

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

К.В. Менакер, А.С. Цветаева

Забайкальский институт железнодорожного транспорта

В статье рассматривается возможность создания высокоэффективного импульсного источника электропитания накопительного типа на основе моделирования схемы в программе электронного моделирования Multisim 11.0 фирмы National Instruments. Описан процесс накопления энергии в высокодобротном колебательном контуре в режиме резонанса и последующей ее передачи в нагрузку. Приведены осциллограммы, снятые с действующего образца, подтверждающие результаты моделирования.

Ключевые слова: резонанс, колебательный контур, накопительная емкость, электронный ключ, обратная связь.

1. Постановка задачи

Импульсные источники электропитания являются неотъемлемой частью большинства современных электронных устройств. От эффективности источников электропитания во многом зависит экономичность питаемых устройств. Исследования показали, что несмотря на то, что коэффициент полезного действия ряда современных импульсных источников достигает значения 99%, имеется большой запас по повышению их эффективности. Во время работы импульсных источников электропитания переменный или постоянный ток первичного источника преобразуется в импульсный высокочастотный ток с последующим его преобразованием в требуемый уровень напряжения на нагрузке. Накопление энергии и последующая ее передача на нагрузку происходит в реактивных элементах в течение одного периода работы электронных ключей. В результате энергия, передаваемая в нагрузку с учетом тепловых потерь всегда меньше, энергии потребленной от первичного источника. В этом и состоит ограничение эффективности современных импульсных источников.

Накопление энергии за несколько тактов работы электронных ключей, работающих в такт свободных колебаний резонансного контура, с последующей правильной организацией передачи энергии на нагрузку позволяет снять указанное ограничение и значительно повысить эффективность импульсных источников за счет квадратичного роста энергии реактивных элементов при линейном росте их тока и напряжения в режиме резонанса. Эффективность импульсного источника, построенного на основе указанного подхода, квадратично зависит от достигаемого уровня тока и напряжения на реактивных элементах в период накопления энергии за несколько тактов работы электронных ключей. Сложность создания источника связана с синхронностью работы отдельных каскадов, изменением частотных параметров, высокочастотным и высоковольтным характером работы.

Работа посвящена созданию высокоэффективного импульсного источника электропитания с применением методов электронного моделирования программного комплекса Multisim 11.0 фирмы National Instruments.

2. Используемое оборудование и программное обеспечение

Поиск технических решений осуществлялся путем электронного моделирования работы отдельных каскадов в среде Multisim 11.0 с применением дополнительных баз электронных компонентов.

3. Описание решения

Структурная схема импульсного резонансного источника электропитания накопительного типа представлена на рис. 1. С первичного источника, представляющего аккумуляторную батарею или выпрямитель, постоянный ток с помощью электронного ключа К1 преобразуется в импульсный и поступает на первичную обмотку L1 импульсного высокодобротного трансформатора Т1. В момент размыкания ключа К1 в колебательном контуре, образованном индуктивностью L2 и емкостью C1 возникают свободные затухающие колебания, действующие одновременно на обмотке обратной связи L3. Схема фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) на основе фактической частоты сигнала, снятого с обмотки L3, формирует импульсы управления ключом К1, необходимой длительности и начальной фазы. Таким образом, каждое последующее колебание тока в обмотке L2 в момент действия максимальной амплитуды сопровождается подзарядкой от первичного источника и ростом амплитуды сигнала (рис. 2).

