



# Моделирование электрических машин и трансформаторов в ELCUT

[www.elektro2017.elcut.ru](http://www.elektro2017.elcut.ru)

**ELCUT**

17-20 апреля 2017

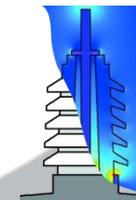
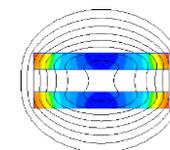
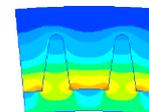
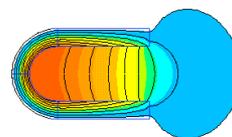
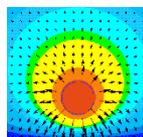
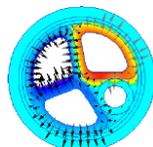
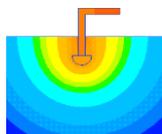
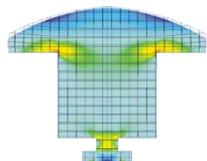
**ЭЛЕКТРО**

**2017**



# Программный комплекс ELCUT

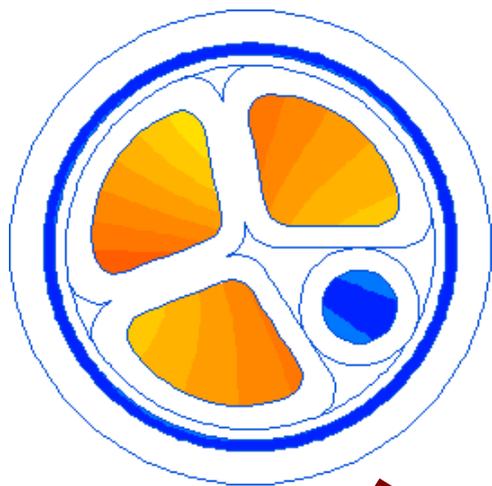
Набор для магнитных расчётов	
Магнитные задачи	Магнитостатика
	Магнитное поле переменных синусоидальных токов
	Нестационарное магнитное поле
Набор для электрических расчётов	
Электрические задачи	Электростатика и электрическое поле постоянных токов
	Электрическое поле переменных синусоидальных токов
	Нестационарное электрическое поле
Набор для тепловых и механических расчётов	
Тепловые и механические задачи	Стационарная теплопередача
	Нестационарная теплопередача
	Анализ упругих деформаций





# Мультифизика

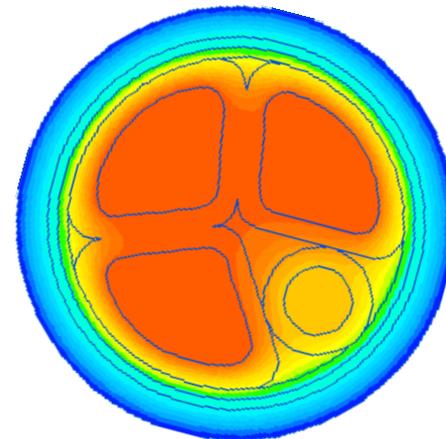
Электромагнитные  
поля



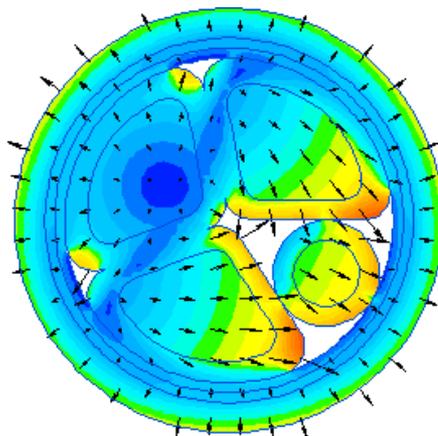
Джоулево  
тепло



Температурные  
поля



Силы



Напряжения и  
деформации

Термические  
напряжения



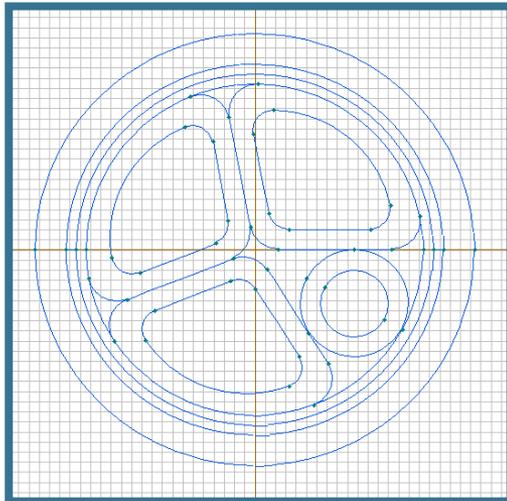


# Мультифизика

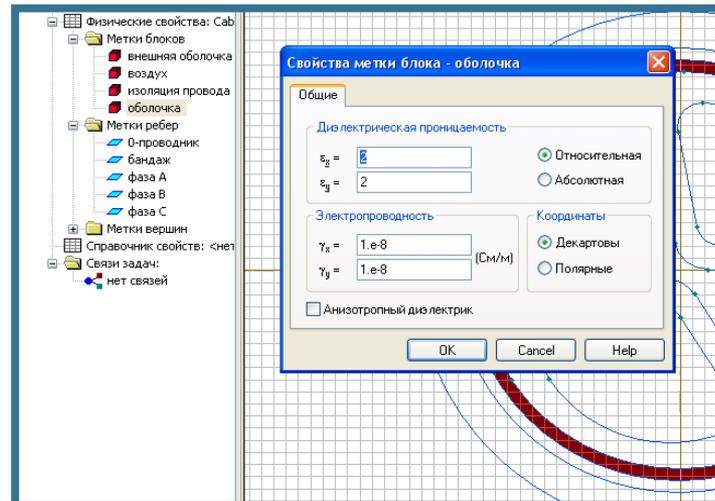
	Магнитостатика	Магнитное поле синусоидальных токов	Нестац. магнитное поле	Теплопередача	Нестац. теплопередача	Упругие деформации
Магнитостатика	+	+	+			+
Магнитное поле синусоидальных токов				+	+	+
Нестац. магнитное поле			+	+	+	+
Электростатика						+
Электрическое поле постоянных токов				+	+	+
Электрическое поле переменных токов				+	+	+
Нестац. электрическое поле						
Теплопередача		+			+	+
Нестац. теплопередача		+			+	+
Упругие деформации						



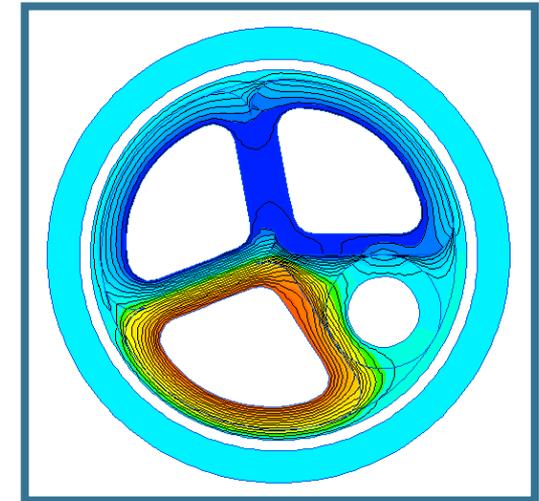
# Этапы решения задачи



**Геометрическая модель**



**Физические свойства материалов**

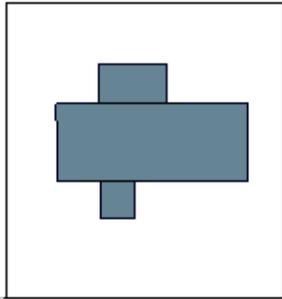


**Результат – распределение поля**

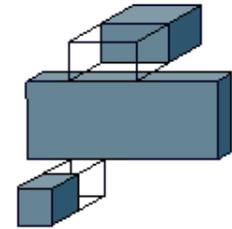
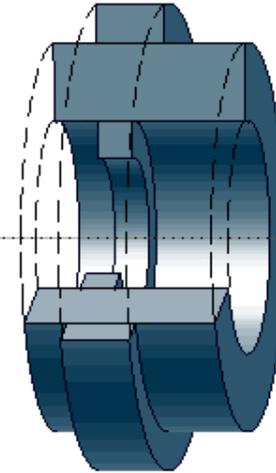
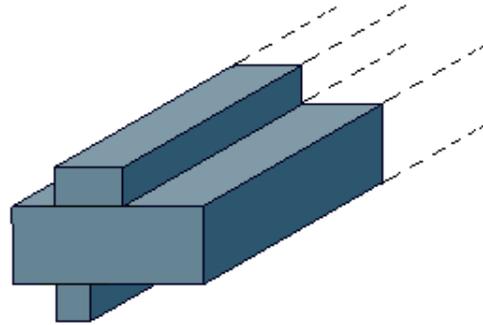


# Классы геометрической модели

Модель



Реальный объект



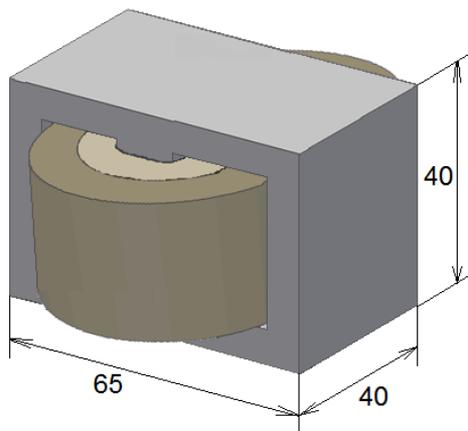
Плоско-параллельный

Осесимметричный

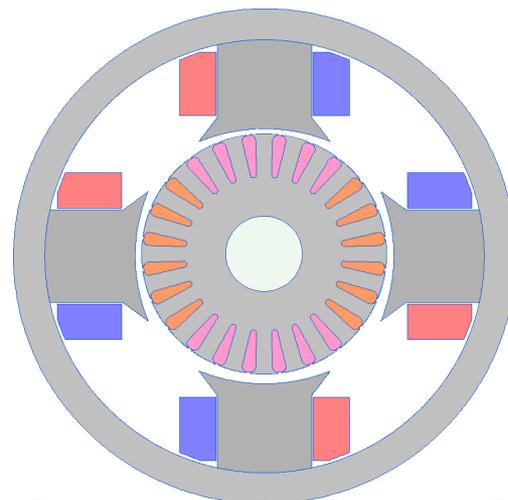
3D Вытягивание



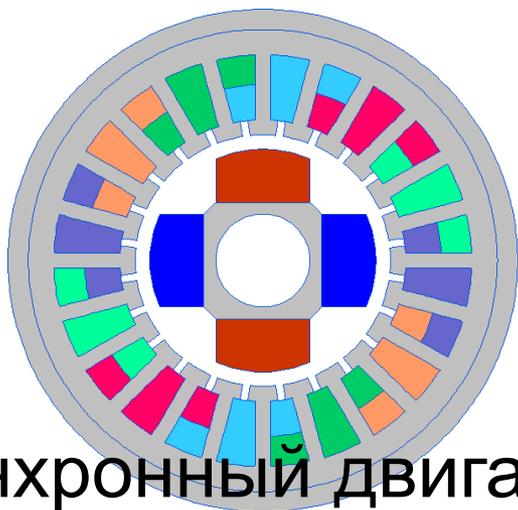
# Моделирование электрических машин и трансформаторов в ELCUT



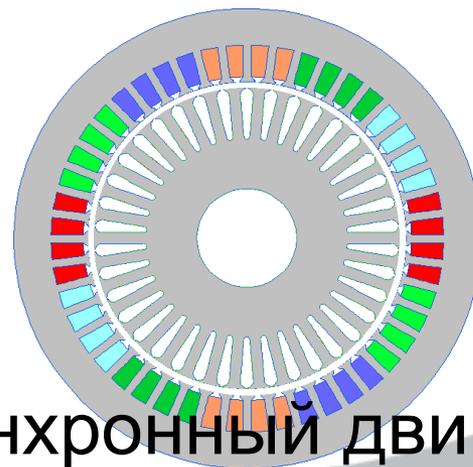
Трансформатор



Двигатель постоянного тока



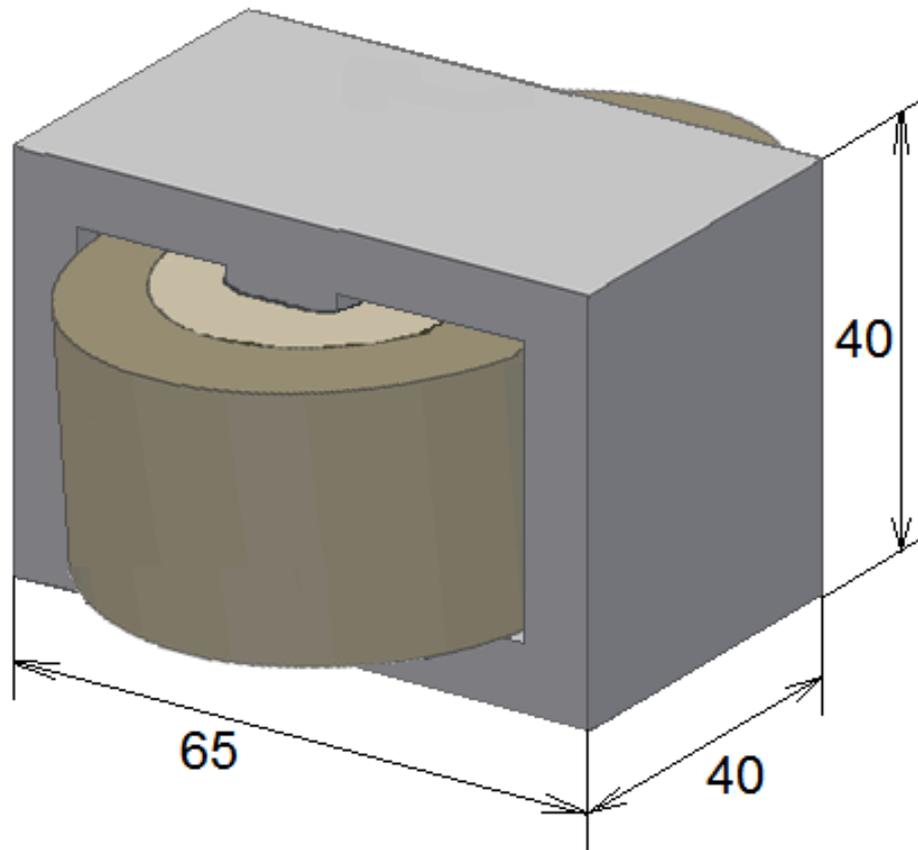
Синхронный двигатель



Асинхронный двигатель



# Трансформатор



Все размеры в миллиметрах

## Дано:

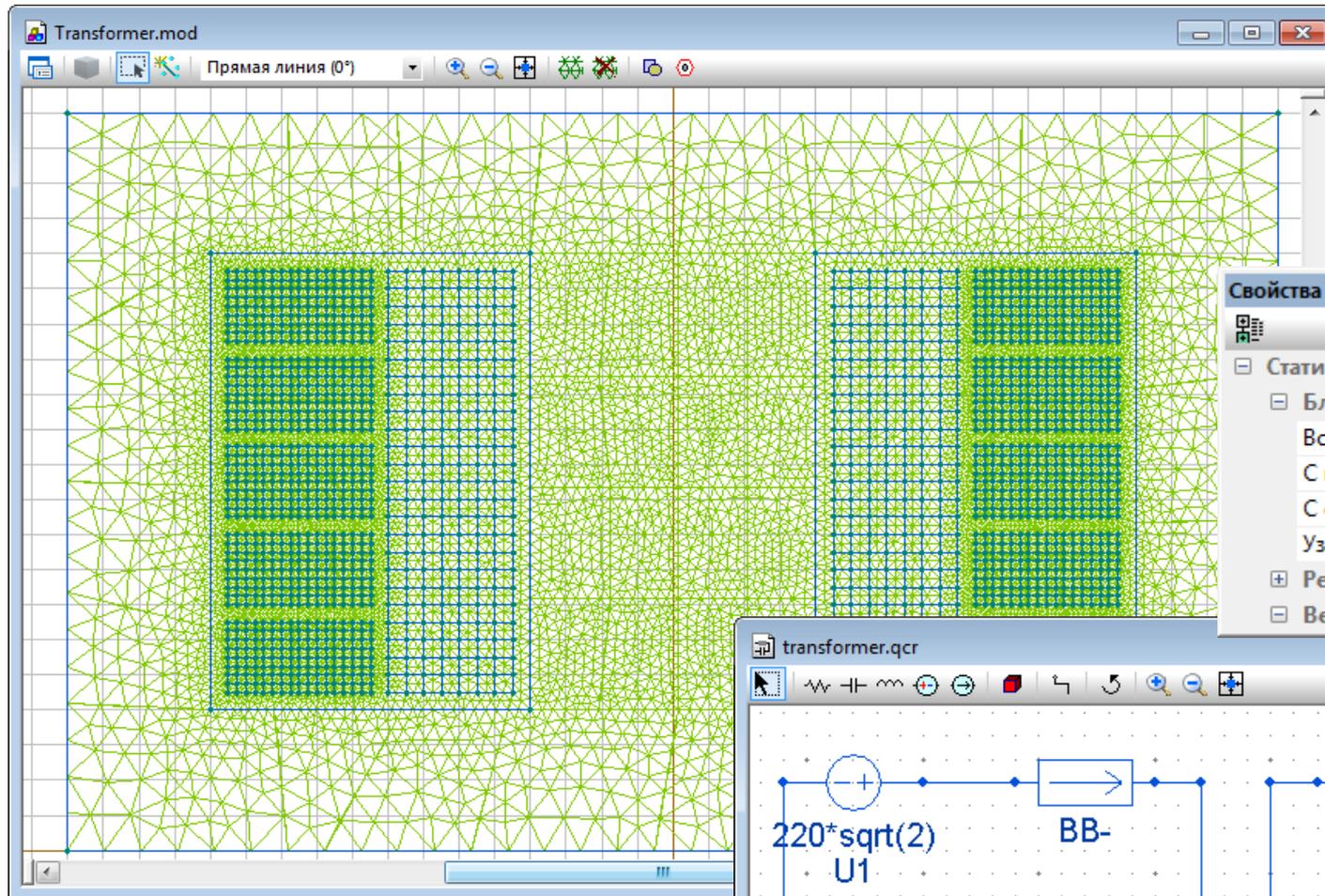
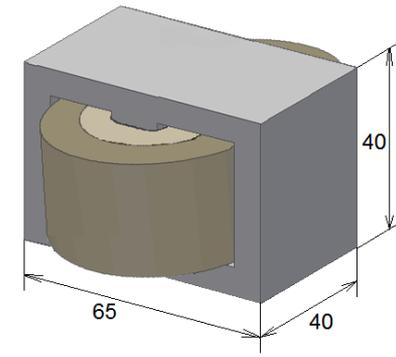
Напряжение  $U_1 = 220$  В  
Электропроводность меди  $\sigma = 56 \times 10^6$  См/м  
Магнитная проницаемость сердечника  $\mu = 1000$ .  
Число витков обмоток  $N_1 = 640$ ,  $N_2 = 168$ .

## Рассчитать:

Ток холостого хода  $I_{xx}$   
Напряжение вторичное  $U_2$   
Индукцию в сердечнике  $B_0$   
Ток короткого замыкания  $I_{кз}$



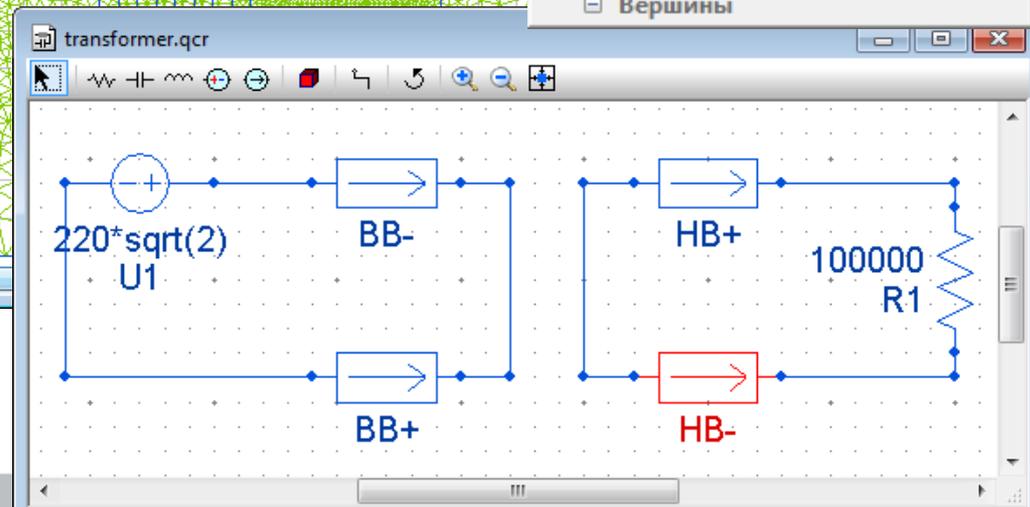
# Трансформатор. Модель



Свойства Transformer.mod

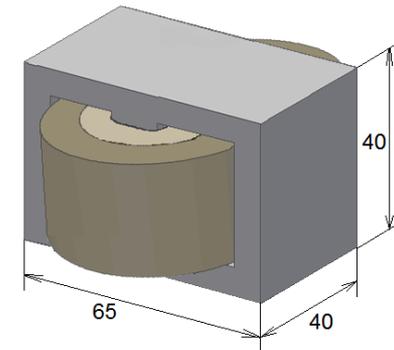
Статистика

Блоки	
Всего	1619
С меткой	1619
С сеткой	1619
Узлов сетки	13818
Ребра	
Вершины	





# Трансформатор. Данные



Transformer.pbm

- Transformer.pbm - задача магнитного поля
- Геометрия: Transformer.mod
- Физические свойства: Transformer.pbm
- Метки блоков
  - сердечник
  - ВВ-
  - ВВ+
  - изоляция
  - НВ-
  - НВ+
- Метки ребер
  - $A=0$
- Метки вершин
- Справочник свойств
- Электрическая цепь
- Связи задач:
  - нет связей

### Свойства метки блока - сердечник

Общие Потери в стали

Магнитная проницаемость

Кривая В-Н ...

