

УДК 541.64:547.759.32

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПЕРЕМЕННОЕ С СИММЕТРИЧНЫМ РЕЖИМОМ НАМАГНИЧИВАНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

А.В. Кривоносенко, Д.А. Кривоносенко

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

E-mail: kav@iae.hcei.tsc.ru

Описан преобразователь постоянного напряжения в переменное одноконтурный по входу и двухконтурный по выходу с симметричным режимом намагничивания магнитопровода выходного трансформатора. Мощность преобразователя 500 Вт, выходное напряжение 5 кВ, частота преобразования регулируется в диапазоне от 3 до 30 кГц, питающая сеть 230 В, 50 Гц, объем 3 дм³.

Ключевые слова:

Преобразователь, энергосбережение, регулируемая частота.

Key words:

Converter, energy saving, control frequency.

Потребление электрической энергии промышленной системы энергоснабжения в преобразованном виде, которое осуществляется на повышенной частоте, приводит к значительной экономии материальных и энергетических ресурсов, поскольку уменьшается вес, габариты электромагнитных компонентов и повышается КПД процесса преобразования.

Широко применяемые и распространенные двухконтурные мостовые и полумостовые преобразователи имеют сложные системы управления, контроля, защиты ключей, обеспечивающие симметричное намагничивание магнитопровода выходного трансформатора, исключающие сквозные токи в ключах, защиту от токов короткого замыкания нагрузки, защиту от перенапряжений на ключах.

Одно из направлений повышения надежности и уменьшения стоимости преобразователей связано с сокращением количества ключей в преобразователе и упрощения системы управления и контроля.

В [1] описан преобразователь одноконтурный по входу и двухконтурный по выходу, в котором выходной трансформатор работает на полной магнитной индукции, как в двухконтурных преобразователях, исключены сквозные токи в ключе — достоинство

одноконтурных преобразователей. Простая система управления, выполненная на одной микросхеме, обеспечивает защиту преобразователя от короткого замыкания нагрузки и запуск преобразователя без использования отдельного источника питания. Однако в описанном преобразователе возникают значительные, более 700 В, напряжения на ключе.

В данной статье описан преобразователь одноконтурный по входу и двухконтурный по выходу, сочетающий достоинства одноконтурного преобразователя — отсутствие сквозных токов, и симметричный режим намагничивания магнитопровода выходного трансформатора — достоинство двухконтурных преобразователей [2]. Электрическая схема преобразователя приведена на рис. 1.

Схема управления затвором транзистора А1 выполнена на основе драйвера М1 аналогично, как в балластах питания люминесцентных газоразрядных ламп [3].

Работа преобразователя осуществляется следующим образом. При подключении преобразователя к сети осуществляется заряд конденсатора фильтра через выпрямитель и заряд разделительных конденсаторов С1, С2 до напряжения источника U, при этом током заряда разделительных

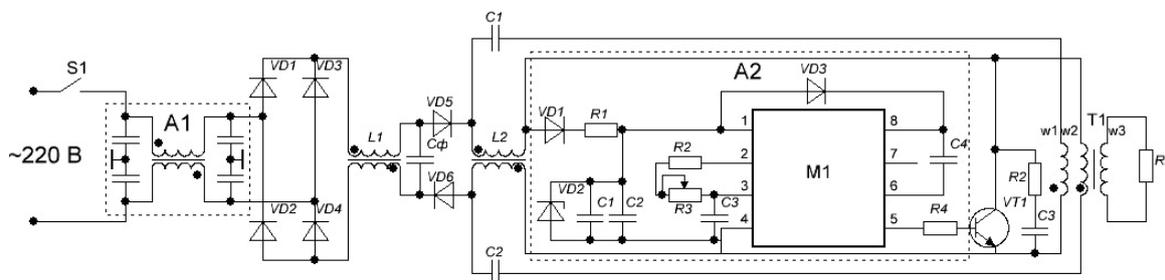


Рис. 1. Электрическая схема преобразователя. А1 — сетевой помехоподавляющий фильтр В84115-Е-В30; VD1-VD4 — мост IR КВРС608, R2 — 47 Ом, C1, C2 — МБГО-2 20 мкФ ±10 %, 400 В, C3 — 0,003 нФ, L1 — Д273, VD1, VD2 — КД213А, L2 — Д356, R4* = 125 Ом, T1 — трансформатор на О-образном магнитопроводе из ленты 2НСР сечением 4 см², обмотки w1 = w2 = 40 витков провода ПВ4 1,5 мм², w3 = 1600 витков провода МГТФ 0,15 мм², VT1 — IR J4PH50UD; А2 — плата управления транзистора: M1 — JR 2155, C1 — К50-6-25В 50 мкФ, C2, C4 — КМ 0,1 мкФ, C3 — КМ 2,2 нФ, R1 — 90 кОм, R2 — 100 кОм, R3 — 10 кОм, R4 — 22 Ом, VD2 — КС508Г

конденсаторов С1, С2 намагничивается магнитопровод выходного трансформатора Т1. Включается схема управления, которая выдает управляющие импульсы со скважностью $D=2$ с заданной частотой f на затвор транзистора VT. Через несколько периодов в дросселе L2 устанавливается среднее значение тока $I_{д.ср} = U/R_n^*$, где R_n^* – приведенное сопротивление нагрузки к первичной обмотке трансформатора.

