

# Индукционные паяльники для монтажа электронных компонентов

**С повышением функциональной сложности электронных компонентов растут проблемы их монтажа на поверхность плат. Индукционные источники нагрева отличаются экономичностью и удобством работы.**

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.by

Евгений Шнейдеров

**Применение монтажных  
индукционных паяльников**

При индивидуальной пайке основной технологической оснасткой является паяльная станция, в состав которой входит паяльник и блок питания с расширенными возможностями: контролем температуры или рабочего напряжения, защитой от перегрузок и статического электричества. Иногда — дополнительные принадлежности: подставка для паяльника, отсос для удаления припоя из места пайки, термофен и др.

Пайка многовыводных корпусов стала главной проблемой технологии межсоединений поверхностного монтажа. В типичных процессах пайки на больших площадях используют конвективные и инфракрасные источники нагрева. Хотя эти методы нагрева имеют высокую производительность в массовом производстве, однако порой они могут вызвать повреждение компонентов или печатных плат из-за чрезмерно высокой температуры и/или длительного времени нагрева. Эта проблема может затронуть до некоторой степени надежность электронных изделий [1].

«Классические» паяльные станции работают с использованием контактного нагрева жала. Переменный низкочастотный ток проходит в них через нагревательный элемент, имеющий высокое активное сопротивление, к которому вплотную примыкает жало паяльника. Метод нагрева имеет свои недостатки, такие как вероятность наличия зазора в зоне контакта, большая потребляемая мощность прибора и локальный перегрев контактной зоны жала. Последнее существенно снижает время службы наконечника паяльника. Практически все эти недостатки устраняются с появлением индукционных паяльных станций, в которых реализован метод высокочастотного нагрева рабочего жала паяльника.

В настоящее время потребность в высокочастотной индукционной технологии определяется тем, что многие технологические операции монтажа в области радиоэлектроники невозможно выполнить другим способом, кроме как нарушить конструкцию изделия. Применение индукторов с малыми габаритами и возможностью придания любой геометрии позволяет проводить нагрев соединений практически любых форм. Применение ВЧ-нагрева для пайки в производстве электронных модулей имеет хорошие перспективы ввиду возможности гибкой автоматизации процесса, применения программно-управляемого оборудования и управляющих ЭВМ.

**Особенности индукционного нагрева  
наконечника паяльника**

В основе индукционного метода лежит нагрев наконечника индукционного паяльника, имеющего ферромагнитное покрытие, переменным магнитным полем. Ферромагнитное покрытие наносят на основание, имеющее большую теплопроводность (например, медь). Ферромагнетиками являются железо, кобальт, никель и редкоземельные металлы: гадолиний, тербий, диспрозий и др., а также сплавы NiB, Fe<sub>3</sub>Al, Ni<sub>3</sub>Mn, FePd<sub>3</sub> и др.

Когда ферромагнитный материал помещается в переменное магнитное поле, создаваемое индукционной обмоткой (рис. 1), это вызывает перемагничивание материала и его нагрев вихревыми токами в скин-слое. Часть энергии, расходуемая на перемагничивание материала, ( $W_{пер}$ ) и энергия, выделяемая вихревыми токами, ( $W_a$ ) преобразуются в теплоту:

$$W_{пер} = hfB_M^n V, \quad (1)$$

$$W_a = \varepsilon f^2 B_M^2 V, \quad (2)$$

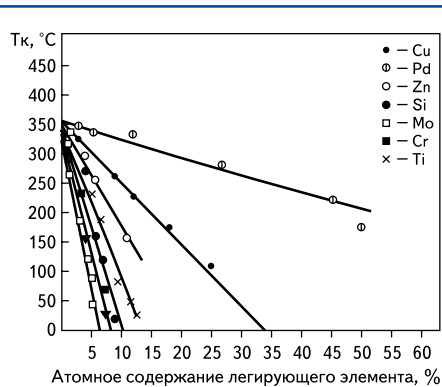
$$W_{общ} = W_{пер} + W_a = (hB_M^{n-2} + \varepsilon f) f B_M^2 V, \quad (3)$$

где  $h$  — коэффициент, характеризующий ферромагнетик;  $f$  — частота тока;  $B_M$  — плотность магнитного потока;  $V$  — объем ферромагнетика, находящегося в переменном магнитном поле;  $\varepsilon$  — коэффициент, пропорциональный удельной электропроводности и зависящий от геометрической формы ферромагнетика.

