Задача 22 Закон полного тока

|  |
| --- |
| Рис 22.1 |

Магнитное поле создано электрическим током в длинном коаксиальном кабеле  
 (рис. 22.1) Радиусы R,R1,R2 его металлических жил и силы тока в них указаны в таблице 22.

Постройте в масштабе график индукции магнитного поля от расстояния до оси кабеля B = B(r). Определите поток вектора магнитной индукции через радиальное сечение, ограниченное прямоугольником ABCD. Длина стороны AB равна 1м.

Сформулируйте и решите задачу, используя данные табл. 22. Сила тока со знаком « - » соответствует току, текущему в направлении, противоположном указанному на рис. 22.1

Таблица 22

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вар. | *I*1,A | *I*2,A | R,мм | R1,мм | R2,мм |
| 1 | 10 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 15 | 10 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | -5 | 10 | 1 | 1,5 | 2 |
| 4 | 2 | 4 | 0,5 | 1 | 2 |
| 5 | 5 | 5 | 1 | 2 | 2,5 |
| 6 | 2 | -4 | 1 | 2 | 3 |
| 7 | -5 | -5 | 0,5 | 1 | 1,5 |
| 8 | 15 | -5 | 2 | 3 | 4 |
| 9 | 5 | -5 | 1 | 2 | 3 |
| 10 | -3 | 2 | 1 | 1,5 | 2 |
| 11 | -10 | 5 | 1,5 | 2 | 3 |
| 12 | 2 | -8 | 0,5 | 1 | 2 |
| 13 | 5 | -10 | 1 | 2 | 2 |
| 14 | 4 | -2 | 0,5 | 1 | 1,5 |
| 15 | 3 | 2 | 1 | 1,5 | 2 |
| 16 | -2 | 4 | 0,5 | 1,5 | 2 |
| 17 | 5 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 18 | 4 | 4 | 1 | 1,5 | 2 |
| 19 | 30 | -20 | 2 | 3 | 4 |
| 20 | -5 | 5 | 2 | 2 | 4 |
| 21 | 10 | -5 | 1 | 2 | 3 |

Пример решения задачи 22 (вариант 21, табл. 22)

Магнитное поле создано токами противоположного направления в длинном коаксиальном кабеле. Радиус внутренней жилы R=1мм, сила тока в ней *I*1=10A. Внутренний и внешний радиус обмотки R1=2мм и R3=3мм соответственно, сила тока *I*2=-5A. Определить индукцию магнитного поля B(r) как функцию расстояния до оси, построить поверхность ABCD в радиальном сечении кабеля, если длина стороны AB равна 1 м.

Дано: *I*1=10A, *I*2=-5A, R=10-3м, R1=2∙10-3м, R2=3∙10-3м, AB=1м

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

B(r) - ? Φ - ?

Решение:

Для установления закона изменения B(r) воспользуемся законом полного тока:

,

где Bl - проекция вектора магнитной индукции на касательную   
к контуру L,

∑ *I* – полный ток, охватываемый контуром L.

Для использования закона необходимо выбрать контур L так:

1. чтобы он проходил через ту точку, в которой необходимо определить B;
2. чтобы контур совпадал с силовой линией.

И если B одинакова во всех точках, тогда (1)

*l* – длина контура L.

Знак циркуляции зависит от направления обхода контура. Если направление обхода совпадает с направлением силовой линии, то циркуляция положительна.

Для построения графика зависимости B(r) всю область исследования разделим на четыре интервала: (0,R), (R,R1), (R1,R2), (R2,∞). Контур L для нахождения циркуляции вектора будем выбирать в виде окружности радиусом r, направление обхода – совпадающим с направлением силовой линии магнитного поля тока *I*1.

Согласно (1) циркуляция

Применим закон полного тока последовательно во всех четырех интервалах:

Интервал (0,R)

Контур L – окружность радиусом r, 0 ≤ r ≤ R (рис 22.2)

|  |
| --- |
| Рис. 22.2 |

Выбранный контур охватывает ток , величина которого пропорциональна площади части сечения жилы, ограниченной контуром L.

, j1 - плотность тока I1.

По закону полного тока , следовательно (2)

Согласно формуле (2) на первом интервале (0,R) индукция магнитного поля B1(r) ~ r. Рассчитаем значения B1(r) в крайних точках интервала:

B1(0) = 0; B1(R) = 0,002 Тл

Интервал (R,R1)

Контур L – окружность радиусом r, R≤r≤R1 (рис. 17.3)

|  |
| --- |
| Рис.22.3 |

Контур L в данном интервале охватывает ток *I*1  целиком, поэтому по закону полного тока

Выразим (3)

Следовательно, на втором интервале (R,R1) индукция B2(r) ~

Рассчитаем значение B2(R) = 0,002 Тл;   
B2(R1) = 0,001 Тл.

Интервал (R1,R2)

Контур L – окружность радиусом r, R1≤r≤R2 (рис. 17.4)

|  |
| --- |
| рис. 22.4 |

Контур L охватывает токи *I*1 и .

Ток - часть тока, протекает сквозь часть сечения внешней обмотки, ограниченную контуром L.

- плотность   
тока *I*2

По закону полного тока

На третьем интервале магнитная индукция B3(r) убывает с увеличением r, но быстрее, чем на втором, так токи *I*1 и *I*2 противоположного направления.

Рассчитаем B3(r) в крайних точках интервала

B3(R1) = 0,001 Тл; B3(R2) = 0,00033 Тл.

Интервал (R2,∞)

|  |
| --- |
| рис. 22.5 |

Контур L – окружность радиусом r, r≥R2 (рис. 17.5)

Контур L охватывает токи *I*1 и *I*2 целиком, значит

На четвертом интервале (R2, ∞) магнитная индукция

Рассчитаем B4(r) в крайних точках интервала   
B4(R2) = 0,00033 Тл; B4 →0 при r→∞.

|  |
| --- |
| рис 22.6 |

Воспользуемся выражениями (2) – (5) для B(r), значениями B(r) в крайних точках всех интервалов для построения графика B(r) (рис. 22.6)

Рассчитаем магнитный поток сквозь поверхность ABCD, лежащую в радиальном сечении кабеля (рис 22.7)

|  |
| --- |
| рис 22.7 |

Вектор магнитной индукции B(x) перпендикулярен плоскости контура ABCD. Найдем элементарный поток сквозь узкую полоску шириной *dx*, расположенную на расстоянии x от оси кабеля:

*d B(x) dS = B(x) l dx*

Индукцию B(x) в пределах плоскости можно считать постоянной и равной

С учетом сделанных замечаний элементарный магнитный поток *dф* сквозь узкую полоску равен:

Проинтегрируем полученное выражение в пределах от *x1 = R* до *x2=R1*  и найдем магнитный поток *Ф*: