

О.Н.СИЗОНЕНКО, д-р техн. наук, вед. наук. сотр.; Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев
В.В.ЛИТВИНОВ, мл. науч. сотр., Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

На підставі проведеного огляду топологій побудови інверторних джерел живлення обрано схеми для інвертора та високочастотного випрямляча установки електроімпульсного спікання порошкових матеріалів. Виконано аналіз динамічних режимів роботи обраних схем за допомогою комп'ютерного моделювання. В результаті аналізу обраних схем запропоновано шляхи підвищення ефективності та надійності роботи установки електроімпульсного спікання.

On the basis of the inverter power sources topologies review the schemes for the inverter and high frequency rectifier for powder materials electropulse sintering device were chosen. The analysis of the dynamic modes of selected schemes through computer simulation was carried out. The analysis suggested ways to improve the efficiency and reliability of the electropulse sintering device.

Существующие методы спекания порошковых материалов в большинстве случаев используют технологию горячего прессования HIP (Hot Isostatic Pressing), нуждающуюся в длительном периоде нагрева порошкового материала с продолжительностью в несколько часов. Это приводит к укрупнению зерна исходной микроструктуры и сегрегации некоторых фаз на границах зерен, что негативно сказывается на характеристиках полученных образцов. Существует также класс методов консолидации порошковых материалов с использованием электрического поля, известной как Field Activated Sintering Technique (FAST) [1], который характеризуется быстрым процессом уплотнения порошкового материала с одновременным пропуском электрического тока через материал (рис. 1). Технология FAST позволяет минимизировать рост зерна и благодаря этому достигать улучшенных физико-механических свойств спекаемых изделий. Эта особенность технологии FAST позволяет использовать ее в качестве основной при спекании наноразмерных порошковых материалов для получения изделий с уникальными характеристиками.

Основными требованиями, предъявляемыми к источнику питания (ИП) установки для реализации технологии FAST являются [2]:

- 1) обеспечение достаточной мощности для спекания определенных типов порошков и необходимого размера спекаемых деталей;
- 2) минимизация потерь электроэнергии в ИП;
- 3) функциональная гибкость ИП.

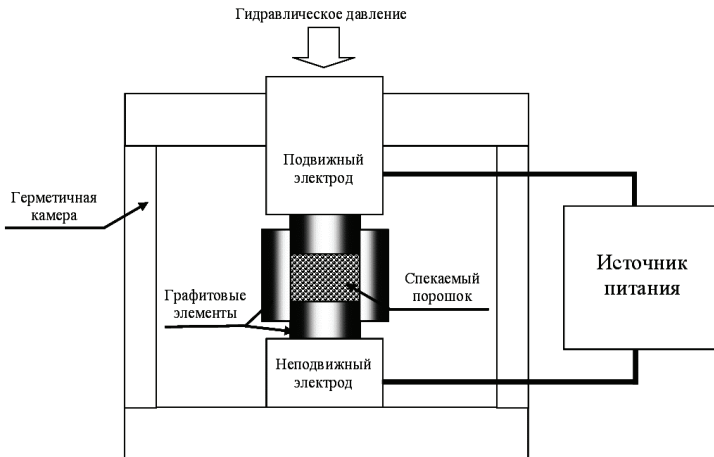


Рисунок 1 – Схема консолидации порошковых материалов с использованием электрического поля

В зависимости от типов спекаемых порошков возможны различные механизмы спекания, которые в свою очередь могут зависеть от типа протекающего через порошок тока (постоянный, импульсный). Поэтому источник питания с высокой степенью гибкости важен для достижения оптимальных результатов спекания с точки зрения качества выходного продукта. Применяемые для установок спекания порошковых материалов ИП в большинстве случаев построены на основе преобразователей электрических параметров без изменения частоты в процессе преобразования (понижающий трансформатор - выпрямитель) и со звеном повышенной частоты (тиристорный инвертор - понижающий трансформатор - выпрямитель) и основаны на устаревшей элементной базе. ИП первого типа имеют достаточно высокий КПД, но обеспечивают низкие массогабаритные показатели и функционально непригодны для спекания наноразмерных порошков [2]. ИП второго типа за счет повышенной частоты позволяют обеспечить более высокие массогабаритные показатели (снижение материалоемкости всей установки) и больший спектр спекаемых материалов, но имеют относительно низкий КПД (менее 80%). Поэтому вопросы повышения эффективности и функциональной гибкости ИП являются актуальными на сегодняшний день.

Целью настоящей работы является выбор топологии силовой части источника питания для установки электроимпульсного спекания порошковых материалов, обеспечивающую ее высокую эффективность и функциональную гибкость.

В качестве основной при рассмотрении вопроса построения мощного ИП в данной работе принята транзисторная топология. Силовую часть ИП можно рассматривать безотносительно конкретной технологии процесса спе-

кания, так как основная ее задача – обеспечить необходимый уровень мощности, подводимой к технологическому узлу, а формирование нагрузочной характеристики, алгоритмов «поведения» ИП и сервисных функций осуществляется блоком управления.