Нелинейный материал

Электропроводность

$\gamma = 0$  (См/м)  Зависит от температуры 0

Источники поля

$j_0 = 0$  (А/м<sup>2</sup>)

$\phi = 0$  (град)

Вид источника:

Плотность тока  Полный ток

Проводники соединены:

Параллельно  Последовательно

OK Cancel

### Свойства метки блока - сердечник

Общие Потери в стали

Коэффициенты для потерь в ферромагнетике (не обязательно):

$$P_{iron} = P_{hyst} + P_{eddy} + P_{excess} \quad (\text{Вт/М}^3)$$

$K_h = 1.35$  Потери на гистерезис:  $P_{hyst} = K_h \cdot B^2 \cdot f$

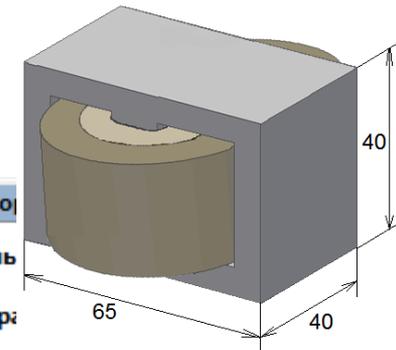
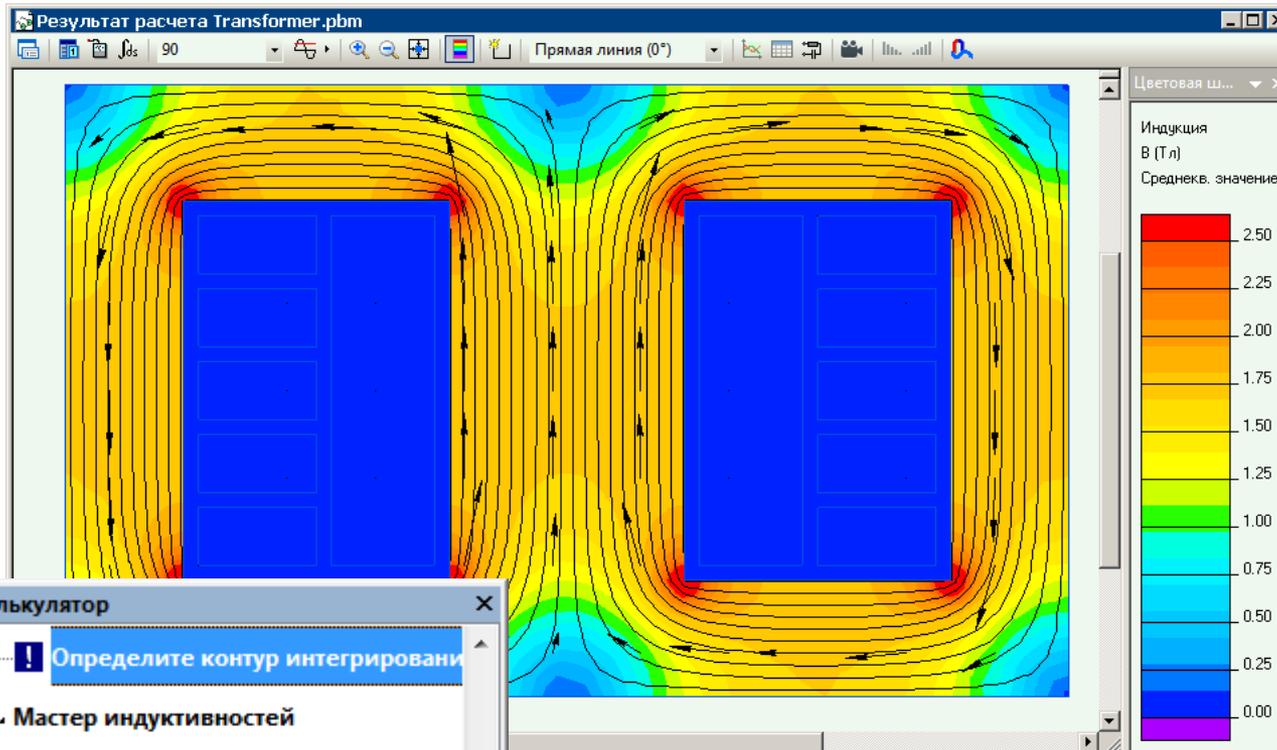
$K_e = 0.1$  Потери от вихр. токов:  $P_{eddy} = K_e \cdot B^2 \cdot f^2$

$K_{ex} = 0.005$  Добавочные потери:  $P_{ex} = K_{ex} \cdot (B \cdot f)^{3/2}$

ЗАМЕЧАНИЕ: Потери от вихревых токов вычисляются по указанной формуле только если у материала задана нулевая электропроводность.



# Трансформатор. Результаты



Калькулятор

- Локаль
- Интегр:
- Геометрические величины
- Физические величины
  - Полный ток
  - Сторонний ток
  - Вихревой ток
  - Мощность тепловыделения
  - Потери в стали
    - $P_{Fe} = 0.1252$  Вт
  - Поток мощности

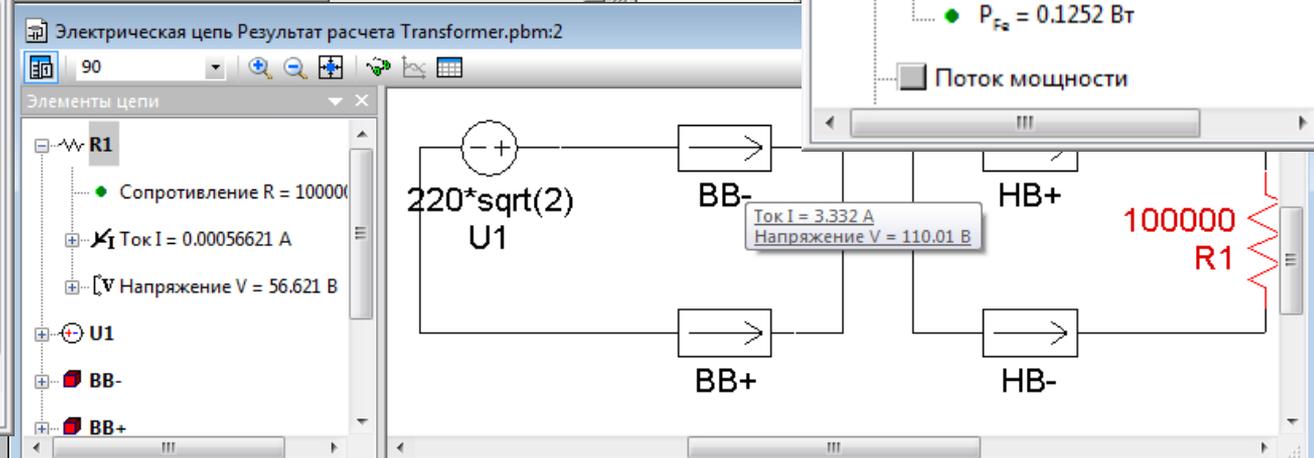
Калькулятор

Определите контур интегрирования

Мастер индуктивностей

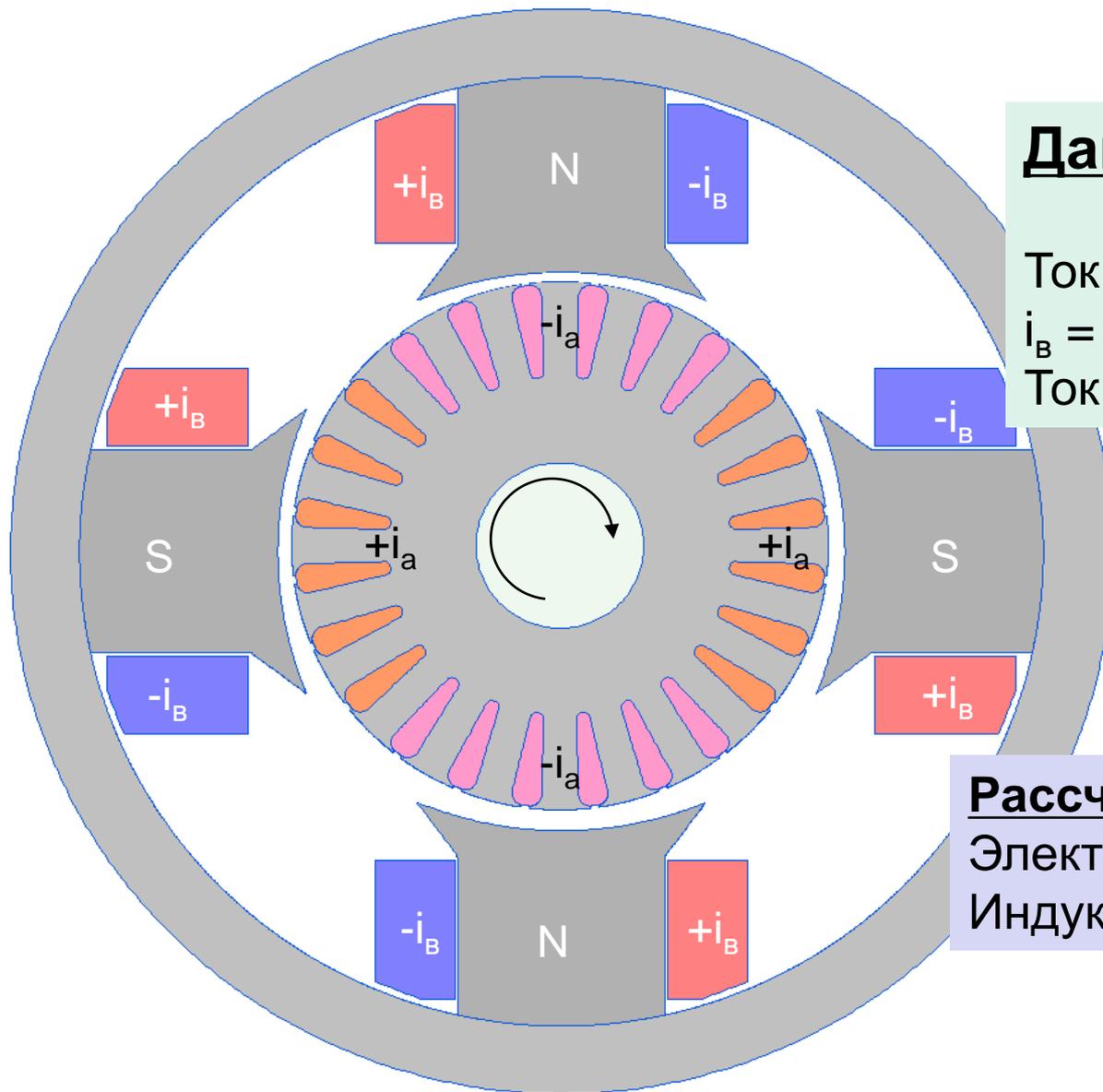
- исходя из потокоцепления
- исходя из энергии
  - Запасенная энергия  $W = 1.125$  Дж
  - Ток  $I = 4.7122$  (А)
  - Индуктивность:  $L = 0.20267$  (Гн)

