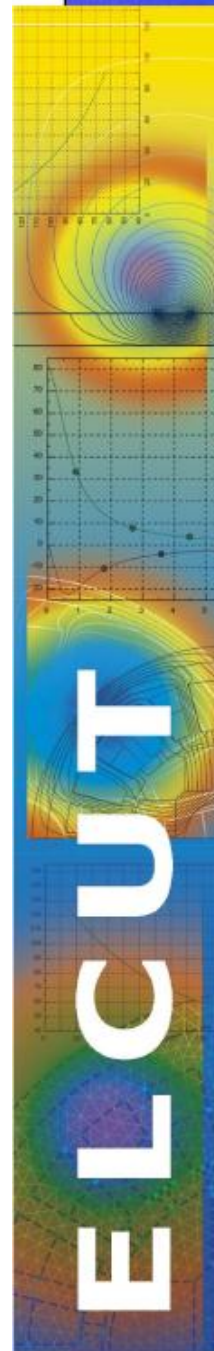




Анализ электрических машин в ELCUT

Е.Ф. Кади-Оглы

Анонс учебного курса:
Анализ электрических машин в
ELCUT®
5 декабря 2012





Базовый перечень рассматриваемых вопросов и примеров задач магнитостатики

- Особенности моделирования задач магнитостатики в области электрических машин
- Определение гармонического спектра магнитного поля обмотки статора многофазной синхронной машины
- Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки синхронной машины
- Расчет магнитного поля, параметров и режимов работы асинхронной машины
- Расчет магнитного поля, параметров и режимов работы машины с постоянными магнитами



Особенности моделирования задач магнитостатики в области электрических машин

Постановка задачи:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} H = j \\ \operatorname{div} B = 0 \\ B = \mu H \\ B = \operatorname{rot} A \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -j + \left(\frac{\partial H_{cy}}{\partial x} - \frac{\partial H_{cx}}{\partial y} \right)$$

Свойства материалов:

$$\mu, B = f(H)$$

Граничные условия

- Дирихле: A ;
- Неймана: H_t ;
- Нулевого магнитного потока;
- Периодические граничные условия.

Источники поля:

$$j, F, H_c(\alpha) \quad A, H_t = f(x, y).$$

Возможные допущения и упрощения задач

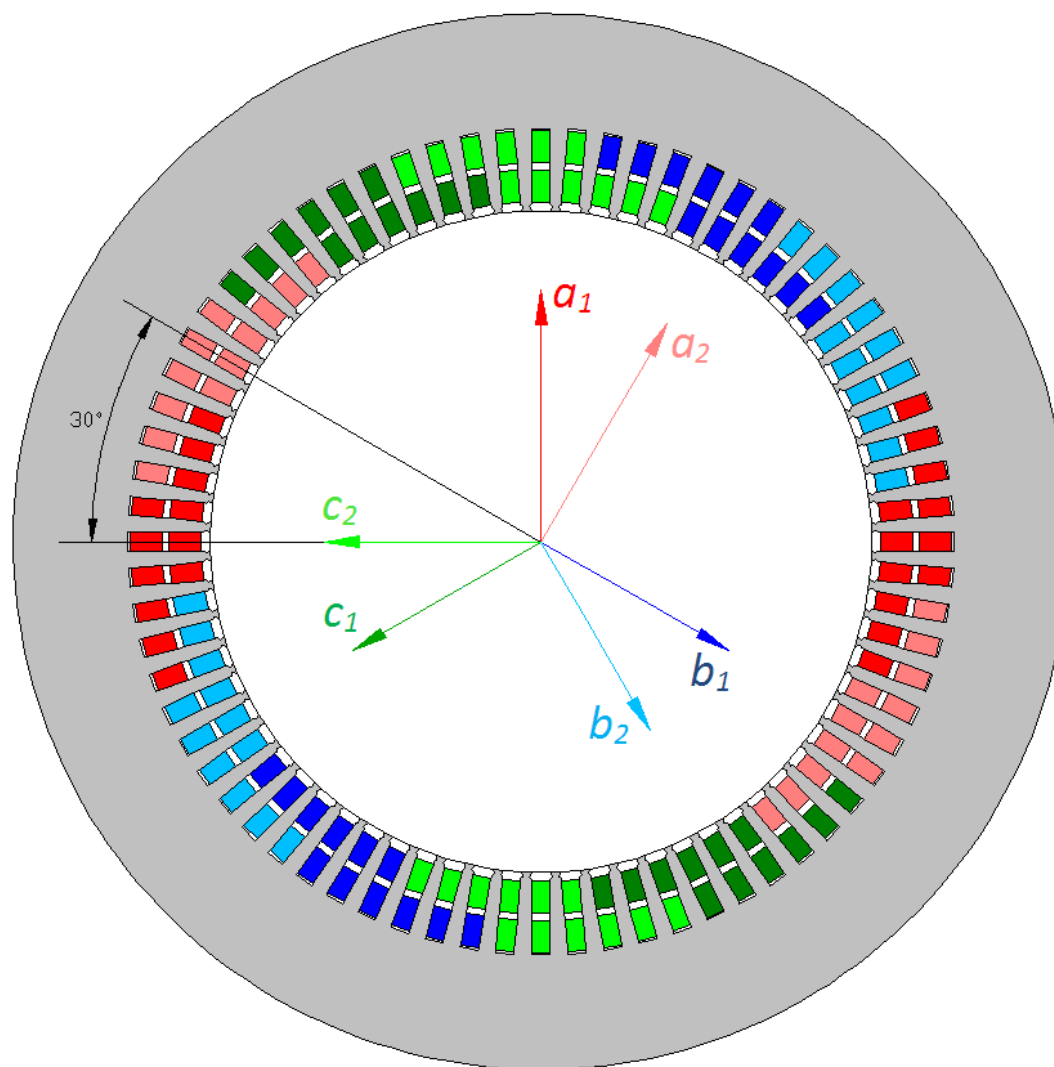
Особенности конечно-элементной дискретизации

Перечень вычисляемых величин и необходимых постпроцессорных вычислений, важных при анализе электрических машин



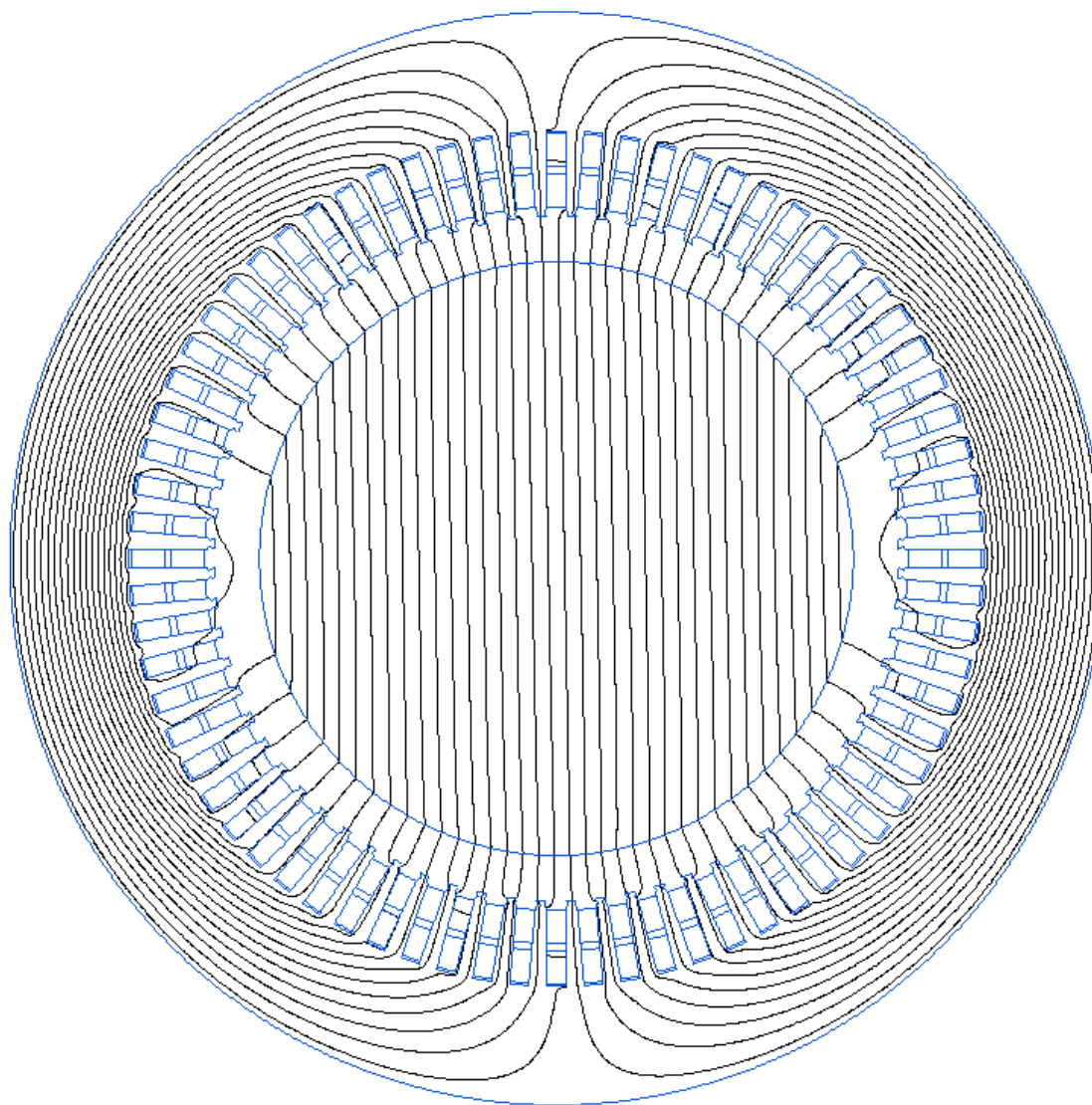
Определение гармонического спектра магнитного поля обмотки статора многофазной СМ

2-х полюсная 6-ти фазная синхронная машина



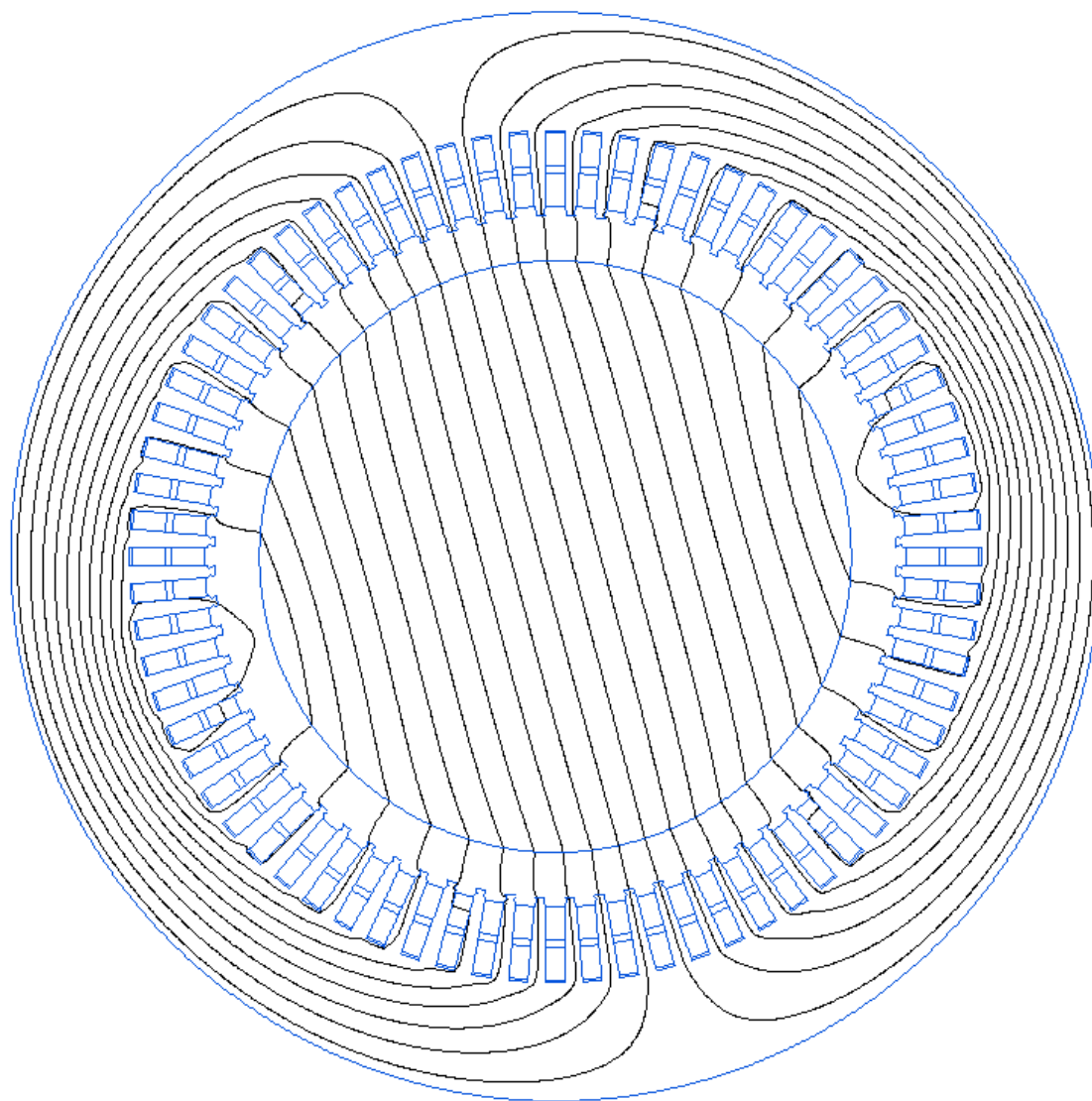


Определение гармонического спектра магнитного поля обмотки статора многофазной СМ



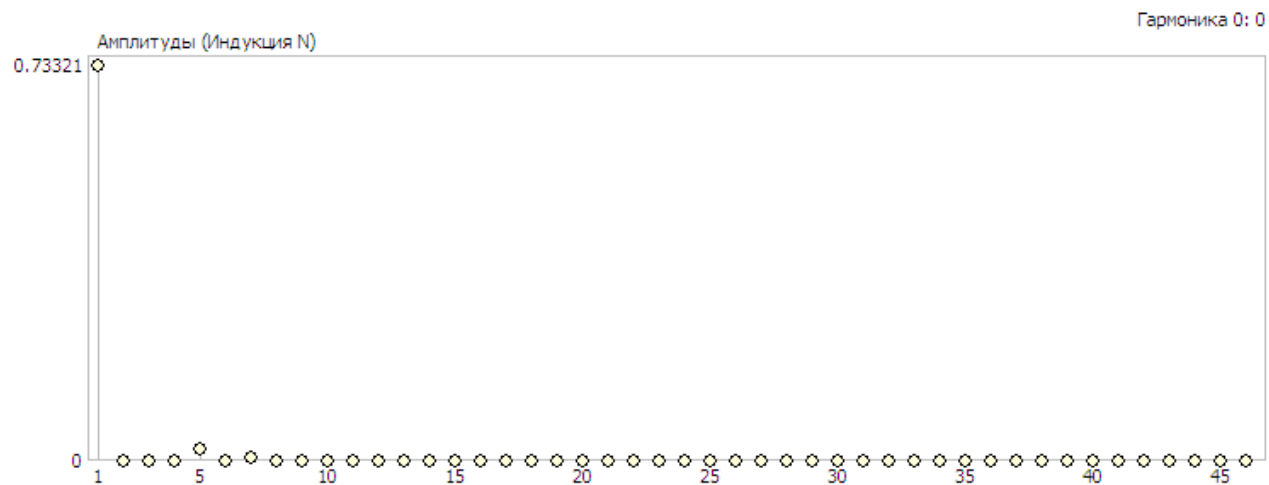
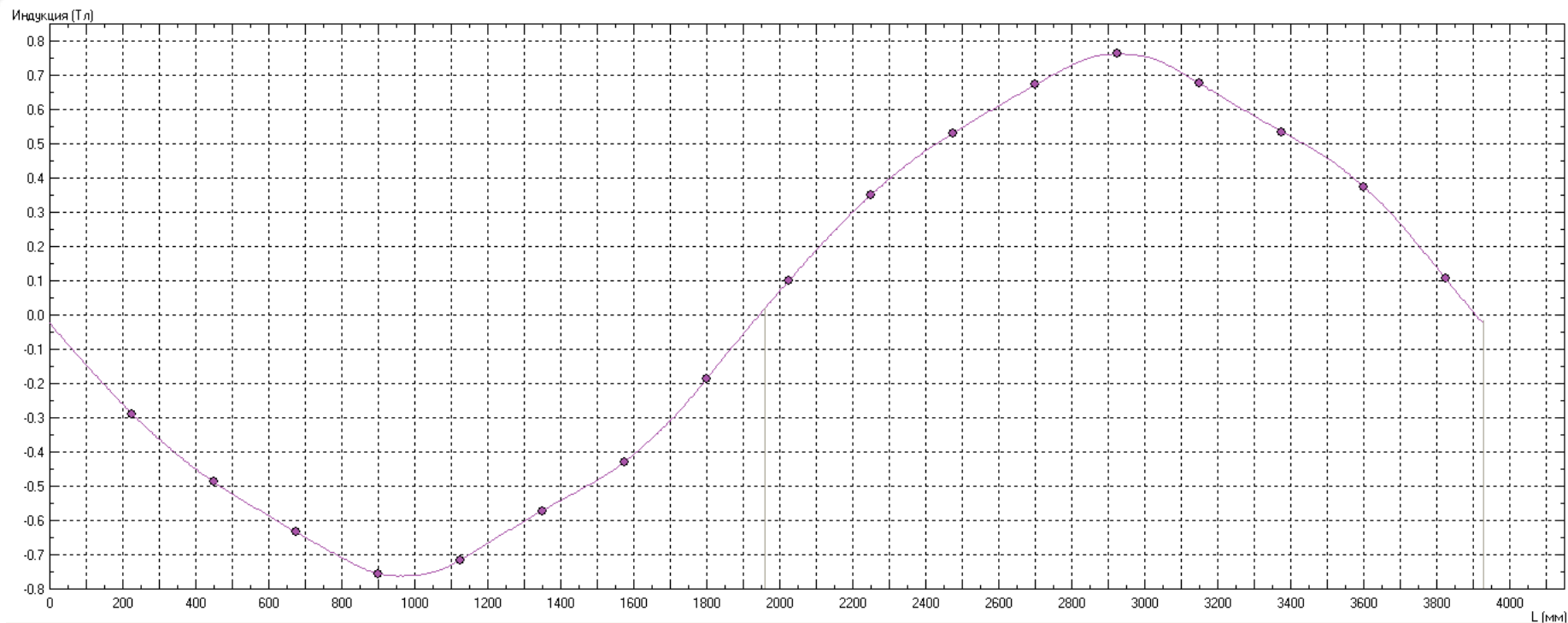


Определение гармонического спектра магнитного поля обмотки статора многофазной СМ



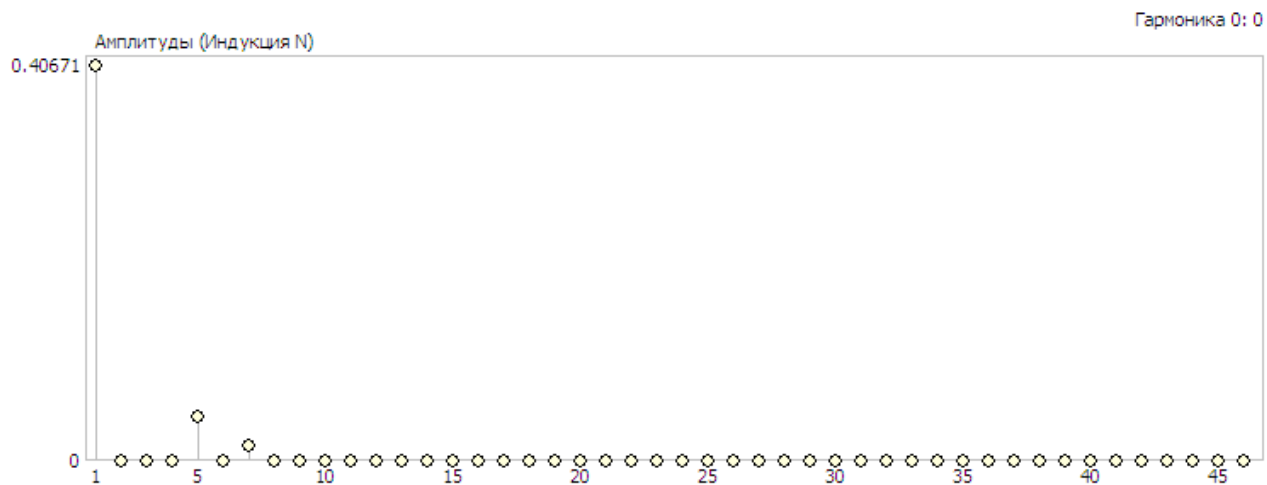
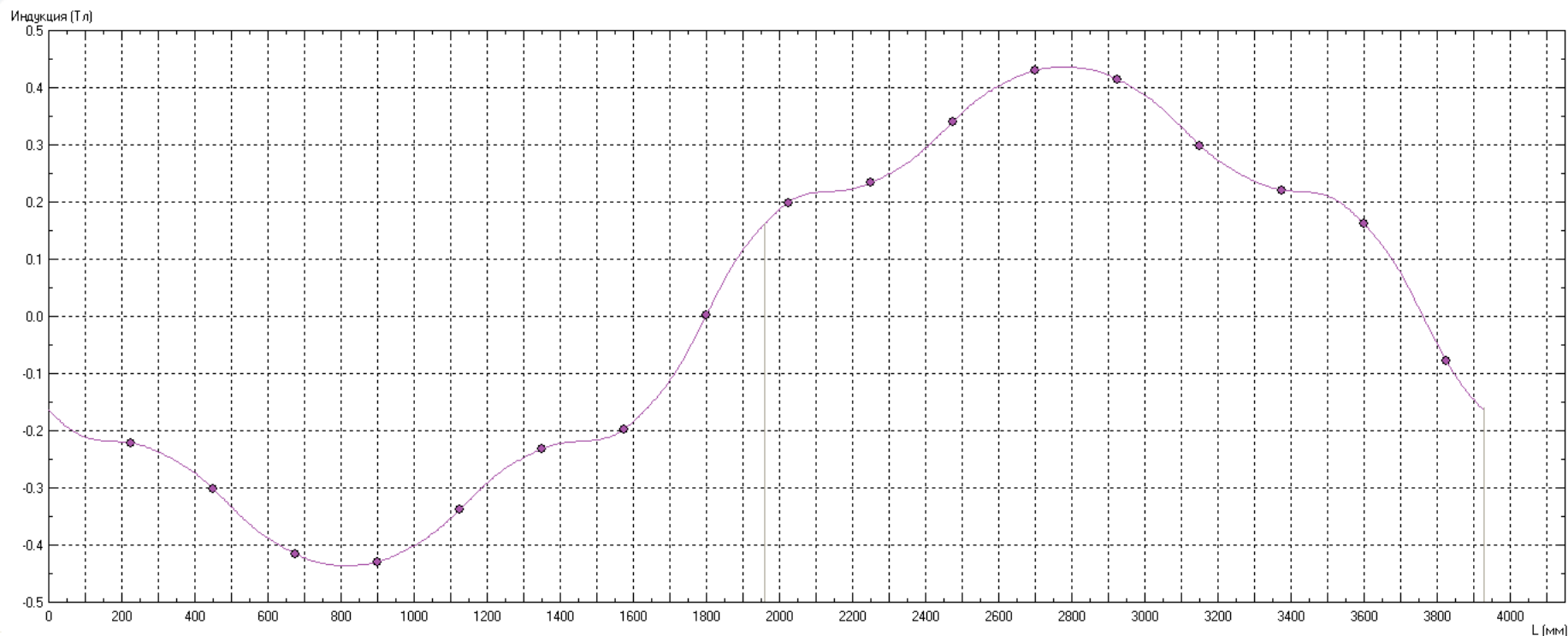


