

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ ШИХТОВКИ СЕРДЕЧНИКА НА ПОТЕРИ В СТАЛИ

Лаврищев Н.О., студент; Корощенко А.В., доц., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет, г. Донецк)

В учебной литературе оценке эффективности влияния шихтовки сердечника на потери в стали от вихревых токов уделяется недостаточно внимания, восполнение этого пробела является актуальной задачей.

Цель работы. На основе использования пакета программ MathCAD-11 [1] выполнить анализ эффективности влияния шихтовки ферромагнитного сердечника на потери от вихревых токов в функции частоты и предложить методику определения предела эффективной шихтовки.

При магнитном поверхностном эффекте пластины ферромагнитного сердечника друг на друга не влияют. Поэтому используем методику расчёта магнитного поля в одиночной пластине [2, с. 616, задача 14.12]. При выполнении расчётов не учитываем толщину слоя лака между пластинами, то есть учитываем только эффективное сечение магнитопровода. Анализ выполним на примере стали 1512, кривую намагничивания которой возьмём из [2, с. 425, задача 9.19]. Для упрощения расчётов возьмём относительную магнитную проницаемость стали постоянной, соответствующей значению магнитной индукции $B = 1,3$ Тл. При этом магнитная напряженность $H = 740$ А/м, а относительная магнитная проницаемость

$$\mu = B/(\mu_0 H) = 1,1/(4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 740) = 1400.$$

Исходными данными являются: относительная магнитная проницаемость $\mu = 1400$, удельная электрическая проводимость стали $\gamma = 5 \cdot 10^6$ См/м.

Характеристическое сопротивление \underline{Z}_C и корень характеристического уравнения p вычисляются по следующим формулам:

$$\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{j2\pi f \mu \mu_0}{\gamma}}, \quad p = \sqrt{j2\pi f \mu \mu_0 \gamma}.$$

В соответствии с решением задачи 14.12 [2] потери на вихревые токи в одиночной пластине определяются по формуле $P_1 = \operatorname{Re} \left(\frac{\omega^2 \Phi_1^2 l}{2h \cdot \underline{Z}_C \cdot \operatorname{th}(pa)} \right)$,

здесь $\omega = 2\pi f$, a – половина толщины одной пластины.

Пусть толщина пакета пластин (эффективная толщина сердечника) Δ , Φ – действующее значение суммарного магнитного потока в сердечнике, тогда количество пластин в пакете $n = \frac{\Delta}{2a}$, магнитный поток в одной пластине $\Phi_1 = \frac{\Phi}{n}$, суммарные потери на вихревые токи $P = n \cdot P_1$.

Сравнивать будем для различных сердечников удельные потери на вихревые токи $p_0 = \frac{P}{V}$, Вт/м³. Объем сердечника $V = hl\Delta$.

Таким образом, окончательная формула для исследований, в которой удельные потери на вихревые токи представлены в функции частоты и толщины пластины, следующая:

$$p_0(f,a) = n \cdot \frac{\omega^2 \left(\frac{\Phi}{n}\right)^2 l}{2hhl\Delta} \cdot \operatorname{Re} \left(\left(\frac{*}{\underline{Z}_C \cdot \operatorname{th}(pa)} \right)^{-1} \right) = a \cdot (2\pi f B)^2 \cdot \operatorname{Re} \left(\left(\frac{*}{\underline{Z}_C \cdot \operatorname{th}(pa)} \right)^{-1} \right).$$

На рис. 1 представлены графики зависимости удельных потерь на вихревые токи в функции половины толщины пластины для трёх значений частоты (50, 500, 5000 Гц). Как

видно из графиков, во всех случаях график стартует из начала координат, резко возрастает, а с некоторого значения а рост замедляется и наблюдается практически линейная зависимость $p_0(a)$. Толщину пластины, соответствующую точке перегиба графика, можно назвать пределом эффективного влияния шихтовки на снижение потерь от вихревых токов. Использование более толстых пластин даёт значительно меньший эффект.

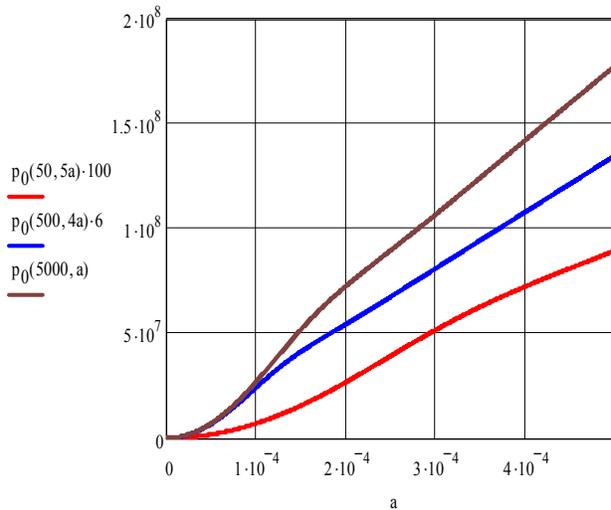


Рисунок 1 – Графики зависимости удельных потерь на вихревые токи в функции половины толщины пластины

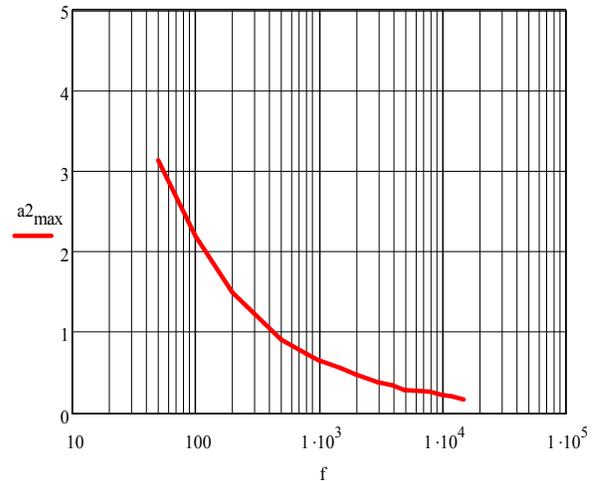


Рисунок 2 – Зависимость предельной максимальной толщины пластин от частоты

Таким образом, методика определения предельного максимального значения толщины пластин, при котором применение шихтовки даёт существенный эффект в вопросе борьбы с потерями от вихревых токов, заключается в следующем. Для заданной частоты строится график зависимости удельных потерь на вихревые токи в функции толщины пластины, и по координатам точки перегиба определяется предельное максимальное значение толщины пластины.

На рис. 2 представлена зависимость предельной максимальной толщины пластин от частоты. При частотах свыше 10 кГц толщина пластин должна быть менее 0,2 мм, что выполнить технологически сложно. Для таких частот следует использовать специальные ферромагнитные материалы с большим удельным сопротивлением.

Выводы.

1. Предложена методика определения предела эффективной шихтовки ферромагнитного сердечника с целью уменьшения потерь от вихревых токов.
2. В случае больших частот (более 10 кГц) шихтовка перестаёт быть эффективным способом снижения потерь от вихревых токов. Для таких частот следует использовать ферромагнитные материалы с большим удельным сопротивлением.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 11. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 530с.: ил.
2. Теоретичні основи електротехніки. Збірник задач: навчальний посібник / О.В.Корощенко, В.Ф.Денник, О.А.Журавель та ін.; заг. ред. О.В.Корощенко. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 673с.: іл.