Мастер импеданса





# Двигатель постоянного тока



## Дано:

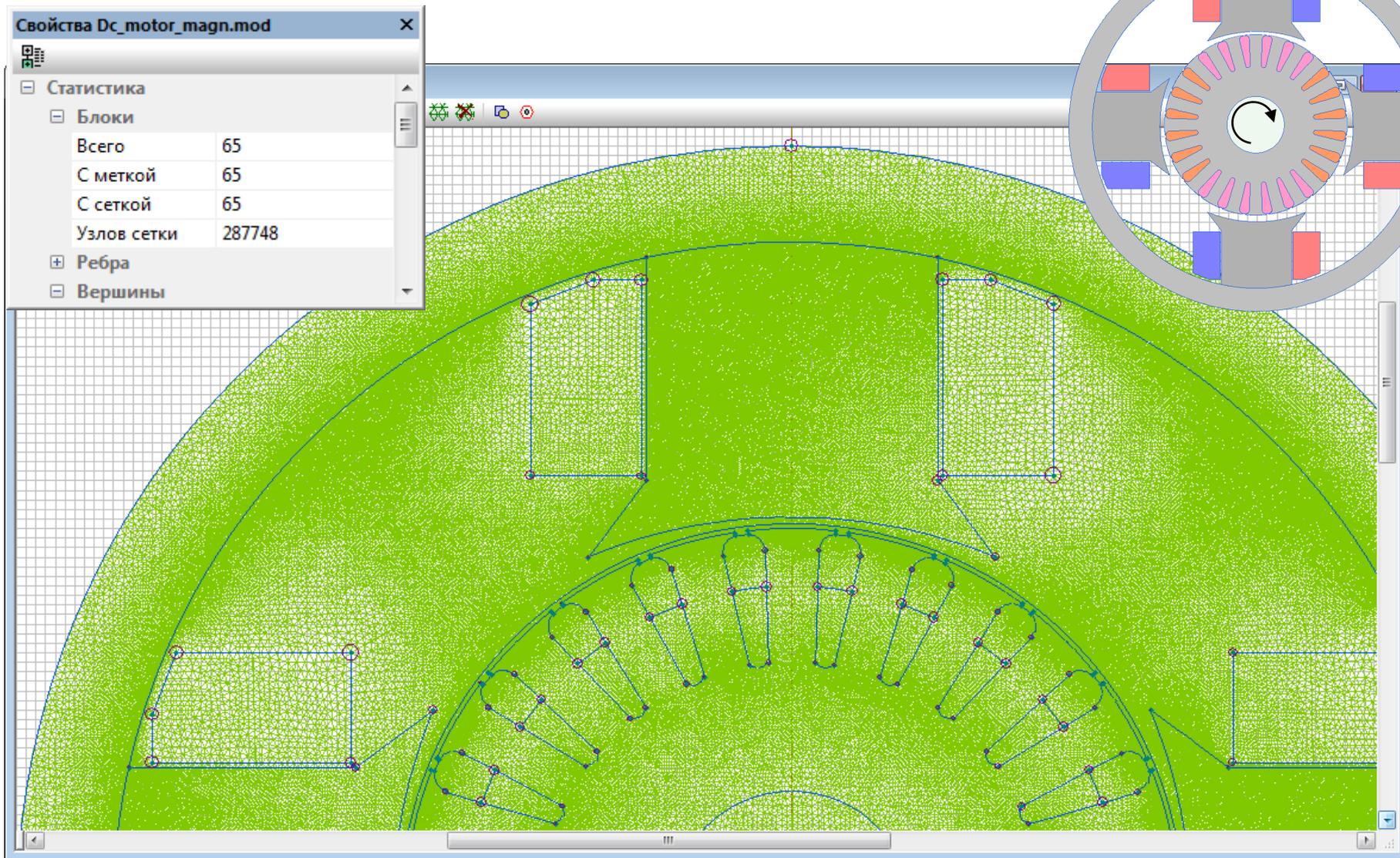
Ток обмотки возбуждения  
 $i_B = 1800 \text{ А} \cdot \text{витков}$   
Ток паза якоря  $i_a = 400 \text{ А}$

## Рассчитать:

Электромагнитный момент  
Индукцию в стальных частях



# Двигатель постоянного тока. Модель





# Двигатель постоянного тока. Данные

1. dc\_motor\_magn.pbm

- 1. dc\_motor\_magn.pbm - нелинейна:
  - Геометрия: Dc\_motor\_magn.mod
  - Физические свойства: Dc\_motor\_
  - Метки блоков
    - вал
    - воздух
    - изоляция
    - ОВ-
    - ОВ+
    - полюс
    - ротор
    - статор
    - ток -
    - ток +
  - Метки ребер
    - зазор
    - поверхность
  - Метки вершин
  - Справочник свойств:
  - Связи задач:
    - нет связей

### Свойства метки блока - ток +

Общие

Магнитная проницаемость

$\mu_x = 1$   Относительная

$\mu_y = 1$   Абсолютная

Нелинейный материал  Анизотропный материал

Коэрцитивная сила магнита

Величина: 0 (А/м)

Направление: 0 (град)

Координаты:  Декарт  Полярные

Электропроводность (только для переходных процессов)

$\gamma =$  (См/м)  Зависит от температуры

Температура: (град)

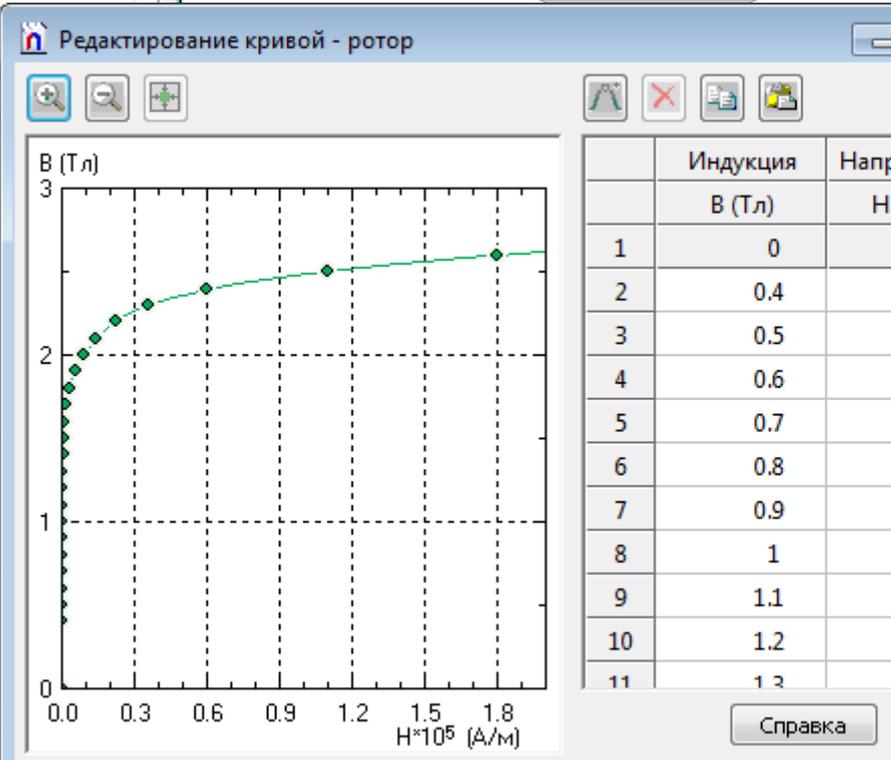
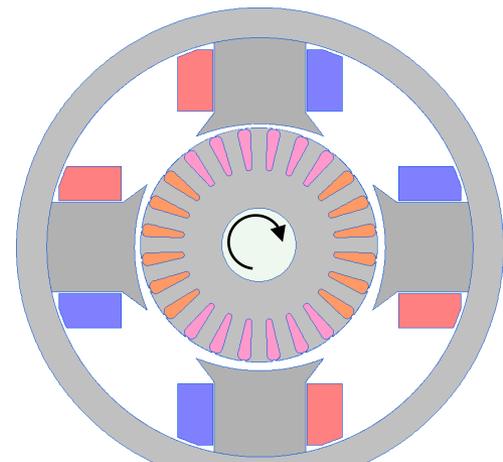
Источники поля

$I = 400$  (А)

Плотность тока  Проводники со...