Определение гармонического спектра магнитного поля обмотки статора многофазной СМ





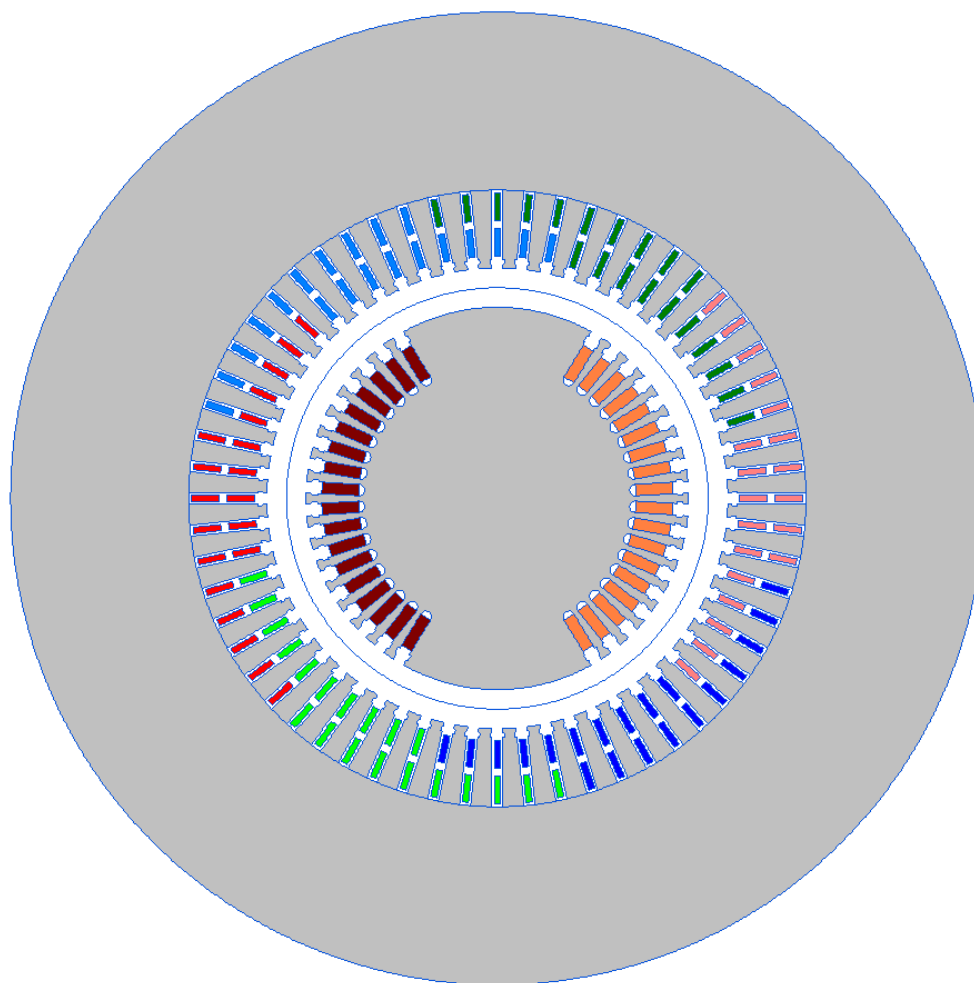
Определение гармонического спектра магнитного поля обмотки статора многофазной СМ





Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ

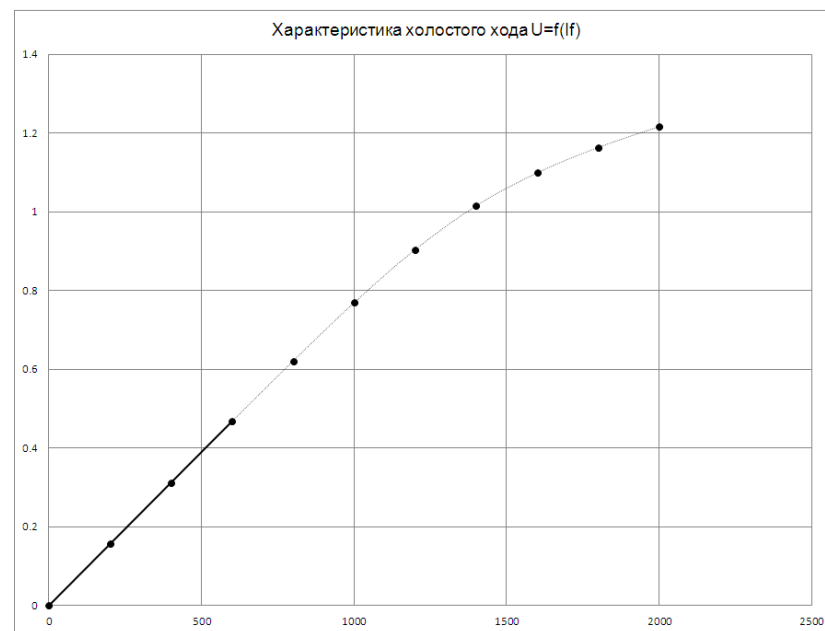
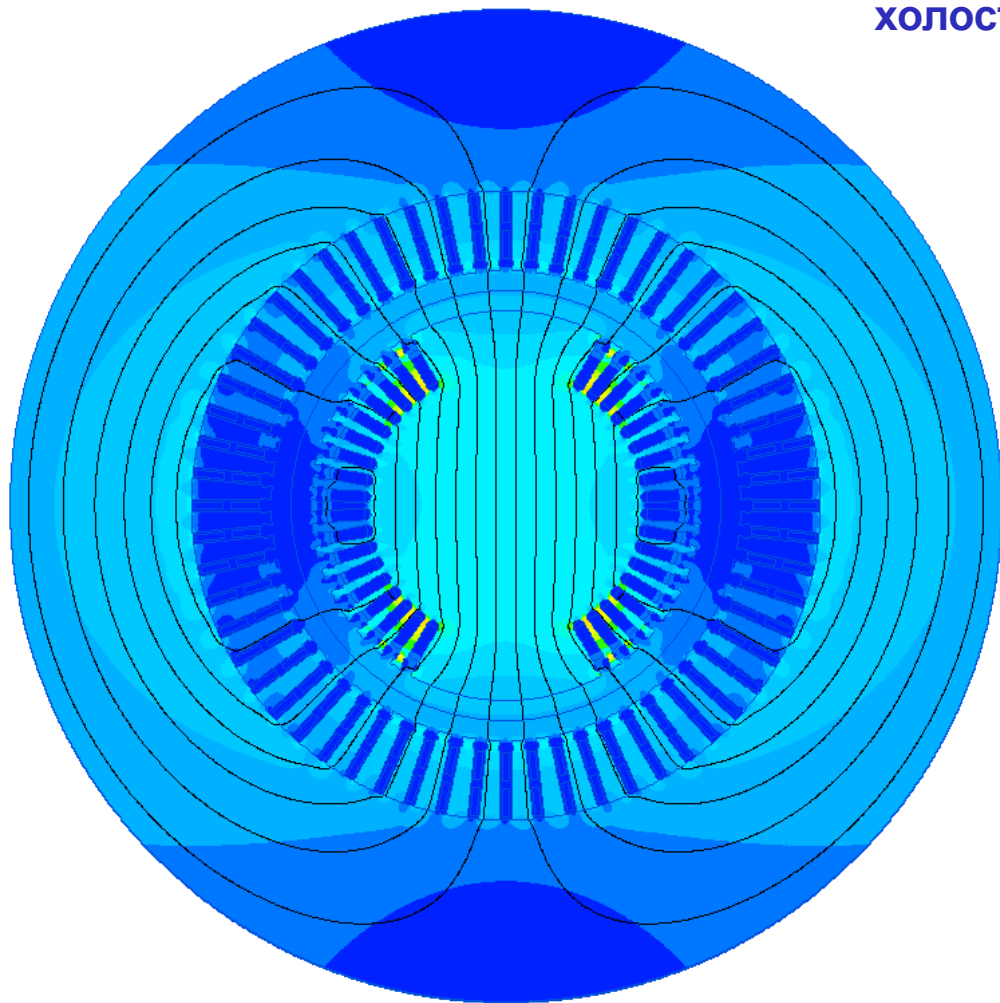
2-х полюсная 3-х фазная синхронная машина (турбогенератор)





Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ

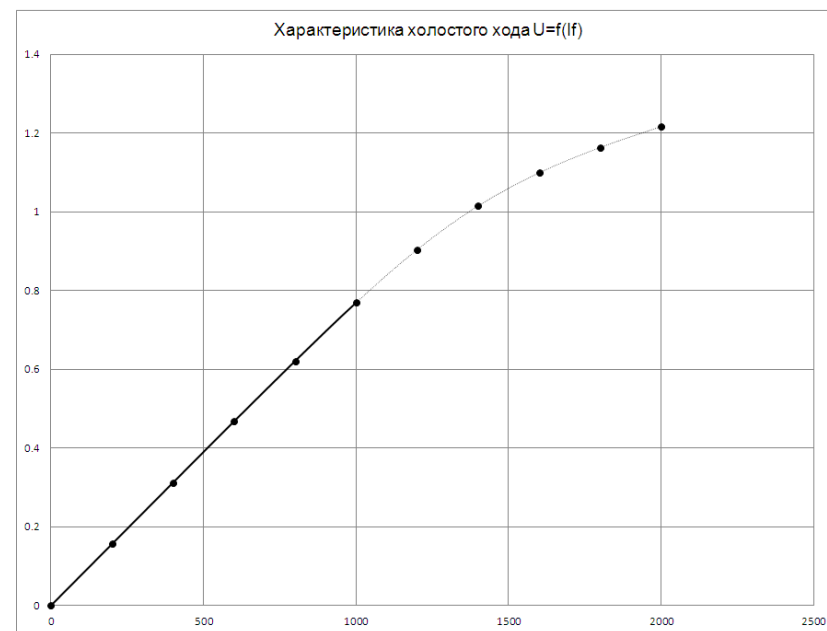
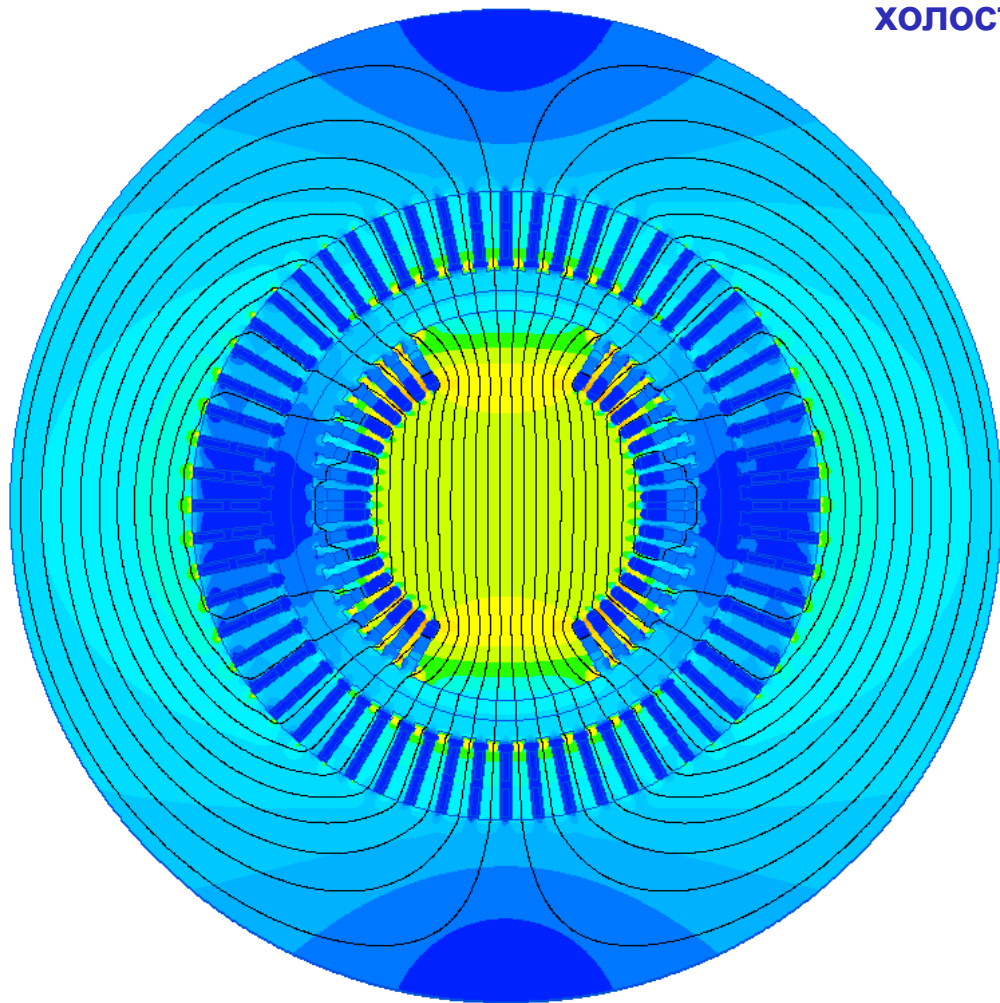
Магнитное поле в режиме холостого хода СМ





Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ

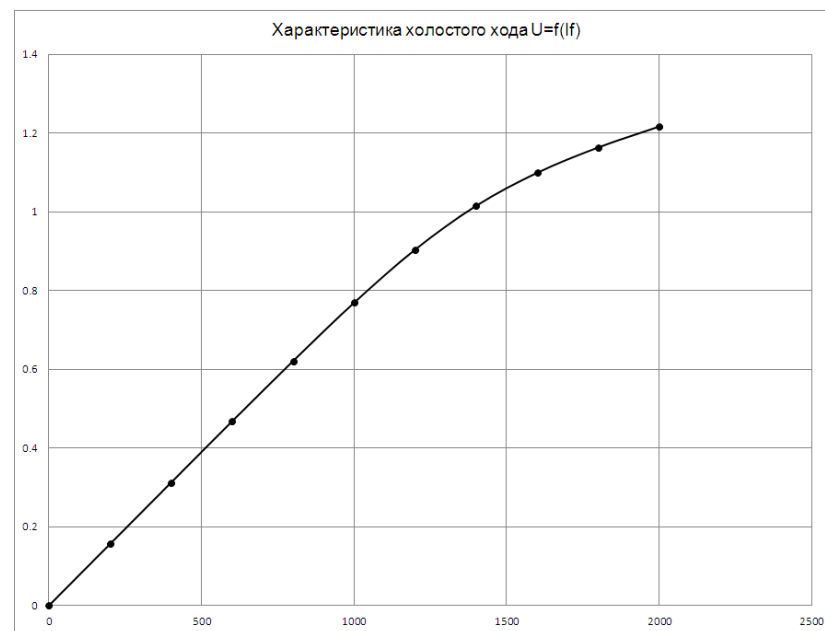
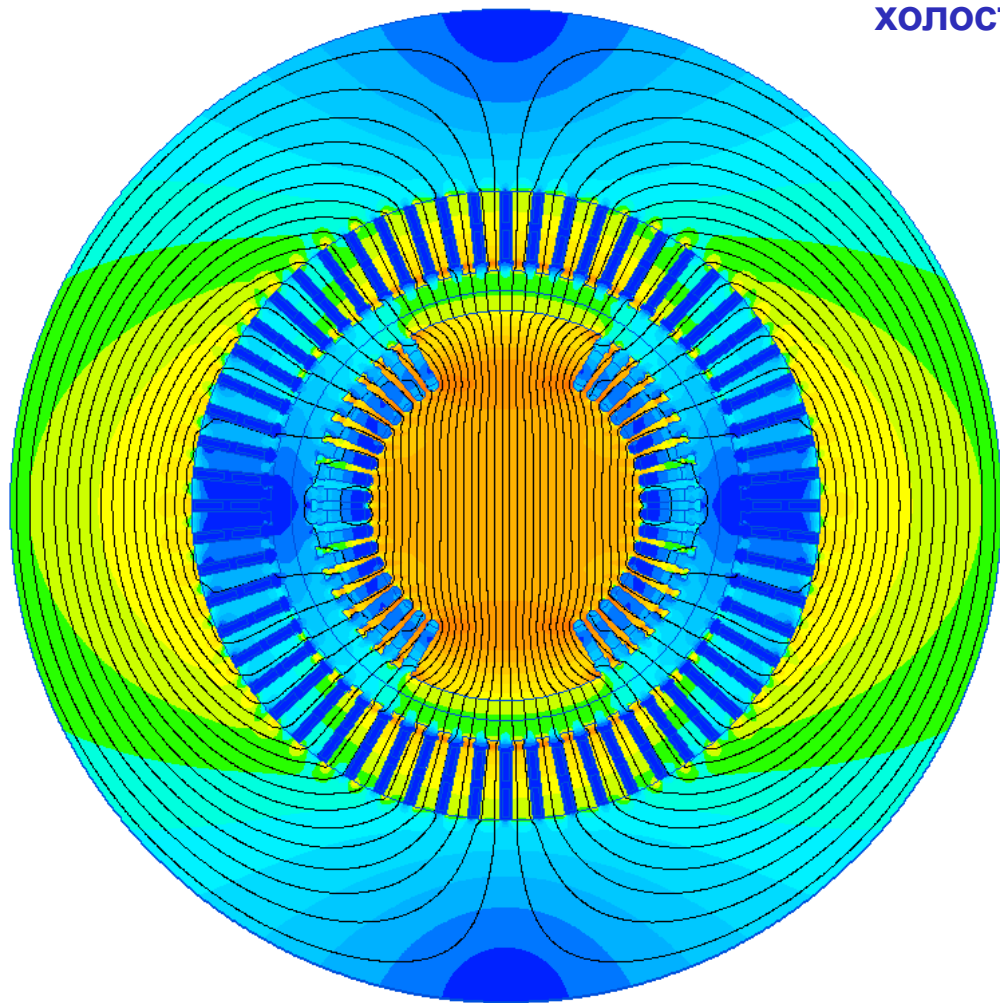
Магнитное поле в режиме холостого хода СМ





Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ

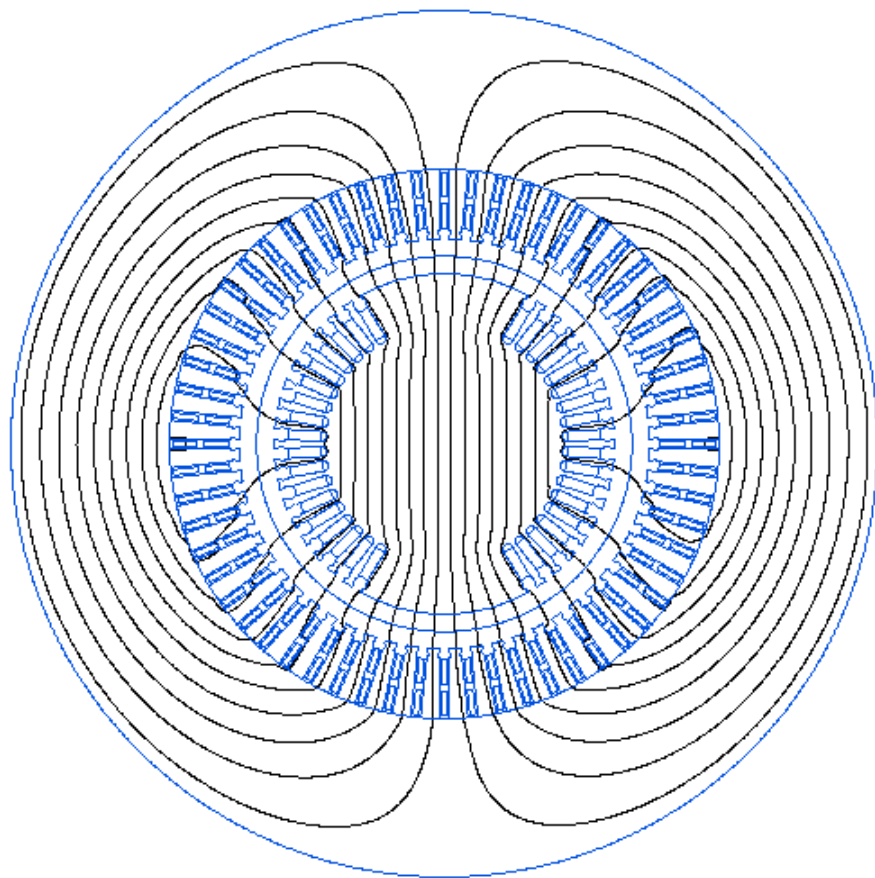
Магнитное поле в режиме холостого хода СМ



