке не равно нулю, происходит передача энергии в нагрузку. График тока дросселя имеет пилообразный вид с пиковыми значениями 3,057 и 2,864 соответственно. Размах пульсаций в нагрузке оказался около 0,7 В. На силовых ключах в среднем рассеивается 17 Вт на каждом, а на выпрямительных около 1 Вт суммарно.

VI. ВЫВОДЫ

Предлагаемая топология DC-DC преобразователя хорошо подходит для получения больших мощностей и сокращает потери на ключах в процессе их коммутации. Это позволяет использовать данный преобразователь при передаче энергии с высоковольтной шины на низковольтную.

Список литературы

1. Phase-Shifted Full Bridge DC/DC Power Converter Design Guide / Texas Instruments // Texas Instruments Incorporated . – 2015.
2. Design of Phase Shifted Full-Bridge Converter with Current Doubler Rectifier / Sam Abdel-Rahman // Infineon Technologies North America (IFNA) Corp. – 2013.
3. LM5046 Phase-Shifted Full-Bridge PWM Controller With Integrated MOSFET Drivers / Texas Instruments // Texas Instruments Incorporated – 2024.