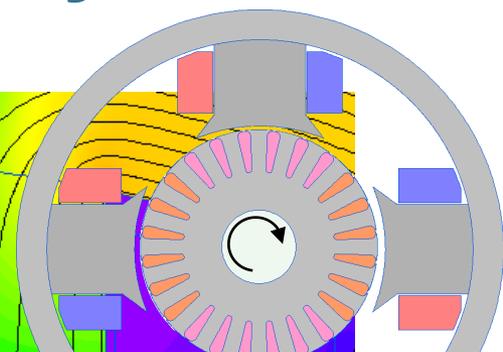
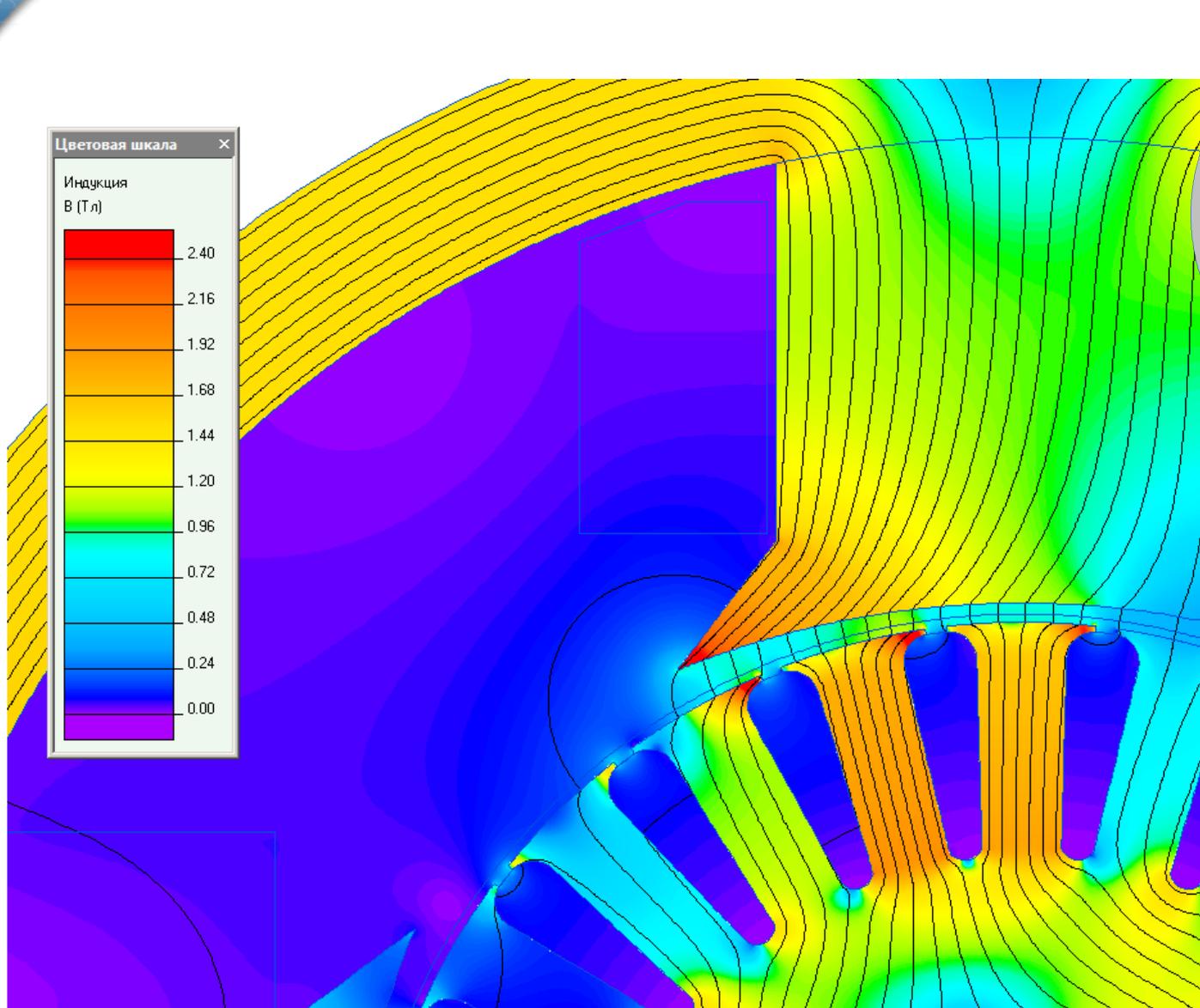
Полное число Ампер-витков  Параллельно  Последовательно

OK Cancel





# Двигатель постоянного тока. Результаты

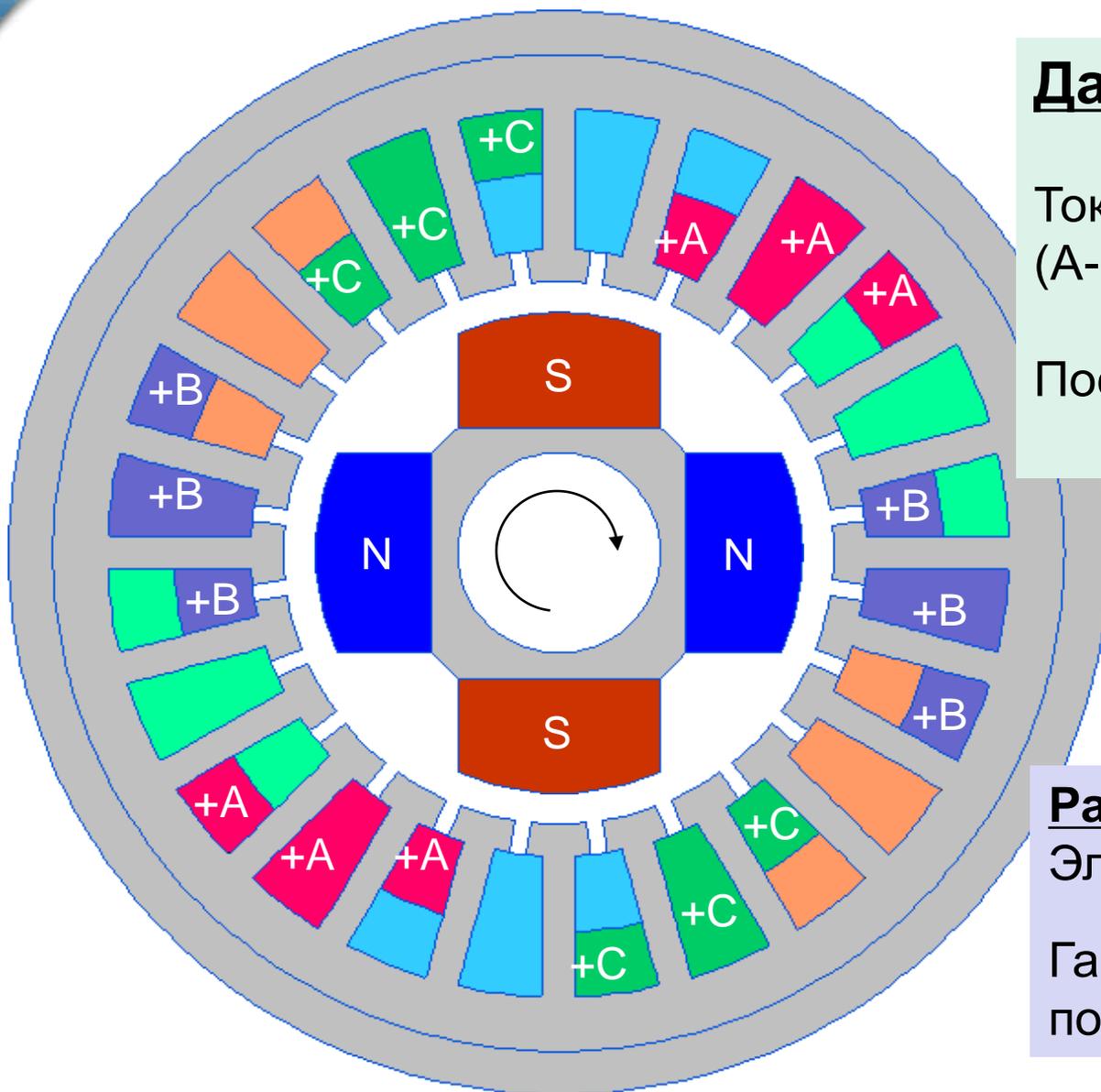


Калькулятор

- Локальные значения
- Интегральный калькулятор
  - Геометрические величины
  - Физические величины
    - Пондеромоторная сила
    - Вращающий момент
      - $M = -215.28 \text{ Н}\cdot\text{м}$
    - Потоко сцепление на один в
    - Магнитодвижущая сила
    - Магнитный поток
    - Энергия магнитного поля
    - Кознергия магнитного поля
    - Линеаризованная энергия г
    - Поверхностная энергия



# Синхронный двигатель



## Дано:

Токи трехфазной обмотки  
(A-,A+); (B-,B+); (C-,C+)

Постоянный магнит ( $B_r$ ,  $H_c$ )

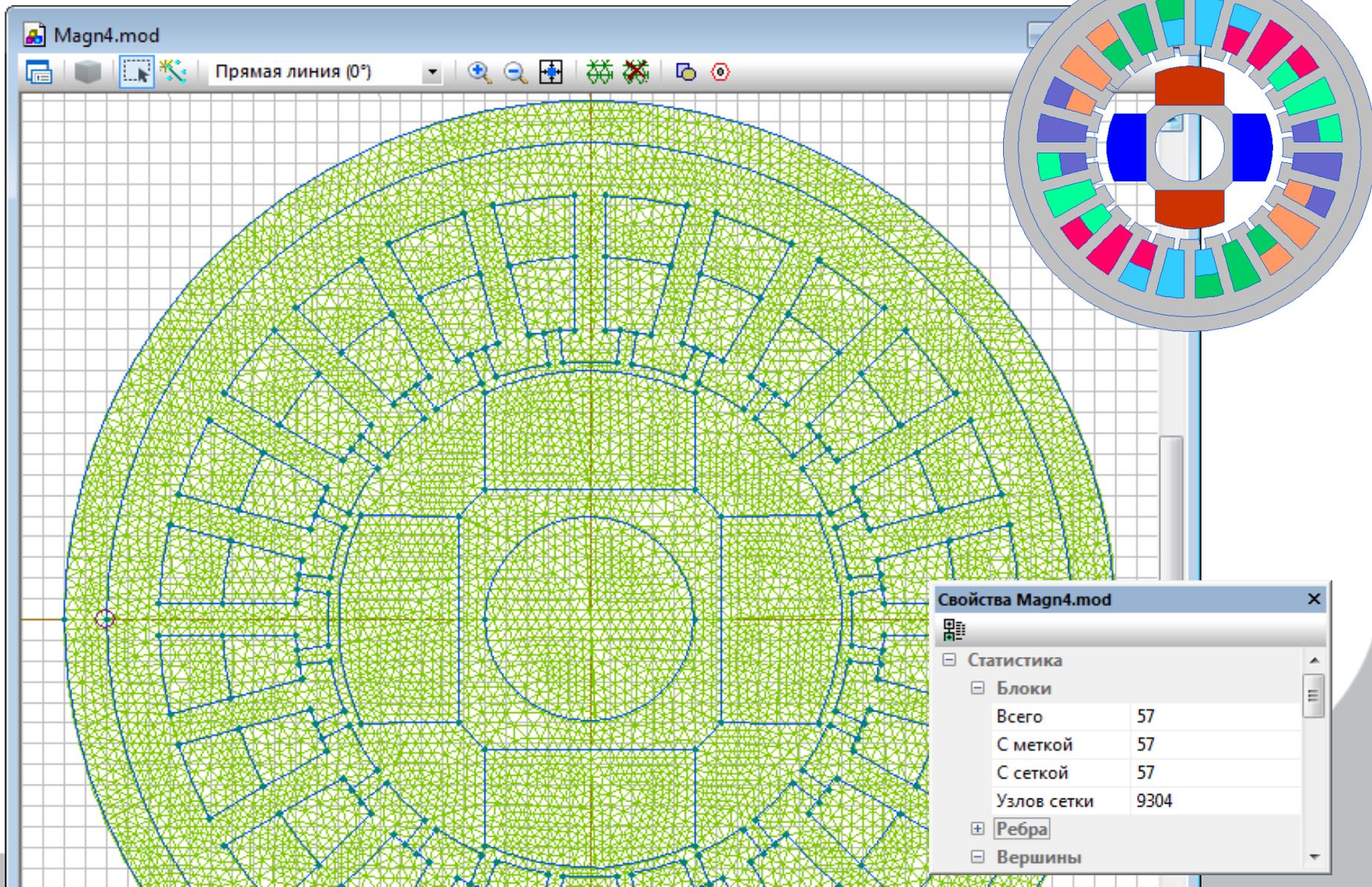
## Рассчитать:

