

## Лабораторная работа № 7

### Цель работы:

1. Приобрести навыки расчета задач теплопереноса в Femm,
2. Получить представление о моделировании устройства с точки зрения протекания в нем нескольких физических процессов.

**Описание:** Данная лабораторная работа является продолжением предыдущей. В материалах к лабораторной работе содержится информация по заданию задач теплопереноса в Femm. Более подробную информацию можно найти в руководствах Femm и справке к нему.

В ходе выполнения работы необходимо выполнить действия:

- а) Разбить область задачи на подобласти и рассчитать в каждой из них плотность источников тепловыделения.
- б) Создать задачу теплопереноса, рассчитать ее и получить картину распределения температуры

### ЗАДАНИЕ

**Задание:** Получить картину распределения температуры в трансформаторе.

**Модель:** Однофазный трансформатор броневого типа.

**Размеры и материалы:** Трансформатор из предыдущей лабораторной работы. Температура окружающего трансформатор воздуха равна 200С. Коэффициент теплоотдачи принять равным 10 Вт/(м<sup>2</sup>\*К).

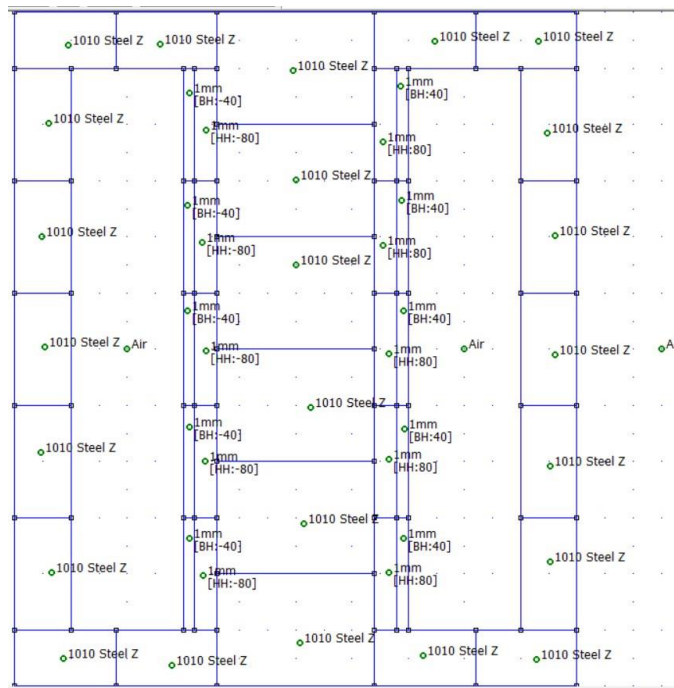


Рисунок 1 – Модель трансформатора

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Исходя из формулировки задачи, можно сделать вывод, что нам необходимо рассчитать поле для двух случаев. Каждый вариант будем сохранять в файл как отдельную задачу, выписывая в таблицу значения потерь энергии на вихревые токи, а также коэффициент трансформации.

### Расчет мощности источников тепла

Ранее мы уже рассчитывали потери энергии в трансформаторе. Скопируем файл Femm, соответствующий случаю шихтовки, когда пластины материала лежат параллельно плоскости задачи.

Femm не позволяет автоматически вычислить плотности потерь энергии во всех точках, можно лишь рассчитать суммарные потери в некоторой области. Поэтому нам необходимо разбить область источников тепла (ферромагнитный каркас и обмотки) на подобласти. Причем чем меньше они будут, тем точнее будет получено распределение температуры. Строго говоря, размер подобластей нужно подбирать по аналогии с поиском допустимого

размера конечных элементов. Однако мы этого делать не будем и ограничимся разбиением на достаточно крупные подобласти (см. рисунок 1).

После выполнения расчетов должна быть получена картина поля, подобная представленной на рисунке 2. Теперь необходимо для каждой подобласти вычислить среднее значение плотности источников тепла. Для этого пронумеруем все подобласти и составим таблицу 7.1.

