

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ НАГРЕВ В ЗАЗОРЕ МАГНИТОПРОВОДА

Магистрант группы 5М1111 Васильев А.С.

Д-р техн. наук, профессор Ланин В.Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Индукционные нагревательные устройства на магнитопроводе из феррита с незамкнутой магнитной цепью обладают высокой скоростью бесконтактного и локального нагрева проводящих материалов и эффективны для монтажной пайки в электронике. Для формирования качественных паяных соединений необходима оптимальная конструкция индуктора, концентрирующая магнитный поток в зоне пайки, и оптимизация температурного профиля нагрева.

Примем что весь ток в нагрузке сосредоточен в полосе шириной  $a_n$ , равной ширине паза  $a_n$  (рис. 1).

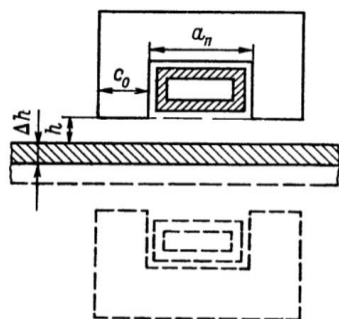


Рис. 1. Расчет плоского индуктора с магнитопроводом:  $a_n$  – ширина паза,  $h$  – высота зазора,  $c_0$  – ширина полюса,  $\Delta h$  – дополнительный зазор

Будем считать также, что сопротивление обратного замыкания  $x_0$  изменится мало, если влияние на него реальной загрузки учесть с помощью дополнительного зазора  $\Delta h$ , за пределы которого магнитное поле не распространяется. Ряд расчетов показал, что  $\Delta h$  лучше всего брать таким, чтобы дополнительное индуктивное сопротивление было равно сопротивлению загрузки  $x_l$ :

$$\Delta h = \frac{x_l}{\omega \mu_0},$$

где  $\omega$  – комплексный потенциал поля;  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Для однородного нагреваемого тела:

$$\Delta h = \frac{\mu_1 \delta}{2}, \text{ где}$$

$\mu_1$  – относительная проницаемость загрузки;  $\delta$  – глубина проникновения

Принятое допущение позволяет определить  $x_0$ . Заменяем при вычислении  $x_0$  нагрузку сверхпроводящей плоскостью, отстоящей от индуктора на расстоянии  $h_3 = \Delta h + h$ . Такая система может рассматриваться как половина шинпровода с расстоянием  $H = 2h_3$  между шинами, снабженными наружным магнитопроводом. Вторая половина шинпровода

получается как зеркальное отображение индуктора относительно сверхпроводящей плоскости.

Применяя к шинпроводу расчет по методу общего потока, получаем [1]:

$$x_0 = \frac{\omega \mu_0 H}{2a_n} - \frac{K_L}{1-K_L},$$

где  $K_L$  – поправочный коэффициент индуктивности шинпровода.

Моделирование электромагнитного поля выполнено в САПР COMSOL Multiphysics для индукционного нагрева деталей из медных сплавов на частоте 66 кГц и силе тока 10А [2]. Анализ результатов показывает, что имеется нелинейная зависимость глубины прогрева от величины зазора (рис. 2).

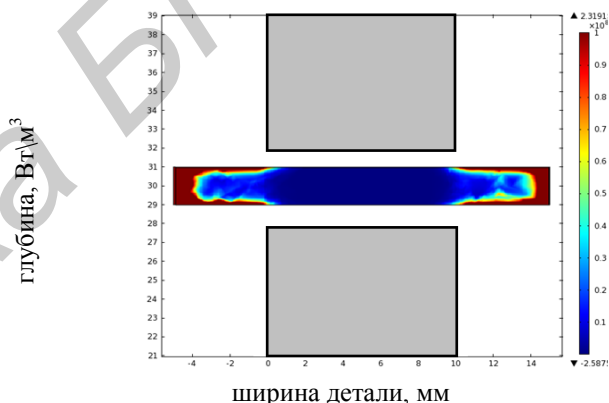


Рис. 2. Распределение мощности нагрева по глубине и вдоль детали

Замечено, что 90% энергии электромагнитного поля выделяется на расстоянии 2 мм от края детали. Лучше всего это заметно на стальной детали. С ростом зазора мощность нагрева падает, но при этом увеличивается нагрев по остальному объему детали. Введение экрана из магнитного материала увеличило мощность нагрева в зоне до 2 мм от края детали на 50%, но при этом значительно уменьшило распределение мощности нагрева внутри объема детали.

### Литература

1. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Н50 Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 280 с.
2. Ланин, В.Л. Высокочастотный электромагнитный нагрев для пайки электронных устройств / В.Л. Ланин // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 5. – С. 46–49.