При открывании транзистора, разделительные конденсаторы С1, С2 включаются относительно источника последовательно, их суммарное напряжение превышает напряжение источника, диоды VD1, VD2 закрываются и источник E отключается от преобразователя. Конденсаторы разряжаются, например С1, по цепи: положительный вывод конденсатора, обмотка дросселя L2, транзистор, нагрузка, отрицательный вывод конденсатора, формируя на нагрузке импульс одной полярности. При разряде разделительных конденсаторов ток в обмотках дросселя нарастает увеличивая запас энергии в дросселе. При закрывании транзистора, ток дросселя, потребляемый от источника E, переключается на заряд разделительных конденсаторов, и протекая по обмоткам трансформатора в обратную сторону формирует на нагрузке напряжение другой полярности. На закрытый транзистор действует напряжение

$$U_{vt} = U + L \frac{di}{dt} = U + U = 2U$$

при резистивной согласованной нагрузке.

При работе преобразователя на резистивную нагрузку, разделенную на две и подключенные взамен секций входной обмотки трансформатора, диоды VD1, VD2 можно исключить из схемы. Осциллограммы тока в дросселе и напряжение на транзисторе в преобразователе при работе на резистивную нагрузку приведены на рис. 2.

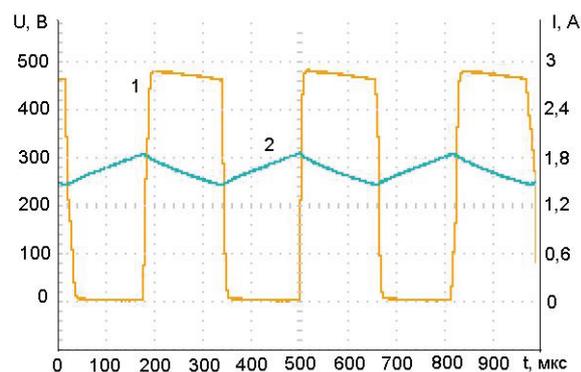


Рис. 2. Осциллограммы: 1) напряжение на транзисторе; 2) ток в обмотке дросселя, $f=3$ кГц, $R_n=125$ Ом

Напряжение на элементах измерялось штатным пробником к осциллографу TDS2012B, а токи в цепях на резистивном шунте сопротивлением 0,3 Ом, собранном из резисторов ТВО-0,125-1,5 Ом. (При измерении токов и напряжений в преобразователе его питание осуществлялось через разделительный трансформатор). Из рис. 2 следует, что при откры-

тии транзистора ток в дросселе нарастает, а при закрывании – снижается.

При работе преобразователя на нагрузку через трансформатор наличие диодов VD5, VD6 обязательно, поскольку их отсутствие затягивает фронт импульса напряжения на нагрузке, т. к. для тока разряда разделительных конденсаторов появляется дополнительная цепь через фильтр C_ϕ .

Таким образом, через разделительные конденсаторы протекает переменная составляющая тока, величина которой за период при установившемся режиме работы нагрузки за период равна нулю (рис. 2), этим самым обеспечивается симметричное намагничивание магнитопровода трансформатора.

Особенностью работы преобразователя является отсутствие всплесков тока и напряжения на транзисторе при его закрывании и открывании, поскольку согласно законам коммутации, наличие индуктивности дросселя в цепи протекания тока исключает всплески тока при его коммутации, а наличие конденсатора в цепи протекания тока при его коммутации исключает всплеск напряжения.

Для обеспечения одинаковых форм положительной и отрицательной волн напряжения на нагрузке необходимо выполнить условия по равенству постоянных цепей разряда конденсаторов С1, С2 и индуктивности дросселя L на нагрузку:

$$R_n^* C = L / R_n^*, \quad (*)$$

где R_n^* – приведенное к первичной обмотке трансформатора сопротивление нагрузки преобразователя; С – величина емкости первого и второго конденсаторов $C1=C2=C$; L – индуктивность дросселя.

Сами значения величин С и L выбираются из величины нагрузки и величины спада напряжения (тока) на сопротивлении нагрузки за время действия импульса:

$$C > (t_n U) / (R_n^* \Delta U), \quad L > (t_n R_n^*) / \Delta I,$$

где ΔU , ΔI – допустимые величины спада напряжения и тока за длительность импульса $t_n = 1/2f$, где t_n – длительность импульса; f – частота преобразования.

