

## ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГПП

**Андрусевич А.А., Стародубцев Н.Г., Невлюдова В.В., Власенков Д.П.**

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина. E-mail: d\_tapr@nure.ua.

Рассматривается процесс формирования микросоединений методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат, проанализировано влияние технологических факторов и конструктивных параметров на механизм образования сварного соединения.

**Ключевые слова:** микросоединение, ультразвук, показатель качества, полиимид, сварка.

### RESEARCH OF THE PROCESS OF FORMING MICROCOMPINEMENTS BY ULTRASONIC WELDING WHEN MAKING FPCB

**Andrusevich A., Stroductsev N., Nevliudova V., Vlasenkov D.**

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, E-mail: d\_tapr@nure.ua.

In this paper, the process of forming microconnections by ultrasonic welding in the manufacture of flexible printed circuit boards is considered, the influence of technological factors and design parameters on the mechanism of formation of a welded joint is analyzed.

**Key words:** microconnection, ultrasound, quality indicator, polyimide, welding.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Гибкие печатные платы (ГПП) – в условиях микроминиатюризации изделий современной электронной техники обеспечивают ряд преимуществ при создании электросоединений в приборах как стационарных, так и подвижных конструкций. Устойчивость к перегибам позволяет использовать ГПП в конструкциях радиоэлектронных изделий (РЭИ), позволяющих неоднократно складывать их в книжку или свертывать в рулон. Конструктивно выполняемые по принципу организованных выводов они обеспечивают уменьшение габаритов и веса РЭИ, возможность применения автоматизированных процессов их сборки и монтажа, снижая тем самым трудоемкость технологического процесса и повышая надежность. Все это позволило для РЭИ на основе ГПП найти широкое применение в различных областях.

**МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Качество и надежность соединений металлических микровыводов ГПП во многом определяется правильным выбором конструктивно-технологических параметров сварных узлов, обеспечением металлургической совместимости, соединяемых микровыводов, высокой электропроводности, механической прочности и минимизацией напряженно-деформированного состояния структурных компонентов микросоединения.

Прочность и надежность соединения типа А1-А1 характеризуются высокими показателями вследствие отсутствия гетерогенных диффузионных процессов в процессе сварки и при последующем температурном старении. Так, при ускоренных испытаниях (выдержка при 300 °С в течение 150 час) целостность сварных соединений А1-А1 сохраняется, а при отрыве проволоки происходит разрыв в месте перехода вывода в сварное соединение. Металлографический анализ косых микрошлифов показал, что зона взаимодействия А1-А1 имеет металлический блеск и незначительные включения окислов алюминия [1].

Однако при чрезмерной деформации выводов (более 60%) и при непараллельности поверхности кристалла относительно торца инструмента имеет место (до 4%) предельно низкое усилие на отрыв –  $13 \cdot 10^{-2}$  Н.

Использование плоских ленточных выводов в конструкции гибких коммутационных структур вместо проволоки позволяет во многом избежать проблем, связанных с переменным сечением проволоки (диаметр 30 мкм), так как ширина ленточного вывода (фольги) составляет 100-200 мкм и фактор разнотолщинности сглаживается за счет интегральной картины сварного микросоединения. К тому же ленточный вывод гибкого носителя поступает на сварочный монтажный стол в готовом виде и не подвергается внешним воздействиям протяжных механизмов, как в случае подачи проволоки.

В условиях формирования сварного микросоединения плоских алюминиевых выводов гибкой печатной платы дополнительных требований к материалу проводникового слоя по сравнению с проволочным способом сборки ранее не обнаружено [2]. Однако, экспериментально установлено, что толщина слоя алюминиевой металлизации на ГПП должна быть не менее 10 мкм. Уменьшение толщины ведет к снижению прочности сварного соединения микровыводов ГПП.

Процесс соединения проволочных выводов с металлизированными контактными площадками на полиимидной подложке изучен достаточно полно. Для случая соединения ленточных выводов картину кинетических закономерностей формирования соединения, в основном, следует считать идентичной за исключением некоторых допущений, связанных с геометрией привариваемого вывода и профилем торца инструмента. Кинетика формирования соединения в реальном масштабе времени ранее подробно изучалась [2, 3] с помощью регистрации осциллограмм, изменения температуры в зоне сварки, контактного электросопротивления на границе сварочный инструмент-проводник или проводник-проводник, записи акустической эмиссии.

Кинетику формирования соединений при УЗ-микросварке подобных образцов можно представить следующим образом. До включения ультразвуковых колебаний (УЗК) под действием статически приложенной нагрузки на инструмент из-за деформации проводника создается некоторая первоначальная площадь контактирования по разнице раздела инструмент – металлический проводник и металлический проводник – металлический проводник.