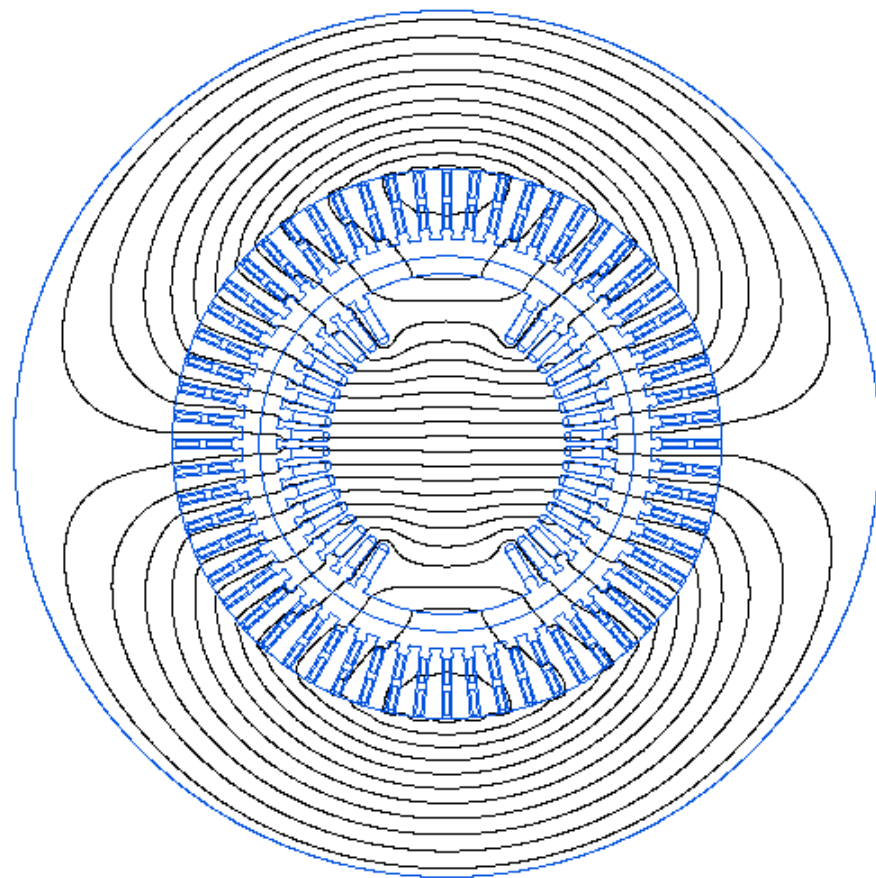


Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ

Продольное магнитное поле

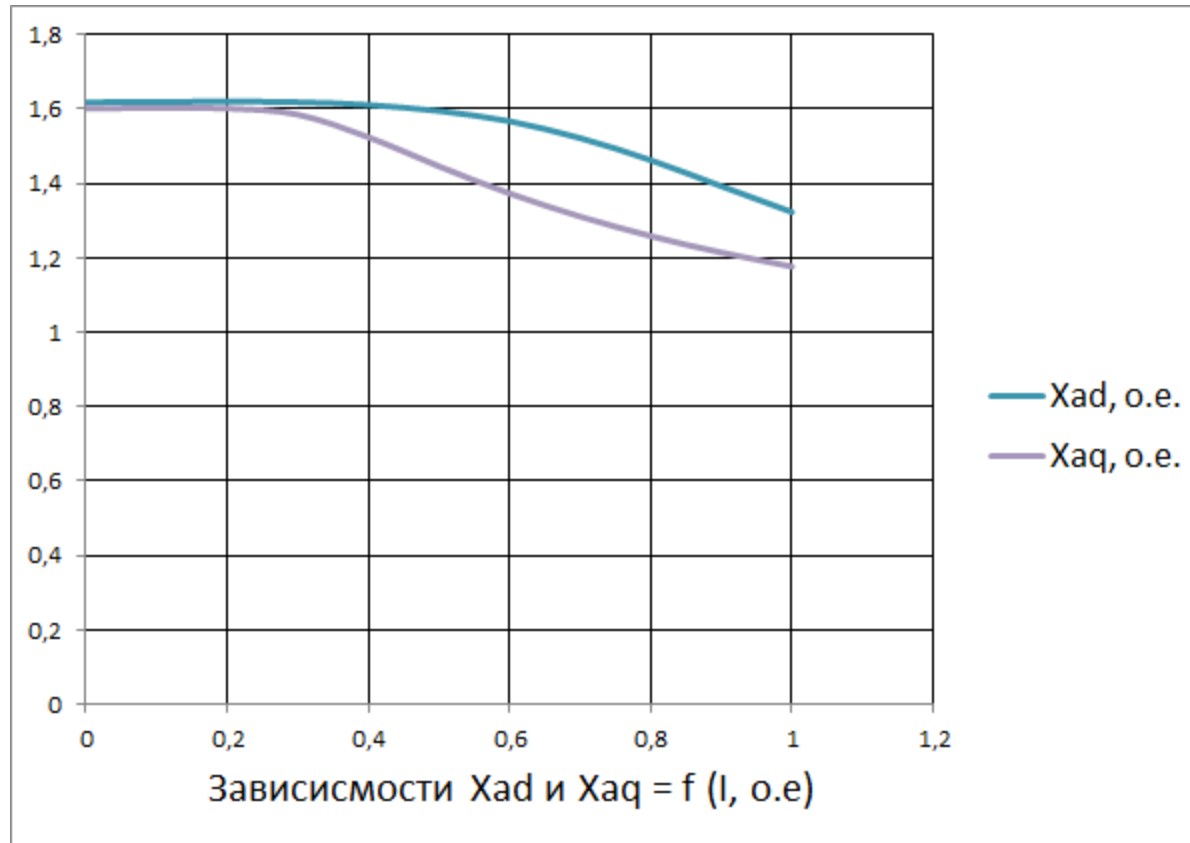


Поперечное магнитное поле





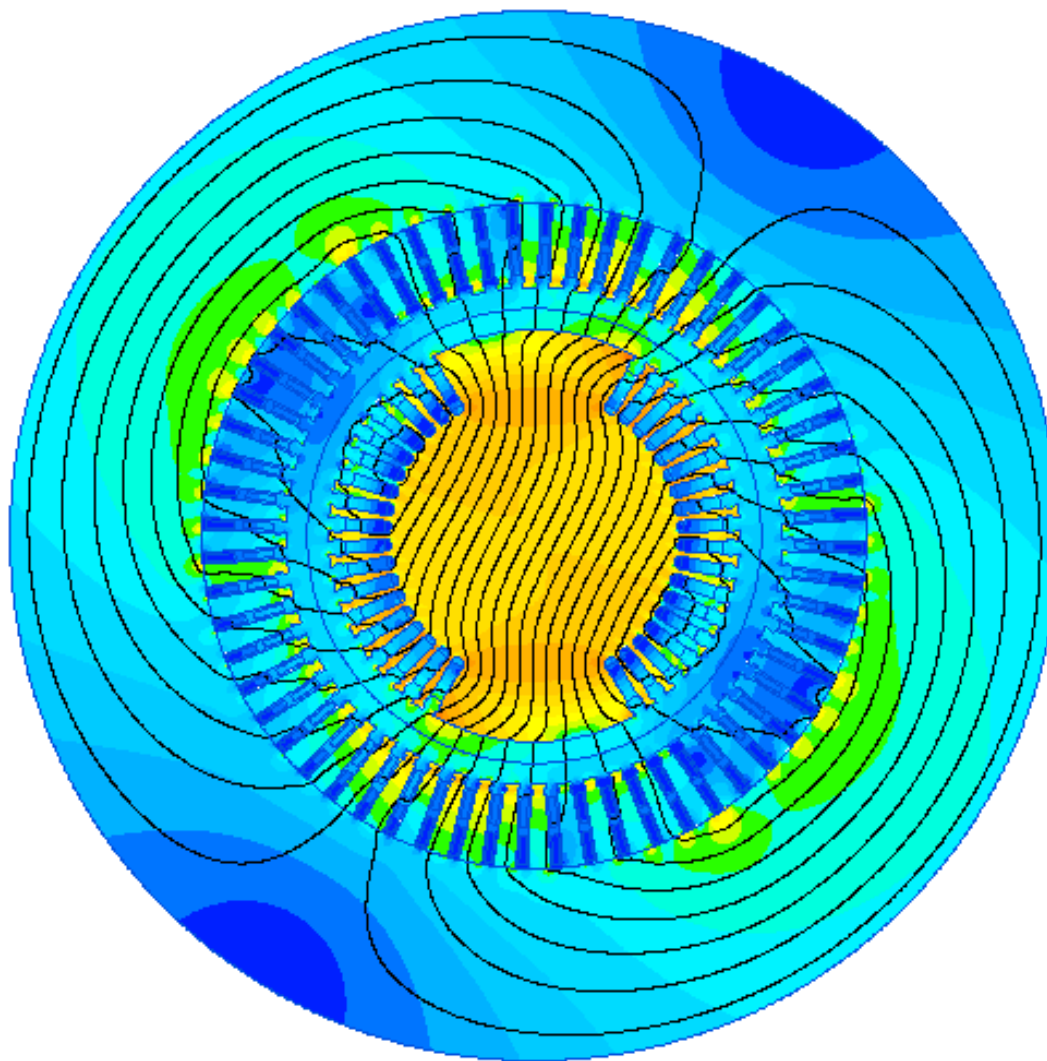
Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ





Расчет характеристики холостого хода, определение индуктивных параметров и расчет режимов нагрузки СМ

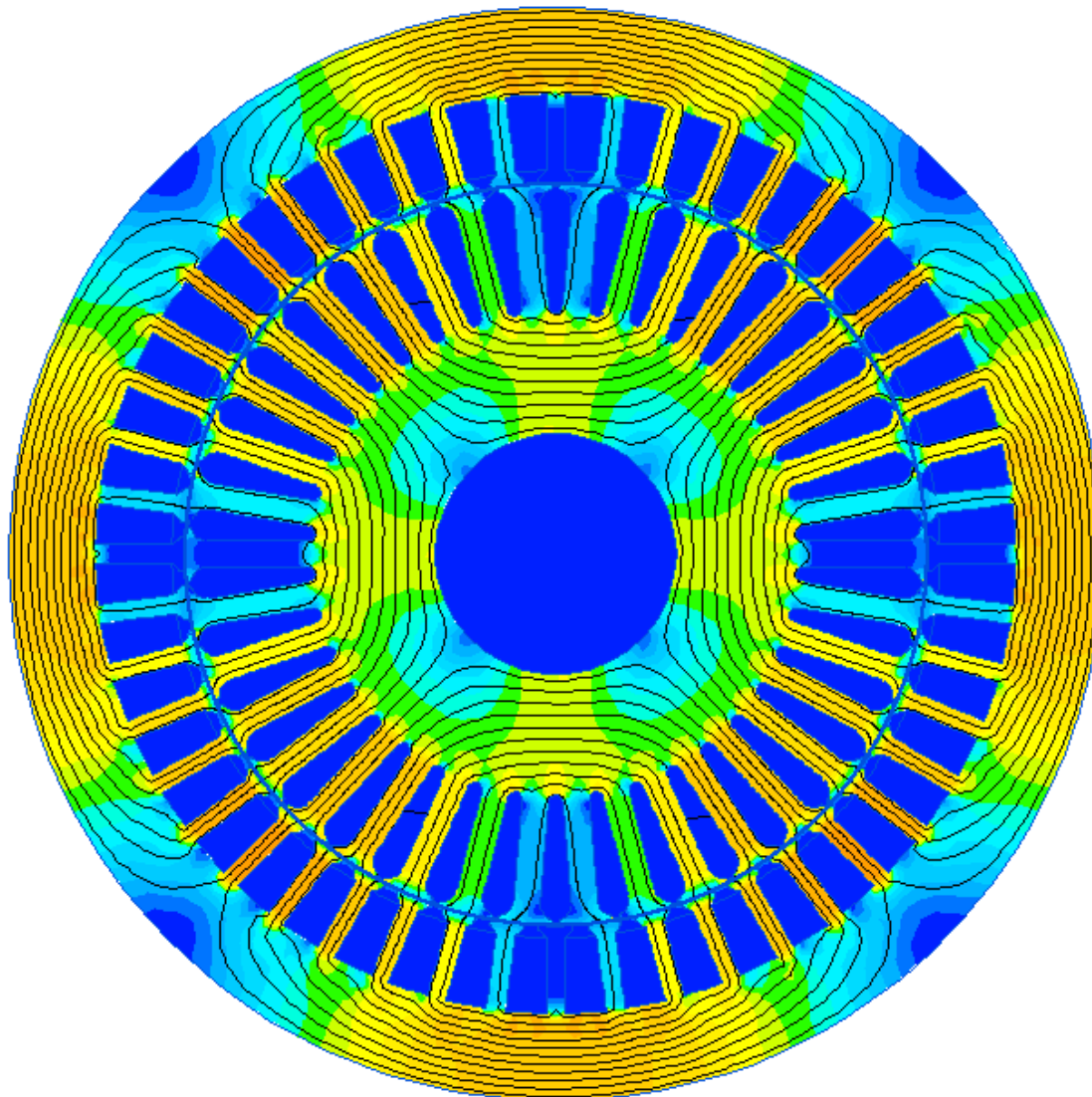
Магнитное поле в режиме номинальной нагрузки СМ





Расчет магнитного поля, параметров и режимов работы асинхронной машины

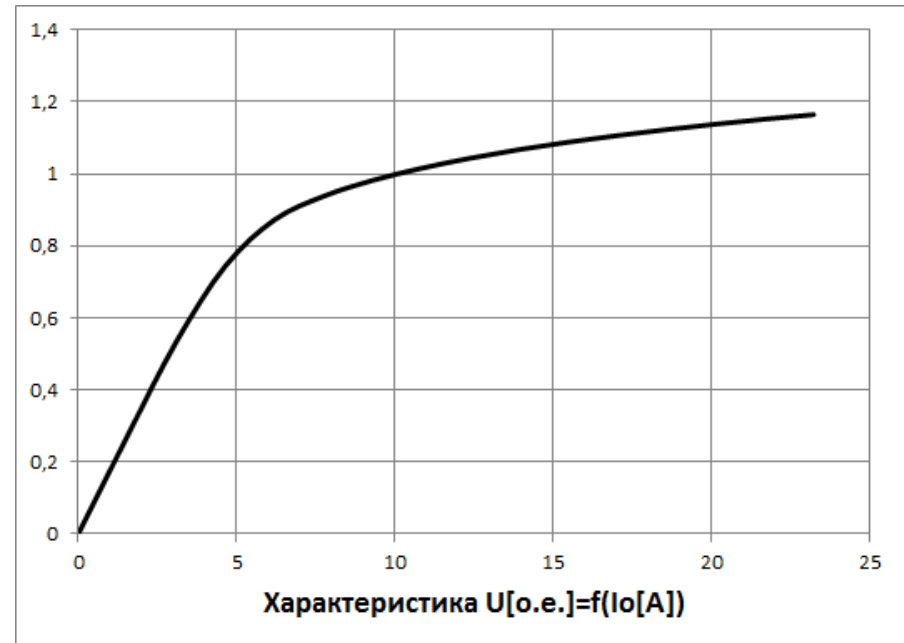
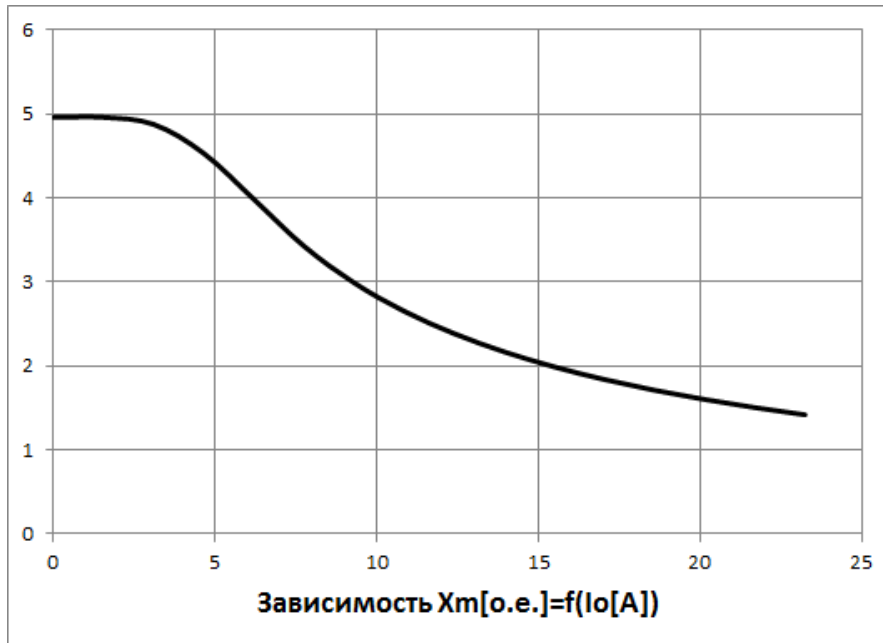
Магнитное поле в режиме холостого хода АД





Расчет магнитного поля, параметров и режимов работы асинхронной машины

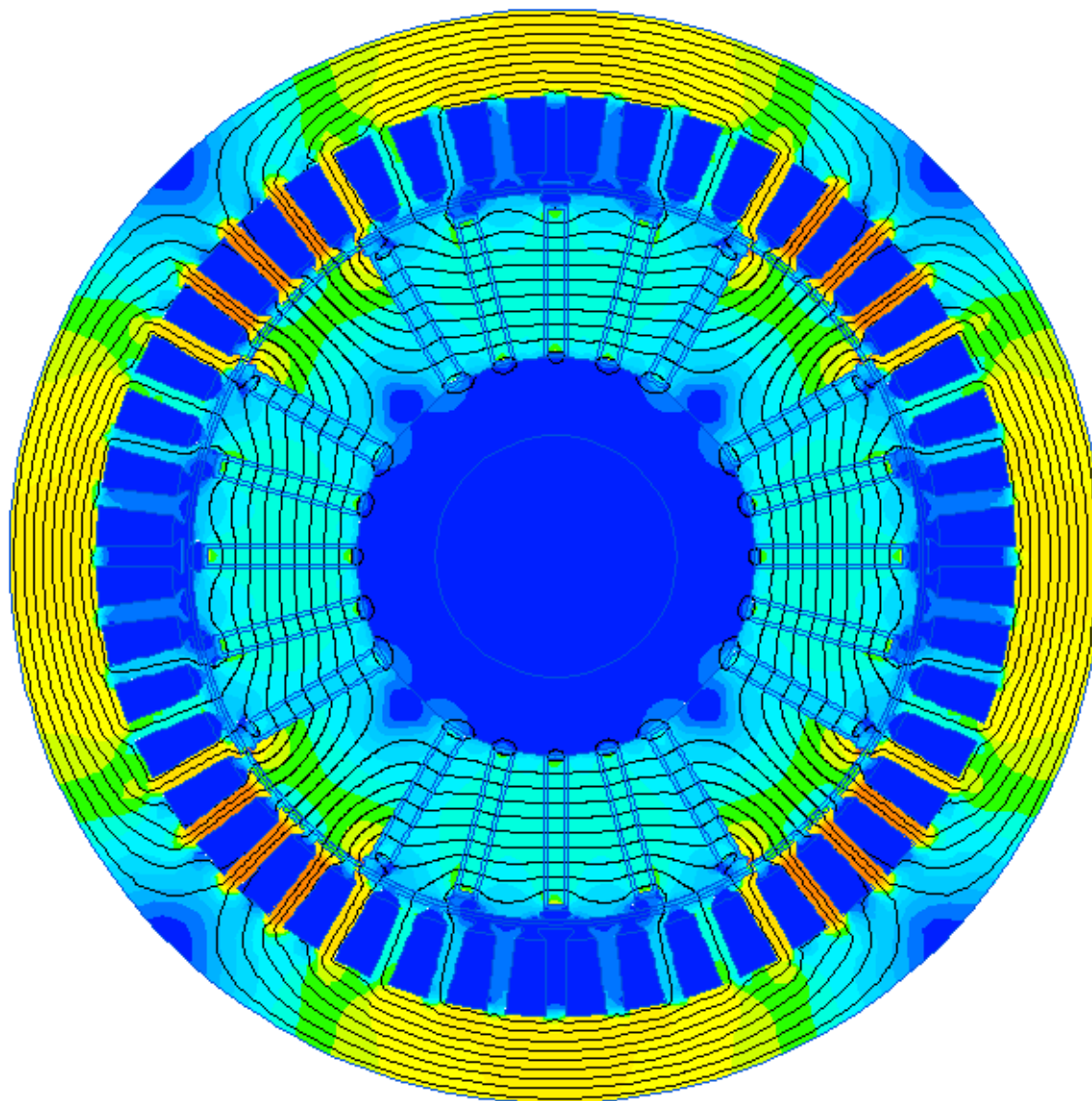
Характеристики АД в режиме холостого хода





Расчет магнитного поля, параметров и режимов работы в машинах с постоянными магнитами

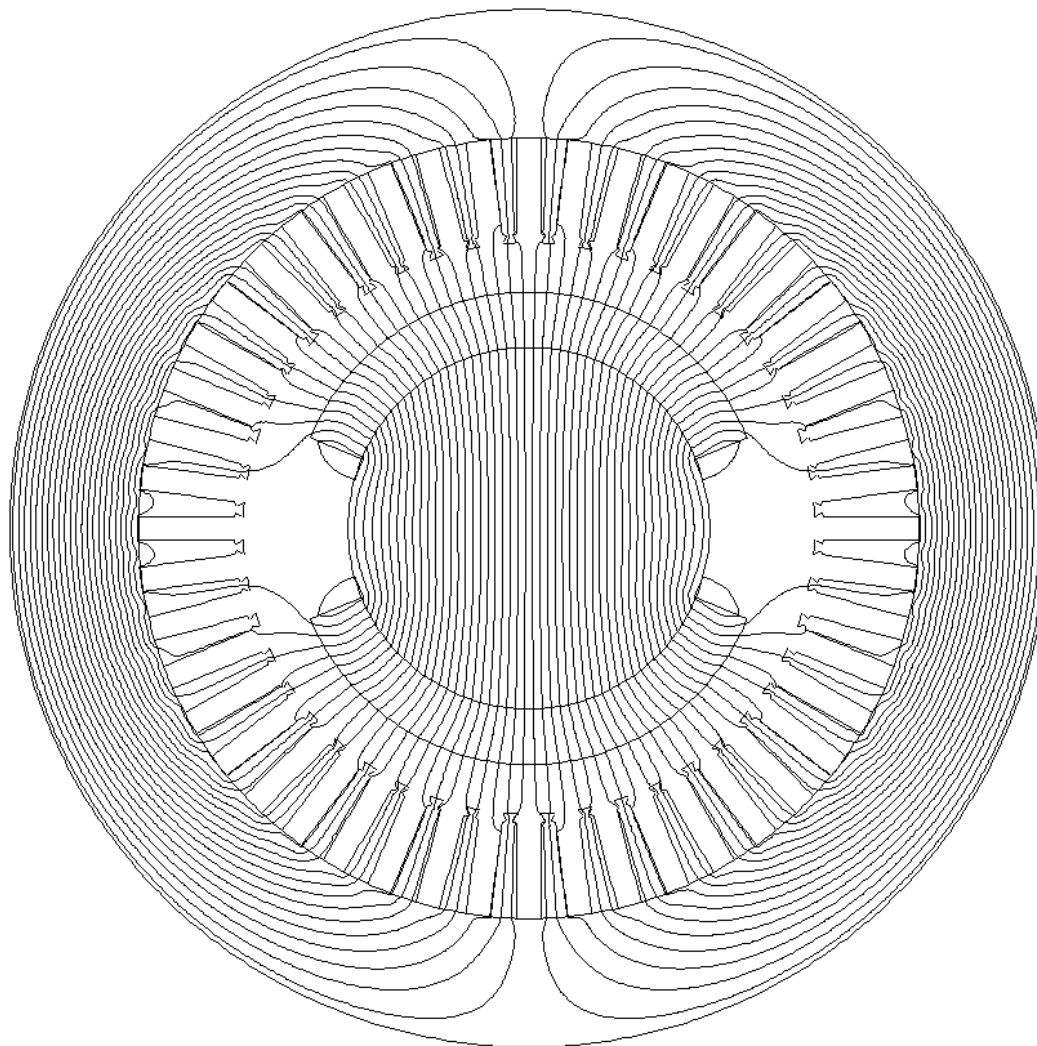
Магнитное поле PMG с тангенциальным намагничиванием в режиме холостого хода





Расчет магнитного поля, параметров и режимов работы в машинах с постоянными магнитами

Магнитное поле PMG с радиальным намагничиванием в режиме холостого хода





Базовый перечень рассматриваемых вопросов и примеров задач магнитного поля переменных токов

- Особенности моделирования задач магнитного поля переменных токов в области электрических машин
- Расчет вытеснения тока в пазу статора машины переменного тока
- Случаи и примеры моделирования вращающегося магнитного поля
- Расчет потерь в массивных элементах ротора синхронной машины в несимметричном режиме
- Расчет потерь в массивных элементах ротора синхронного турбодвигателя в режиме пуска
- Расчет электродинамических усилий, действующих на соединительные шины обмотки статора крупной машины переменного тока
- Расчет вращающегося магнитного поля в асинхронной машине, определение токов и потерь в обмотке ротора



Особенности моделирования задач магнитного поля переменных токов в области электрических машин

Постановка задачи:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} H = j \\ \operatorname{div} B = 0 \\ B = \mu H \\ B = \operatorname{rot} A \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega g A = -j$$

Свойства материалов:

$$\mu, \mu = f(H)$$

Граничные условия

- Дирихле: A ;
- Неймана: H_t ;
- Нулевого магнитного потока;
- Периодические граничные условия.