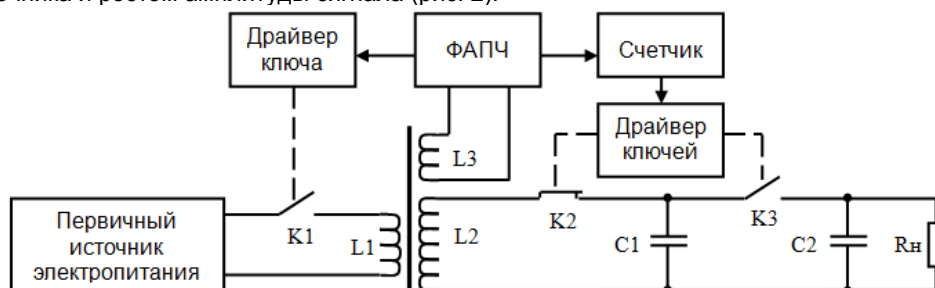


Рис. 1. Структурная схема импульсного резонансного источника электропитания

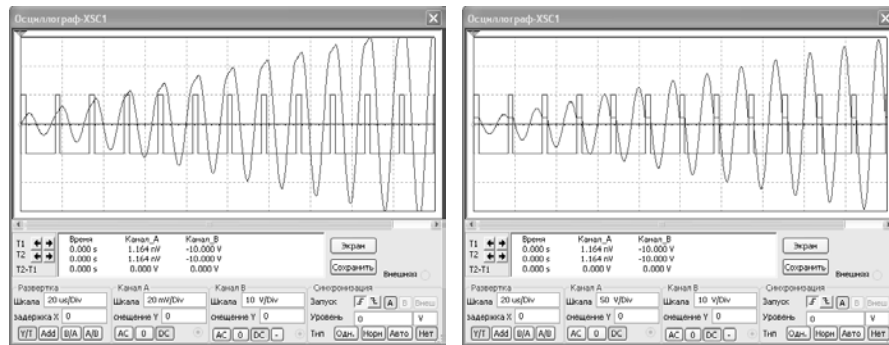


Рис. 2. Осциллограммы тока индуктивности L2 и напряжения емкости C1

Одновременно с выхода ФАПЧ сформированные импульсы поступают на счетчик для формирования времени задержки срабатывания ключей K2 и K3 и накопление энергии в реактивных элементах контура L2C1. Через определенное число вынужденных колебаний контура и достижения заданного уровня напряжения на емкости C1 происходит кратковременное размыкание ключа K2, исключающее перетекание энергии в обмотку L2 и одновременное замыкание ключа K3 с целью передачи энергии на нагрузку. Конденсатор C2 сглаживает пульсации напряжения на нагрузке в момент накопления энергии в колебательном контуре устройства. Срабатывание ключей K2 и K3 происходит в момент времени действия максимальной амплитуды напряжения на конденсаторе C1.

Принципиальная схема ФАПЧ совместно со счетчиком импульсов представлена в [4]. Даная схема была смоделирована в программном комплексе Multisim 11.0. Результаты моделирования подтверждают правильность реализации схемы подстройки частоты.

Анализ баланса энергии, проведенный для разработанного источника электропитания, подтверждает значительное повышение его эффективности в сравнении с классическими источниками. При проектировании устройства были определены следующие основные параметры схемы: значение индуктивности вторичной обмотки L2 500 мкГн, активное сопротивление вторичной обмотки L2 1 Ом, значение емкости C1 10 нФ, значение емкости C2 1 мкФ, напряжение ЭДС первичного источника 12 В, частота работы ключа K1 60.2 кГц, коэффициент заполнения управляющих импульсов 15%, время накопление энергии - 24 такта работы ключа K1.

Время открытия ключа K1 при указанных параметрах управляющих импульсов составит $0.15/60.2=2.5$ мкс. Значение тока индуктивности L2 за время открытия ключа достигнет значения 60 мА в соответствии с известным законом:

$$i_{L2}(t) = \frac{E}{R_{L2}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R_{L2}}{L2} \cdot t} \right) = \frac{12}{1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{500 \cdot 10^{-6}} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}} \right) = 0.06 \text{ A}$$

Таким образом, энергия переданная за 24 такта работы ключа K1 от первичного источника не превысит значения: $W_1 = E \cdot i_{L2}(t) \cdot t \cdot n = 12 \cdot 0.06 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot 24 = 4.28 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$

Значение же энергии, переданной в сглаживающую емкость C2 по окончании действия 24 импульсов, по результатам моделирования и измерений на действующем образце составило 0.00151 Дж (рис. 3) что в 10 раз превышает значение потребленной энергии.

$$W_2 = \frac{C_2 \cdot U_{C2}^2}{2} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 55^2}{2} = 1.513 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

Отличие в значениях энергий потребленной и переданной в нагрузку связано с квадратичной зависимостью энергии конденсатора от уровня напряжения на нем. Т.е. эффективность импульсных источников электропитания можно поднять за счет накопления энергии за несколько тактов работы ключей и ее последующей передачи в нагрузку в отличие от классических схем, в которых энергия передается в нагрузку после каждого такта срабатывания ключей (квадрат суммы всегда больше чем сумма квадратов чисел).