Электромагнитный момент

Гармонический состав  
поля в зазоре



# Синхронный двигатель. Модель

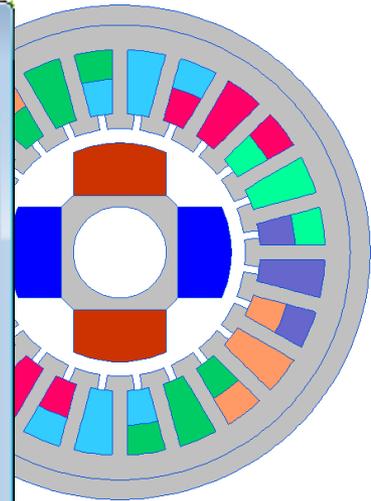
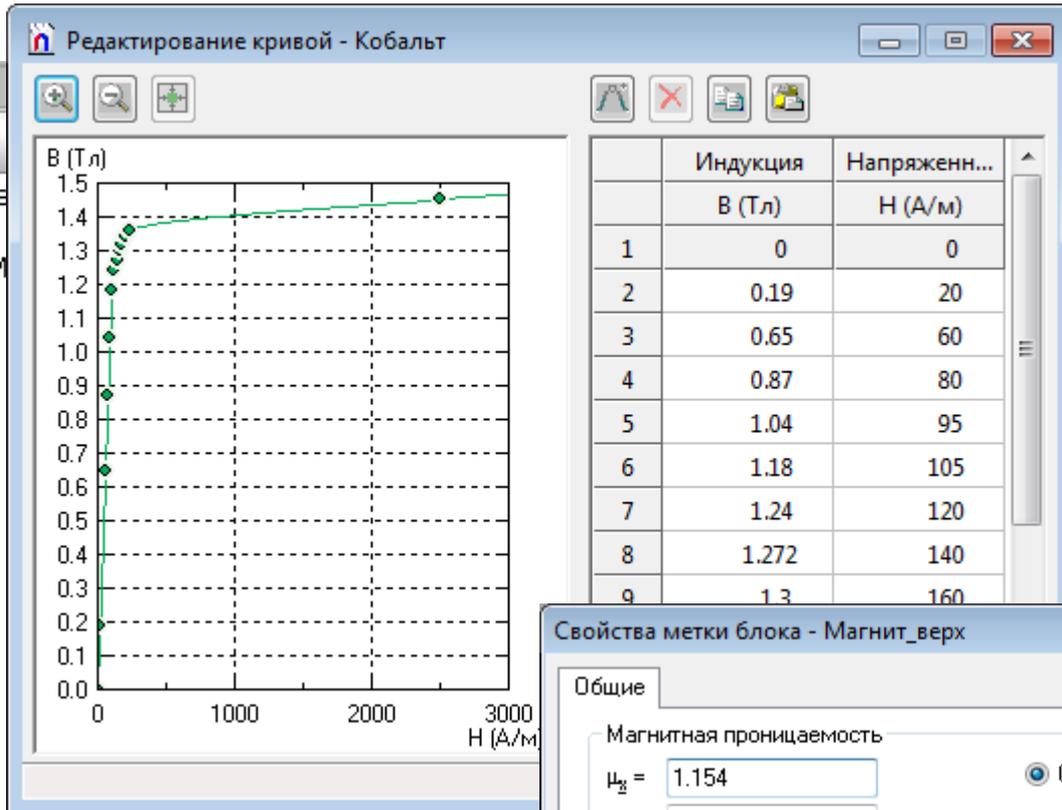




# Синхронный двигатель. Данные

Magn4.pbm

- Magn4.pbm - нелинейная за...
- Геометрия: Magn4.mod
- Физические свойства: M...
- Метки блоков
  - B-
  - B+
  - C-
  - C+
  - A-
  - A+
  - Воздух
  - Кобальт
  - Магнит\_верх
  - Магнит\_низ
  - Магнит\_влево
  - Магнит\_вправо
  - Сталь
- Метки ребер
  - $\Delta = 0$
- Метки вершин
- Справочник свойств: <нет>
- Связи задач:
  - нет связей



Свойства метки блока - Магнит\_верх

Общие

Магнитная проницаемость

$\mu_x =$  1.154  Относительная

$\mu_y =$  1.154  Абсолютная

Нелинейный материал  Анизотропный материал

Коэрцитивная сила магнита

Величина: 550000 (А/м)

Направление: 90 (град)

Координаты

Декартовы  Полярные

Электропроводность (только для переходных процессов)