Источники поля:

$$j, U, I, \quad A, H_t = f(x, y).$$

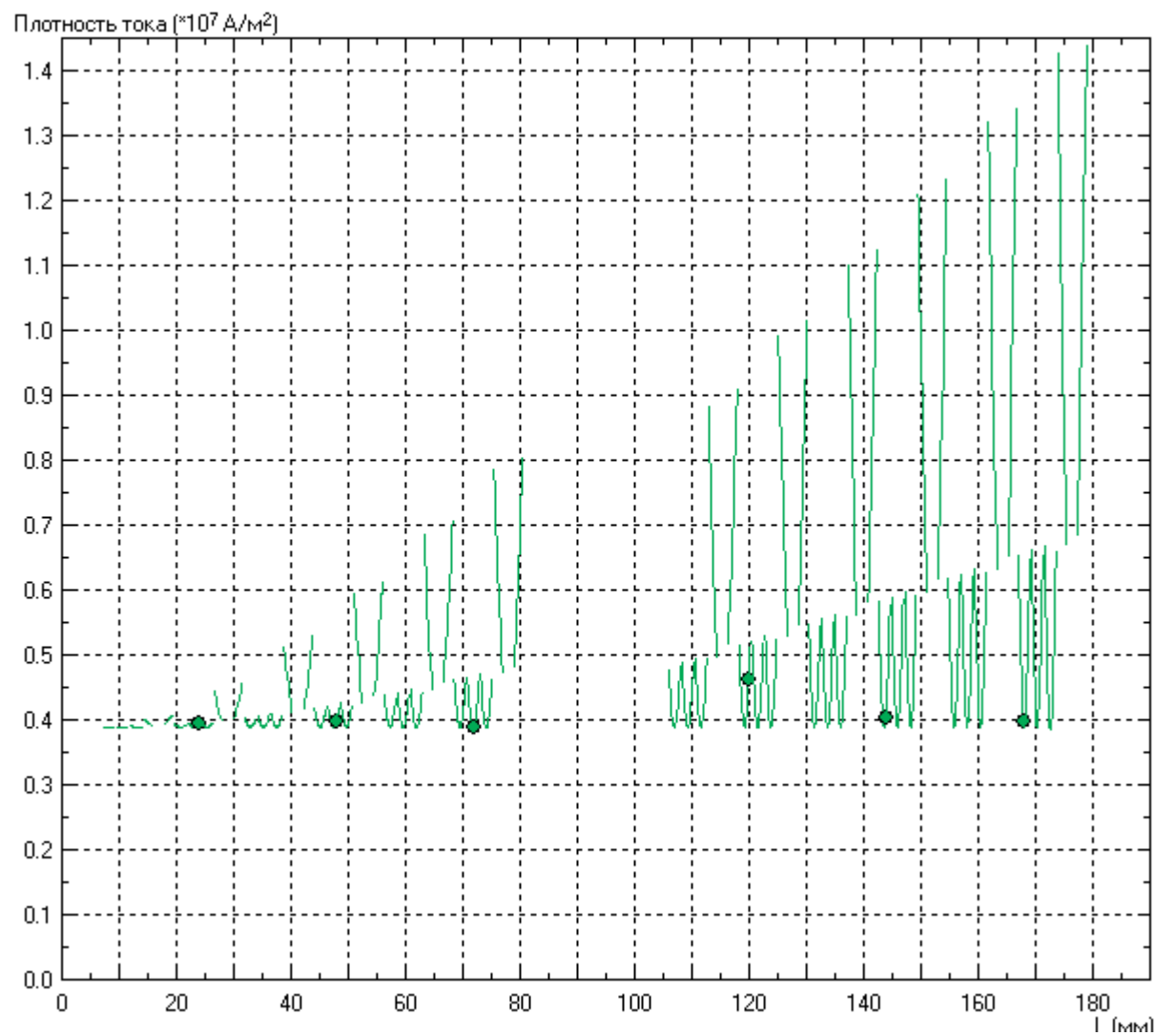
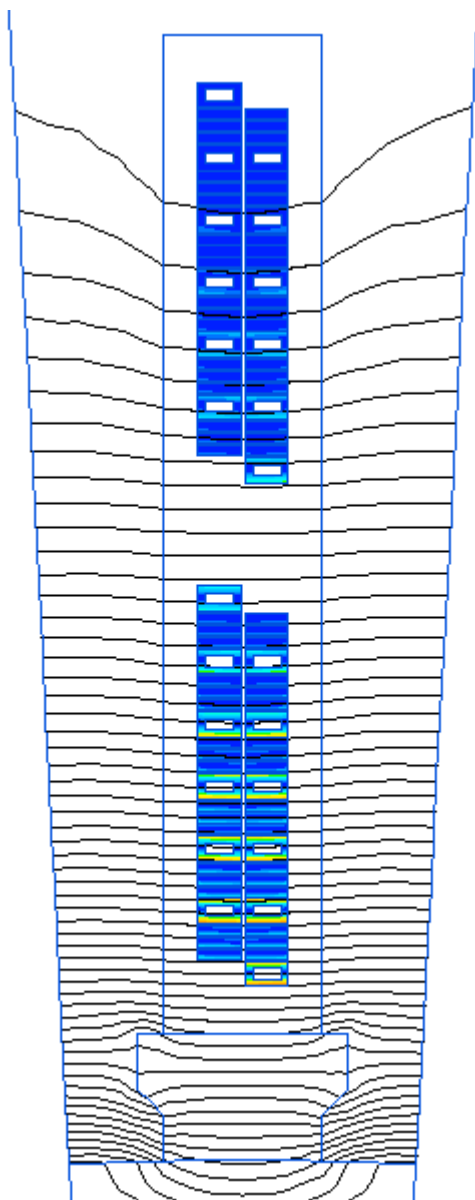
Возможные допущения и упрощения задач

Особенности конечно-элементной дискретизации

Перечень вычисляемых величин и необходимых постпроцессорных вычислений, важных при анализе электрических машин



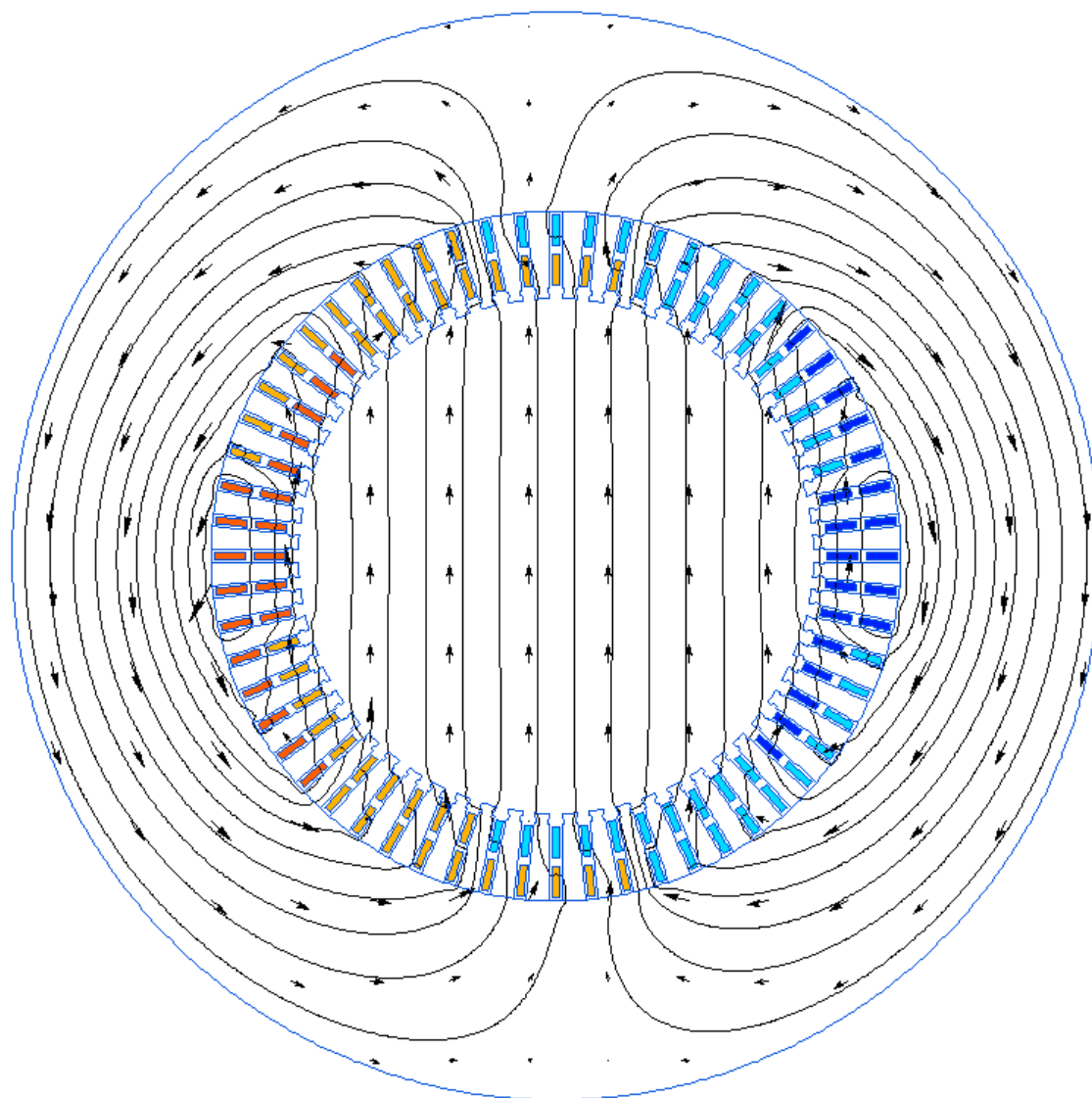
Расчет вытеснения тока в пазу статора машины переменного тока





Случаи и примеры моделирования вращающегося магнитного поля

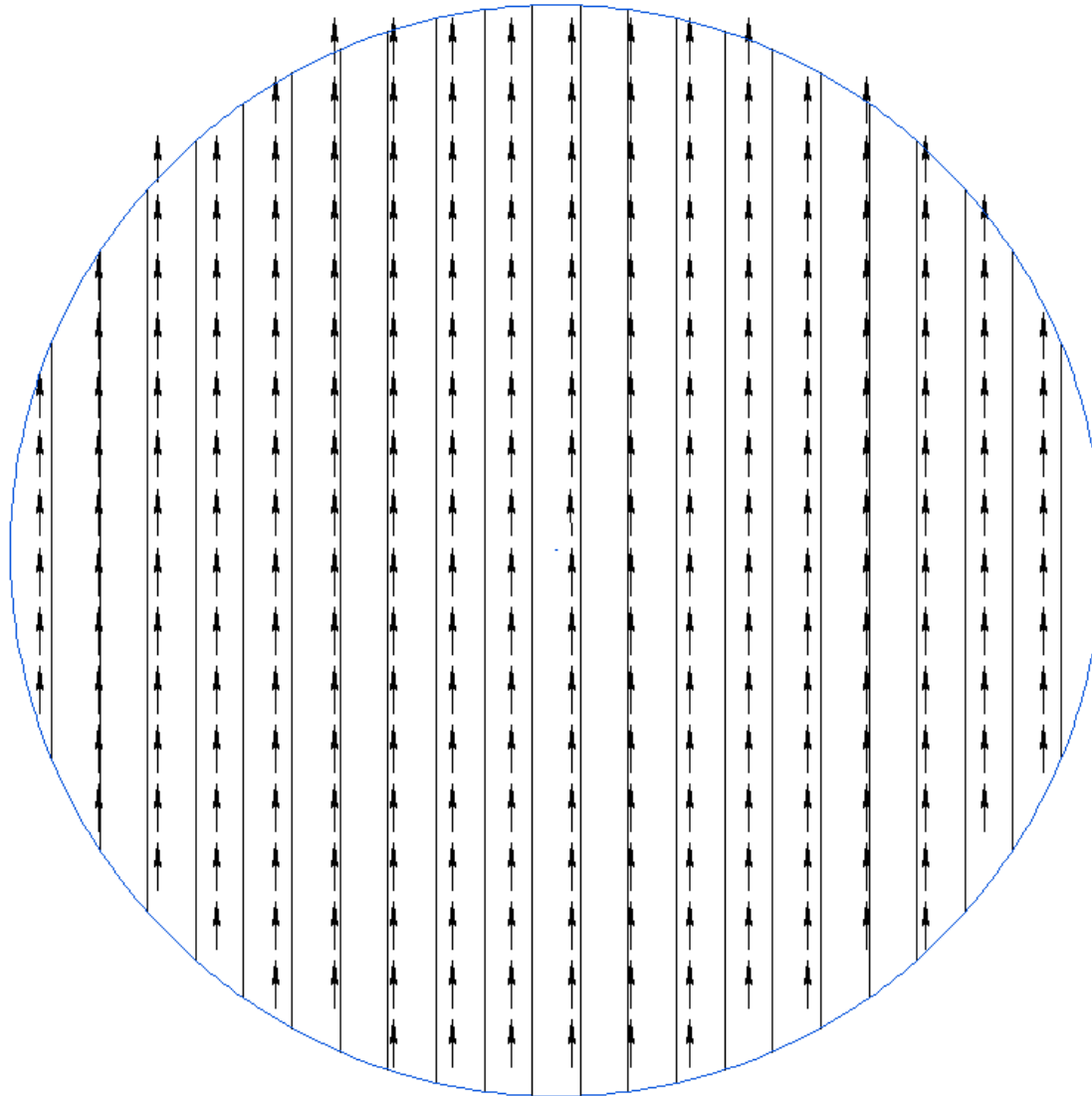
Моделирование ВМП токами в обмотке якоря





Случаи и примеры моделирования вращающегося магнитного поля

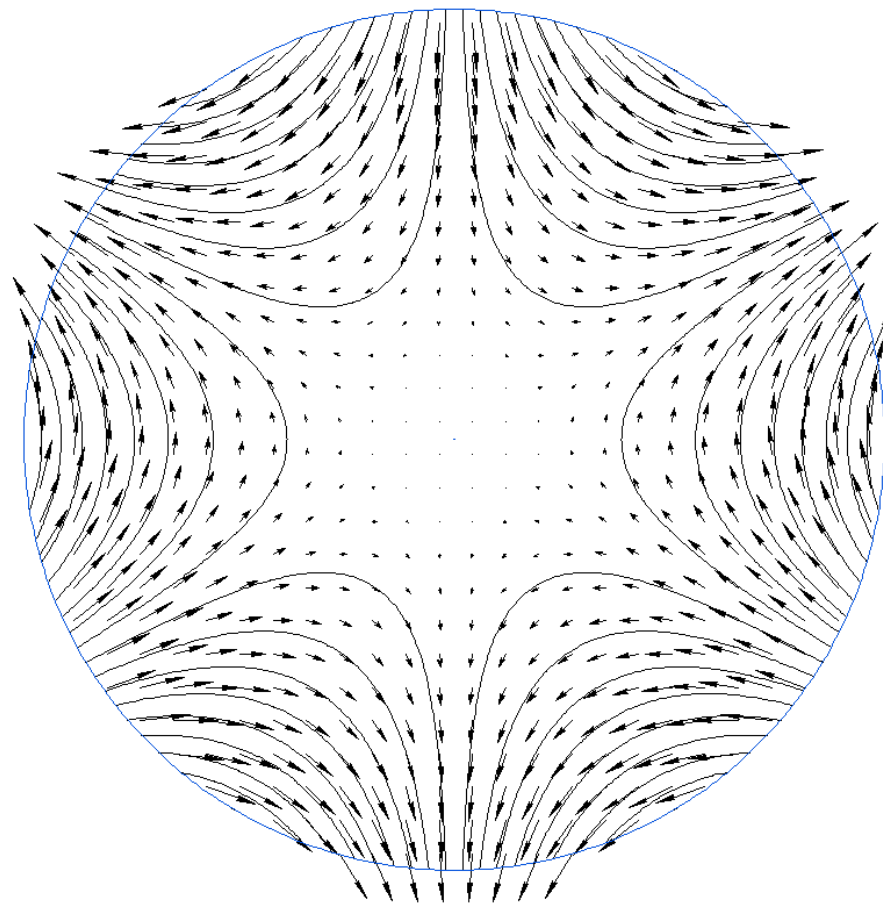
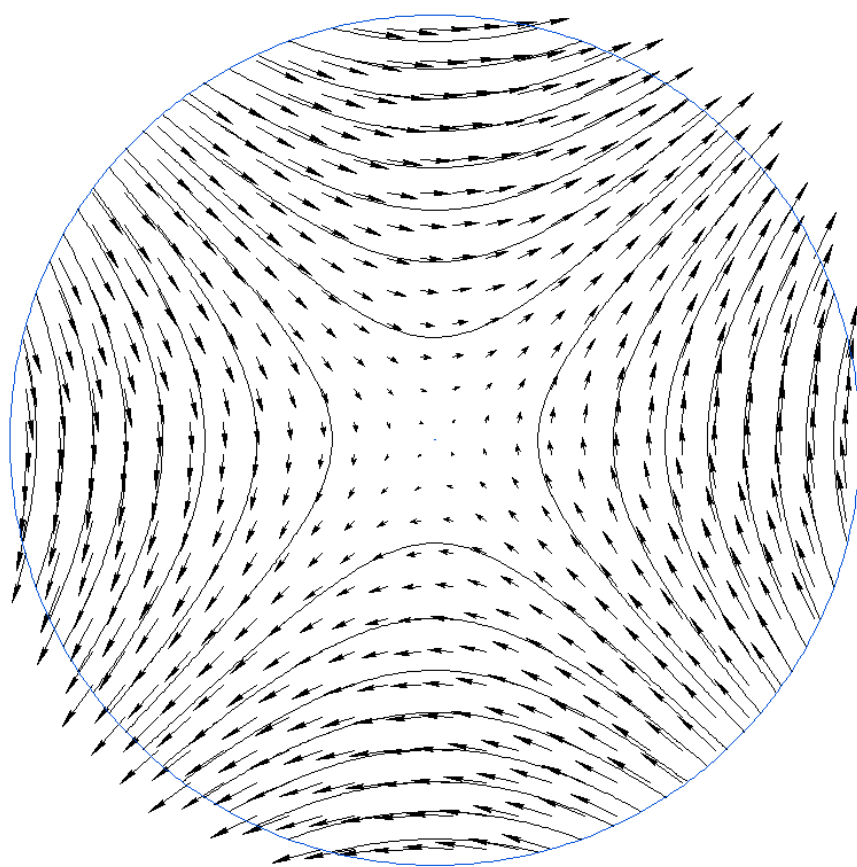
Моделирование 2-х полюсного ВМП граничными условиями на контуре





Случаи и примеры моделирования вращающегося магнитного поля

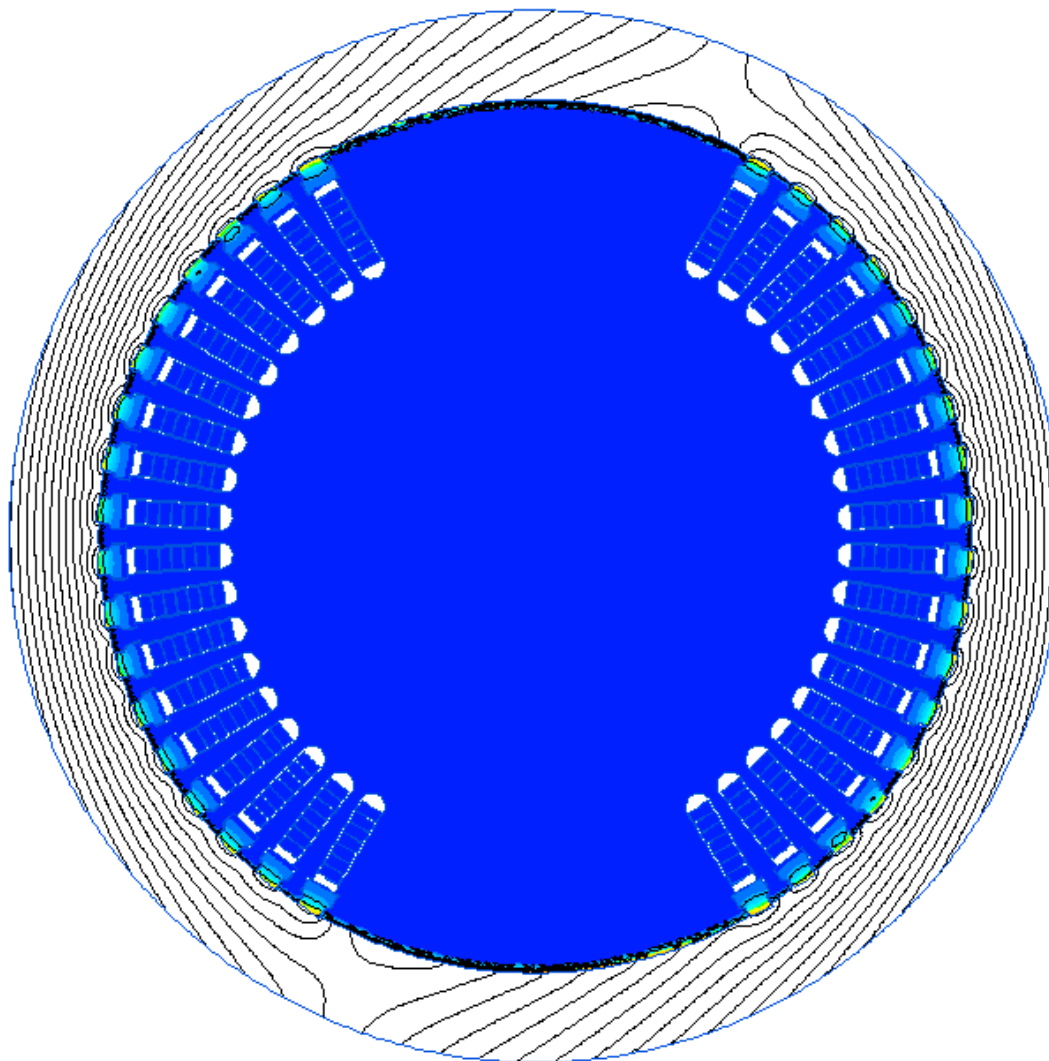
Моделирование многополюсного ВМП граничными условиями на контуре





Расчет потерь в массивных элементах ротора синхронной машины в несимметричном режиме

