

УДК 621.314

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАЛЛЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА

А.М.Афанасьев,

**Донбасский государственный технический университет,
пр. Ленина, 16, Алчевск, 94204, Украина.**

На основе анализа известных структур синтезирована новая структура высокочастотного транзисторного генератора для индукционного нагрева, которая объединяет положительные свойства рассмотренных способов формирования выходного напряжения в параллельном резонансном контуре. С помощью имитационной модели исследованы электромагнитные процессы и проведен анализ энергоэффективности резонансного инвертора тока на IGBT с предложенной структурой. Библ. 3, рис. 2.

Ключевые слова: параллельный резонансный инвертор, импульсный преобразователь, синтез, IGBT, режим “мягкой” коммутации, LCD снаббер.

Актуальность исследования транзисторных высокочастотных генераторов (ТВЧГ) установок индукционного нагрева (УИН) для электротермических технологий объясняется не только их высокими энергетическими показателями, но и технологической гибкостью, возможностью реализации новых технологических процессов. Использование современных IGBT для ТВЧГ, работающих в диапазоне частот 10–150 кГц, позволяет создавать высокоэффективные транзисторные преобразователи с КПД около 95% и выходной мощностью порядка единиц–сотен киловатт, что делает их конкурентоспособными в сравнении с тиристорными и ламповыми генераторами.

В публикациях по данному направлению особое внимание уделяется повышению энергоэффективности, обеспечению глубокого диапазона регулирования выходных параметров, улучшению массогабаритных и стоимостных показателей. При этом решаются задачи по усовершенствованию как способов регулирования [3], так и схемотехнических решений [2].

Базовыми схемами для ТВЧГ являются схемы резонансных инверторов, среди которых можно выделить: резонансный инвертор напряжения (РИН) и резонансный инвертор тока (РИТ). Достоинством схемы РИТ является лучшее использование вентиля по току и более удобное согласование ее с нагрузкой (благодаря синусоидальной форме выходного напряжения) по сравнению с РИН, форма выходного напряжения которого является прямоугольной. Следовательно, в схеме РИТ транзисторы будут иметь меньшие статические потери мощности, а отсутствие высших гармонических составляющих в выходном напряжении предполагает малые потери мощности при передаче энергии по силовому кабелю к резонансному контуру, т.е. согласующий трансформатор может располагаться на достаточном расстоянии от нагрузки. Что касается коммутационных потерь в силовых ключах, то и для РИН, и для РИТ они будут минимальными при обеспечении режима “мягкой” коммутации транзисторов. Следует отметить, что поддержание режима “мягкой” коммутации исключает применение частотного способа управления для регулирования выходной мощности.

С целью обеспечения глубокого регулирования, уменьшения массы и габаритов входного реактора инвертора, повышения коэффициента мощности источника питания применяют неуправляемые выпрямители с импульсным преобразователем (ИП) на входе инвертора. При этом система управления инвертором осуществляет автоматическую регулировку частоты импульсов управления, обеспечивая “мягкую” коммутацию транзисторов, а ИП реализует регулирование входного тока РИТ. Эффективность работы ИП также будет определяться режимами переключения. Одним из решений, обеспечивающих режим “мягкого” переключения IGBT в ИП, является поддержание граничного режима работы накопительной индуктивности с формированием траектории выключения силового транзистора с помощью LCD снаббера [1].

Анализ рассмотренных способов построения высокочастотных ТВЧГ позволяет предположить, что улучшение их энергетических характеристик может быть достигнуто путем синтеза новой структуры на базе наиболее перспективных схем – инвертора тока и импульсного преобразователя с LCD снаббером. При этом повышение коэффициента использования вентиля по мощности K_p и коэффициента полезного действия (КПД) в синтезируемой структуре возможно за счет уменьшения количества вентиля в схеме, более эффективного использования вентиля по току и обеспечения режима “мягкой” коммутации.

Структурная схема инвертора, в которой реализован предлагаемый способ формирования выходного напряжения, показана на рис. 1. Схема реализована в виде моста с двумя силовыми стойками, состоящими из последовательно включенных импульсного преобразователя ИП и ключа К. В диагональ моста подключен параллельный колебательный контур, представляющий собой индуктор – активно-индуктивную нагрузку $L_n R_n$ с параллельно включенным компенсирующим конденсатором C_k . Для управления применен принцип самовозбуждения с синхронизацией по выходному напряжению и автоматической подстройкой фазы управляющих импульсов, обеспечивающий “мягкую” коммутацию ключей К1 и К2. Регулирование выходных параметров осуществляется путем изменения коэффициента заполнения D импульсных преобразователей ИП1 и ИП2 по принципу время-импульсной модуляции с синхронизацией выходного напряжения инвертора.

