

УДК [611.018.51+615.47]:612.086.2

## ФОРМИРОВАНИЕ ШАРИКОВ ПРИПОЯ НА ПЛАТАХ И ПОДЛОЖКАХ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Хацкевич А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ланин В.Л. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ЭТТ

**Аннотация.** Рассмотрен процесс формирования шариков припоя на платах и подложках при помощи индукционного нагрева. Для локализации и увеличения равномерности на обратной стороне печатной платы применены концентраторы различной геометрической конфигурации. Инвертор построен по энергоэффективной схеме на основе ZVS генератора. Установлено, что концентраторы положительно сказываются на равномерности паяемого образца. Наибольшая скорость нагрева достигнута при сплошном концентраторе  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  при мощности в 30 Вт. Его применение приводит к перегреву платы. Замкнутые конфигурации обладают оптимальным временем нагрева и не перегревают плату. При этом применение шариков припоя оказалось эффективнее паяльной пасты.

**Ключевые слова:** индукционный нагрев, ZVS генератор, пайка, термпрофиль.

**Введение.** Технологии поверхностного монтажа в электронике приобрели особую актуальность в связи с высокой функциональной сложностью компонентов и интеграцией их в малых объемах микроплат и микроблоков и на сегодняшний день является наиболее распространенным методом конструирования и сборки электронных модулей на печатных платах. Несоблюдение термического профиля приводит к увеличению риска теплового повреждения компонентов и значительно увеличивает количество дефектов. А основной проблемой в массовом производстве – это повторяемость параметров пайки. Преимуществами индукционного нагрева является локальность нагрева, скорость нагрева, пониженные затраты энергии.

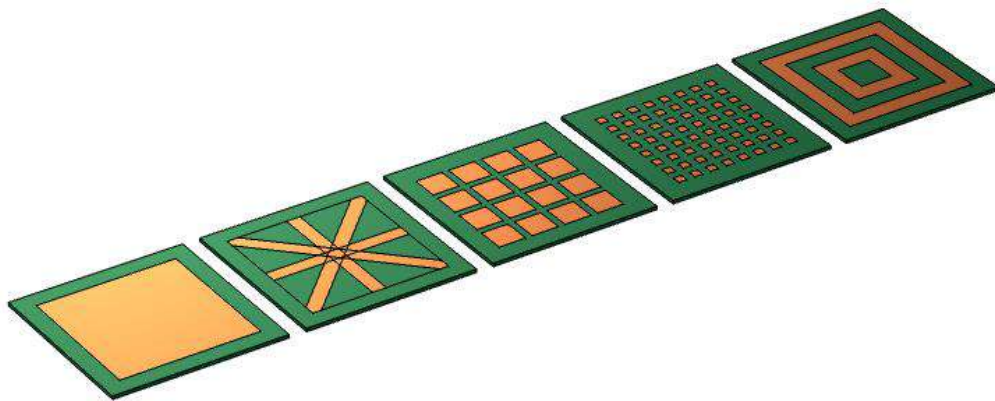
**Основная часть.** Высокочастотный инвертор построен по стандартной схеме ZVS (*Zero Voltage Switch*) генератора работающем в импульсном режиме. Импульсный режим обладает высоким КПД, низким уровнем потерь, что важно для преобразователей среднего высокого диапазона мощностей. Коммутация силового ключа в индуктивной цепи должна производиться активным способом в любой определенный момент времени. Структурная схема прототипа инвертора на ZVS генераторе представлена на рисунке 1. При бесконечно коротком времени переключения динамические потери мощности отсутствуют, и все напряжение падает непосредственно на индуктивности  $L$  коммутируемой цепи. В реальных схемах размыкание ключа, пропускающего ток  $IS$ , невозможно без преобразования энергии, запасенной в индукторе. Преобразование не происходит только в том случае, когда  $IS = 0$ . Такое состояние называется пассивным выключением, так как момент перехода через ноль зависит от характера протекания тока в конкретной цепи, а участвующий в нем транзистор является коммутатором нулевого тока ZCS (*Zero Current Switch*).



