

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО НАГРЕВА ТОНКИХ ПРОВОДНИКОВ.**

***Р.Г. Калинин, аспирант каф. ПрЭ,***

***В.А. Федотов, зав. лабораторией ГПО***

*Научный руководитель: В.Д. Семенов, канд. техн. наук,  
профессор, зам. зав. каф. ПрЭ по НР*

*Томск, ТУСУР, [rokali@mail.ru](mailto:rokali@mail.ru)*

Многочисленные технологические процессы, применяемые при производстве медных проводников, связаны с их нагревом. Самым эффективным способом нагрева является индукционный способ [1]. Индукционным способом также можно производить зачистку концов эмалированного провода от эмали при изготовлении точных изделий [патент].

Наиболее эффективно, с точки зрения требуемой энергии магнитного поля, индукционный нагрев тонких проводов производить в продольном магнитном поле [статья]. Индуктор для создания продольных магнитных полей относительно оси медной жилы должен представлять собой соленоид. Известно, что эффективность индуктора выполненного в виде соленоида зависит от отношения диаметров нагреваемой заготовки и внутреннего диаметра соленоида, поэтому при создании индуктора для нагрева тонких проводов (диаметром 0.1-0.4мм) необходимо стремиться к уменьшению внутреннего диаметра соленоида до 1мм и меньше, что представляет собой сложное конструкторское решение. Более простым способом является конструкция индуктора с поперечным магнитным полем относительно оси проводника на основе магнитопровода рис. 1. Индуктор выполнен из магнитопровода с зазором 1, на который намотана обмотка 3. На рисунке показан способ размещения провода 2 в зазоре магнитопровода.

Эффективность нагрева проводника поперечным магнитным полем будет определяться потерями в магнитопроводе и силовом преобразователе вторичного источника питания. Ограничимся рассмотрением потерь в индукторе. Необходимо оценить эффективность индукционного нагрева тонкого проводника в

поперечном магнитном поле и определить параметры магнитного поля от которых эта эффективность зависит.

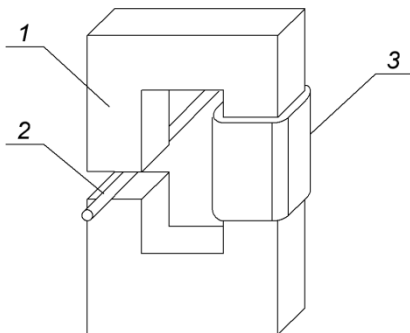


Рис.1.

Эффективность нагрева, определяется выражением:

$$\eta_{и} = \frac{P_{\Pi}}{P_{\Pi} + P_{M}}$$

Где:  $P_{\Pi}$  – тепловые потери в нагреваемом проводнике;  $P_{M}$  – потери в магнитопроводе. Потерями в обмотке пока пренебрежём т.к. эти потери удобнее рассматривать совместно с потерями в высокочастотном инверторе, питающем индуктор.

Согласно исследованиям [4] для определения удельных магнитных потерь в стали применяется формула:

$$P_{V} = k f^x \Delta B^y$$

Где: динамические коэффициенты  $x$  и  $y$  берутся с экспериментальных зависимостей, представленных в документации к материалу магнитопровода.

**Какой материал?** Компания MagneticsInc предлагает следующие коэффициенты [2]:

$$P_{M} = 3,397 f^{1,979} \Delta B^{2,628} V_{M}$$

Где:  $V_{M}$  – объем магнитопровода.

Потери в проводнике определяются экспериментально из математической модели (наименование проги) воспользуемся данными приведенными в [статья].

На рис. 2 приведены рассчитанные семейства диаграмм эффективности  $\eta_{и}$  от частоты при различных значениях индукции магнитного поля для сердечника типа EFD25.

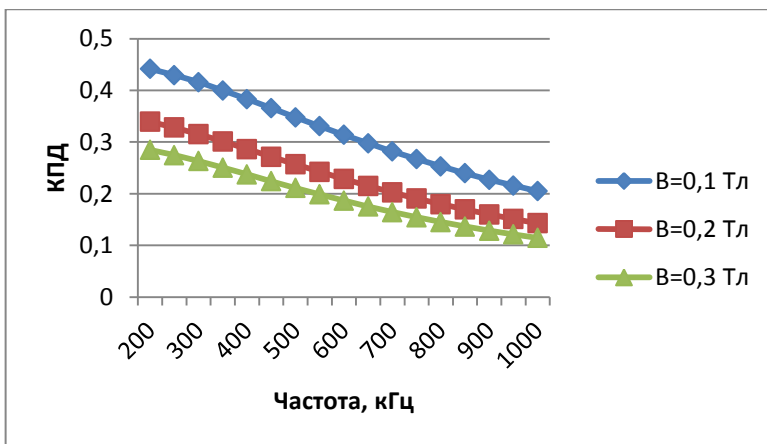


Рис.3 – Зависимость КПД от частоты.

Из приведенных диаграмм видно, что эффективность нагрева повышается при снижении частоты и индукции магнитного поля, однако при этом снижается тепловая мощность, выделяемая в нагреваемом теле, что ведет к увеличению времени нагрева.

Необходимо также учитывать кондуктивную передачу тепла из области нагрева, вдоль проводника, что также снижает скорость нагрева для проводников больших диаметров.

Чтобы определить требуемые параметры магнитного поля (частота  $f$  и индукция  $B$ ) необходимо первоначально определить требуемую мощность нагрева, далее экспериментально определяется частота и индукция при котором эффективность будет максимальной. Определять параметры магнитного поля без проведения множества экспериментов позволит определение выражения  $P_{II} = f(d_{II}, f, B)$ .

### Литература

1. Вильямс Д.Дж., Траверс Г.Дж. перевод Болотовский Ю., Таназлы Г.  
1 Гудэ Ж. Промышленная электроника / Ж. Гудэ. – М. : ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО, 1960. – 468 с.
- 4 Ray Ridley and Art Nace. Modeling Ferrite Core Losses. Switching Power Magazine. Winter 2002. 8-9.

