DOI: 10.17117/na.2016.09.01.479

<http://ucom.ru/doc/na.2016.09.01.479.pdf>

Поступила (Received): 30.09.2016

**Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Каримов Р.Д.
Расширение частотного диапазона
электротехнологических установок с индукционным
нагревом с помощью ферромагнитных
умножителей частоты**

**Roginskaya L.E., Gorbunov A.S., Karimov R.D.
Extension of the frequency range of electrotechnological systems
with induction heating using ferromagnetic frequency multipliers**

Рассмотрены частотные диапазоны ряда индукционных установок. Приведена структурная схема современной электротехнологической установки для индукционного нагрева, предложен способ расширения частотного диапазона таких устройств на базе применения ферромагнитных умножителей частоты. Рассмотрены схемы ферромагнитных преобразователей, отмечены преимущества их использования в электротехнологических установках с индукционным нагревом

Ключевые слова: индукционный нагрев, электротехнологическая установка, ферромагнитный умножитель частоты, источник питания

The frequency ranges of a row of induction systems are considered. We provided the block diagram of the modern electrotechnological system for induction heating, the method of extension of the frequency range of such devices on the basis of use of ferromagnetic frequency multipliers is offered. We considered diagrams of ferromagnetic converters, advantages of their use in electrotechnological systems with induction heating are marked

Key words: induction heating, electrotechnological system, ferromagnetic frequency multiplier, power supply

Рогинская Любовь Эммануиловна
Доктор технических наук, профессор
Уфимский государственный авиационный
технический университет
г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Roginskaya Lyubov Emmanuilovna
Doctor of Technical Sciences, Professor
Ufa state aviation technical university
Ufa, K. Marx st., 12

Горбунов Антон Сергеевич
Кандидат технических наук, старший
преподаватель
Уфимский государственный авиационный
технический университет
г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Gorbunov Anton Sergeevich
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer
Ufa state aviation technical university
Ufa, K. Marx st., 12

Каримов Руслан Динарович
Младший научный сотрудник
Уфимский государственный авиационный
технический университет
г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Karimov Ruslan Dinarovich
Jr. Researcher
Ufa state aviation technical university
Ufa, K. Marx st., 12

В настоящее время электротехнологические установки с индукционным нагревом благодаря их высоким технико-экономическим показателям применяются для обработки разнообразных деталей и материалов с различными габаритными размерами и свойствами. В связи с чем, такие установки используются в широком диапазоне частот:

1. Устройства промышленной частоты 50 Гц. Данные комплексы в основном используются для нагрева крупногабаритных заготовок вследствие того, что глубина проникновения электромагнитного поля при такой невысокой частоте значительно больше, по сравнению с высокочастотными установками.
2. Устройства повышенной частоты (частота от 100 Гц до 10 кГц).
3. Установки высокой частоты (от 10 кГц и выше).

Индукционные системы, работающие на повышенных и высоких частотах, применяются для сквозного нагрева негабаритных заготовок, в том числе деталей малых размеров, например, медицинских приспособлений и устройств, для поверхностной закалки деталей различных габаритов, а также для плавки металлов.

Благодаря развитию современной элементной базы полупроводниковых приборов, на сегодняшний день в качестве источников питания индукционных установок повышенной и высокой частоты в большинстве случаев применяются полупроводниковые преобразователи частоты. Структурная схема одной из таких систем приведена на рис. 1 [1]. В зависимости от диапазона применяемых частот, полупроводниковые преобразователи могут использоваться на базе тиристоров или транзисторов. Ранее при частотах от 300 кГц источники питания базировались на применении электронных ламп, обладающих сравнительно низким КПД, сроком службы, высокими излучениями в окружающее пространство, и другими недостатками [2].

Рис. 1. Структурная схема электротехнологической установки

При частотах до 25–50 кГц в источниках питания индукционных установок применяются тиристорные инверторы, при более высоких частотах используются транзисторные преобразователи (*IGBT* и *MOSFET*) [2].

Одним из направлений расширения частотного диапазона является применение ферромагнитных умножителей частоты, представляющих собой статические электромагнитные устройства, состоящие из первичных и вторичных рабочих обмоток, обмоток подмагничивания, обмоток самоподмагничивания.

На рис. 2 показана принципиальная схема ферромагнитного умножителя, повышающего частоту в четыре раза (учетверителя частоты). Устройство содержит в составе четыре одинаковых трансформатора 1, с первичными 2 и вторичными 3 обмотками. Первичные обмотки соединены попарно последовательно, встречно (рис. 1). Каждая из групп таких обмоток питается от своего источника U_1, U_2 , переменные напряжения которых сдвинуты на угол 90° . Источники питания (инверторы) образованы вентилями $K_1...K_4$ и $K_5...K_8$. Вторичные обмотки соединены последовательно, согласно, и подключены через последовательный конденсатор 7 продольной емкости C к выходным разъемам $4f$. Помимо первичной и вторичной обмоток, преобразователь содержит обмотки подмагничивания постоянным током 4, соединенные последовательно, согласно и подключенные через фильтр 9 к источнику постоянного тока через разъемы $+$ и $-$, и обмотки самоподмагничивания 5 от тока второй гармоники, которые соединены последовательно, попарно-встречно, последовательно к которым подключен конденсатор C_c 8 [3].

Рис. 2. Схема ферромагнитного умножителя (учетверителя) частоты

На рис. 3 приведена общая схема физической модели ферромагнитного умножителя частоты [4], в котором имеется ряд магнитно связанных контуров.

Такое устройство позволяет повысить выходную частоту в n раз, по сравнению с входной частотой, где n – четное число сердечников.

Для получения высоких частот в электротехнологических установках с индукционным нагревом возможно каскадное соединение применяемых полупроводниковых преобразователей, ферромагнитных умножителей и нагрузочных цепей. Это позволит, в том числе, снизить коммутационную нагрузку на вентили [3]. При подключении индуктора к такому ферромагнитному преобразователю образуется трансформаторно-индукторный ферромагнитный модуль с возможностью осуществления необходимого преобразования величины напряжения для питания индуктора без использования отдельного согласующего высокочастотного трансформатора.

Рис. 3. Общая схема физической модели ферромагнитного преобразователя

Таким образом, на базе совместного применения полупроводниковых преобразователей частоты и ферромагнитных умножителей частоты возможно создание высокоэффективных источников питания для электротехнологических установок с индукционным нагревом, обеспечивающих работу при заданных высоких частотах с одновременным решением задач по достижению согласованной работы таких источников с нагрузкой.

Список используемых источников:

1. Белкин А.К. и др. Элементы индукционных установок. М., 2007. 140 с.
2. Totten G.E. Steel heat treatment: equipment and process design. 2007. 714 p.

3. Рогинская Л.Э., Латыпов А.Р. Расширение частотного диапазона полупроводникового преобразователя на базе многофункциональных трансформаторов (умножители частоты) // Практическая силовая электроника. 2015. № 2 (58). С. 41–45.
4. Рогинская Л.Э., Костюкова Т.П., Уразбахтина Н.Г. Источники питания повышенной частоты с резонансными контурами для электротехнологии // Электротехнические комплексы и системы. Уфа, 2015. С. 236–242.

© 2016, Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Каримов Р.Д.
 Расширение частотного диапазона
 электротехнологических установок с
 индукционным нагревом с помощью
 ферромагнитных умножителей частоты

© 2016, Roginskaya L.E., Gorbunov A.S., Karimov R.D.
 Extension of the frequency range of
 electrotechnological systems with induction heating
 using ferromagnetic frequency multipliers