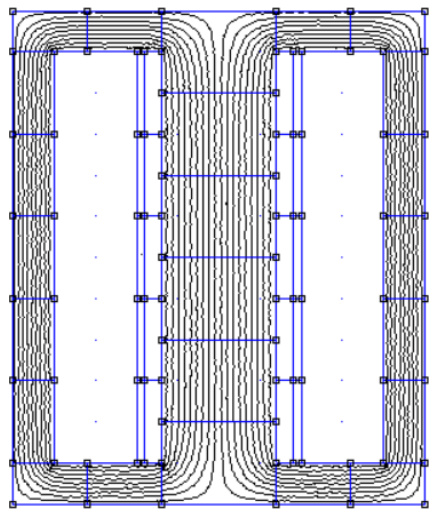


Рисунок 2 – Расчет поля

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, Вт	10,9024	13,998	13,9914	10,9121	15,5271	15,5126	15,5261	15,5127	15,5296
V, м³	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
f=F/V, Вт/м³	60568,00	77766,00	77730,00	60622,00	77635,00	77563,00	77630,00	77563,00	77648,00
№	10	11	12	13	14	15	16	17	18
F, Вт	10,9015	13,9909	13,997	10,8998	15,5366	15,5188	15,5322	15,5188	15,5357
V, м³	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
f=F/V, Вт/м³	60563,00	77727,00	77761,00	60554,00	77683,00	77594,00	77661,00	77594,00	77678,00
№	19	20	21	22	23	24	25	26	27
F, Вт	0,439059	0,439053	0,439051	0,439054	0,439059	3,92813*10 <sup>-5</sup>	1,04773*10 <sup>-5</sup>	6,00149*10 <sup>-5</sup>	1,04759*10 <sup>-5</sup>
V, м³	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>
f=F/V, Вт/м³	10976,475	10976,325	10976,275	10976,35	10976,475	0,49101625	0,13096625	0,75018625	0,13094875
№	28	29	30	31	32	33	34	35	36
F, Вт	3,96445*10 <sup>-5</sup>	3,97935*10 <sup>-5</sup>	1,04838*10 <sup>-5</sup>	6,00392*10 <sup>-5</sup>	1,04792*10 <sup>-5</sup>	3,99215*10 <sup>-5</sup>	0,439059	0,439054	0,439051
V, м³	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>
f=F/V, Вт/м³	0,49555625	0,49741875	0,1310475	0,75049	0,13099	0,49901875	10976,475	10976,35	10976,275
№	37	38	39	40	41	42	43	44	
F, Вт	0,439053	0,439059	20,4342	22,0445	22,08	22,0801	22,0445	20,4396	
V, м³	4*10 <sup>-5</sup>	4*10 <sup>-5</sup>	0,00056	0,00056	0,00056	0,00056	0,00056	0,00056	
f=F/V, Вт/м³	10976,325	10976,475	36489,00	39365,00	39428,00	39428,00	39365,00	36499,00	

Таблица 7.1

### Расчет распределения температуры в устройстве

Перейдем к задаче расчета температурного поля. Создадим в Femm задачу теплопереноса (Heat Flow Problem) и настроим ее основные параметры таким образом, чтобы полностью соответствовали задаче расчета электромагнитного поля (Рисунок 3).

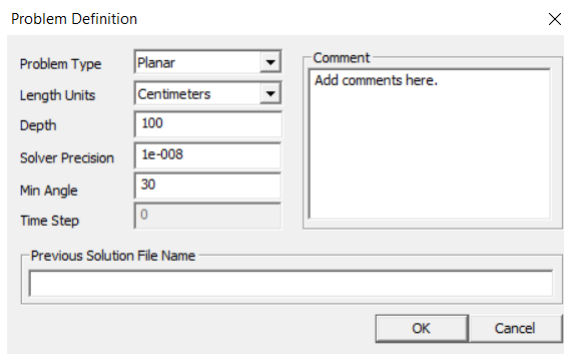


Рисунок 3 – настройка параметров задачи

После задания всех материалов будет необходимо расставить метки блоков и присвоить им значения материалов, а также задать размер конечных элементов. Зададим размер конечных элементов такой же, как и в задаче расчета электромагнитного поля.