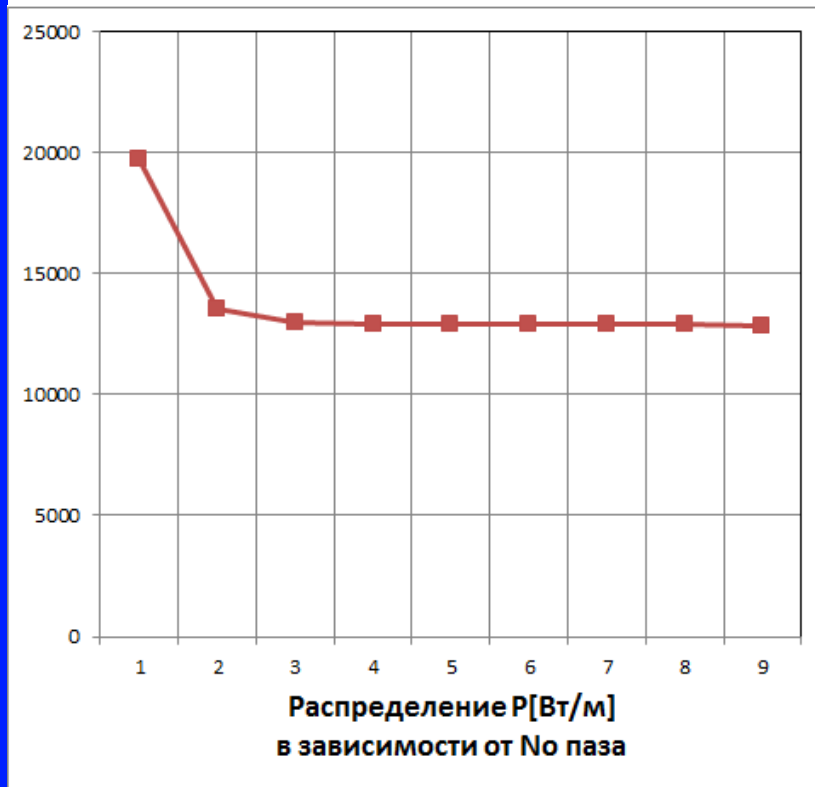
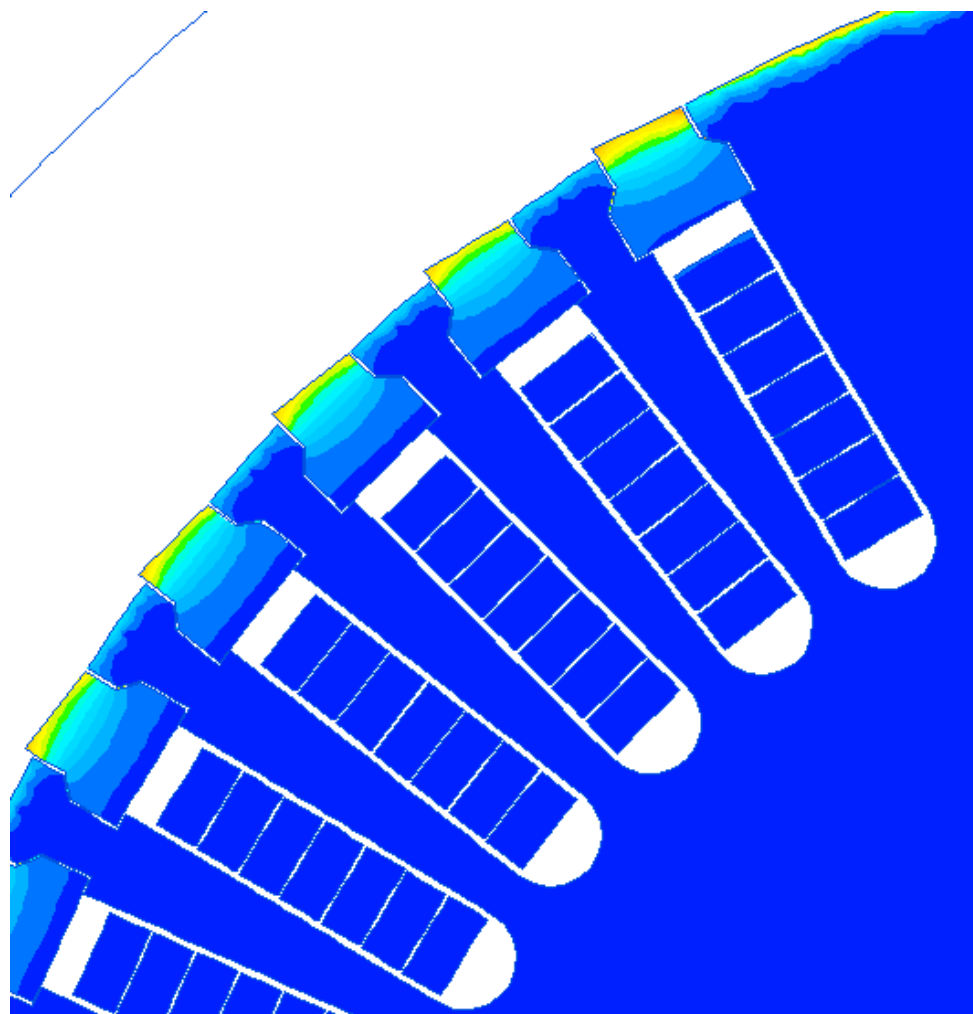
Распределение несимметричной составляющей поля и плотности тока наведенных в роторе СМ





Расчет потерь в массивных элементах ротора синхронной машины в несимметричном режиме

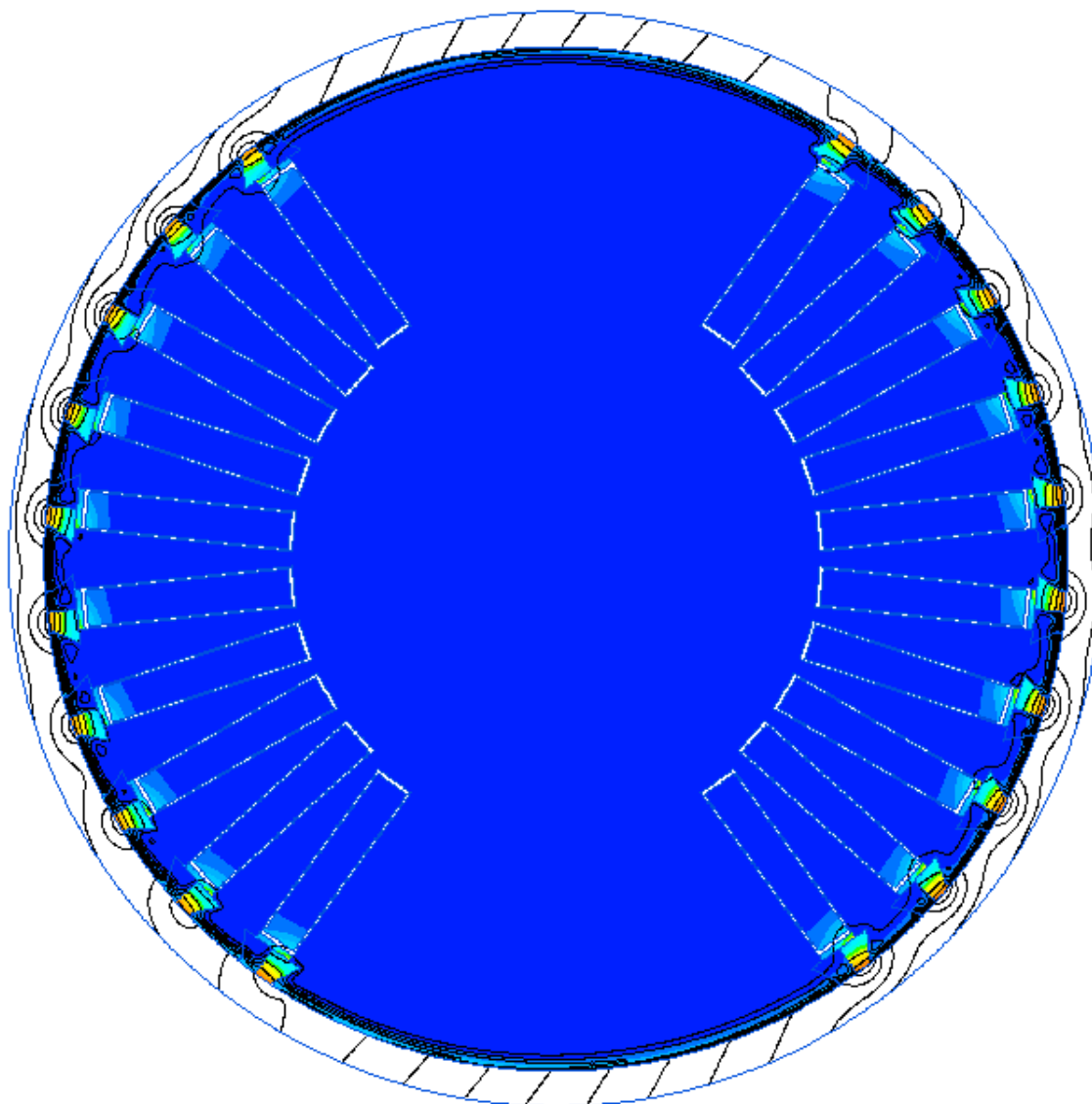
Распределение плотности тока и потерь в клиньях ротора СМ





Расчет потерь в массивных элементах ротора синхронного турбодвигателя в режиме пуска

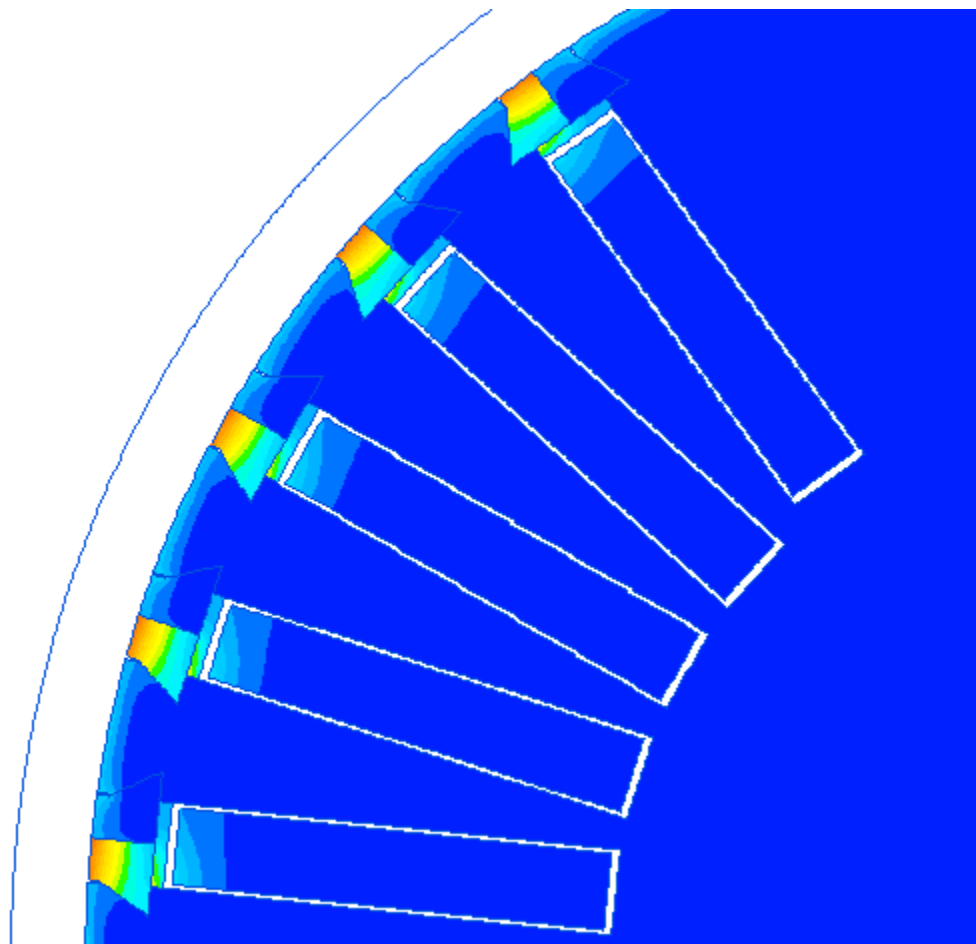
Распределение поля и плотности тока в роторе СТД в режиме пуска





Расчет потерь в массивных элементах ротора синхронного турбодвигателя в режиме пуска

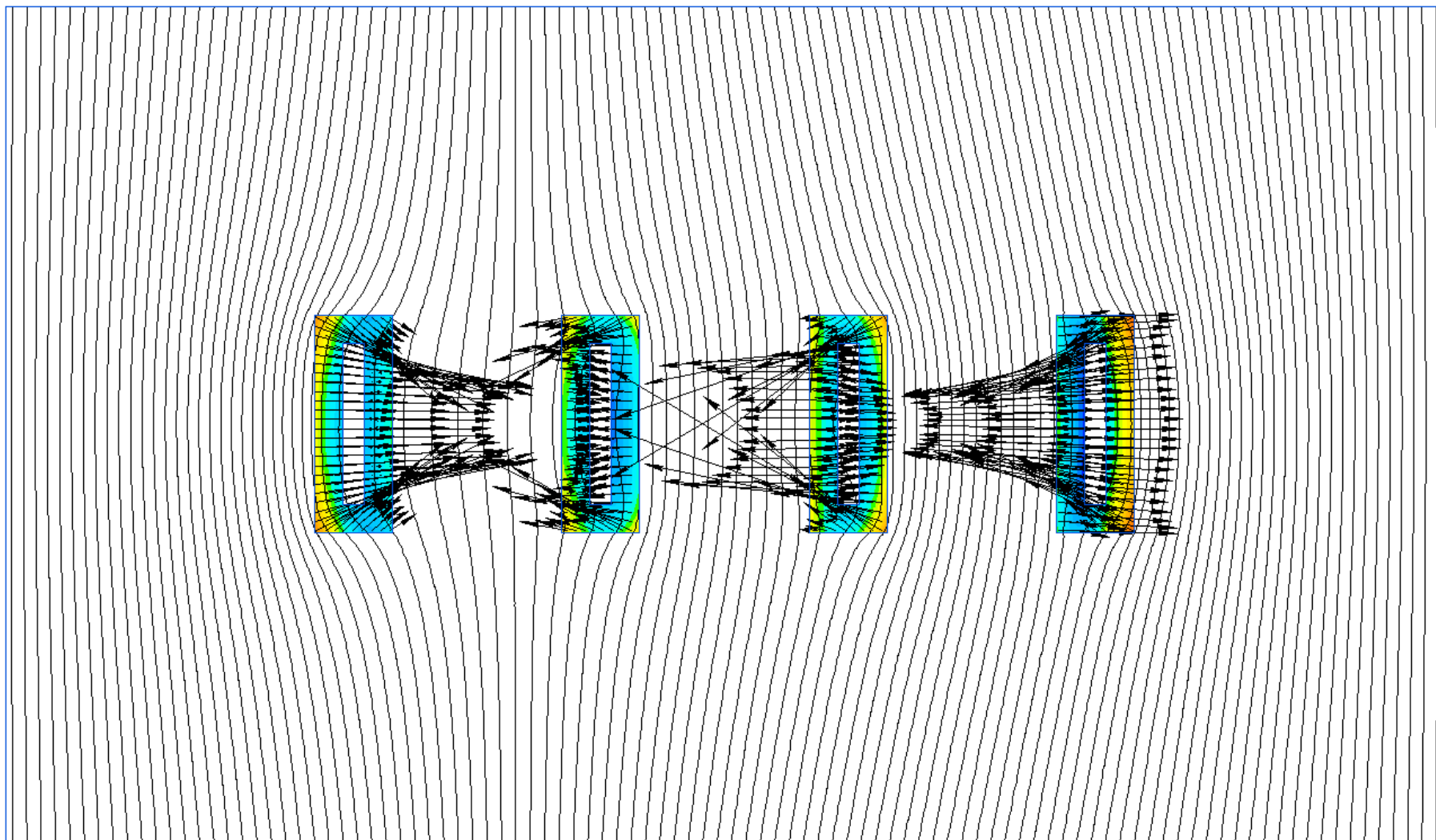
Распределение плотности тока в роторе СТД в режиме пуска





Расчет электродинамических усилий, действующих на соединительные шины обмотки статора крупной машины переменного тока

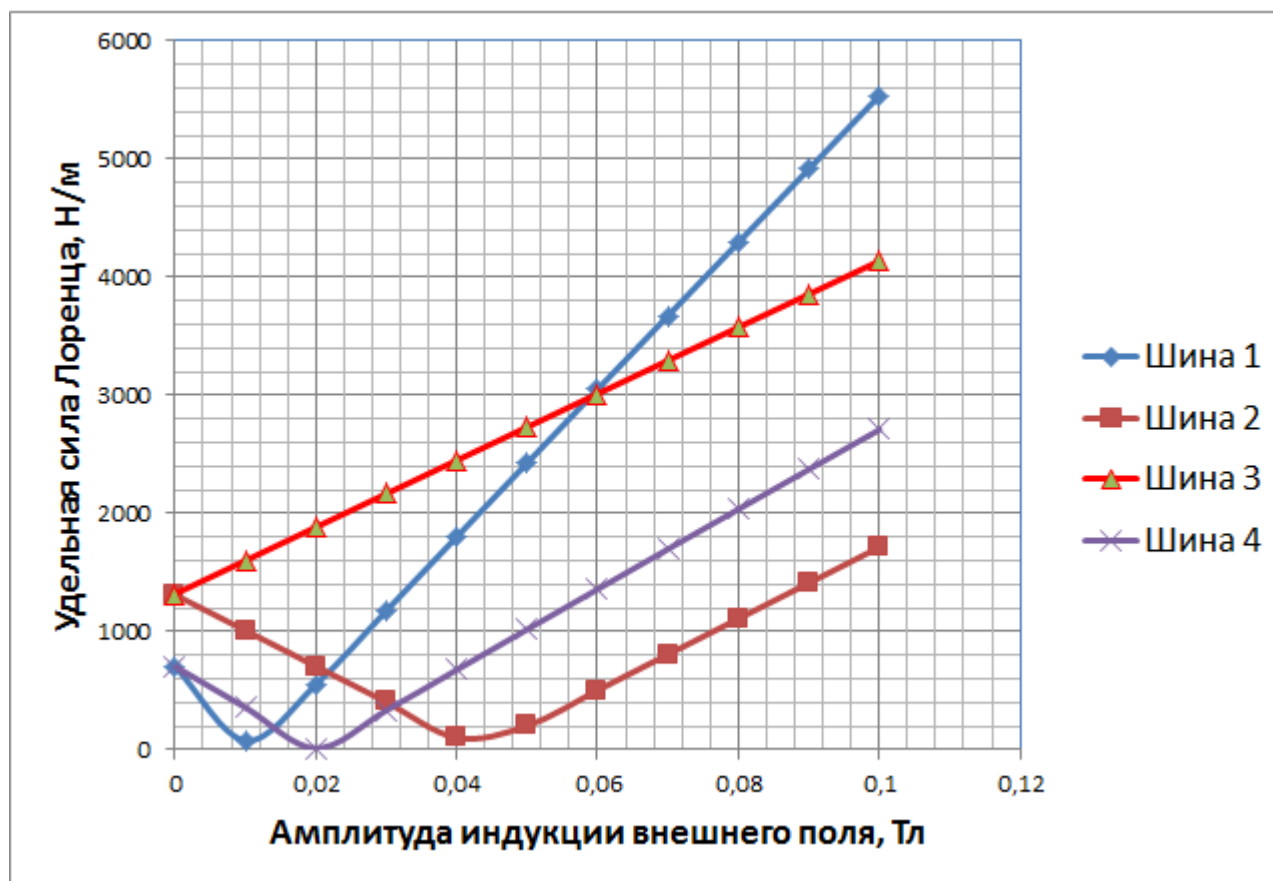
Распределение плотности тока и сил при различной амплитуде внешнего поля





Расчет электродинамических усилий, действующих на соединительные шины обмотки статора крупной машины переменного тока

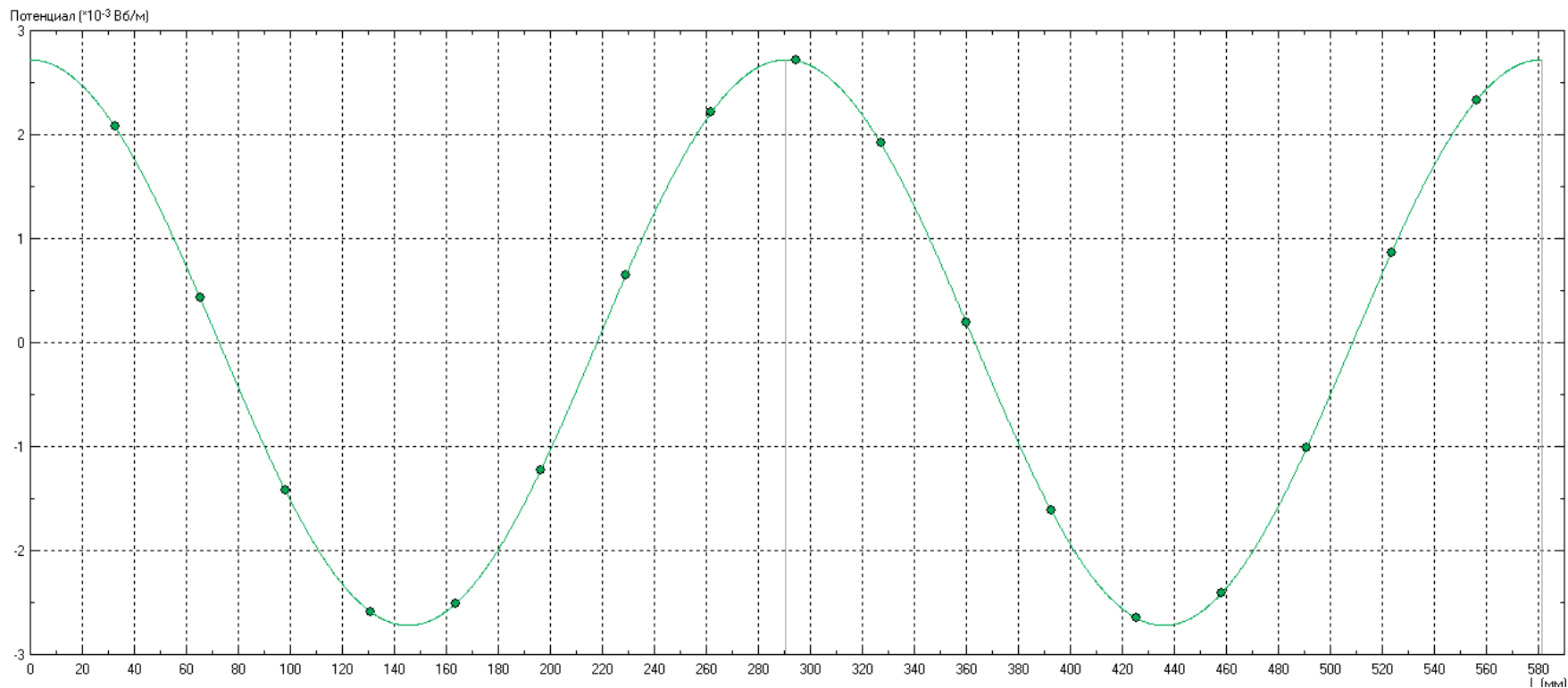
Распределение сил, действующих на соединительные шины при различной амплитуде внешнего поля





Расчет вращающегося магнитного поля в асинхронной машине, определение токов и потерь в обмотке ротора

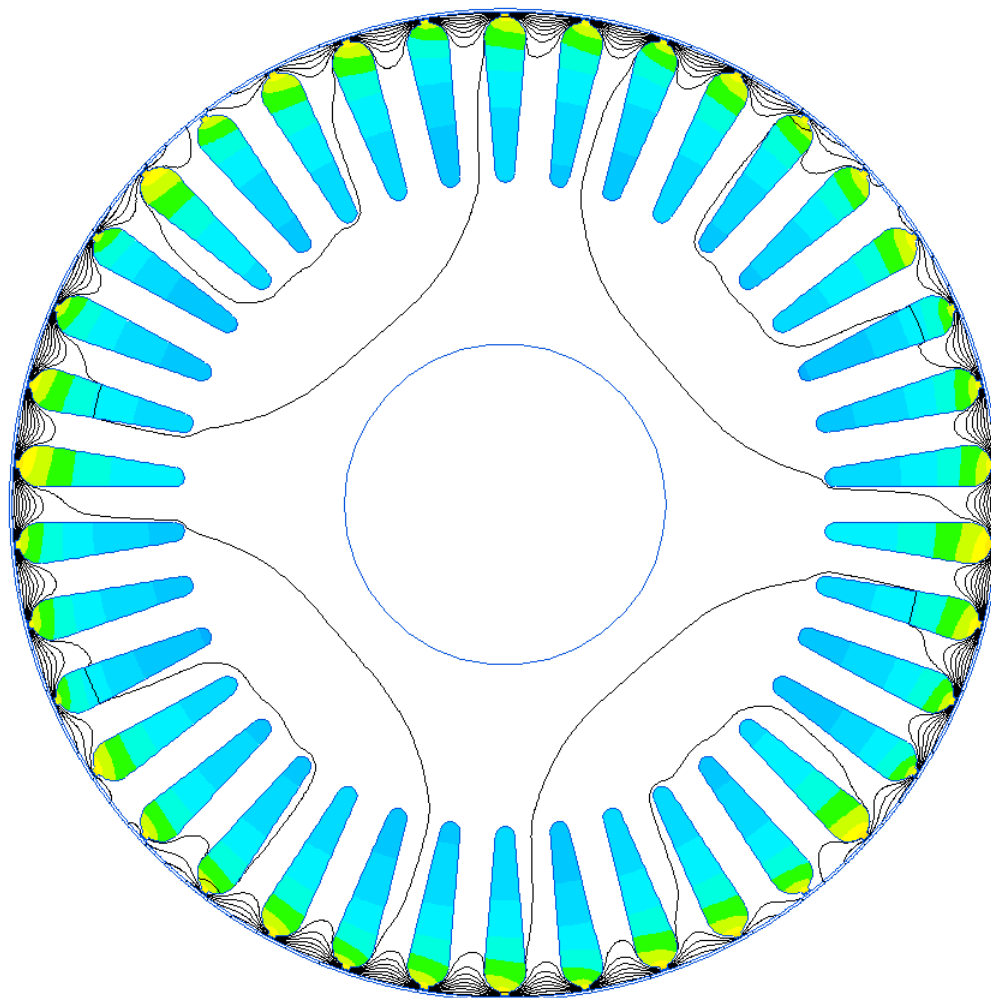
Распределение векторного магнитного потенциала вдоль расточки статора АД