Рисунок 1 – Структурная схема ZVS генератора

При нулевом напряжении ( $vS = 0$ ) включение происходит в «идеальном» режиме без рассеяния мощности. Как и в предыдущем случае, оно является пассивным, поскольку форма напряжения на транзисторе определяется конкретной схемой, и оно принимает нулевое значение только в определенные моменты времени. Работающий таким образом ключ, соответственно, называется коммутатором нулевого напряжения ZVS. Ключи с коммутацией при нулевом напряжении (ZVS) разрабатываются исходя из возможности активного выключения и пассивного включения при спаде напряжения до нуля ( $vS = 0$ ). Активное запирающее с малыми потерями достигается благодаря установке параллельно ключу достаточно высокой емкости. По сравнению с режимом *HS* снижение потерь здесь обеспечивается только при одном способе управления, как и в предыдущем случае: это *PSM*. Меньший уровень рассеиваемой мощности, однако, позволяет работать на более высоких частотах, чем при «жестком» переключении. Они также могут быть использованы в устройствах с циклическим переключением, примером которых является параллельный резонансный конвертер с форсированным напряжением. Сопротивление  $R_{load}$  определяет активную составляющую нагрузки, включенную последовательно резонансной цепи [1].

Использование концентраторов позволяет добиться локализации электромагнитной энергии на поверхности платы. В качестве паттернов выбраны различные геометрические конфигурации, которые представлены на рисунке 2.



1–сплошной, 2 – звезда, 3–квадраты, 4–контактные площадки, 5–замкнутый контур

Рисунок 2 – Конфигурация концентраторов

Для измерения напряженности магнитного поля использовалась измерительная рамка представляет собой виток медной проволоки, в котором при внесении в электромагнитное поле генерируется разность потенциалов, измеряемая блоком оцифровки сигналов БОС-1. Напряженность поля максимальна в центре зазора магнитопровода индукционного устройства и рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{1.26 \cdot U}{f \cdot a} \cdot 10^5, \text{ А/м} \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение, В;

$f$  – частота, МГц;

$a$  – сторона измерительной рамки, мм<sup>2</sup>.

Параметры магнитного поля для концентраторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры магнитного поля для различных концентраторов

Тип концентратора	Напряженность магнитного поля, А/м · 10 <sup>5</sup>
1. Сплошной	3,89
2. Звезда	3,89
3. Квадраты	3,83
4. Контактные площадки	3,93
5. Замкнутый контур	4,05

Результаты измерения магнитного поля на различных концентраторах находятся в небольшом диапазоне, что говорит о том, что выбранные концентраторы обладают примерно одинаковыми магнитными характеристиками.

Печатные платы выполнены из стеклотекстолита *FR-4*, контактные площадки покрыты иммерсионным оловом. Шарики припоя использовались диаметром 0.760мм, *Sn63/Pb37*. Паяльная паста *Sn63/Pb37* и наносилась при помощи дозатора, входящего в состав манипулятора поверхностного монтажа. Основные параметры индукционного нагрева шариков припоя и с использованием паяльной пасты представлены в таблицах 2 и 3.