При достижении температуры Кюри разогрев жала ВЧ-токами резко падает вследствие теплового разрушения доменной структуры материала, поэтому точка Кюри является максимально возможной температурой жала индукционного паяльника. Для чистого ферромагнетика значение температуры Кюри чаще всего находится за пределами рабочих температур пайки, что не дает использовать этот эффект. Если же в сплав добавить некоторые редкоземельные элементы, то можно существенно понизить температуру Кюри, например, для элемента гадолиния она равна всего 16 °С. Задавая величину легирующих элементов в сплаве жала, можно установить практически любую требуемую температуру Кюри. На рис. 2 представлена зависимость температуры Кюри сплавов никеля от процентного содержания легирующих элементов.



Рис. 1. Индукционная обмотка



**Рис. 2.** Зависимость температуры Кюри никелевых сплавов от процентного содержания легирующих элементов

В таких сплавах с увеличением температуры магнитная восприимчивость материала уменьшается, и в точке Кюри ферромагнетик теряет свои магнитные свойства, нагрев прекращается, и температура стабилизируется.

Термосенсоры и схемы обратной связи здесь не нужны, и выбор температуры для пайки сводится просто к выбору жала с требуемой температурой Кюри в зависимости от условий пайки.

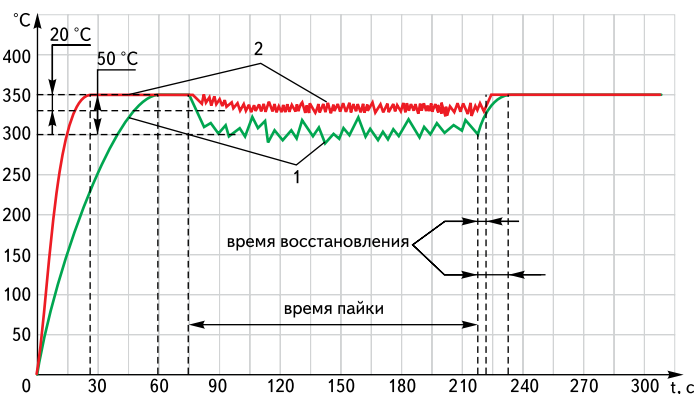
В момент касания теплоотводящего элемента температура наконечника падает, магнитные свойства материала мгновенно восстанавливаются, и наконечник вновь начинает взаимодействовать с магнитным полем, стремясь удержать температуру в заданной точке Кюри. Чем более теплоемкий контакт приходится паять, тем больше отклонится температура, и тем больше энергии будет поглощено из поля. Таким образом, система регулирует требуемую мощность для нагрева каждого контакта в зависимости от его теплоемкости.

На рис. 3 представлены температурные циклы паяльника классической и индукционной паяльных станций. Испытания проводились на печатной плате, размеры точек пайки 1,6×5,0 мм, периодичность пайки — каждые 3 секунды [2].

Основные достоинства индукционных паяльников:

- Возможность настройки заданной температуры наконечника (за счет подбора материала с нужной температурой Кюри).
- Небольшое потребление мощности (происходит нагрев не всего объема наконечника, а только поверхностного скин-слоя).
- Равномерный нагрев наконечника, отсутствие температурной инерции (из-за отсутствия нагревательного электрода поверхностный слой наконечника сам является нагревателем).
- Простота замены наконечника при нарушении его целостности (за счет отсутствия высоких требований к контакту с индуктивной обмоткой).

Примерами серийно выпускаемых индукционных паяльных станций являются паяльные станции китайского производителя Quick и американского — OK International (OKI). Такие паяльные станции преобразуют напряжение питания сети в прямоугольное напряжение амплитудой 36 В с частотой 400 кГц. Это напряжение



**Рис. 3.** Температурные циклы паяльников для классической (1) и индукционной (2) паяльных станций



**Рис. 4.** Индукционная паяльная станция PS-800

подводится к возбуждающей обмотке, обладающей минимальным активным сопротивлением (не более 1,3 Ом) и большим реактивным сопротивлением (не менее 50 мГн), причем индуктивность обмотки без жала в 100 раз меньше. Мощность, передаваемая от паяльной станции, на 80–85% передается самому жалу, включенной обмоткой. Оставшиеся 15–20% мощности разогревают обмотку возбуждения, которая находится снаружи жала, кондуктивно нагревая при этом жало.