Расчет вращающегося магнитного поля в асинхронной машине, определение токов и потерь в обмотке ротора

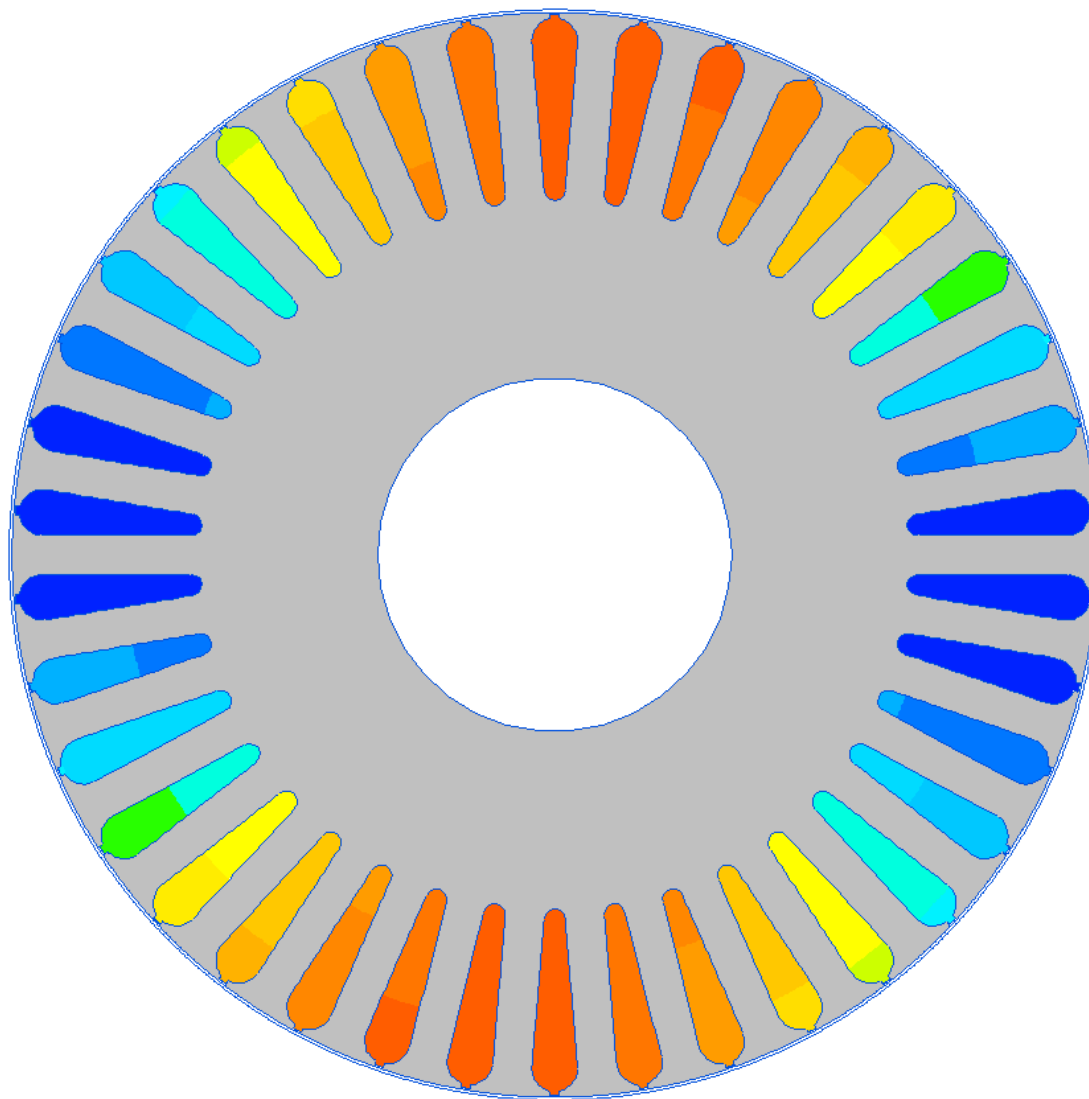
Распределение магнитного поля и плотности тока в роторе в номинальном режиме работы АД





Расчет вращающегося магнитного поля в асинхронной машине, определение токов и потерь в обмотке ротора

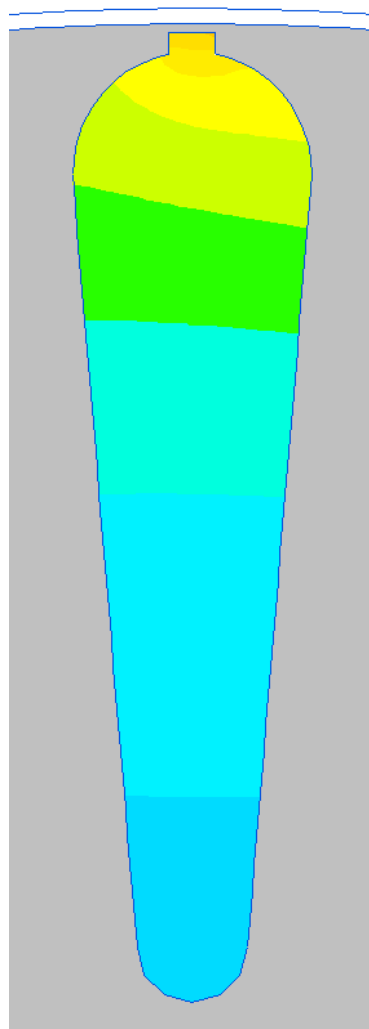
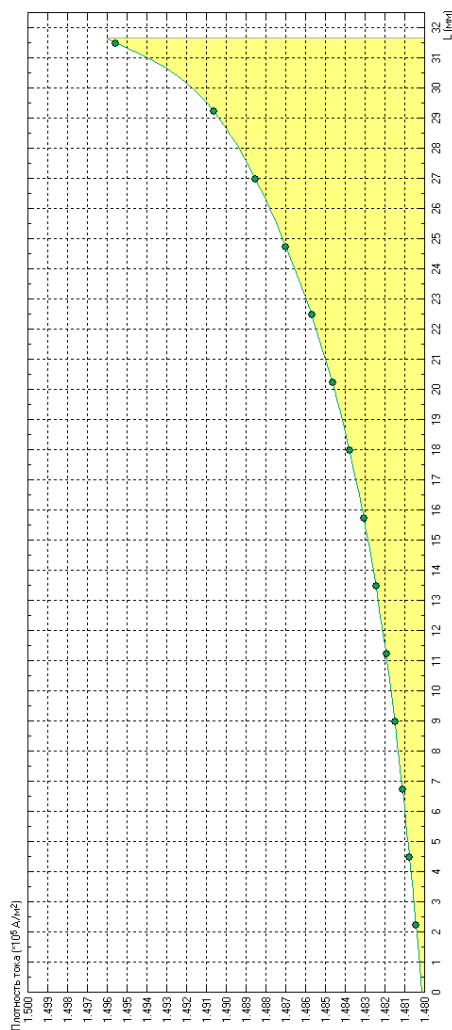
Распределение мгновенного значения плотности тока в роторе в номинальном режиме работы АД





Расчет вращающегося магнитного поля в асинхронной машине, определение токов и потерь в обмотке ротора

Распределение плотности тока по высоте паза ротора в номинальном режиме работы АД





Базовый перечень рассматриваемых вопросов и примеров задач температурных полей

- _ Особенности моделирования задач температурного поля в области электрических машин
- _ Расчет температурного поля в пазу ротора неявнополюсной синхронной машины с косвенным охлаждением обмотки ротора
- _ Расчет температурного поля в проводниках обмотки ротора с радиальными вентиляционными каналами
- _ Расчет температурного поля ротора асинхронной машины малой мощности в установившемся режиме
- _ Расчет температурного поля статора машины переменного тока с аксиальной системой вентиляции в установившемся режиме



Особенности моделирования задач температурного поля в области электрических машин (стационарная задача)

Постановка задачи:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q$$

Свойства материалов:

$\lambda(x,y), \lambda(T)$

Граничные условия

- Заданной температуры: T_0 ;
- Заданного теплового потока: F_n ;
- Конвективного теплоотвода: $F_n = \alpha(T - T_0)$;
- Радиации,
- Постоянной температуры.

Источники поля:

$q, q(T), T_0 = f(x,y)$.

Возможные допущения и упрощения задач

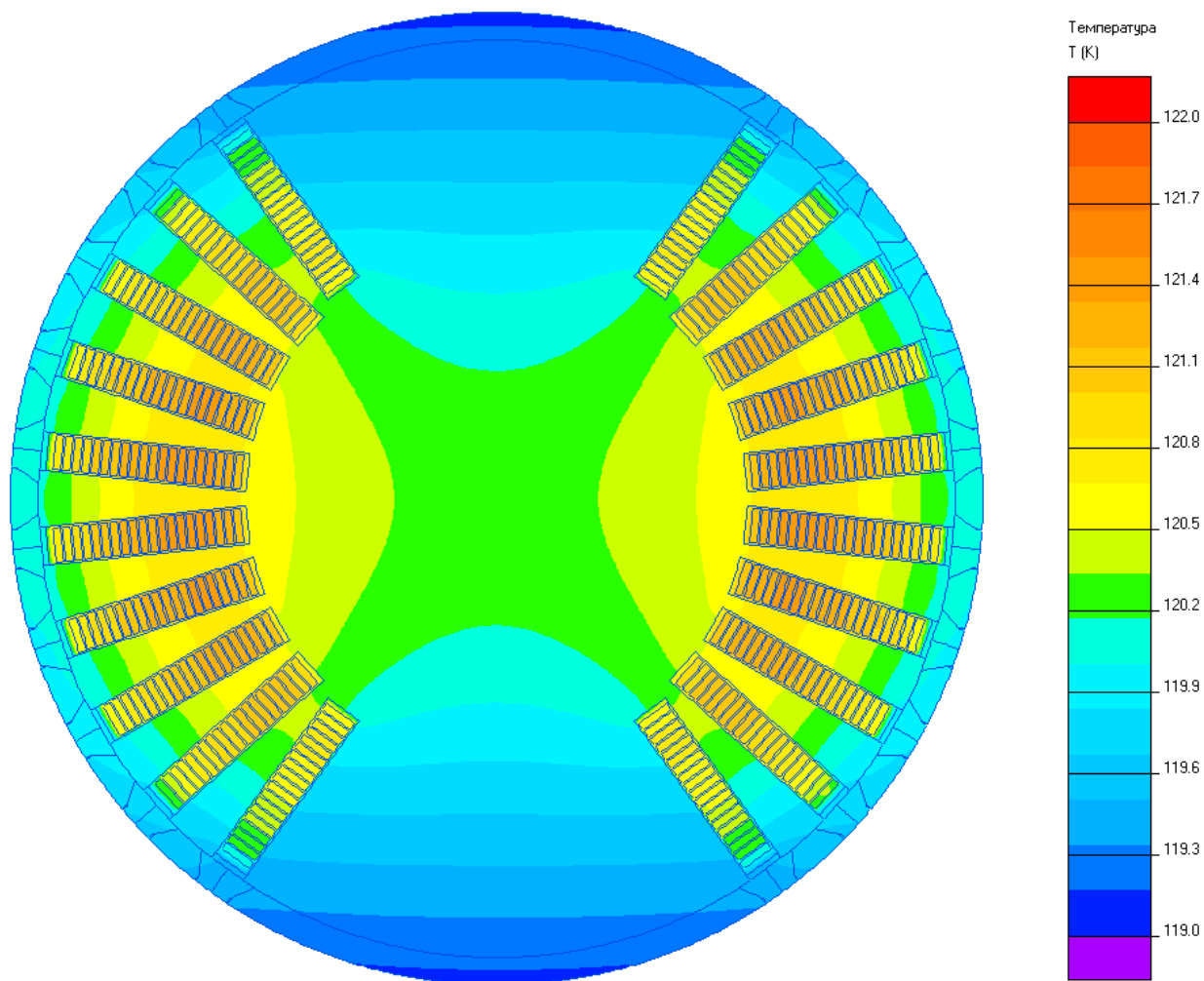
Особенности конечно-элементной дискретизации

Перечень вычисляемых величин и необходимых постпроцессорных вычислений, важных при анализе электрических машин



Расчет температурного поля в пазу ротора неявнополюсной синхронной машины с косвенным охлаждением обмотки ротора

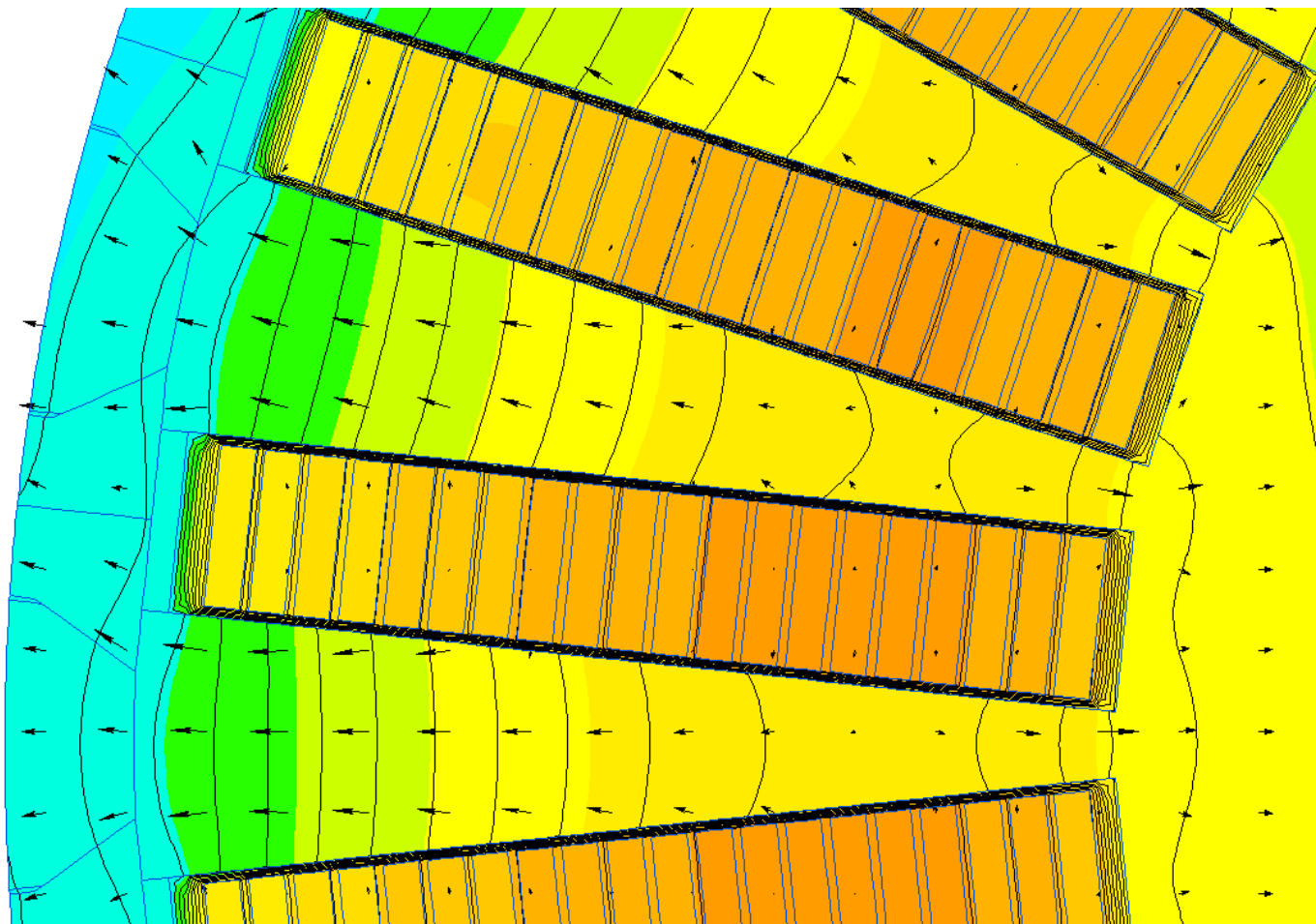
Распределение температуры в роторе СМ с косвенным охлаждением обмотки





Расчет температурного поля в пазу ротора неявнополюсной синхронной машины с косвенным охлаждением обмотки ротора

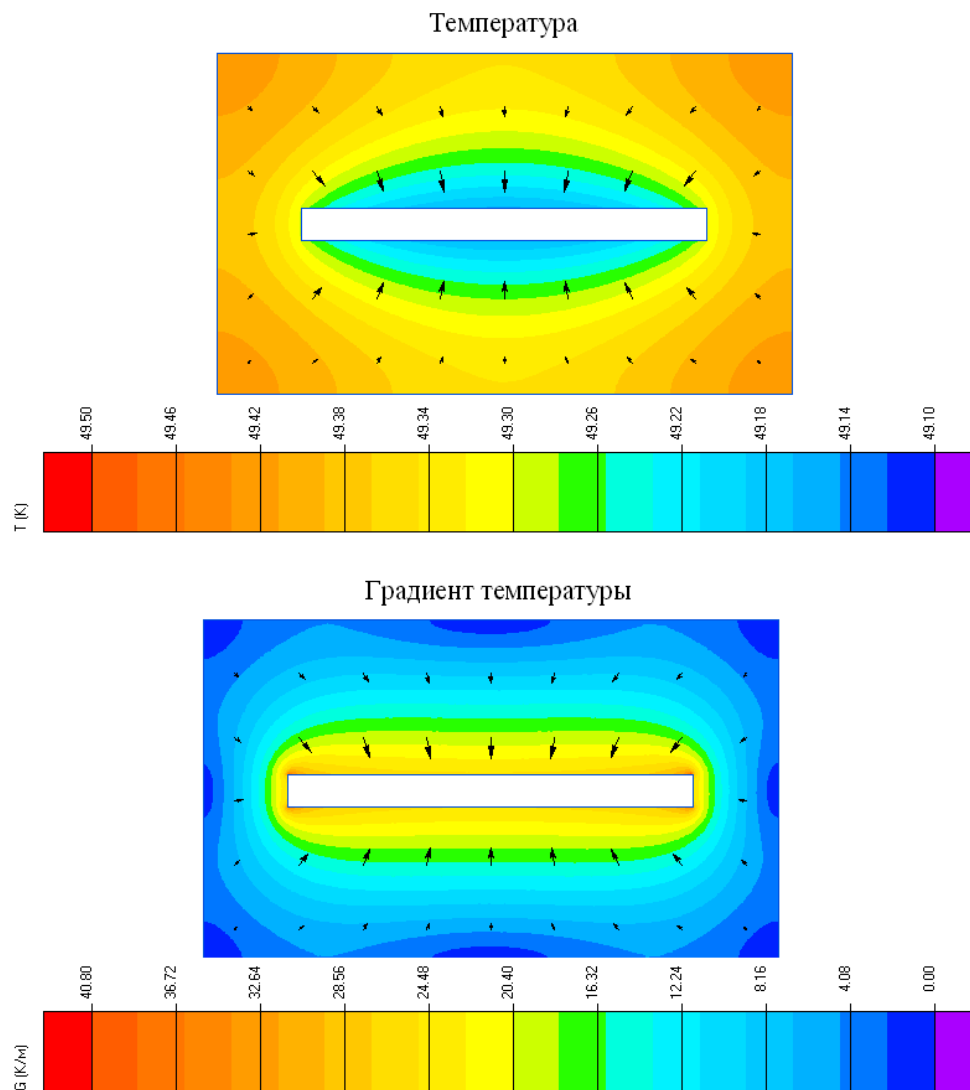
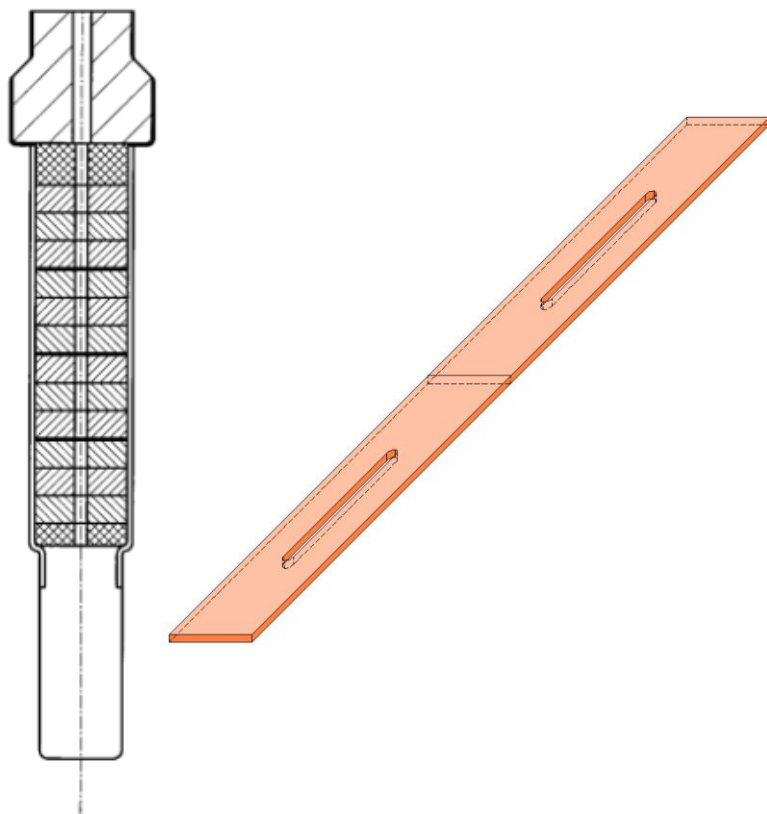
Распределение температуры, изотермы и векторы теплового потока в зубцовой зоне ротора СМ с косвенным охлаждением обмотки





Расчет температурного поля в проводниках обмотки ротора с радиальными вентиляционными каналами

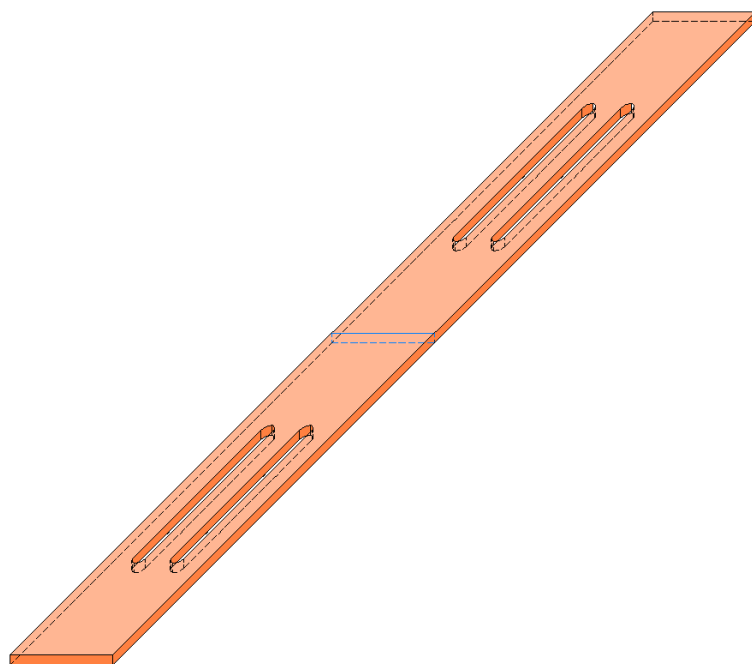
Распределение температуры, векторы теплового потока и градиент температуры в обмотке ротора с одним радиальным вентиляционным каналом по ширине проводника