Из (*) следует, что:

$$C > (t_n U) / (R_n^* \Delta U),$$

где ρ – волновое сопротивление силового контура преобразователя. При выполнении условия (*) обеспечивается максимальная мощность преобразователя, которая следует из анализа энергетических характеристик RLC контура, рассмотренных, например, в [4].

По предложенной схеме изготовлен преобразователь мощностью 500 Вт с регулированием частоты преобразования в диапазоне от 3 до 30 кГц.

Осциллограммы напряжения на транзисторе и тока конденсатора при приведенной нагрузке

125 Ом (набор резисторов ТВО-60) при частоте 30 кГц приведены на рис. 3

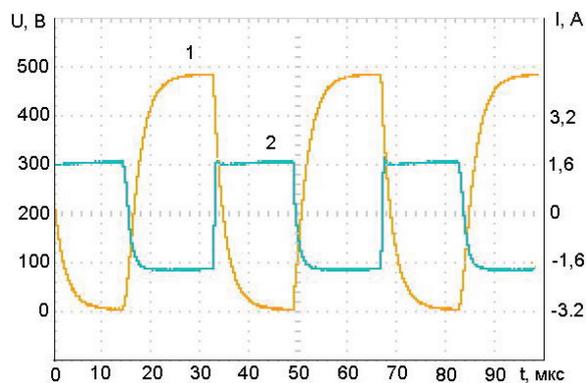


Рис. 3. Осциллограммы: 1) напряжение на транзисторе; 2) ток конденсатора, $f=30$ кГц

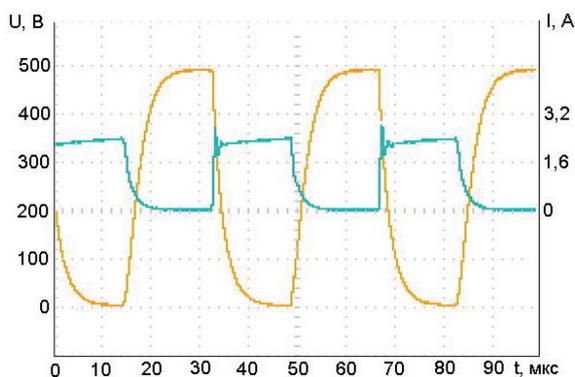


Рис. 4. Осциллограммы: 1) напряжение на транзисторе; 2) ток транзистора, при работе на трансформаторе, $f=30$ кГц

На рис. 4 приведены осциллограммы напряжения на транзисторе и ток через него при работе на

трансформатор и, соответственно, на рис. 5 напряжение на транзисторе и на нагрузке.

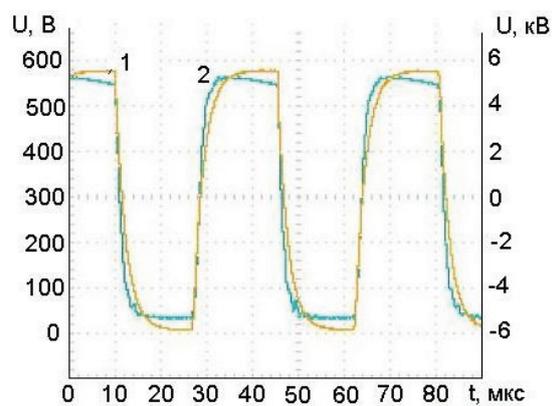


Рис. 5. Осциллограммы: 1) напряжение на транзисторе; 2) напряжение на нагрузке, при работе на трансформатор

При эксплуатации преобразователя установлено, что он устойчиво работает от питающей сети 230 В, 50 Гц с заданной мощностью 500 Вт при изменении частоты преобразования в диапазоне от 3 до 30 кГц, обеспечивая выходное напряжение 5 кВ.

Выводы

Описан преобразователь одноконтурный по входу и двухконтурный по выходу преобразователь постоянного напряжения в переменное с симметричным режимом намагничивания магнитопровода выходного трансформатора, силовой контур которого содержит один ключ. Приведены соотношения по выбору параметров элементов схемы преобразователя. Экспериментально подтверждены заявленные свойства преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багинский Б.А., Макаревич В.Р. Малогабаритный сетевой источник питания // Приборы и техника эксперимента. – 1989. – № 6. – С. 116–118.
2. Преобразователь: пат. 2260894 Рос. Федерация. № 2003135191/09; заявл. 03.12.03; опубл. 20.09.05, Бюл. № 26. – 5 с.
3. Peter N., Wood A.N. Применение экономичного драйвера JR 2155 в электронных балластах // В кн.: Силовые полупровод-

4. Каляцкий И.И., Семкин Б.М., Халилов Д.Д. Электрофизическая аппаратура и электрическая изоляция. – М.: Энергия, 1970. – 242 с.

Поступила 12.02.2010 г.