Паяльные станции Quick-203 мощностью 60 и 90 Вт разогревают жало до температуры 300 °С за 25–35 с и имеют диапазон рабочих температур от 200 до 420 °С. Станции Quick-301 (303) применяются для пайки припоями, не содержащими свинец. В этих станциях мощностью 80 Вт термопара размещена на наконечнике паяльника и имеется микропроцессорный регулятор температуры.

Паяльная станция PS-800 (рис. 4) американской компании OK International (OKI) при мощ-

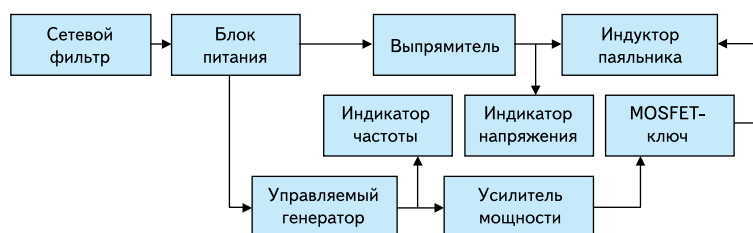
ности 50 Вт имеет такую же теплоотдачу, как 90-Вт паяльник с керамическим нагревателем.

Рынок индукционных паяльных станций прочно занят зарубежными производителями. Когда же отечественные фирмы смогут предложить варианты станций, не уступающие по техническим параметрам зарубежным образцам?

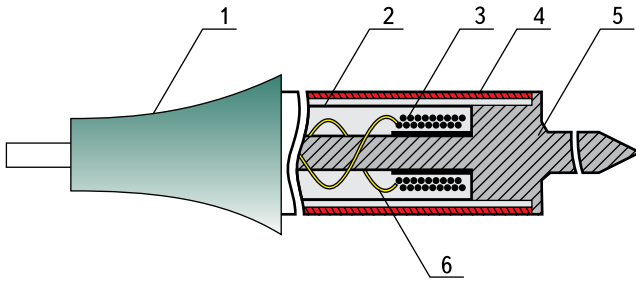
### Особенности конструкции индукционного паяльника

Конструкция индукционной паяльной станции может быть различна в зависимости от принципа формирования и подвода ВЧ-напряжения к паяльнику. Однако она должна давать пользователю возможность измерить наиболее важные параметры процесса. Пример структурной схемы индукционной паяльной станции приведен на рис. 5.

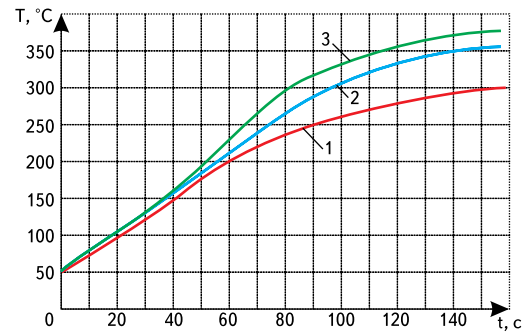
Индуктор представляет собой обмотку, выполненную из низкоомного материала (для обеспечения малого активного сопротивления) и имеющую изоляцию с высокой температур-



**Рис. 5.** Структурная схема индукционной паяльной станции



**Рис. 6.** Конструкция индукционного паяльника:  
1 — ручка; 2 — ферромагнитное покрытие; 3 — индуктор;  
4 — экранирующий элемент; 5 — наконечник; 6 — провод



**Рис. 8.** Температурная зависимость нагрева паяльника от величины переменной составляющей тока индуктора: 1 — 2 А; 2 — 3 А; 3 — 4 А

рой плавления [3] (рис. 6). В состав конструкции индукционного паяльника должен входить защитный экранирующий элемент для обеспечения безопасной работы с ВЧ-полем.

Для концентрации электромагнитного поля в поверхностном слое наконечника можно использовать ферритовые кольца (рис. 7). Недостатком их применения является увеличение диаметрального размера паяльника, что представляет неудобство при работе в труднодоступных местах.