В ходе выполнения работы был выполнен анализ последних достижений в топологии построения источников питания силовых низковольтных технологических установок [3-10]. В результате анализа за основу была принята с небольшими изменениями схема полумостового инвертора с переключением транзисторов при нулевом токе и напряжении (рис. 2).

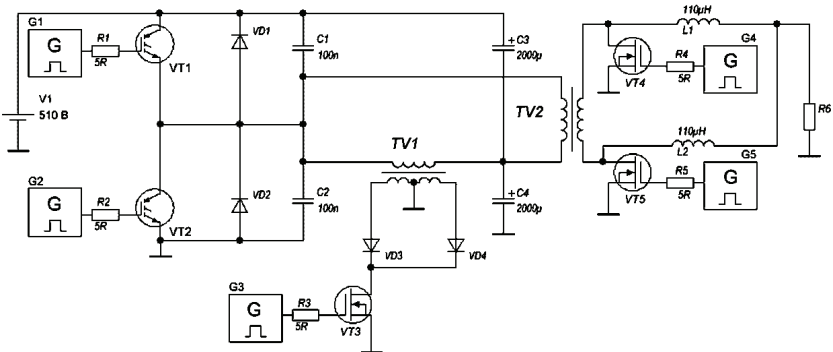


Рисунок 2 – Схема полумостового инвертора с переключением транзисторов при нулевом токе и напряжении

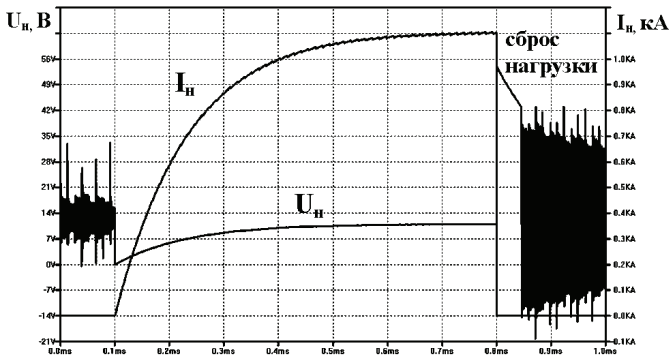


Рисунок 3 – Ток и напряжение на нагрузке

Силовоточный выпрямитель выполнен по схеме удвоителя тока для снижения среднего тока вторичной обмотки мощного высокочастотного трансформатора. Данная схема основана на полумостовой топологии инвертора на IGBT транзисторах VT1-VT2 с синхронным выпрямителем на полевых транзисторах VT4-VT5. Транзистор VT3 совместно с трансформатором

TV1 представляет собой аналог насыщающегося дросселя из работ [3, 4]. Частота коммутации транзисторов инвертора выбрана равной 38,5 кГц, коэффициент трансформации трансформатора TV2 равен 10. Компьютерное моделирование производилось в программе LTspice IV. При этом моделями VT1 и VT2 служили по 6 параллельно соединенных транзисторов IRGP30B120K, а для VT4 и VT5 - по 6 параллельно соединенных транзисторов IRF4468 [11]. В качестве VT3 применялась модель одного транзистора IRF4468. Сопротивление нагрузки принято равным 10^{-2} Ом.

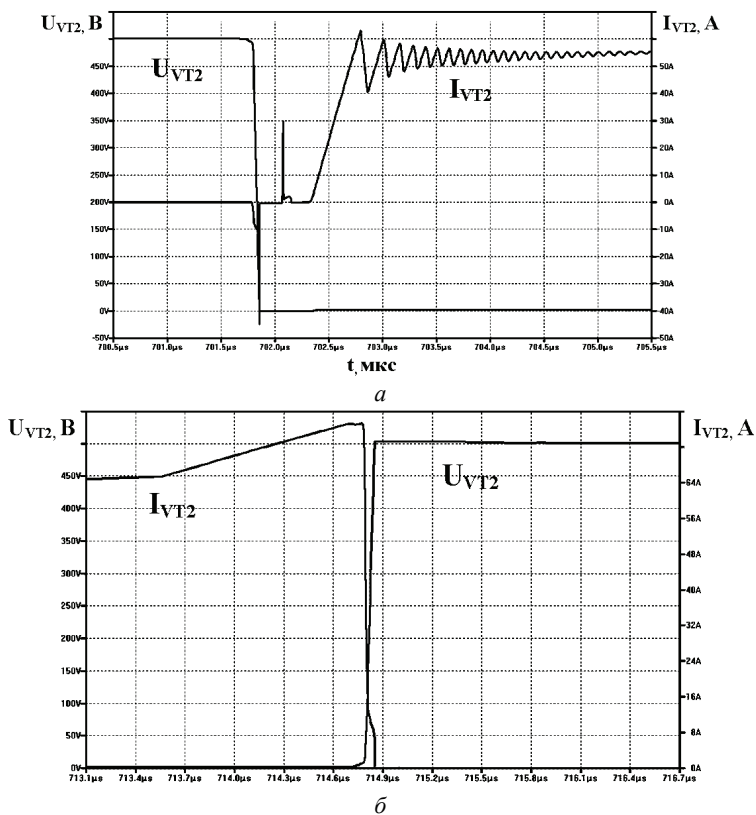


Рисунок 4 – Переключение транзистора VT1 (VT2): *a* – включение VT2; *б* – выключение VT2