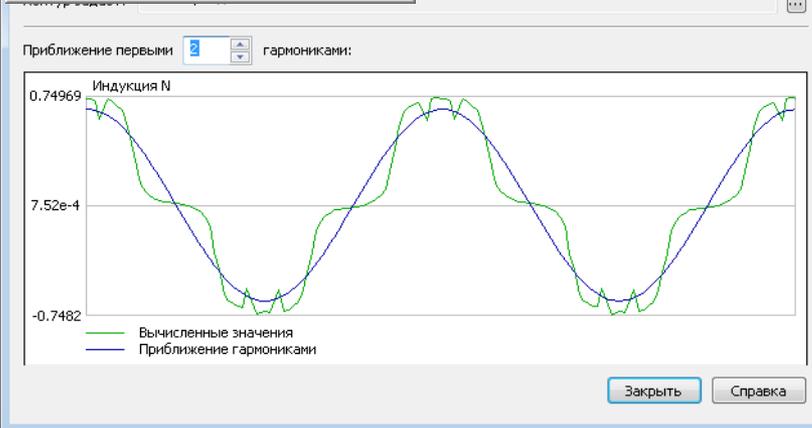
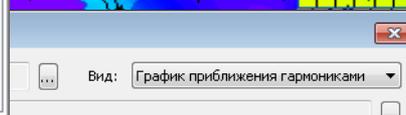
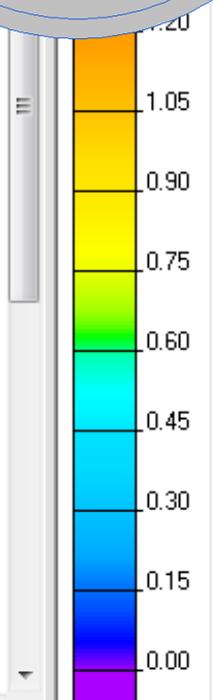
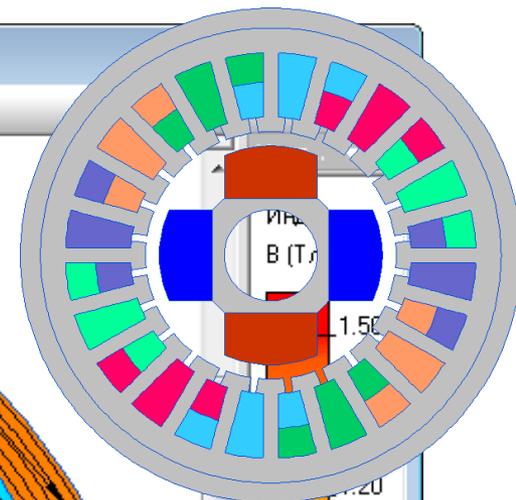
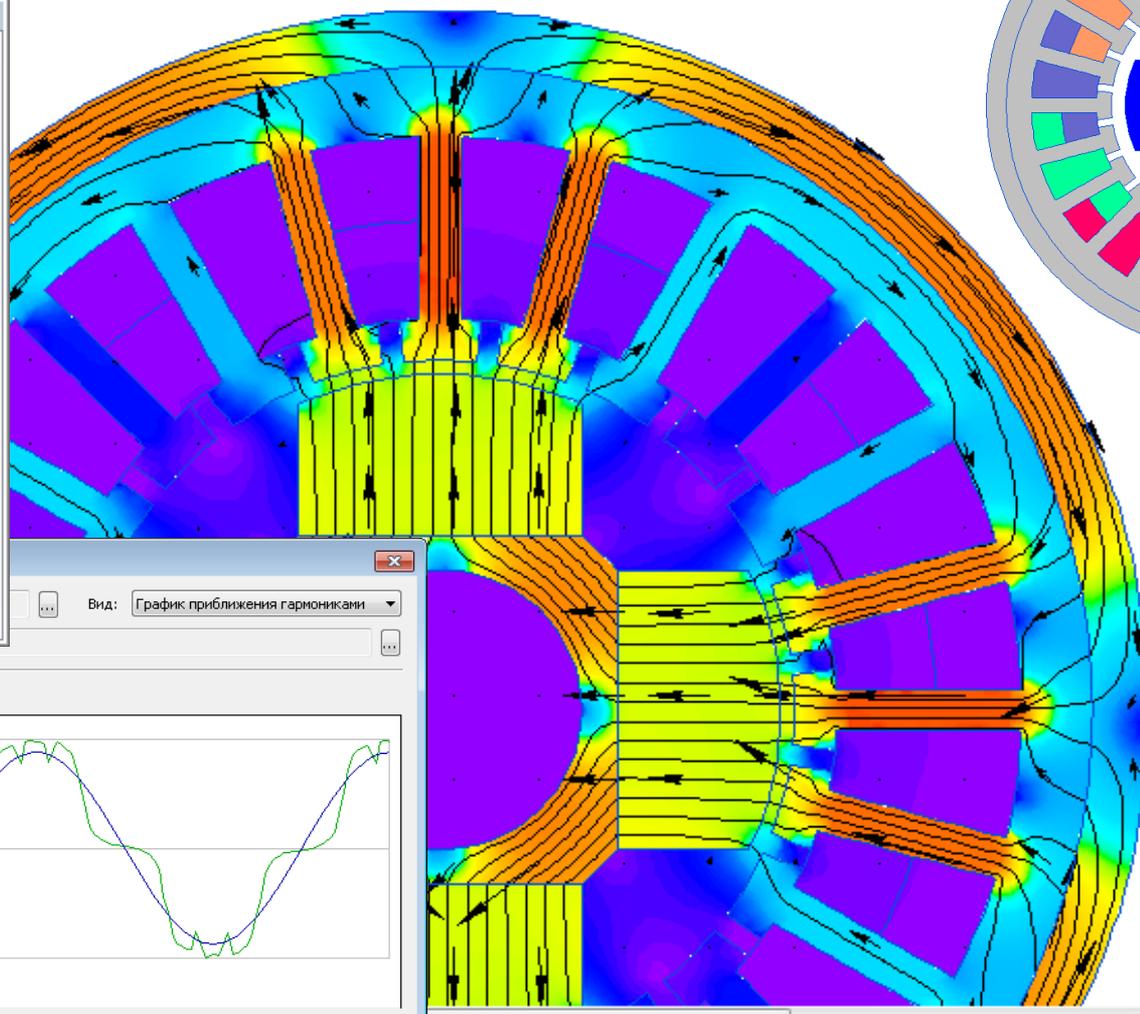
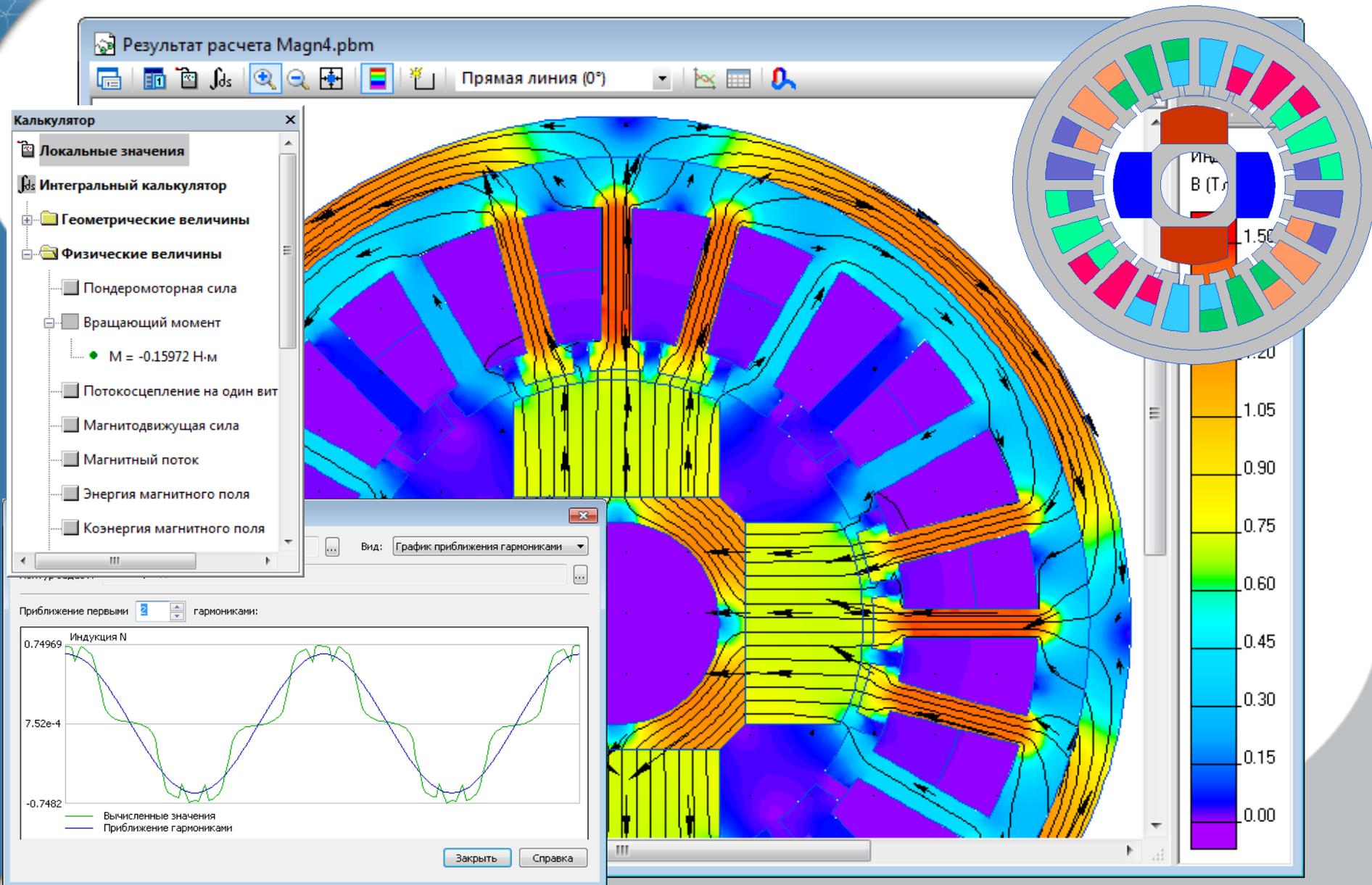
$\gamma =$   (См/м)  Зависит от температуры

Температура:  (К)

Источники поля

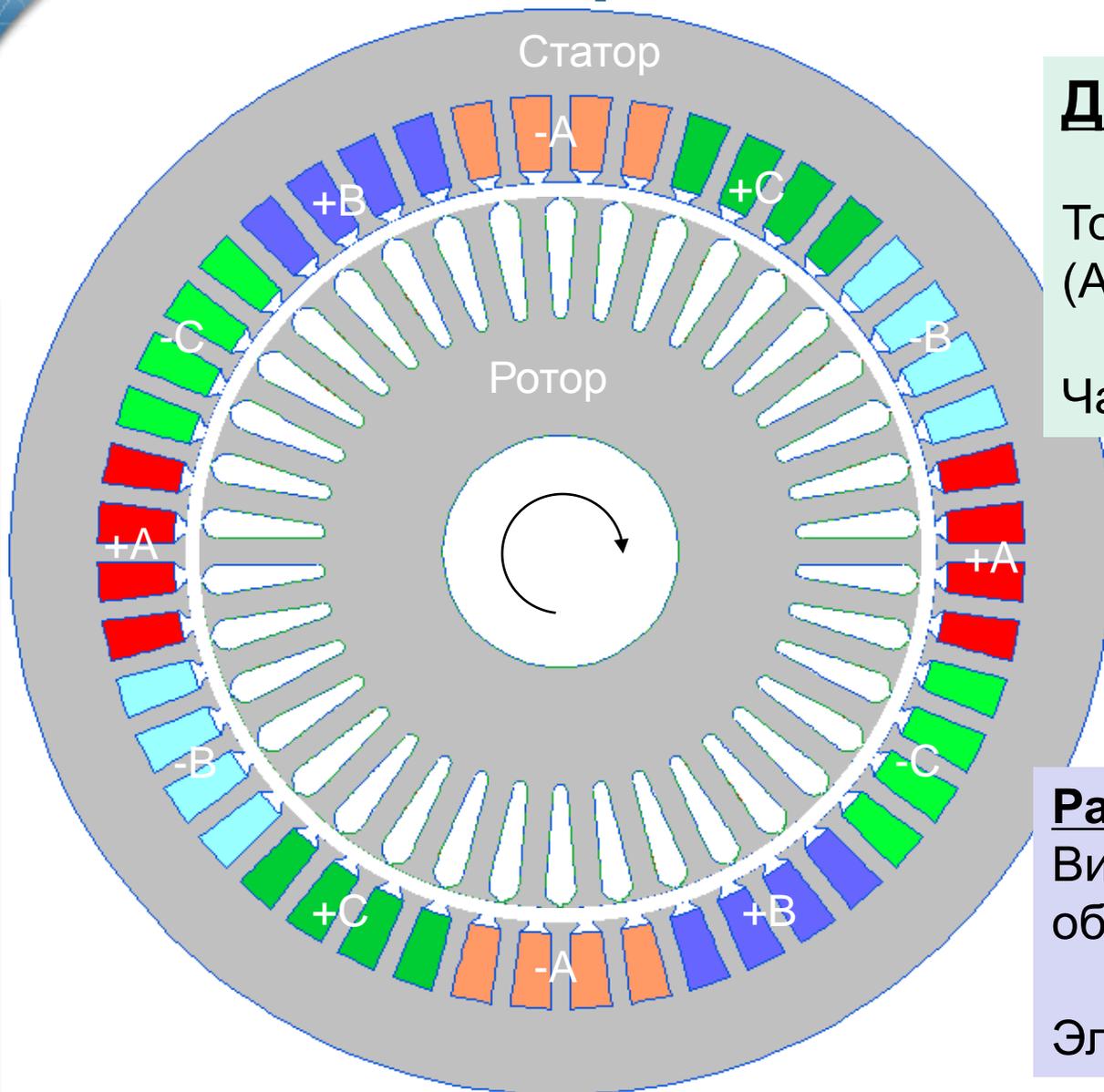


# Синхронный двигатель. Результаты





# Асинхронный двигатель



## Дано:

Токи трехфазной обмотки  
(A-,A+); (B-,B+); (C-,C+)