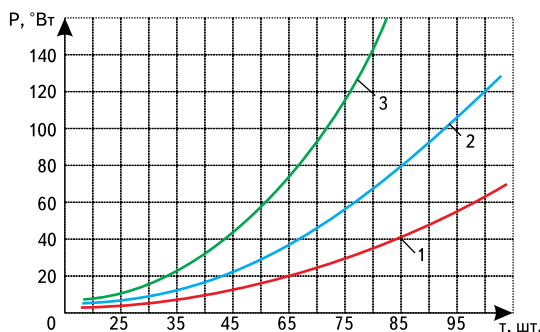
Большую роль в обеспечении оптимального энергетического режима работы индукционного паяльника играет величина тока индуктора, который включает постоянную и переменную составляющие. Переменная составляющая в общем случае полезна, так как возбуждает переменное электромагнитное поле, нагревающее наконечник.

Зависимость интенсивности нагрева от величины этой составляющей приведена на рис. 8. Постоянная же составляющая проявляется в потере тепловой мощности на MOSFET-транзисторах. Таким образом, большое значение постоянной составляющей выводит работу устройства в неблагоприятный энергетический режим.

Основным показателем, классифицирующим паяльные станции и информативным для непрофессионального пользователя, можно считать мощность нагрева.

В свою очередь электромагнитное поле, нагревающее наконечник, формирует индуктор. Учитывая глубину проникновения поля, мощность нагрева можно рассчитать по формуле:

$$P = (I_{и} N)^2 \frac{\rho \pi d}{\delta l}, \quad (4)$$



**Рис. 9.** Зависимость мощности нагрева паяльника от количества витков индуктора при различной глубине проникновения поля: 1 — 40 мкм; 2 — 20 мкм; 3 — 10 мкм



**Рис. 7.** Использование ферритовых колец для концентрации электромагнитного поля в поверхностном слое наконечника

где  $I_{и}$  — величина тока индуктора;  $N$  — число витков индуктора;  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление;  $d$  — диаметр наконечника;  $\delta$  — глубина проникновения электромагнитного поля;  $l$  — длина наконечника, помещенного в индуктор.

Глубина проникновения поля в материал наконечника — величина, зависящая от частоты и рассчитываемая как:

$$\delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (5)$$

где  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление;  $\mu$  — магнитная проницаемость материала;  $f$  — частота электромагнитного поля.

Зависимость мощности нагрева от количества витков индуктора при различной глубине проникновения поля представлена на рис. 9.

Анализ графиков показывает, что мощность квадратично зависит от числа витков и тока индуктора, а также обратно пропорциональна глубине проникновения электромагнитного

поля в наконечник. Скорость нагрева зависит от магнитных свойств покрытия жала паяльника. На рис. 10 представлена температурная зависимость жала с покрытием сплавом NiB для различного содержания бора.

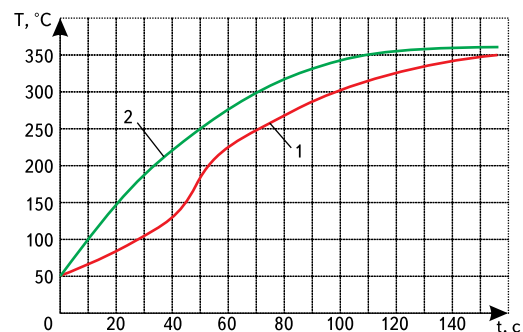
С увеличением процентного содержания бора в покрытии толщиной 20 мкм скорость нагрева снижается и одновременно снижается значение температуры Кюри.

### Заключение

Использование индукционного метода нагрева в паяльных станциях позволяет регулировать температуру наконечника без применения управляющих систем, что уменьшает конструктивную сложность и повышает надежность работы паяльника. Регулировка температуры такой станции сводится к правильному выбору материала покрытия наконечника и энергетического режима работы. Паяльники с индукционным методом нагрева потребляют меньшую мощность, нагреваются быстрее и служат дольше, чем классические.

### Литература

- Ланин В. Л. Высокочастотный электромагнитный нагрев для пайки электронных устройств // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 5.
- Колесов Д. Идеальный паяльник // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 6.
- High Efficiency Autoregulating Heater / P. S. Carter // US Patent № 4.745.264, 1998.
- Automated Soldering System / T. Tokoyama, M. Miyazaki, Y. Hagihara // US Patent № 6.563.087, 2003.



**Рис. 10.** Температурная зависимость сплава NiB для процентного содержания бора: 1 — 1%; 2 — 2%