В реальных условиях может существовать режим подключения и сброса нагрузки. Режим сброса нагрузки возникает при разрушении графитовой пресс-формы, находящейся под большим статическим давлением. Поэтому нагрузка динамически подключалась и отключалась для моделирования этих режимов. На рис. 3 показано, что это может привести к перенапряжениям на

ключаях синхронного выпрямителя и выходу их из строя. Перенапряжения можно избежать, зашунтировав нагрузку мощным низковольтным варистором. Скорость нарастания тока при подключении нагрузки составила $3,3 \cdot 10^6$ А/с, что обеспечивает возможность работы с большим спектром спекаемых материалов при спекании как постоянным и импульсным токами, так и их суперпозицией [2].

При замыкании ключа VT3 в конце каждого полупериода обеспечивается режим включения VT1 и VT2 при нулевом напряжении и выключения при минимальном токе во всем диапазоне нагрузок, что минимизирует динамические потери. Вид переходных процессов для ключа VT2 показан на рис.4. Расчетные суммарные потери для транзисторов инвертора и синхронного выпрямителя (при установившемся токе и напряжении нагрузки 1,1 кА и 11 В) равны 89 Вт и 423 Вт соответственно. При выходной мощности ИП 12 кВт это составляет 4,2 %, что показывает высокую эффективность предложенной топологии. Дальнейшее повышение эффективности установки электроимпульсного спекания порошковых материалов возможно путем снижения потерь проводимости для транзисторов синхронного выпрямителя.

Выводы: В ходе выполнения работы на основе анализа современного состояния топологий построения инверторных ИП предложены схемы для инвертора и высокочастотного выпрямителя установки электроимпульсного спекания порошковых материалов. Рассмотрены динамические режимы работы выбранной топологии с помощью компьютерного моделирования. Рассчитаны потери энергии в инверторе и синхронном выпрямителе, предложены пути повышения эффективности и надежности работы установки электроимпульсного спекания порошковых материалов.

Список литературы: 1. Сайт www.idea.library.drexel.edu [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.idea.library.drexel.edu/bitstream/1860/407/8/Zhang_Jing.pdf. 2. Сайт www.idea.library.drexel.edu [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.fct-systeme.de/Rapid Sintering of Novel Materials by FAST/SPS – Further Development to the Point of an Industrial Production Process With High Cost Efficiency](http://www.fct-systeme.de/Rapid_Sintering_of_Novel_Materials_by_FAST/SPS_Further_Development_to_the_Point_of_an_Industrial_Production_Process_With_High_Cost_Efficiency) H. U. Kessel, J. Hennicke, R. Kirchner, T. Kessel* FCT Systeme GmbH 96528 Rauenstein, Germany. 3. Петров С. Схемотехника промышленных сварочных инверторов // Современная электроника. – 2007. – № 8. – С. 42–47. 4. Петров С. Перспективная схемотехника сварочных инверторов (Часть 1) // Современная электроника. – 2009. – № 1. – С. 36–45. 5. Петров С. Перспективная схемотехника сварочных инверторов (Часть 2) // Современная электроника. – 2009. – № 2. – С. 16–23. 6. Mecke H., Fischer W., Weter F. Softswitching inverter power source for arcwelding // EPE'97 Conf. 1997. Trondheim. – PP.4333–4337. 7. Patent US7042740B2 USA. Soft-Switching Half-Bridge Inverter Power Supply System / Keiki Morimoto (JP) et al. – №11/063822, appl. 23.02.2005, publ. 09.05.2006. 8. Morimoto K., Ahmed N., Lee H.W. Advanced high power DC-DC converter using novel type half-bridge soft switching PWM inverter with high frequency transformer for arc welder // IEEE PEDS'05. – 2005. – Issue 16–18. Vol. 1. – PP. 113–118. 9. Morimoto K., Doi T., Manabe H., Nakaoka M., Lee H.W. Advanced high power DC-DC converter using novel type full-bridge soft-switching PWM inverter with high frequency transformer link for arc welding application // Proc. of ICPE. 2004. – PP. II191-II197. 10. Сайт www.uni-obuda.hu [электронный ресурс]. – Режим доступа: www.uni-obuda.hu/journal/Dudrik_Oetter_10.pdf. 11. Сайт www.irf.com [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irf.com>.

Поступила в редколлегию 20.05.2010.