

Литература

1. Hirschenhofer J.H., Stauffer D.B., Engleman R.R., Klett M.G. Fuel Cell Handbook / 7th edition, Nov 2004 for US DOE
2. Fontes G., Turpin C., Astier S., Meynard T.A. Interactions Between Fuel Cells and Power Converters: Influence of Current Harmonics on a Fuel Cell Stack // IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 2, pp. 670–678, March. 2007.
3. H-100 Fuel Cell Stack User Manual V4.3 (Updated 16 May 2011): <http://www.horizonfuelcell.com/UserManual/H-Series/H-100.pdf>.
4. McCarty M.J. Determining the Optimum Operating Parameters of Unipolar PWM Inverter / 2010. 69 p.
5. Дмитриков В.Ф., Кобелянский А.Е., Самылин И.Н., Шушпанов Д.В. Анализ однофазного инвертора напряжения с синусоидальной ШИМ при работе на линейную и нелинейную нагрузки // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2005. №172. С. 168-179.
6. Peng F.Z. Z-Source Inverter // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, No. 2, pp. 504-510, March/April 2003.
7. Thangaprakash S., Krishnan A. Comparative evaluation of modified pulse width modulation schemes of Z-source inverter for various applications and demands // International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 2, No. 1, 2010, pp. 103-115

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ С НИЗКИМ УРОВНЕМ КОММУТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

*Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор В.Ф. Дмитриков¹,
к.т.н., доцент Д.В. Шушпанов¹, студент Н.С. Щипанов¹*

(Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Dmitrikov_VF@mail.ru)

INVESTIGATION OF HF PULSE POWER SUPPLIES WITH LOW LEVEL OF SWITCHING LOSSES AND RADIO FREQUENCY NOISE

V.F. Dmitrikov, D.V. Shushpanov, N.S. Tshipanov

В современной экономике, как и в природе закономерен своеобразный круговорот. Ведь внутри страны и не только, все отрасли связаны. И повышение или наоборот снижение расходов в одной отрасли, ведёт к изменению цены конечного товара. Уменьшение же стоимости приводит к удовлетворенности населения, к росту спроса и соответственно прибыли. Какое же будет падение цены, если снизятся расходы на электричество? Как известно, любое производство зависит от этого ресурса. Об этом и пойдёт речь

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) предназначены для получения напряжения, необходимого для питания различных электронных устройств. Они образуют наиболее широкий класс транзисторных преобразователей. ИВЭП являются преобразователями электрической энергии и обеспечивают электрические параметры на выходе (выходах) требуемые потребителю.

Преобразование энергии не на промышленной частоте (50 Гц), а на высокой частоте (сотни килогерц – единицы мегагерц) позволяет в десятки – сотни раз снизить объем и массу реактивных фильтрующих устройств и согласующих трансформаторов, которые даже в современных импульсных ИП занимают до 50–70% габаритов и веса всей системы. Повышение частоты преобразования электрической энергии, определяемое частотой переключения транзисторов, в импульсных высокочастотных преобразователях напряжения (ВПН) требует соответствующего режима переключения транзисторов. Это обусловлено тем, что на частоте

тах коммутации десятки – сотни килогерц и выше всё более проявляется неидеальность ключевых свойств полупроводниковых приборов, что вызывает рост коммутационных потерь. Наличие паразитных емкостей и индуктивностей полупроводниковых приборов и монтажа, создающих паразитные высокочастотные контура, приводит к возникновению перенапряжений и высокочастотных колебаний при коммутации полупроводниковых приборов. Таким образом, применение импульсных ВПН, наряду с уменьшением массы и габаритов ИП, приводит к увеличению уровня электромагнитных помех (ЭМП), усугубляя (и без того сложную в современных условиях насыщенности радиоэлектронными средствами различных сфер деятельности человека) электромагнитную обстановку. Однако экономия стали, меди, электроэнергии, повышение надежности, быстродействия и т.д. настолько значительны, что импульсные ВПН применяются всё шире, частота преобразования электроэнергии продолжает увеличиваться. Но в тоже время проблема устранения ЭМП, создаваемых ВПН, проблема снижения в них коммутационных потерь становится актуальной.

Из существующих в настоящее время методов снижения ЭМП путем уменьшения или полного устранения ВЧ колебаний и снижения коммутационных потерь в транзисторах при их переключении [1–9] можно выделить:

- применение демпфирующих RCD или LCD цепей;
- использование резонансных ВПН с последовательным или параллельным резонансным контуром (РК);
- применение квазирезонансных ВПН или ВПН класса E с переключением транзисторов при нуле тока или нуле напряжения;
- использование ВПН с резонансным или «мягким» переключением.