После включения УЗ-колебаний в результате активирующего действия ультразвука, снижающего предел текучести алюминия, облегчается пластическая деформация проводника и идет интенсивная осадка его, о чем свидетельствует резкое возрастание ширины контакта и интенсивности акустической эмиссии. При этом из-за наличия канавки (канавок) на рабочем инструменте процессы трения сначала идут, в основном, на контактной поверхности металлический проводник – металлический проводник, что и подтверждают экспериментальные данные по резкому возрастанию и последующему спаду РК. На этой стадии в зоне трения происходит значительное тепловыделение, которое резко повышает температуру в зоне сварки, способствуя ускоренной пластической деформации проводника.

Таким образом, УЗ-колебания при сварке, прежде всего, создают условия для быстрого формирования физического контакта. Одновременно с этим происходит активация контактных поверхностей, приводящая к образованию очагов взаимодействия в условиях пластической деформации алюминия. При осадке алюминиевого проводника окисная пленка на нем растрескивается и в зону контакта выходит чистый алюминий, растекание которого по поверхности способствует удалению из зоны сварки загрязнений и осколков окисных пленок.

При наличии УЗ колебаний в зоне контакта резко возрастают касательные напряжения за счет интенсивного перемещения трущихся поверхностей, что приводит к локализации пластической деформации в поверхностных слоях и резкому градиенту плотности структурных дефектов у контактной поверхности.

Под действием структурной и термической активации в зоне трения образуются первые дискретные очаги взаимодействия, разрастающиеся затем в результате протекания диффузионных процессов, которые значительно ускоряются в условиях пластической деформации проводника и трения его по поверхности контакта с одновременным наложением ультразвукового поля [1, 2]. Естественно предположить, что при УЗ-микросварке под влиянием необычайно больших пластических деформаций в приконтактных слоях и кратковременных температурных всплесков, возникающих в зоне трения, первые очаги взаимодействия образуются при относительно небольшом увеличении температуры. Наличие первых очагов взаимодействия при очень малых временах сварки подтверждается экспериментально с помощью металлографических исследований [3], и, кроме того, контакты, полученные за такие малые времена сварки, обладают уже некоторой прочностью, но суммарная площадь очагов взаимодействия при этом мала.

В дальнейшем, с увеличением площади контактирования и плотности очагов взаимодействия, сопротивление перемещению металлического проводника верхнего слоя относительно микропроводника нижнего слоя возрастает настолько, что, в основном, происходит перемещение инструмента уже относительно верхнего проводника. При этом резко возрастает падение напряжения на границе раздела инструмент-проводник. Эта граница и является теперь источником тепла. Следует отметить, что температура в зоне сварки под действием обоих источников тепла, которые как бы меняются местами, все время растет до определенного момента.

Характерно, что при достижении максимальной температуры в зоне сварки происходит вторичная осадка проводника. Это хорошо подтверждается резким падением напряжения, а также резким падением РК. Кроме того, этому временному интервалу соответствует наиболее интенсивный рост площади  $S_{св}$ , ( $S_{св}/S_k$ ) и, соответственно, прочности сварки  $P$ . Причем максимальный прирост прочности сварки происходит, в основном, за время активной деформации проводника. Перегибы на кривых РК соответствуют задержке по деформации проводника из-за деформационного упрочнения алюминия в процессе первичной осадки и резкого уменьшения удельного давления сварки из-за прироста площади контактирования свариваемых материалов при постоянной величине нагрузки на сварочный инструмент. С увеличением параметров УЗС отдельные стадии процесса накладываются друг на друга.

**ВЫВОДЫ.** Таким образом, исходя из рассмотренных закономерностей формирования микросоединения в процессе ультразвуковой сварки можно сделать вывод, что прочность и надежность соединений на заданном уровне обеспечивается технологическими факторами: усилием нагружения, мощностью импульса, временем сварки, а также свариваемыми материалами с соответствующими физико-химическими свойствами. Оптимальный режим процесса микросварки характеризуется достижением максимальной прочности соединения при минимальном электрическом сопротивлении контакта. При этом заметное влияние на параметры режима сварки оказывает состояние поверхности используемых материалов, соотношение размеров зоны контактной микросварки и микропроводников, конструктивные параметры гибкой печатной платы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заводян, А. В. Анализ сборочно-монтажных процессов производства электронных средств [Текст] /

А. В. Заводян, А. М. Грушевский. - М.: МИЭТ, 2005. - 200 с.

2. Грачёв, А. А. Ультразвуковая микросварка [Текст] / А. А. Грачёв, А. П. Кожевников, В. А. Лебига. - М.: Энергия, 1977. - 184 с.

3. Балабанов, В. Т. Технология создания плоских микромодулей для приборов бесконтактной идентификации [Текст]: автореф. дис. к.т.н. : / В. Т. Балабанов ; [Московский гос. ин-т электронной техники]. - М., 2008. - 26 с.

**ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ИМПУЛЬСНЫХ ПОВЫШАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НАПРЯЖЕНИЯ**

**Димитров Ю.Ю., Кубов В.И.**

Черноморский национальный университет им. П.Могилы  
г. Николаев, Украина, E-mail: uriidymyrov@chmnu.edu.ua

Рассматриваются результаты моделирования колебаний в импульсных повышающих преобразователях напряжения для ряда распространенных схемотехнических решений, и, в том числе, различных реализаций обратных связей. Исследуются параметрические зависимости бифуркационных диаграмм для токов, напряжений и периодов осцилляций.

**Ключевые слова:** бифуркационная диаграмма, параметрическая зависимость, импульсный повышающий преобразователь напряжения, хаотические колебания.

**CHAOTIC OSCILLATIONS IN BOOST SWITCHING DC-DC CONVERTERS**

**Dymytriv Y., Kubov V.**

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine, E-mail: yuriidymyrov@chmnu.edu.ua

The simulation results of oscillations in boost switching DC-DC converters are considered. It is done for number of common circuit solutions, including various implementations of feedbacks. The parametric variation on diagrams of bifurcation for currents, voltages and oscillation periods are investigated.

**Key words:** bifurcation diagram, parametric dependence, Boost Step-Up DC-DC converter, chaotic oscillations.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РАБОТЫ.** Импульсные преобразователи тока и напряжения широко применяются в современных блоках питания электронной аппаратуры, системах управления и питания электропривода, в аппаратуре преобразования для “зеленой энергетики” [1], и в ряде других сферах применения. Работа импульсных преобразователей может сопровождаться повышенным уровнем шумов, как акустических, так и электромагнитных. Разработчики борются с нежелательными шумами путем выбора соответствующих режимов работы и установки фильтров.

В настоящей работе рассмотрены приемы поиска и анализа хаотических колебаний в импульсных повышающих преобразователях напряжения с привлечением отображения Пуанкаре и бифуркационных диаграмм [2].

**МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В качестве инструмента моделирования использовался бесплатный открытый пакет LTspice, детально описанный в [3]. Импульсный повышающий преобразователь – Boost Step-Up DC-DC, в простейшем случае строится по схеме рис.1.

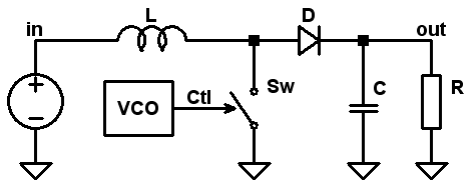


Рис.1. Базовая схема Boost Step-Up DC-DC

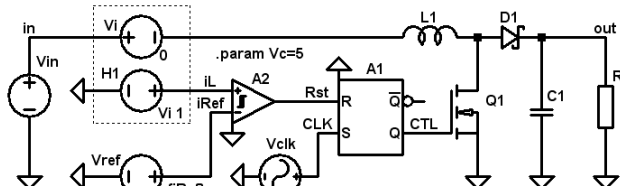


Рис.2. Схема на дискретных элементах.

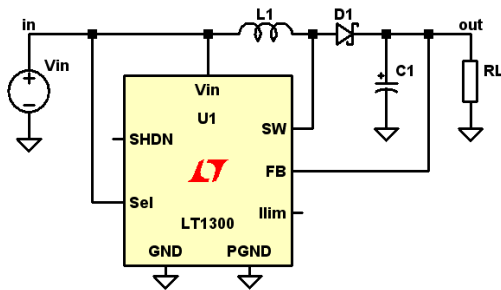


Рис.3. Схема на LT1300

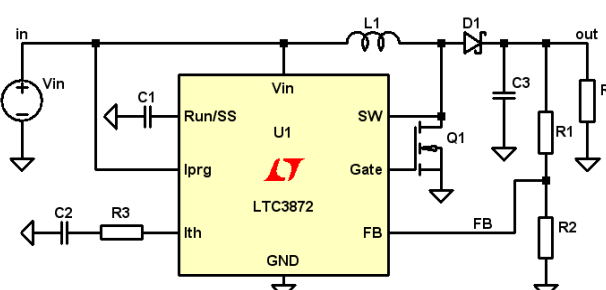


Рис.4. Схема на LTC3872

Основными элементами классической схемы рис.1 являются: источник входного напряжения Vin; накопительная индуктивность L; коммутационный ключ Sw; выпрямительный диод D; сглаживающая емкость C; нагрузка R; управляемый генератор импульсов – VCO (Voltage Control Oscillator). Принцип работы такого преобразователя и приемы его исследования в пакете LTspice детально рассмотрены в [3].

На рис.2-4 показаны варианты конкретных схемотехнических решений подобного преобразователя. Все они имеют общие элементы, а именно: накопительную индуктивность, выпрямительный диод и коммутационный