

возможность совмещения ультразвукового воздействия, механического перемешивания и нагрева суспензии на процесс осаждения покрытий из суспензий наночастиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнер, Л.К. Электроосаждение наноконпозиционных покрытий на основе никеля / Л.К. Кушнер, А.А. Хмыль, Н.В. Дежкунов // «Покрытия и обработка поверхности. Последние достижения в технологиях, экологии и оборудовании»: сб. науч. тр. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – С.58-59.

2. Кушнер, Л.К. Влияние наночастиц карбонитрида титана на формирование композиционных никелевых покрытий / Л.К. Кушнер, А.А. Хмыль // Современные средства связи: материалы XVIII Междунар. науч.–техн. конф., 14-15 окт. 2014 года, Минск, Респ. Беларусь / редкол.: Зеневич и др. – Минск: УО ВГКС, 2014. – С 94-95.

В.Л.ЛАНИН<sup>1</sup>, Е.А.ЛИТВИН<sup>1</sup>, А.С.ВАСИЛЬЕВ<sup>1</sup>

### ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИНВЕРТОР ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА МАГНИТОПРОВОДЕ

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

Прогресс в области индукционного нагрева при монтажной пайке достигается за счет новых конструкций индуктирующих устройств и применения мощных высокочастотных инверторов в качестве источников питания. Важнейшие преимущества инверторов – это резкое уменьшение массогабаритных параметров трансформаторов, а также увеличение КПД преобразователей до 100% за счет быстродействующих полупроводниковых ключей. Схема полумостового инвертора представлена на рисунке 1.

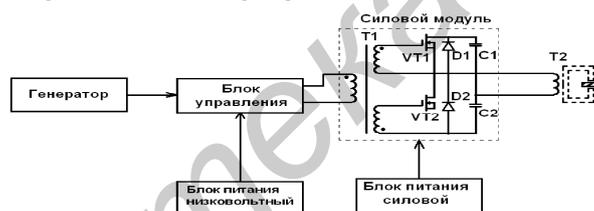


Рисунок 1 – Схема полумостового инвертора

Силовой модуль содержит два полупроводниковых ключа (VT1 и VT2) и конденсаторный делитель (C1 и C2). При помощи модуля управления ключи переключаются попеременно с заданной частотой и в результате на нагрузке выделяется переменное напряжение с амплитудой, равной половине напряжения питания. Работа ключей должна быть согласованной, т.е. они не должны быть полностью открыты одновременно. Это необходимо для устранения «сквозных токов», текущих через оба открытых ключа, минуя нагрузку. Открывающие сигналы модуля управления должны подаваться с некоторой задержкой после сигнала закрытия другого ключа. Эти задержки представляют «мертвое время» (dead-time) и предусмотрены в модуле управления [1].

При работе на чисто активную нагрузку при закрытии ключей возникают «выбросы» напряжения. Эти эффекты существенно возрастают при работе на индуктивную нагрузку, которая представляет индукционное устройство. Для решения этой проблемы используют так называемые «возвратные диоды», включенные параллельно ключам. В инверторе в качестве ключей использованы мощные полевые транзисторы с изолированным затвором MOSFET. Для управления ключами необходимо подавать на затворы транзистора положительные импульсы с напряжением 12–18 В, сдвинутые по времени относительно друг друга. Для этого применен драйвер на микросхеме IR2153, который имеет фиксированную длительность dead-time (1,2 мкс). Максимальное время нарастания и спада импульсов 150 и 100 нс соответственно. Поэтому максимальная частота управляющих импульсов ограничена значением 300–350 кГц.

Для усиления сигналов генератора управляющих импульсов использованы 6-амперные быстрые драйверы MAX4420. Для управления верхним плечом полумоста необходимо, чтобы драйвер верхнего плеча выдавал управляющие импульсы не относительно земли, а

относительно уровня истока верхнего транзистора. Это уровень может изменяться в течение рабочего цикла приблизительно от 0 (нижний ключ открыт, верхний закрыт) до напряжения питания (нижний ключ закрыт, верхний открыт). Поэтому использован вариант с гальванической развязкой в виде импульсного трансформатора. Поскольку драйверы MAX4420 работают на индуктивную нагрузку, то на их выходы подключены быстрые диоды SF.

В качестве ключей использованы транзисторы IXFH30N50 фирмы IXYS, которые рассчитаны на ток до 30 А и рабочее напряжение до 500 В. Сопротивление «исток-сток» в открытом состоянии – 0,16 Ом. В цепях затворов использованы резисторы величиной 5 Ом которые ограничивают токи зарядки емкостей затворов и гасят высокочастотный «звон». Силовые транзисторы шунтированы возвратными диодами с временем срабатывания до 50 нс.

В ходе испытания инвертора определена зависимость температуры нагрева детали из латуни толщиной 0,25 мм в зазоре магнитопровода (рисунок 2) от времени на частотах 66 и 100 кГц. По графику зависимости можно видеть что при меньшей частоте скорость нагрева выше и составляет до 60 °С/с (рисунок 3).

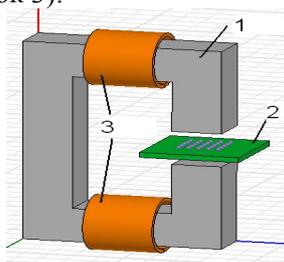


Рисунок 2 – Модель индукционного устройства на магнитопроводе: 1 – ферритовый магнитопровод, 2 – деталь, 3 – катушка возбуждения

Определены оптимальные условия для индукционного нагрева: напряжение питания 250 В; частота 66 кГц; ток в обмотке индуктора 5 – 6А, время нагрева 8 –10 с до температуры 300–350°С.

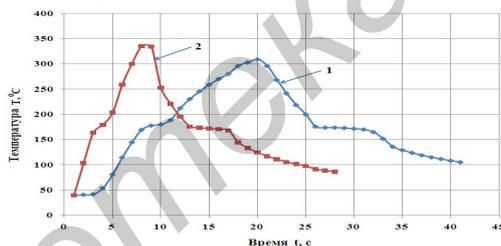


Рисунок 3 –Зависимости температуры нагрева от времени на частотах 66 (2) и 100 (1) кГц

Индукционные устройства на магнитопроводе способны с высокой точностью поддерживать температуру нагрева деталей при высокой теплоотдаче в процессе монтажной пайки. Максимальная скорость нагрева при оптимальных параметрах процесса достигает 60 °С/с, что позволяет реализовать бесконтактный нагрев небольших по размеру деталей в зазоре магнитопровода индуктора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кухтецкий, С. В. Простой лабораторный инвертор для индукционного нагрева. Интернет ресурс <http://radio-hobby.org>

В.М.ЛЕБЕДЕВ<sup>1</sup>, А.Г.ТУКА<sup>1</sup>

#### КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНЫЙ ПЕРЕХОД ДЛЯ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО В ПОДЛОЖКУ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ВОЛНОВОДА

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

При проектировании компонентов современных систем связи сантиметровых и миллиметровых диапазонов волн особенно жесткие требования предъявляются к степени интеграции, плотности упаковки, надежности и цене. Эти требования стимулировали пересмотр конструкции многих пассивных компонентов, которые традиционно строятся на