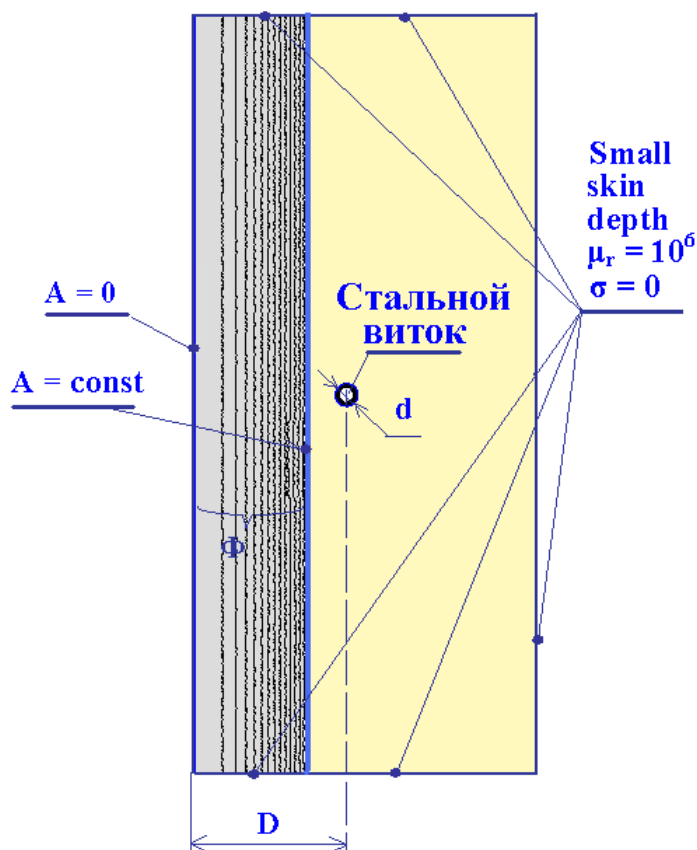


Моделирование резко выраженного поверхностного эффекта в короткозамкнутом витке, расположенном на стержне магнитопровода

Предварительные замечания

Аналитическое решение задачи о короткозамкнутом стальном витке, расположенном на стержне магнитопровода, поток в котором задан, получено при допущениях о постоянстве магнитной проницаемости  $\mu_r$  и электропроводности  $\gamma$  материала витка (см. конспект лекций по ЭМП). (Далее в тексте электропроводность будем обозначать  $\sigma$ , как это принято в программе *FEMM*).

Полученные выражения позволяют рассчитать глубину проникновения по-



ля в полупространство из материала витка, полные и активные сопротивления витка переменному току при заданной частоте изменения величин поля, сопротивление постоянному току, магнитные сопротивления при переменном и постоянном токах, изменение величин поля в витке на различной глубине проникновения в него электро-магнитного поля, и, наконец, такие интегральные величины, как ток, индуцированная

ЭДС и потери.

Численное решение этой задачи может быть получено методом конечных элементов, например, с помощью программы *FEMM*, на двухмерной модели.

Задача формулируется как осесимметричная (*Axisymmetric*), гармоническая (т.е. при синусоидальном изменении величин поля с заданной частотой). На рисунке показано, как можно задать граничные условия, соответствующие до-

пущениям, принятым при аналитическом решении задачи. В соответствии с этими условиями стальной виток в форме тороида находится в окне магнитопровода броневое типа, по центральному стержню которого проходит заданный поток  $\Phi$ .

При выполнении лабораторной работы следует, прежде всего, убедиться в том, что модель достаточно точна, т.е. что найденные с помощью конечно-элементной модели величины достаточно близки к рассчитанным по аналитическим выражениям.

Далее можно оценить влияние параметров модели (дробности сетки, параметров граничных условий, удаленности внешних границ) на решение и, наконец, оценить влияние допущений, связанных с идеализацией свойств стали, задав, например, для витка кривую намагничивания чистого железа (*Pure iron* в библиотеке свойств материалов программы *FEMM*).

### **Программа работы**

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме работы (см. конспект лекций по курсу «Электромагнитные расчеты»). По исходным данным, приведенным в таблице, рассчитать величины поля (напряженности магнитного и электрического полей и индукцию магнитного поля), интегральные величины (ЭДС и токи витка), сопротивления витка переменному и постоянному токам, магнитные сопротивления витка при переменном и постоянном токах, потери в витке.

2) По исходным данным, построить конечно-элементную модель задачи. По результатам моделирования:

- убедиться в том, что в моделируемом короткозамкнутом витке имеет место резко выраженный поверхностный эффект;

- определить значения напряженности и индукции магнитного поля на поверхности витка;

- определить значение плотности индуктированного тока на поверхности витка;

- определить полный ток и потери в витке;

- найти распределения плотности тока и индукции по направлению вглубь витка.

4) Сравнить результаты моделирования с расчетными.

5) Оценить влияние частоты на величины, определяемые в п. 3.

6) Повторить эксперимент при задании нелинейных свойств стали витка (взять кривую намагничивания чистого железа из библиотеки материалов *FEMM* или кривую намагничивания любой конструкционной стали).

7) Сделать выводы и составить отчет о работе.

<b>Вариант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b><math>f</math>, Гц</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b><math>d</math>, мм</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>20</b>
<b><math>D</math>, мм</b>	<b>350</b>	<b>250</b>	<b>450</b>	<b>350</b>	<b>350</b>	<b>500</b>	<b>350</b>
<b><math>\mu_r</math></b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>500</b>
<b><math>\sigma</math>, МСм/м</b>	<b>3,0</b>	<b>4,0</b>	<b>7,0</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>
<b><math>\Phi</math>, Вб*<math>10^{-3}</math></b>	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>3,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>