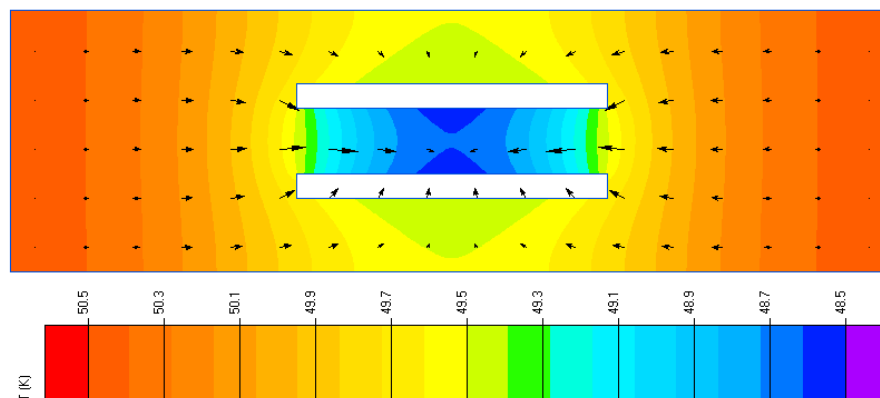


Расчет температурного поля в проводниках обмотки ротора с радиальными вентиляционными каналами

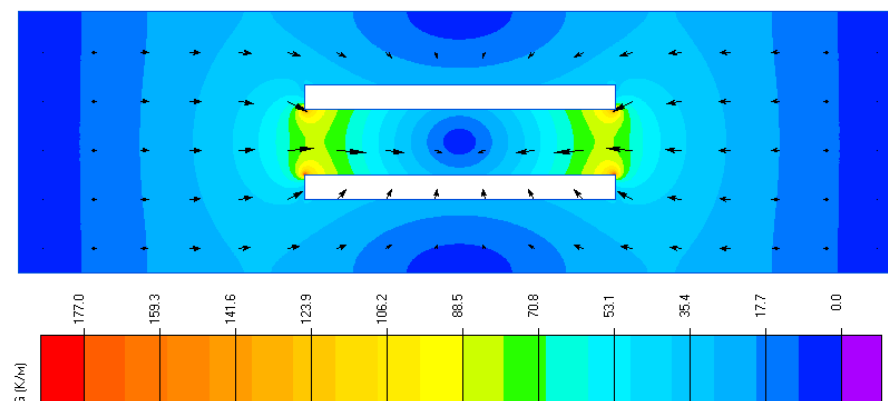
Распределение температуры, векторы теплового потока и градиент температуры в обмотке ротора с двумя радиальными вентиляционными каналами по ширине проводника



Температура



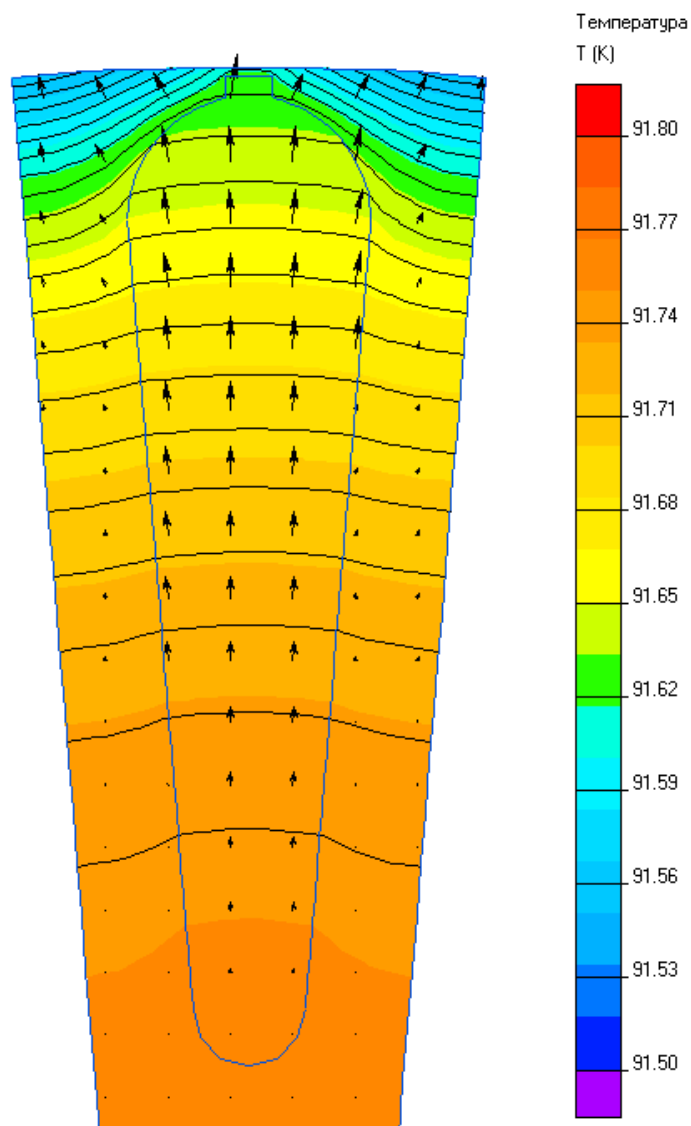
Градиент температуры





Расчет температурного поля ротора асинхронной машины малой мощности в установившемся режиме

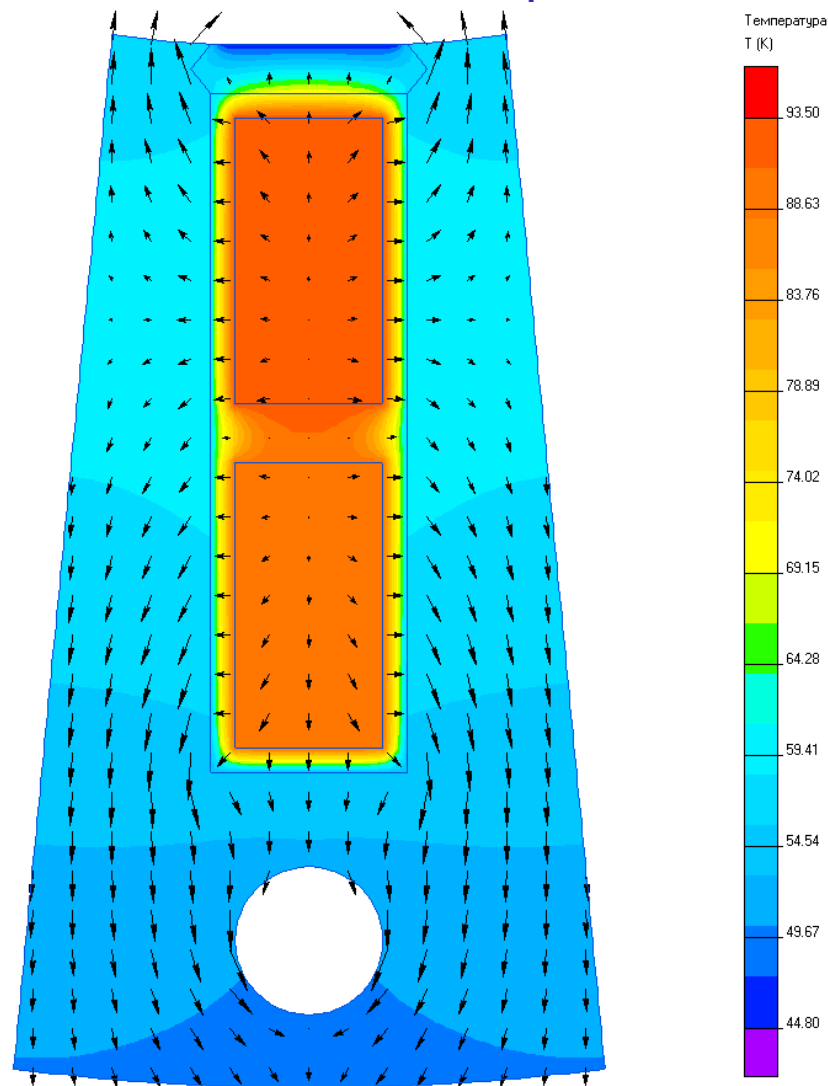
Распределение температуры, векторы теплового потока и изотермы в пазовой части ротора АД с короткозамкнутым ротором





Расчет температурного поля статора машины переменного тока с аксиальной системой вентиляции в установившемся режиме

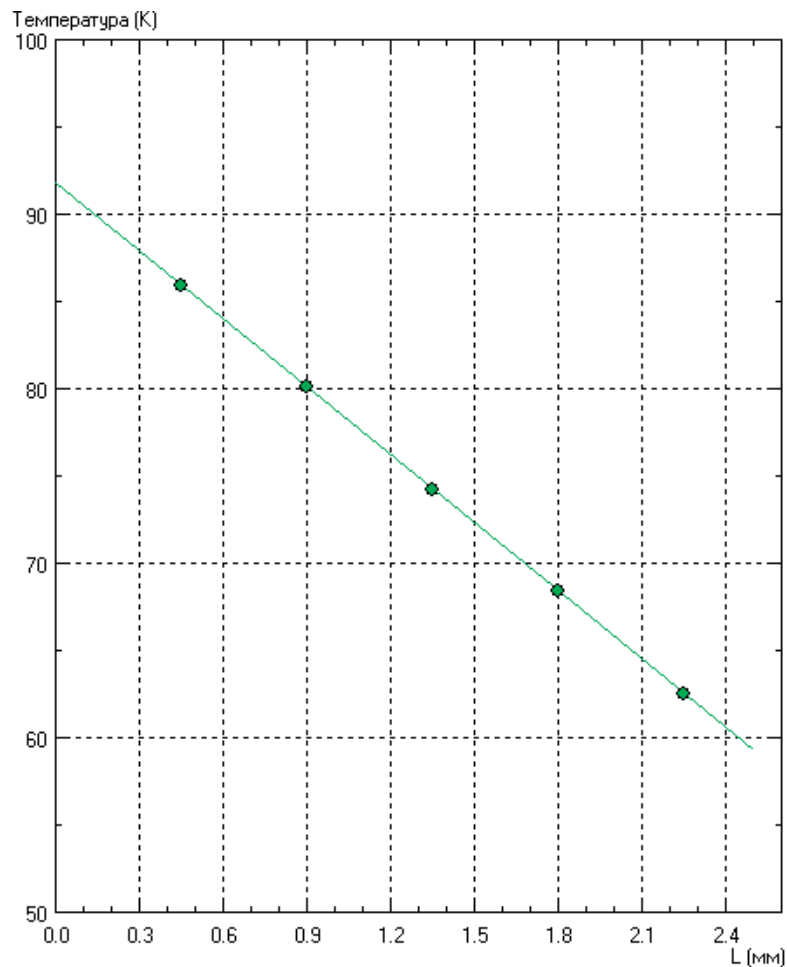
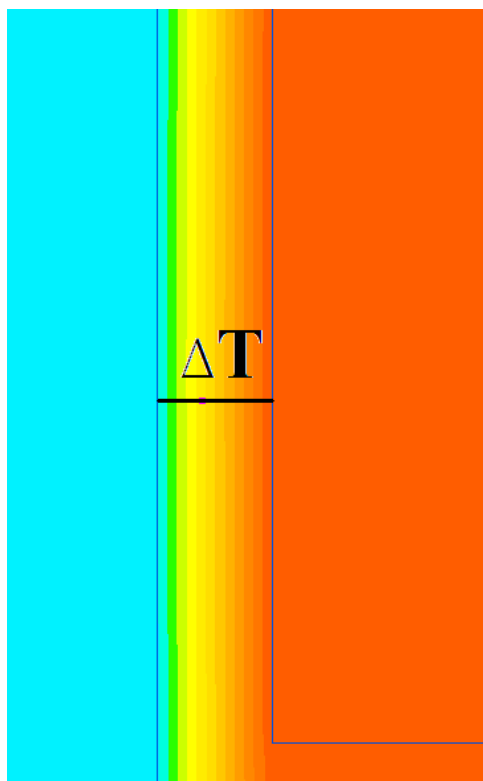
Распределение температуры и векторы теплового потока в статоре с аксиальной системой вентиляции





Расчет температурного поля статора машины переменного тока с аксиальной системой вентиляции в установившемся режиме

Градиент температуры на изоляции обмотки статора





Базовый перечень рассматриваемых вопросов и примеров нестационарных задач

- _ Особенности моделирования нестационарных электромагнитных и тепловых задач в области электрических машин
- _ Расчет распределения токов, наведенных в массивном ферромагнитном роторе асинхронной машины в режиме пуска
- _ Расчет температурного поля в пазу ротора неявнополюсного синхронного двигателя в режиме пуска
- _ Расчет магнитного поля в режиме пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами



Особенности моделирования нестационарных электромагнитных и тепловых задач в области электрических машин

Нестационарное магнитное поле

Постановка задачи:

$$\begin{cases} \text{rot} H = j + \text{rot} H_c \\ \text{div} B = 0 \quad B = \mu H \quad B = \text{rot} A \\ \text{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t} \\ j = \gamma E \quad E = -\text{grad} U - \frac{\partial A}{\partial t} \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \gamma \frac{\partial A}{\partial t} = -j + \left(\frac{\partial H_{cy}}{\partial x} - \frac{\partial H_{cx}}{\partial y} \right)$$

Свойства материалов:

$\mu, \mu = f(H)$

Граничные условия

- Дирихле: $A(t)$;
- Неймана: $Ht(t)$;
- Нулевого магнитного потока;
- Периодические граничные условия.

Источники поля:

$j(t), U(t), A = f(x, y, t), Ht = f(x, y, t).$

Нестационарная теплопередача

Постановка задачи:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - C\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

Свойства материалов:

$\lambda(x, y), \lambda(T), C(T), \rho$

Граничные условия

- Заданной температуры: $To(t)$;
- Заданного теплового потока: $F_n(t)$;
- Конвективного теплоотвода: $F_n = \alpha(t)(T - To)$;
- Радиации,
- Постоянной температуры.

Источники поля:

$q(t), q(T), To = f(x, y).$

Возможные допущения и упрощения задач

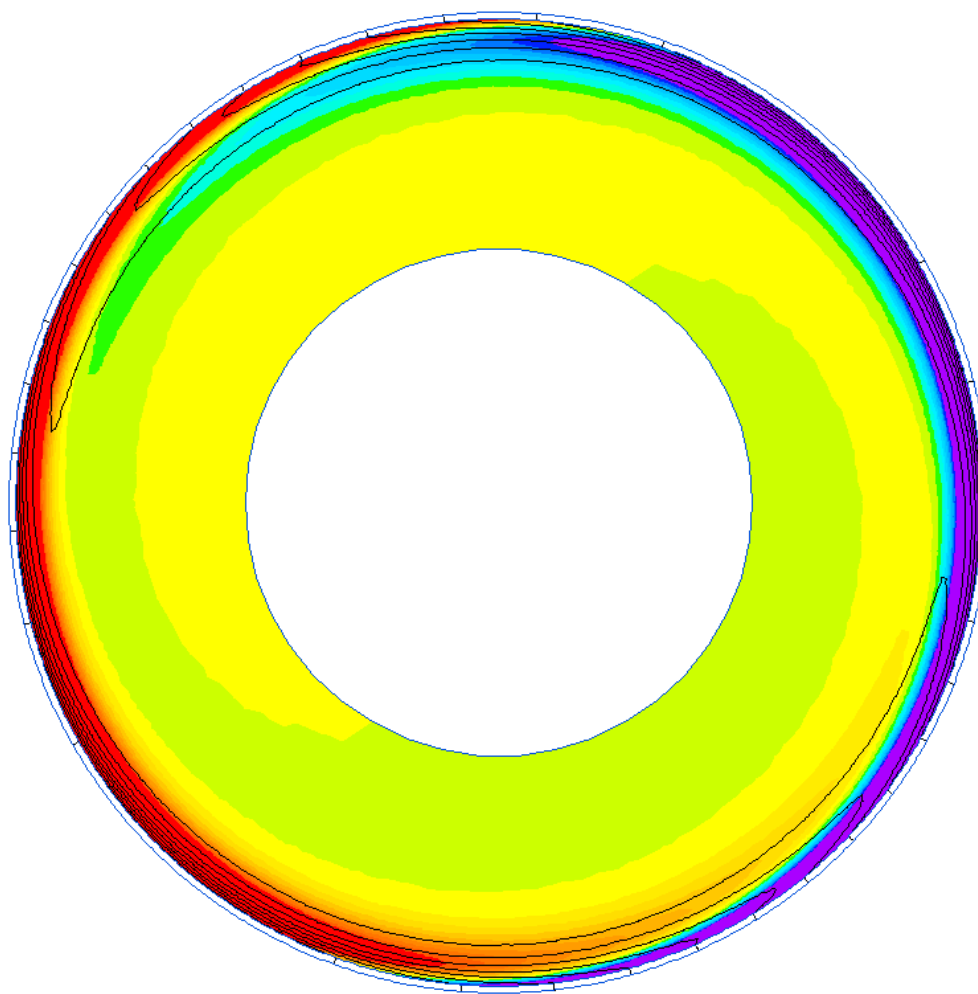
Особенности конечно-элементной дискретизации

Перечень вычисляемых величин и необходимых постпроцессорных вычислений, важных при анализе электрических машин



Расчет распределения токов, наведенных в массивном ферромагнитном роторе асинхронной машины в режиме пуска

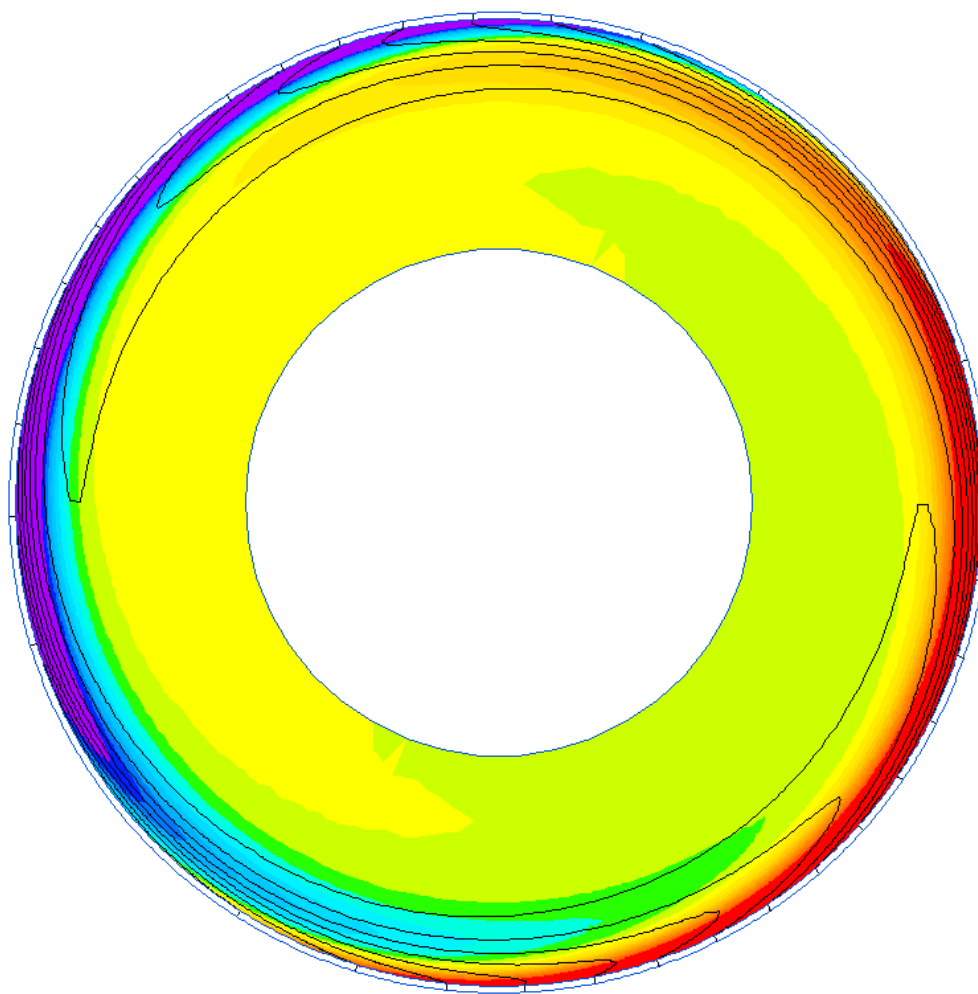
Картина магнитного поля и распределение плотности тока в МФР в режиме пуска в зависимости от времени





Расчет распределения токов, наведенных в массивном ферромагнитном роторе асинхронной машины в режиме пуска

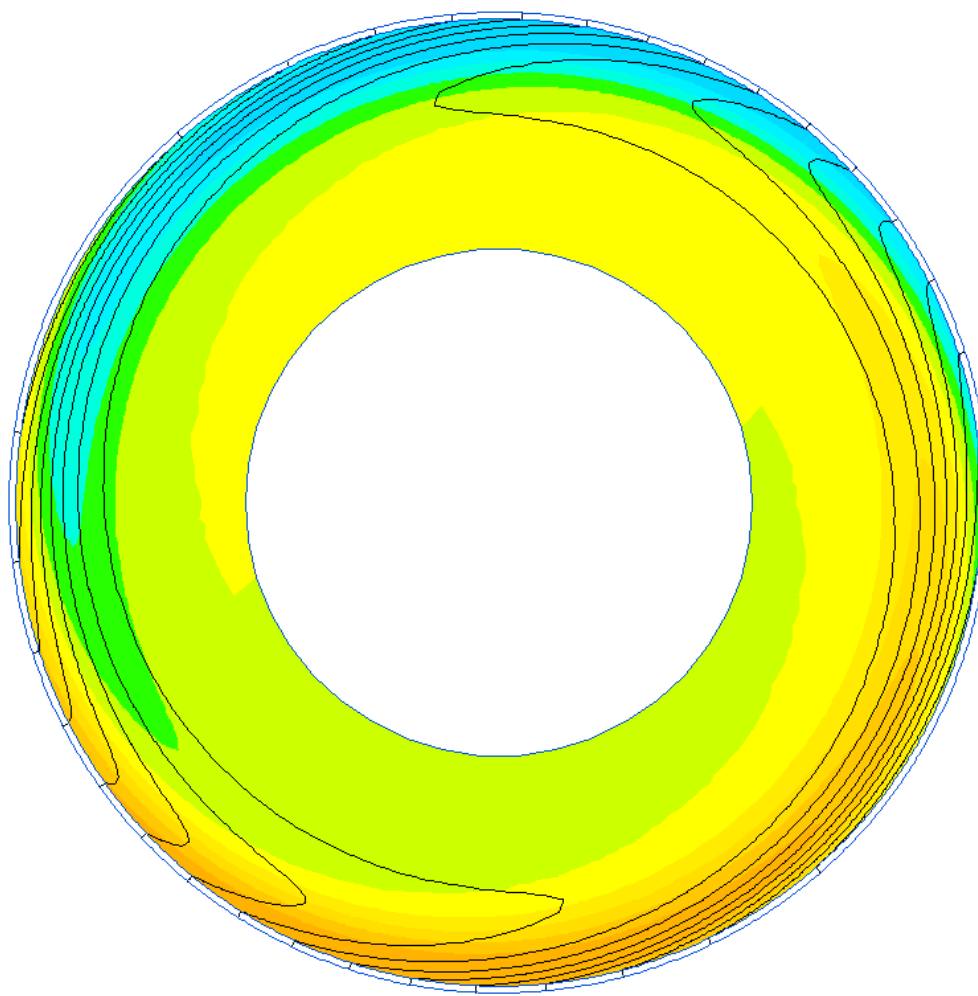
Картина магнитного поля и распределение плотности тока в МФР в режиме пуска в зависимости от времени