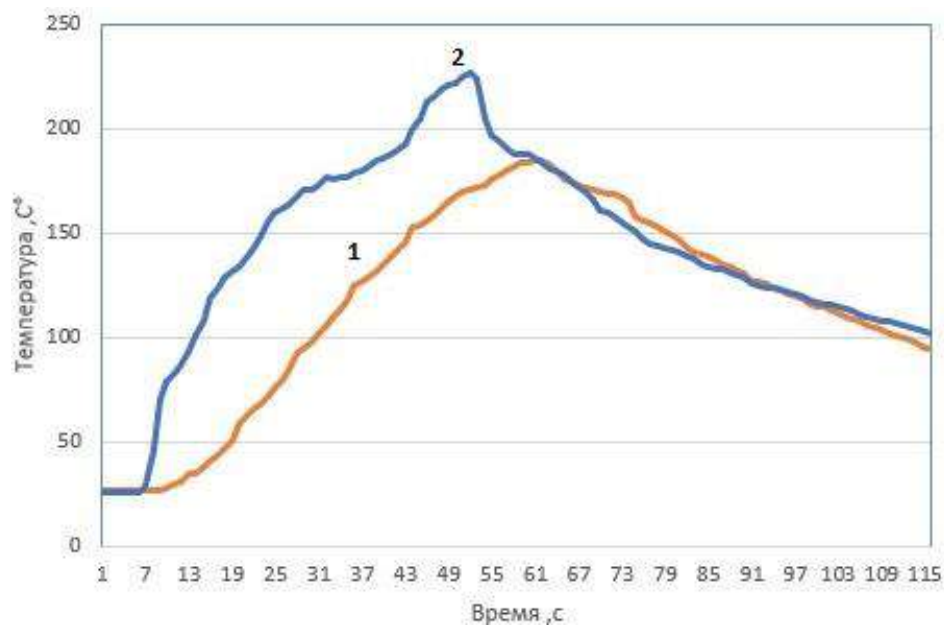
Таблица 2 – Параметры индукционного нагрева шариков припоя

Тип концентратора	Температура нагрева, °С	Время нагрева, с	Ток, А	Высота шариков, мкм
1. Сплошной	225	55	1.98	44
2. Звезда	203	60	1.9	35
3. Квадраты	204	59	1.8	63
4. Контактные площадки	184	89	1.4	47
5. Замкнутый контур	208	72	2.12	47

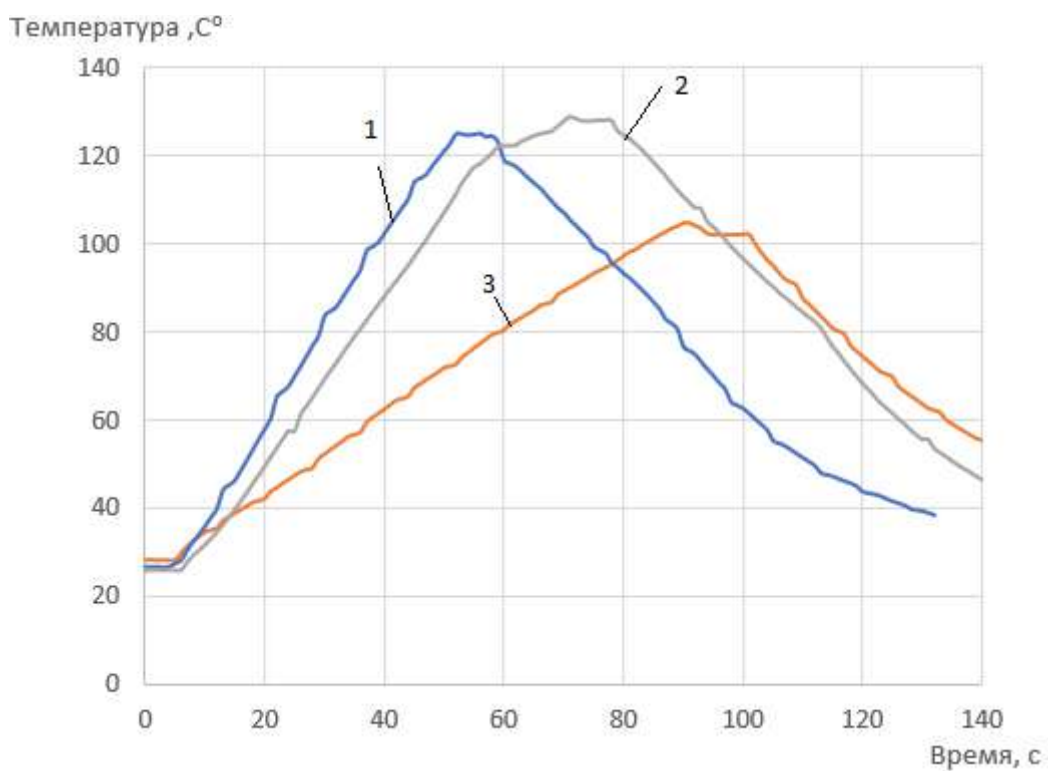
Таблица 3 – Параметры индукционного нагрева паяльной пасты