Преобразователи напряжения, в которых РК работает только во время переключения транзисторов, называются ВПН с резонансным («мягким») переключением, а коммутация транзисторов происходит при нуле напряжения. Такие преобразователи позволяют сочетать низкие потери мощности при переключении транзисторов, характерные для резонансных и квазирезонансных структур, с экономичностью процесса передачи мощности преобразователей с ШИМ, поскольку в данном случае колебания напряжения и тока во время передачи мощности в нагрузку имеют прямоугольную форму. Так как время действия РК ограничено временами фронта тока и напряжения, то реактивная мощность их элементов невелика. Роль РК часто играют индуктивность рассеяния или намагничивания трансформатора совместно с выходной емкостью транзистора. В таких ВПН мощность коммутационных потерь, устраненная из транзистора, в отличие от использования демпфирующих RCD или LCD цепей, рекуперирована в источник питания. В данных преобразователях паразитные параметры элементов используются для снижения коммутационных потерь и ЭМП при переключении транзисторов.

ВПН с резонансным («мягким») переключением при использовании МДП-транзисторов работают с частотой переключения 100–500 кГц. В этом диапазоне частот достигается оптимальное соотношение между массой, габаритами, КПД, надежностью преобразователей и существенно снижается уровень ЭМП.

Таким образом, ВПН, использующие ШИМ с «мягким» (резонансным) переключением транзисторов, совмещают высокий коэффициент использования полупроводниковых и других элементов схемы по мощности с низкими коммутационными потерями и достаточными низким уровнем ЭМП. Они представляются наиболее перспективными для использования в импульсных источниках питания.

Был рассчитан DC/DC преобразователь с ШИМ переключением транзисторов при нуле напряжения мощностью 500 Вт, преобразующий входное напряжение 350 В в выходное 270 В. При частоте переключения транзисторов $f_T = 500$ кГц параметры сглаживающего фильтра, обеспечивающего пульсации выходного напряжения величиной 10 мВ, $L_\Phi = 500$ мкГн, $C_\Phi = 10$ мкФ, $R_H = 140$ Ом. Коэффициент трансформации $n = 0,8$. Переключение транзисторов при нуле напряжения происходит благодаря перезаряду емкости включае-

мого транзистора $C_{T2} = 300$ пФ током, протекающим в индуктивности рассеивания трансформатора $L_s = 20$ мкГн, и соответствующей задержки включения нижнего транзистора на время t_3 после выключения верхнего транзистора одной стойки. Для предотвращения намагничивания трансформатора включен конденсатор $C = 2$ мкФ.

Литература

1. Гудинав Ф. Уменьшение потерь в мощных импульсных источниках питания с помощью фазовой модуляции // *Электроника*. 1991. № 8. С. 17 – 21.
2. Лукин А.В., Макаров В.В., Герасимов А.А. Основы проектирования высокочастотных резонансных преобразователей // *Отраслевой семинар «Импульсные ИВЭ. Состояние и перспективы развития»*: Тез. докл. – М.: ЦОТИ «Экос», 1989. С. 1 – 25.
3. Лукин А.В., Макаров В.В., Ненахов С.М. Резонансные преобразователи напряжения // *Подсекция «Научные проблемы источников вторичного электропитания» Научного Совета АН СССР*: Тез. докл. – М., 1986.
4. Мелешин В.И., Новинский В.Н. Транзисторные преобразователи напряжения с последовательным резонансным контуром // *Электротехника*. 1990. № 8. С. 47 – 53.
5. Venkataramanan G., Divan D. Pulse Width Modulation with Resonant DC Link Converters // *Conf. Rec. IEEE IAS*. 1990. P. 984 – 990.
6. Jonson S.D., Erikson R.W. Steady-State Analysis and Design of the Parallel Resonant Converter // *IEEE Transactions on Power Electronics*. January 1988. Vol. 3, № 1. P. 93 – 104.
7. Steigerwald R.L. High-Frequency Resonant Transistor DC-DC Converters // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. May 1984. Vol. IE-31, № 2. P. 181 – 191.
8. Лукин А.В., Кастров М.Ю., Малышков Г.М., Герасимов А.А., Макаров В.В., Парфенов А.Н. Преобразователи напряжения силовой электроники / М.: Радио и связь, 2004. 416 с.
9. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника / М.: Техносфера, 2005. 632 с.