Частота скольжения  $f$

## Рассчитать:

Вихревые токи в  
обмотке ротора

Электромагнитный момент

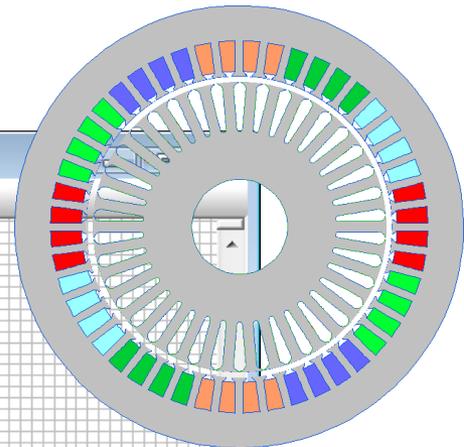
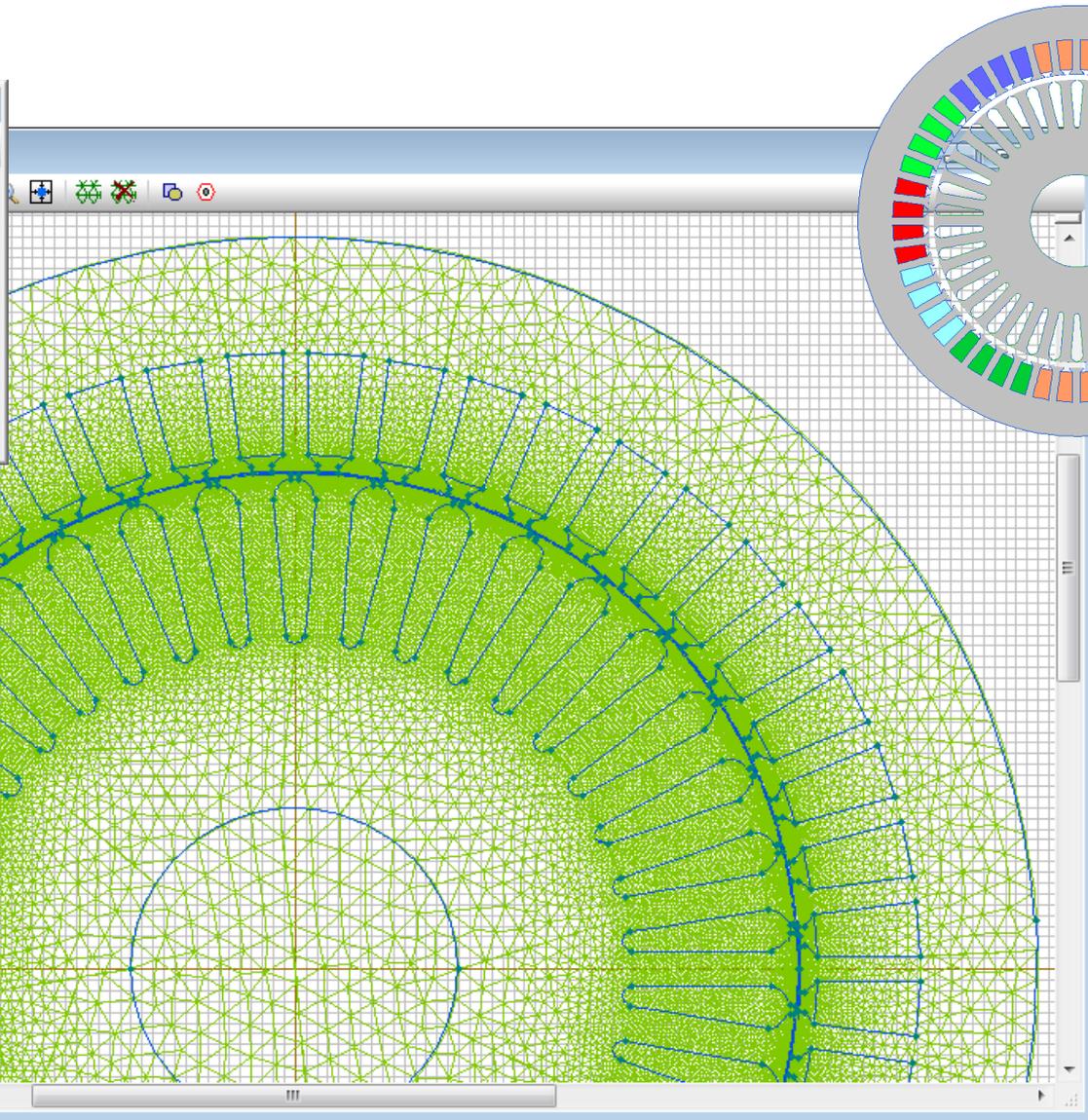


# Асинхронный двигатель. Модель

Свойства Induction motor.mod

Статистика

Блоки	
Всего	139
С меткой	139
С сеткой	139
Узлов сетки	97314
Ребра	
Вершины	



# Асинхронный двигатель. Данные

Induction Motor.pbm

Induction Motor.pbm - задача магнитн...

- Геометрия: Induction motor.mod
- Физические свойства: Induction m...
- Метки блоков
  - AX
  - BY
  - CZ
  - XA
  - YB
  - ZC
  - вал
  - воздух
  - клетка
  - клин
  - сталь
- Метки ребер
  - A=0
  - зазор
- Метки вершин
- Справочник свой...
- Электрическая це
  - нет связей

Свойства метки блока - клетка

Общие Потери в стали

Магнитная проницаемость

$\mu_x = 1$   Относительная

$\mu_y = 1$   Абсолютная

Нелинейный материал  Анизотропный

Электропроводность

$\gamma = 37000000$  (См/м)  Зависит от температуры

Температура 0 (К)

Источники поля

$I_o = 0$  (А)

$\varphi = 0$  (град)

Вид источника:  Напряжение  Полный ток

Проводники соединены:  Параллельно  Последовательно

Свойства метки блока - BY

Общие Потери в стали

Магнитная проницаемость

$\mu_x = 1$   Относительная

$\mu_y = 1$   Абсолютная

Нелинейный материал  Анизотропный

Электропроводность

$\gamma = 0$  (См/м)  Зависит от температуры

Температура 0 (К)

Источники поля

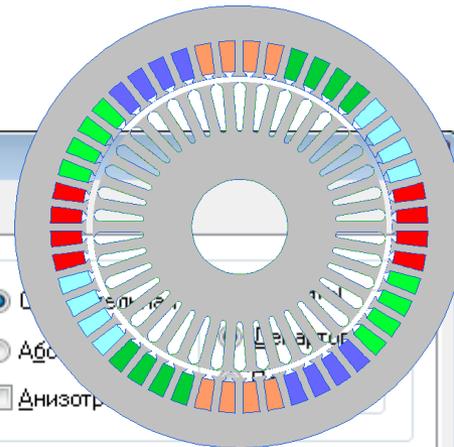
$I_o = 200$  (А)  f

$\varphi = 120$  (град)

Вид источника:  Плотность тока  Полный ток

Проводники соединены:  Параллельно  Последовательно

OK Cancel Help





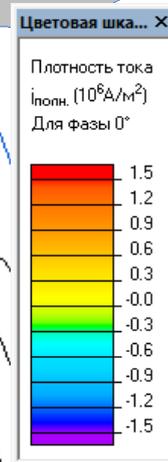
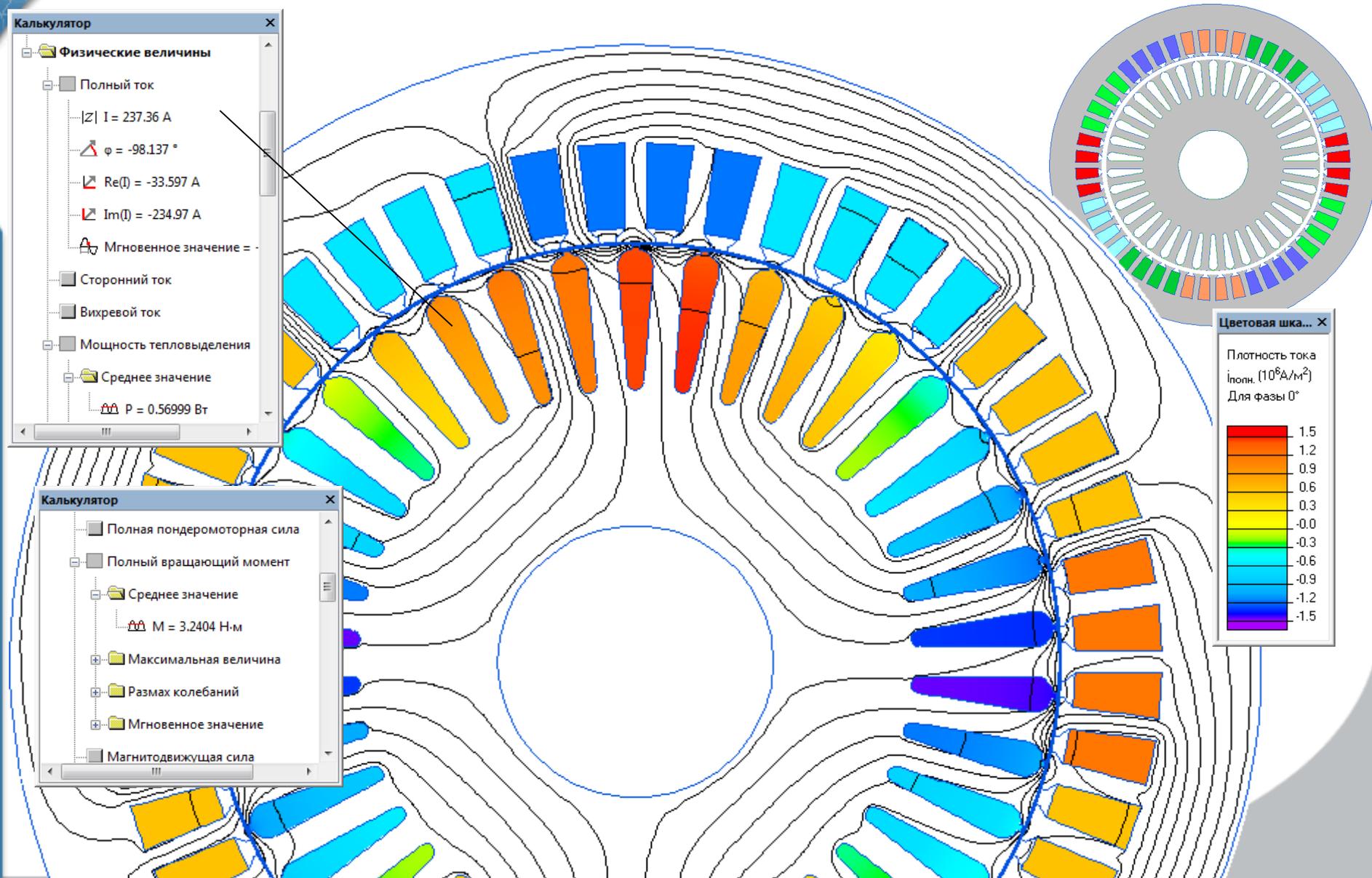
# Асинхронный двигатель. Результаты

Калькулятор

- Физические величины
  - Полный ток
    - $|Z| I = 237.36 \text{ A}$
    - $\varphi = -98.137^\circ$
    - $\text{Re}(I) = -33.597 \text{ A}$
    - $\text{Im}(I) = -234.97 \text{ A}$
    - Мгновенное значение =
  - Сторонний ток
  - Вихревой ток
  - Мощность тепловыделения
    - Среднее значение
      - $P = 0.56999 \text{ Вт}$

Калькулятор

- Полная пондеромоторная сила
- Полный вращающий момент
  - Среднее значение
    - $M = 3.2404 \text{ Н}\cdot\text{м}$
  - Максимальная величина
  - Размах колебаний
  - Мгновенное значение
- Магнитодвижущая сила





# Моделирование электрических машин и трансформаторов в ELCUT

[www.elektro2017.elcut.ru](http://www.elektro2017.elcut.ru)

**ELCUT**

17-20 апреля 2017

**ЭЛЕКТРО**

**2017**