Тип концентратора	Температура нагрева, °С	Время нагрева, с	Ток, А	Высота шариков, мкм
1. Сплошной	137	60	2.1	43
2. Звезда	127	84	1.8	36
3. Квадраты	130	80	1.9	49
4. Контактные площадки	105	90	1.4	46
5. Замкнутый контур	139	69	1.9	48

Термопрофили пайки регистрировались при помощи измерителя температуры *TPM-210*, подключенного по шине *RS-232* к компьютеру. Термопрофили пайки для шариков припоя и паяльной пасты представлены на рисунках 3 и 4.



1– концентратор контактные площадки, 2 – концентратор сплошной  
Рисунок 3 – Термопрофили пайки шариков припоя



1– концентратор сплошной, 2– концентратор замкнутый контур,  
3–концентратор контактные площадки

Рисунок 4 – Термопрофили пайки паяльной пасты

Внешний вид сформированных шариков припоя на плате представлен на рисунке 5

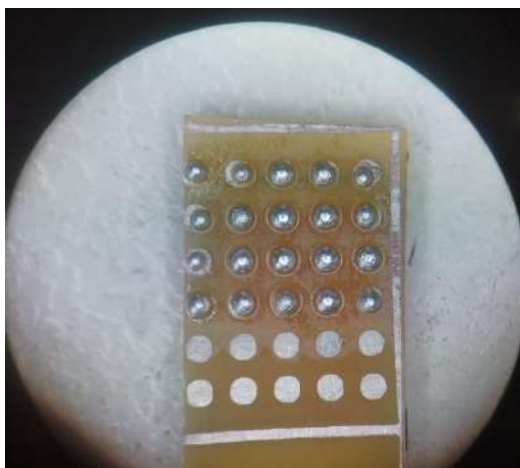


Рисунок 5 – Внешний вид шариков припоя на плате

**Заключение.** Применение индукционных устройств на замкнутом магнитопроводе позволяет повысить эффективность нагрева за счет концентрации электромагнитного поля в зазоре между катушкой индуктора и замкнутым магнитопроводом. Применение концентраторов увеличило равномерность нагрева шариков припоя. Наибольшая скорость нагрева достигнута при сплошном концентраторе с применением шариков припоя  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , а с паяльной пастой –  $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Однако его применение приводит к перегреву платы. Замкнутые конфигурации концентраторов обладают оптимальным временем нагрева и не перегревают плату.

#### **Список литературы:**

1. Основы силовой электроники: импульсные режимы работы / А. Колпаков [и др.] // Силовая электроника. –2013. – №2, – С.46–52.
2. Lanin, V.L. Induction Devices for Assembly Soldering in Electronics / V.L. Lanin, I.I. Sergachov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2012, № 4. – P. 384–388.
3. Ланин, В.Л. Высокочастотный индукционный нагрев для пайки электронных устройств / В.Л. Ланин // Технологии в электронной промышленности –2007.-№ 5.– С. 46–49.

UDC [611.018.51+615.47]:612.086.2

## **FORMATION OF SOLDER BUMPS ON BOARDS AND SUBSTRATES BY INDUCTION HEATING**

*Hatskevich A.D.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lanin V.L. – Dr. Tech. Sc., full professor, professor of the department of ETT*

**Abstract:** The process of forming solder balls on boards and substrates using induction heating is considered. To localize and increase uniformity, hubs of various geometric configurations are used on the reverse side of the printed circuit board. The inverter is built according to an energy-efficient scheme based on a ZVS generator. It has been established that concentrators have a positive effect on the uniformity of the soldered sample. The highest heating rate was achieved with a continuous concentrator of  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  at a power of 30W. Its use leads to overheating of the board. Closed configurations have optimal heating time and do not overheat the board. At the same time, the use of solder balls turned out to be more effective than solder paste.

**Keywords:** induction heating, ZVS generator, soldering, thermal profile.