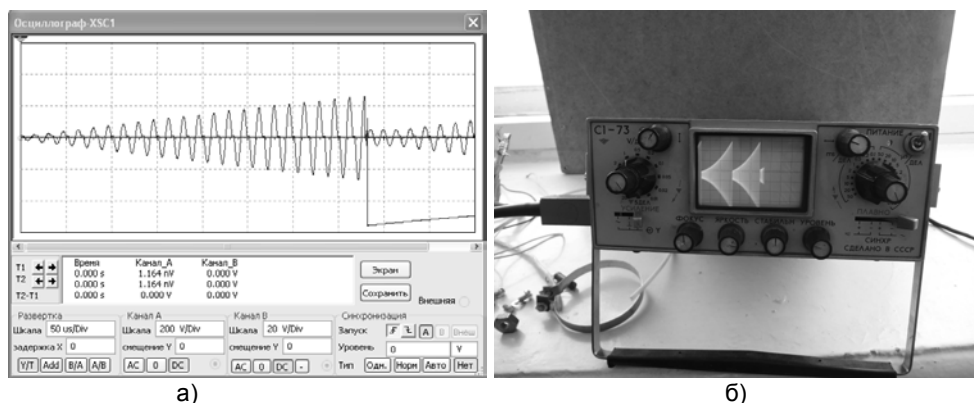


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на емкости C1 и C2

На рисунке 3 представлены: а) осциллограммы напряжения на емкости C1 (канал A) и на емкости C2 (канал B) в программе электронного моделирования; б) осциллограмма напряжения на емкости C1 на действующем образце

4. Внедрение и его перспективы

Разработанная схема импульсного резонансного источника электропитания проходит успешные испытания в лаборатории Забайкальского института железнодорожного транспорта, где ведется ее доработка и совершенствование. Планируется создание серии аналогичных устройств различной мощности. Получен патент на способ повышения эффективности импульсных источников электропитания.

5. Список литературы

- [1]. Менакер К.В., Цветаева А.С. Импульсный преобразователь мощности//Автоматика, связь, информатика.- 2012.-№6.-С.21-23.
- [2]. Менакер К.В., Цветаева А.С. Импульсный редуционный преобразователь мощности, как основной источник питания электротранспортных средств//Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока.-2012.-№1.-С.408-411.
- [3]. Импульсный резонансный преобразователь напряжения [Текст]: патент 125415 Рос. Федерация: МПК⁷ Н 02 М 3/00/ Менакер К.В., Цветаева А.С.; заявитель и патентообладатель Менакер К.В., Цветаева А.С. – № 2012135927; заявл. 21.08.12; опубл. 27.02.13, Бюл. № 6
- [4]. Краткое описание работы СУ токовой накачкой индуктора высоковольтной высокочастотной установки. [Электронный ресурс] URL: [www.microsmart.eu/index.php?action=dlattach;topic=9.0; attach=31](http://www.microsmart.eu/index.php?action=dlattach;topic=9.0;attach=31) (дата обращения 12.09.2014).

PULSE RESONANT SOURCE OF POWER SUPPLY

K.V. Menaker, A.S. Tsvetaeva

Transbaikal institute of railway transport

In article possibility of creation of a highly effective pulse source of power supply of accumulative type on the basis of modeling of the scheme in the program of electronic modeling of Multisim 11.0 of National Instruments firm is considered. The developed schematic diagram of a source is provided. Process of accumulation of energy in a high-sound oscillatory contour in the mode of a resonance and the subsequent its transfer to loading is described. The oscillograms removed from the operating sample, the confirming results of modeling are provided.

Keywords: resonance, oscillatory contour, accumulative capacity, electronic key, feedback.