Временные диаграммы, поясняющие принцип формирования выходного напряжения, получены с помощью моделирования в среде OrCad 9.2 и показаны на рис. 2. На диаграмме а) можно видеть “мягкую” коммутацию транзистора импульсного преобразователя ИП1, т.е. включение при нулевом токе и выключение при нулевом напряжении, где I_{K1} – ток коллектора, $U_{KЭ1}$ – напряжение коллектор-эмиттер. Близкие к синусоидальным и совпадающие по фазе выходные ток $I_{ИНВ}$ и напряжение $U_{ИНВ}$ на диаграмме б) предполагают эффективную передачу энергии от инвертора

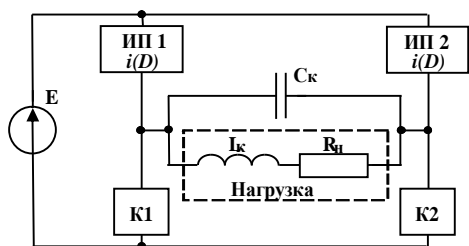


Рис. 1

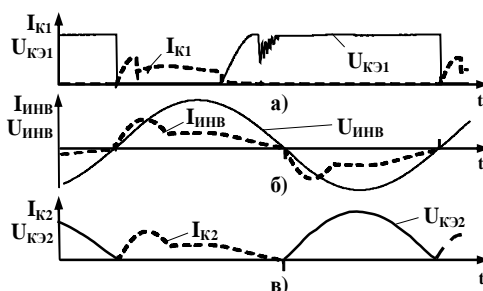


Рис. 2

в нагрузку. “Мягкое” переключение транзисторного ключа К2 продемонстрировано на диаграмме в), где I_{K2} – ток коллектора, $U_{KЭ2}$ – напряжение коллектор-эмиттер.

По результатам моделирования в среде MathCAD построены графики зависимостей мощности нагрузки P_H от коэффициента заполнения D (регулирующая характеристика) и коэффициента полезного действия инвертора от мощности нагрузки P_H .

Из регулировочной характеристики следует, что при изменении коэффициента заполнения D в диапазоне $(0,1 \dots 1)$ мощность в нагрузке P_H изменялась в диапазоне $(1 \dots 10)$ кВт, при этом коэффициент полезного действия находился в диапазоне $(90 \dots 97)$ %.

Таким образом, новая структура параллельного резонансного инвертора, в которой реализован предложенный принцип формирования выходного напряжения, обеспечивает достаточно глубокое регулирование при высоких значениях КПД и коэффициента мощности, лучшие массогабаритные показатели и динамические характеристики за счет исключения входного реактора.

1. Афанасьев А.М., Ушаков В.И., Еремина А.В. Оценка влияния параметров LCD снаббера на энергоэффективность ИППН // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. – 2011. – Ч.1. – С. 27–32.

2. Силкин Е. Применение нулевых схем инверторов тока с квазирезонансной коммутацией // Силовая электроника. – 2005. – № 3. – С. 84–88.

3. Юрченко М.М., Гуцалюк В.Я., Герасименко П.Ю., Слесаревський І.О. Модель резонансного транзисторного інвертора напруги з низькочастотною імпульсною модуляцією // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 24–30.

УДК 621.314

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАЛЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ІНВЕРТОРА

А.М.Афанасьєв,

Донбаський державний технічний університет,

пр. Леніна, 16, Алчевськ, 94204, Україна.

На основі аналізу відомих структур синтезовано нову структуру високочастотного транзисторного генератора для індукційного нагріву, яка об'єднує позитивні властивості розглянутих способів формування вихідної напруги у паралельному резонансному контурі. За допомогою імітаційної моделі досліджено електромагнітні процеси та проведено аналіз енергоефективності резонансного інвертора струму на IGBT із запропонованою структурою. Бібл. 3, рис. 2.

Ключові слова: паралельний резонансний інвертор, імпульсний перетворювач, синтез, IGBT, режим “м'якої” комутації, LCD снаббер.

IMPROVING ENERGY CHARACTERISTICS OF PARALLEL RESONANT INVERTER

A.M.Afanasyev,

Donbass State Technical University,

Lenin ave., 16, Alchevsk, 94204, Ukraine.

Based on the analysis of the known structures the new structure of high-frequency transistor generators for induction heating is synthesized. That structure combines the positive properties of methods of forming the output voltage in the resonant circuit. Using a simulation model the electromagnetic processes are investigated and the energy efficiency of the proposed structure of IGBT resonant inverter is analyzed. References 3, figures 2.

Key words: parallel resonant inverter, pulse converter, synthesis, IGBT, soft switch mode, LCD snubber.

1. Afanasyev A.M., Ushakov V.I., Eremina A.V. The impact assessment of LCD snubber parameters for the energy efficiency of pulse DC converter // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta energoefektyvnist". – 2011. – Vol. 1. – Pp. 27–32. (Rus)

2. Silkin Ye. The application of zero-schemes of current inverter with quasiresonant commutation // Silovai elektronika. – 2005. – № 3. – Pp. 84–88. (Rus)

3. Yurchenko M.M., Gutsaliuk V.Ya., Gerasymenko P.Yu., Slesarevskiy I.O. Model of transistor resonant voltage inverter with low-frequency pulse modulation // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – №1. – Pp. 24–30. (Ukr)

Надійшла 16.01.2012

Received 16.01.2012