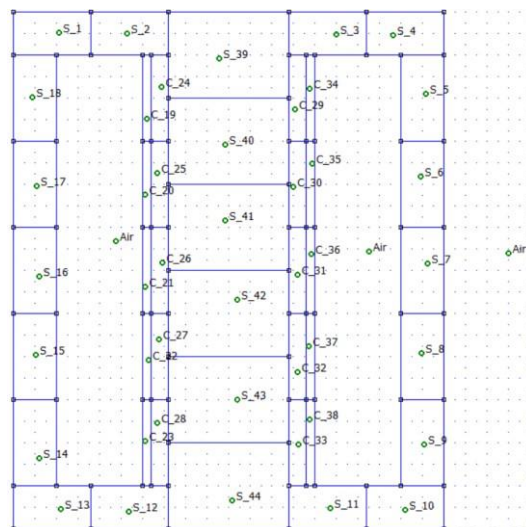


Рисунок 4 – Задание меток всем областям модели

Перейдем к заданию граничных условий. Устройство окружено воздухом с заданной температурой, следовательно, на внешней границе трансформатора необходимо задать условие конвекции. Оно характеризуется двумя параметрами:

- коэффициентом конвекционной теплоотдачи  $h$ ;
- температурой окружающей среды  $T_0$ .

Обратим внимание, что температура задается в Кельвинах.

The image shows a 'Boundary Property' dialog box with a close button (X) in the top right corner. The 'Name' field contains 'Konvekczia'. The 'BC Type' dropdown menu is set to 'Convection'. There are two input fields for 'Fixed Temperature, K' and 'Heat Flux, W/m^2', both containing the value '0'. Below these are two expandable sections: 'Convection' and 'Radiation'. The 'Convection' section is expanded, showing the boundary condition equation  $K \frac{\partial T}{\partial n} + h(T - T_0) = 0$ . To the right of the equation, there are two input fields: 'h, W/(m^2K)' with the value '10' and 'To, K' with the value '293.15'. The 'Radiation' section is collapsed. The 'Radiation' section, when expanded, would show the equation  $K \frac{\partial T}{\partial n} + \beta k_{\text{rad}}(T^4 - T_o^4) = 0$  and input fields for 'Beta' (value '0') and 'To, K' (value '293.15').

Boundary Property

Name: Konvekczia

BC Type: Convection

Fixed Temperature, K: 0

Heat Flux, W/m^2: 0

Convection

$K \frac{\partial T}{\partial n} + h(T - T_0) = 0$

h, W/(m^2K): 10

To, K: 293.15

Radiation

$K \frac{\partial T}{\partial n} + \beta k_{\text{rad}}(T^4 - T_o^4) = 0$

Beta: 0

To, K: 293.15

Рисунок 5 – Задание граничных условий

Можно переходить к расчету поля. После расчета будет получена картина распределения температуры.

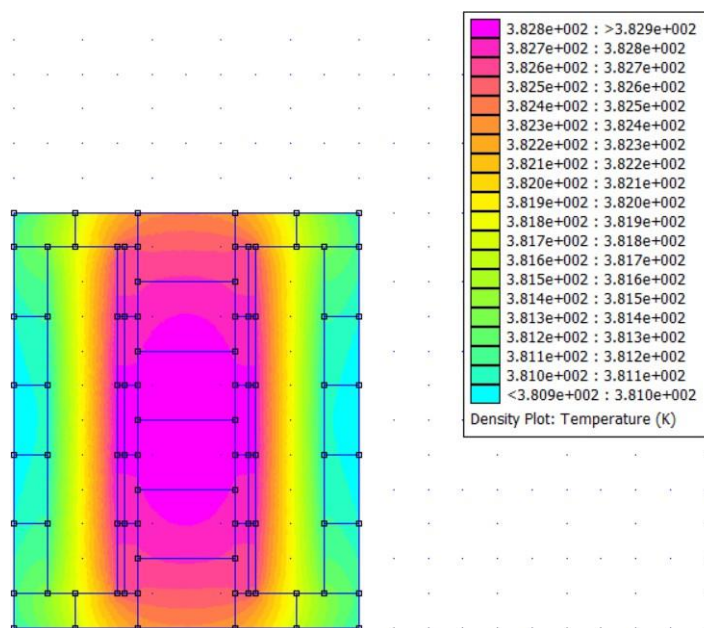


Рисунок 6 – Картина распределения температуры в трансформаторе

**Вывод:** в результате выполнения лабораторной работы мы приобрели навыки расчета задач теплопереноса в Femm, а также получили представление о моделировании устройства с точки зрения протекания в нем нескольких физических процессов. Мы разбили область на подобласти и рассчитали в каждой из них плотность источников тепловыделения. Затем мы создали задачу теплопереноса, рассчитали ее и получили картину распределения температуры.

Выполнил студент Пузанов В.Е., ФИТУ 010304-КМСб-о22

Проверила ст. преподаватель каф. ПМ Балабан А.Л.