Расчет распределения токов, наведенных в массивном ферромагнитном роторе асинхронной машины в режиме пуска

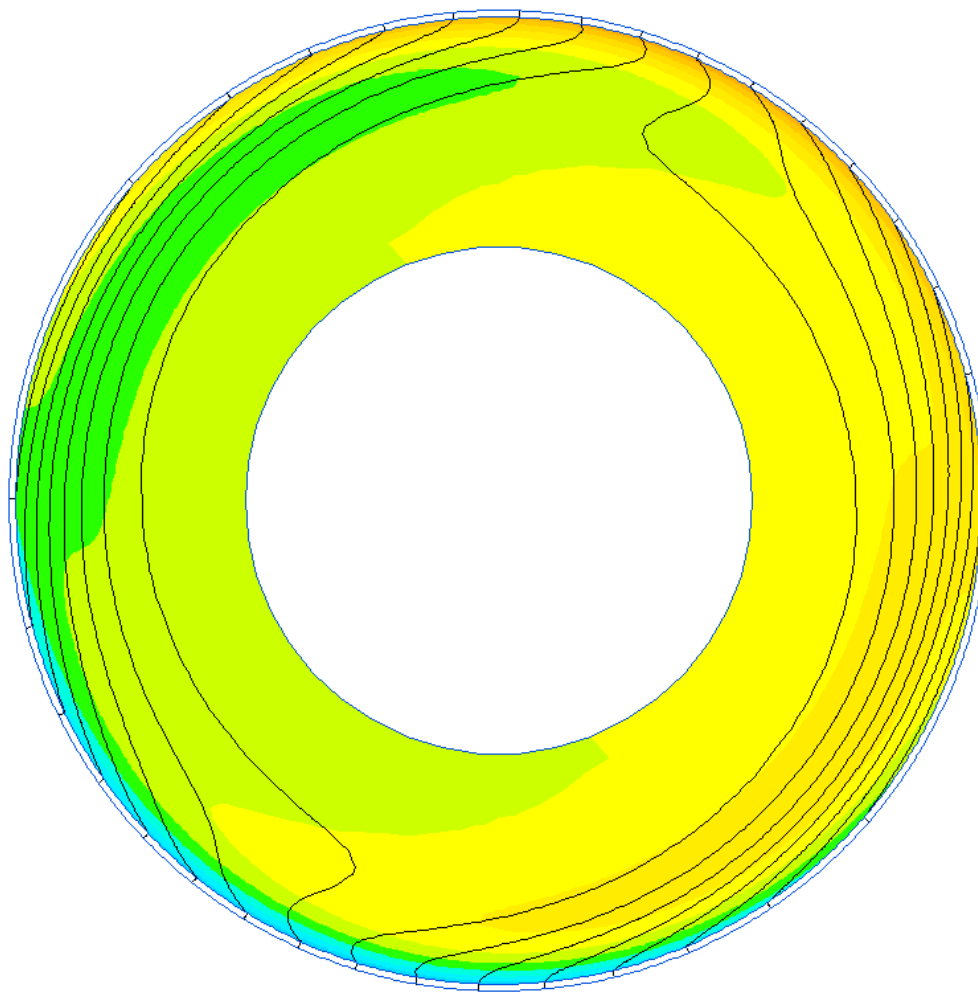
Картина магнитного поля и распределение плотности тока в МФР в режиме пуска
в зависимости от времени





Расчет распределения токов, наведенных в массивном ферромагнитном роторе асинхронной машины в режиме пуска

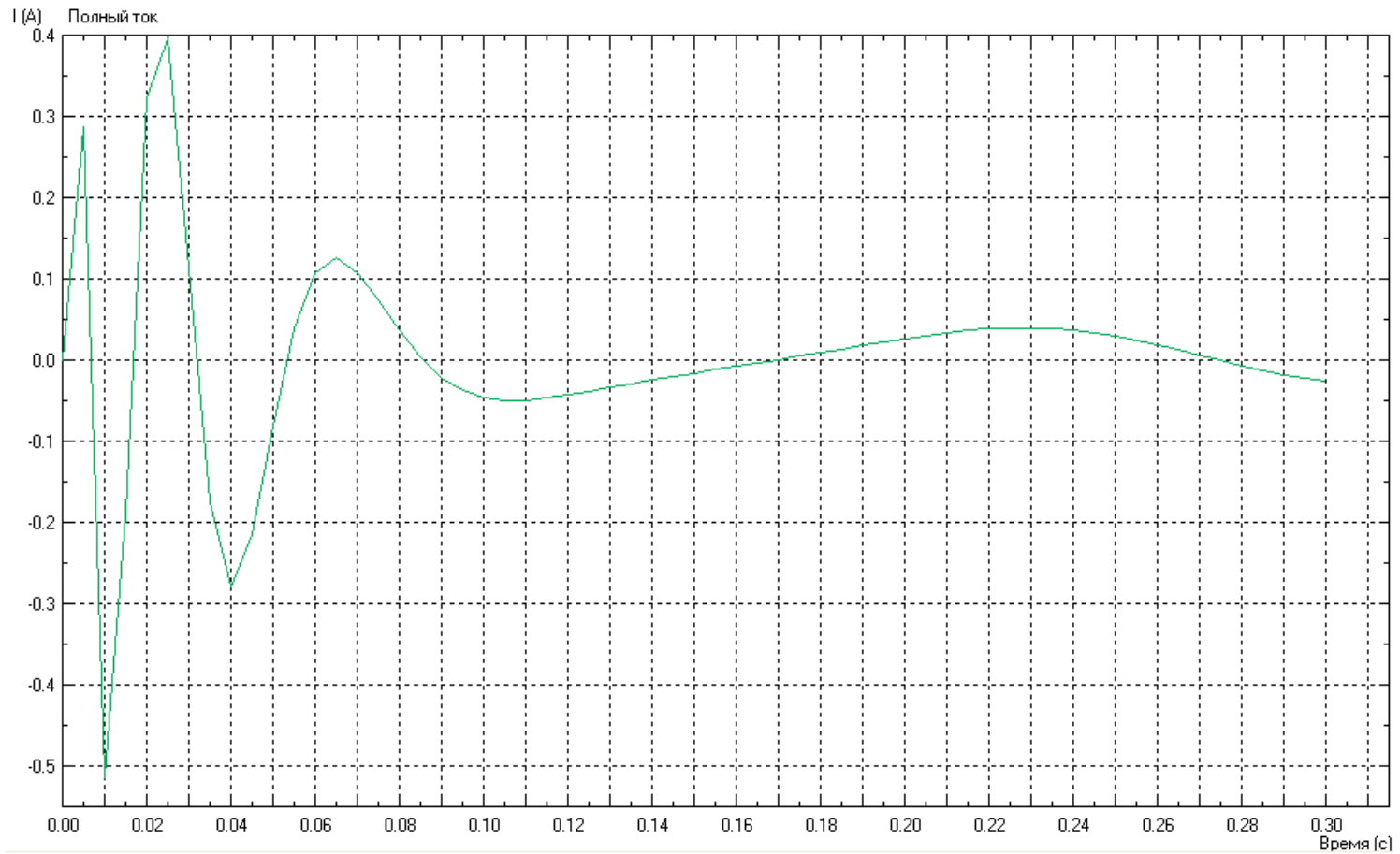
Картина магнитного поля и распределение плотности тока в МФР в режиме пуска в зависимости от времени





Расчет распределения токов, наведенных в массивном ферромагнитном роторе асинхронной машины в режиме пуска

Изменение полного тока, наведенного в роторе во времени



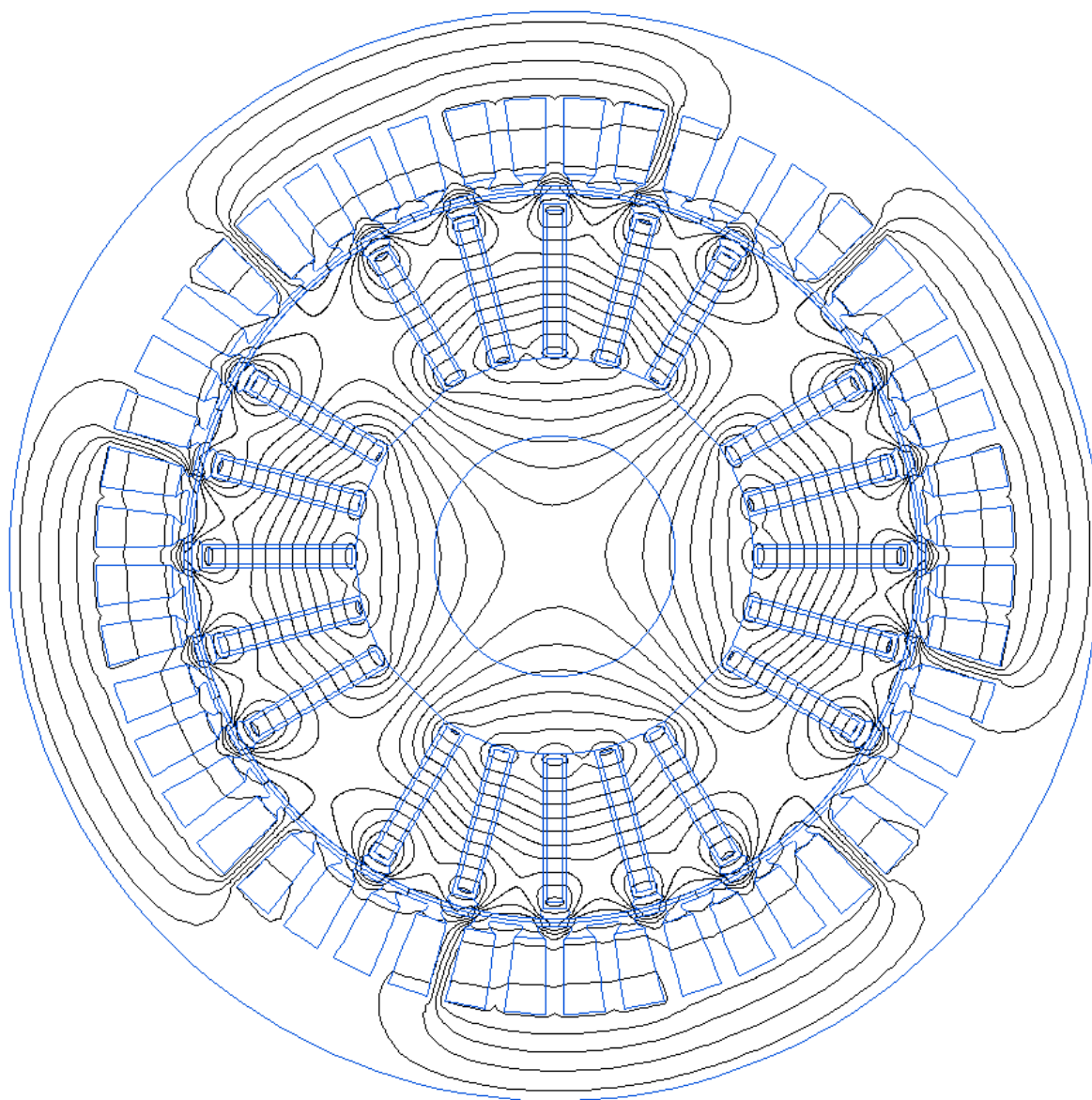


Расчет температурного поля в пазу ротора неявнополюсного синхронного двигателя в режиме пуска

Представлено в разделе Связанные задачи

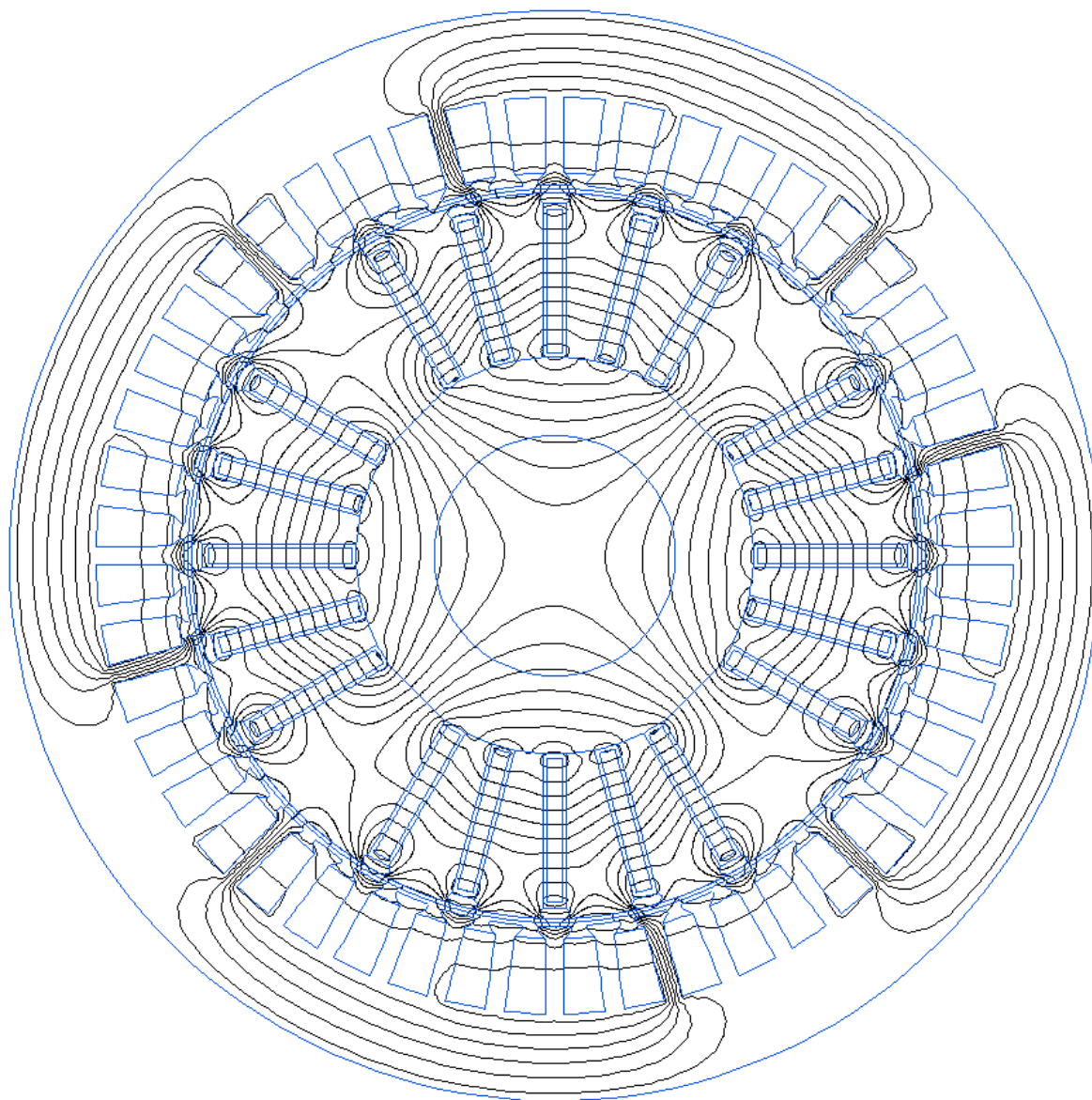


Расчет магнитного поля в режиме пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами



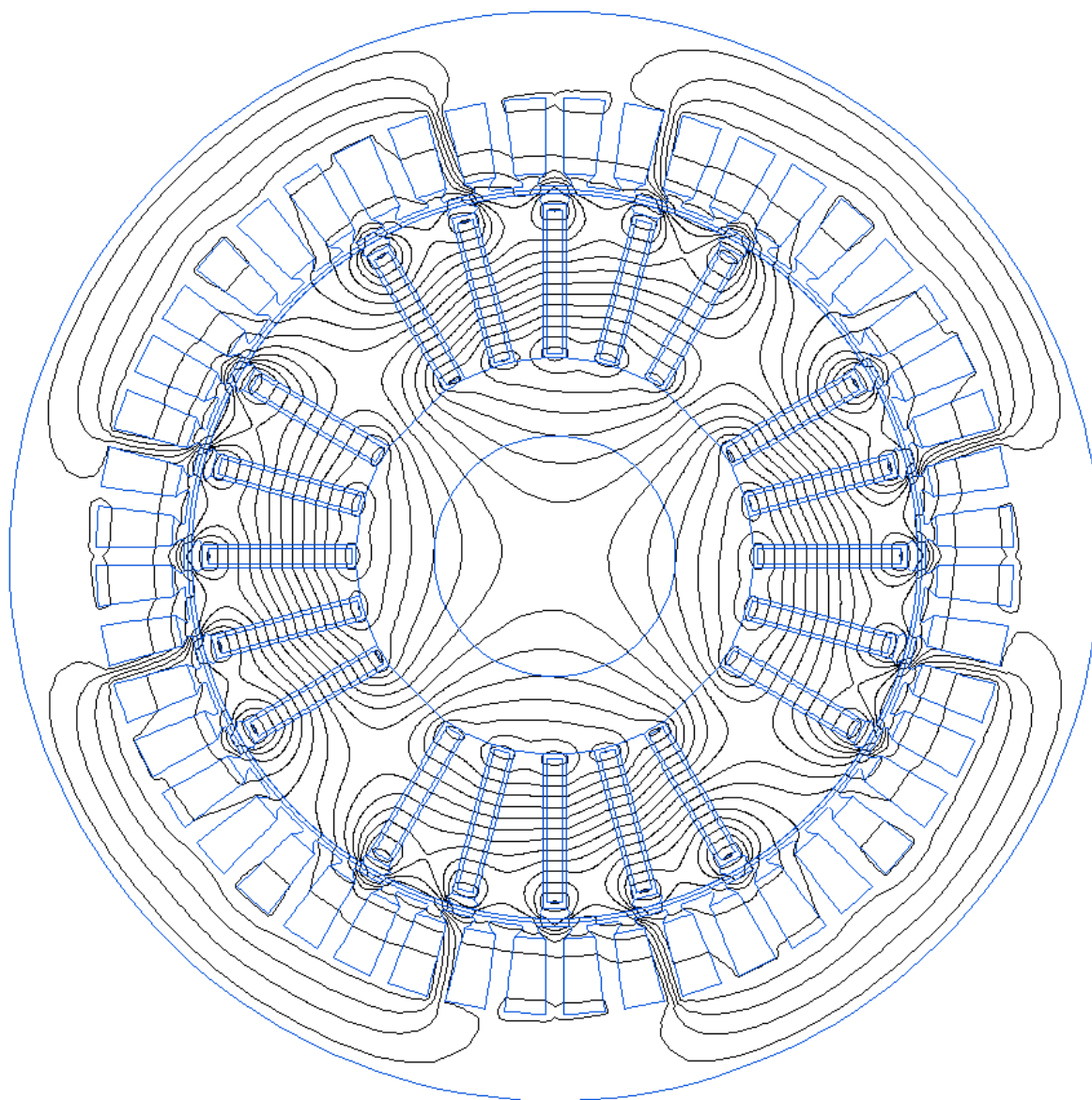


Расчет магнитного поля в режиме пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами





Расчет магнитного поля в режиме пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами





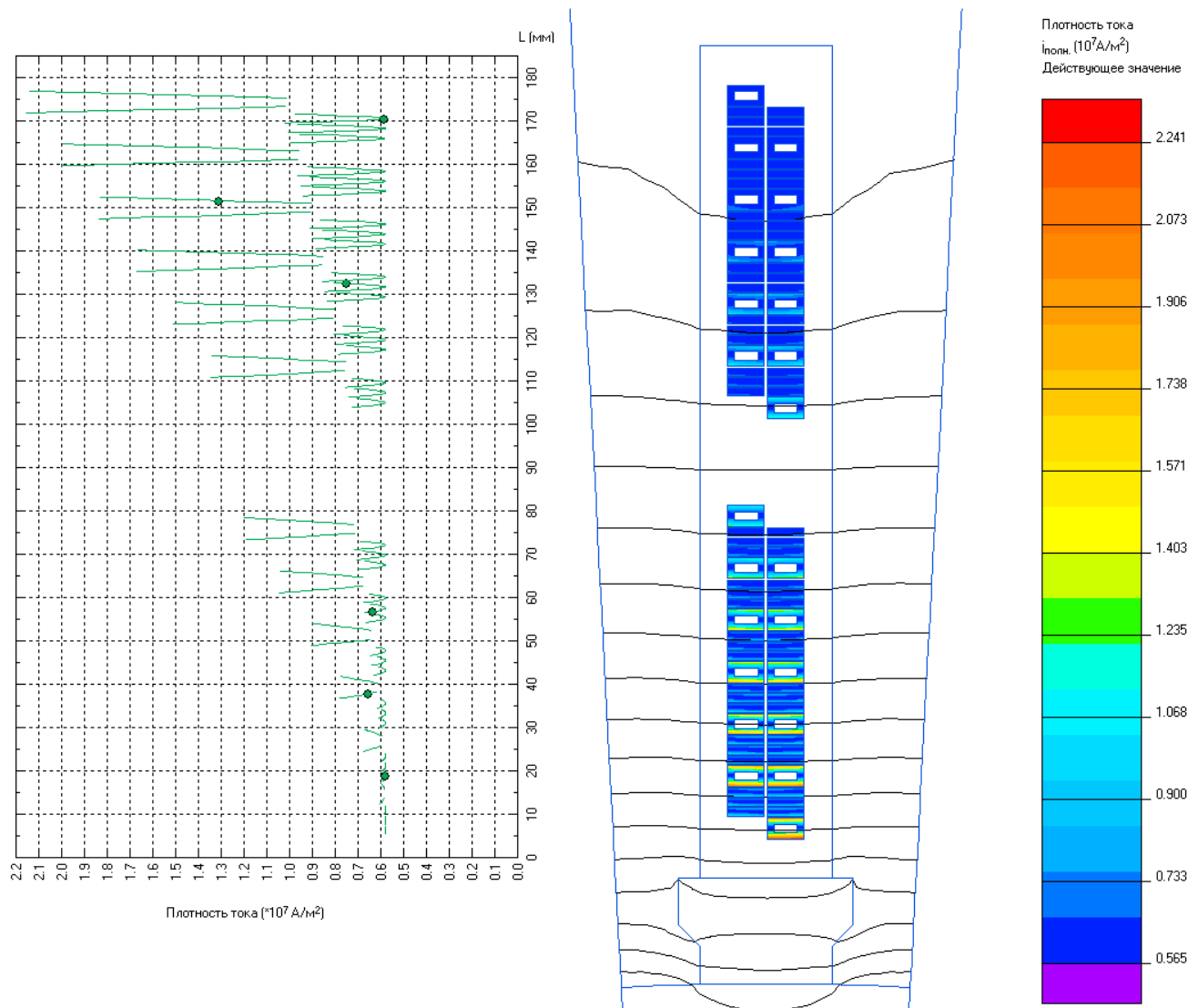
Базовый перечень рассматриваемых вопросов и примеров связанных задач

- _ Особенности моделирования связанных задач в области электрических машин
- _ Расчет нагрева обмотки статора синхронной машины с непосредственным водяным охлаждением в режиме кратковременной перегрузки по току
- _ Расчет нестационарного температурного поля в пазу ротора неявнополюсного синхронного двигателя в режиме пуска на основе решения задачи магнитного поля переменных токов



Расчет нагрева обмотки статора синхронной машины с непосредственным водяным охлаждением в режиме кратковременной перегрузки по току

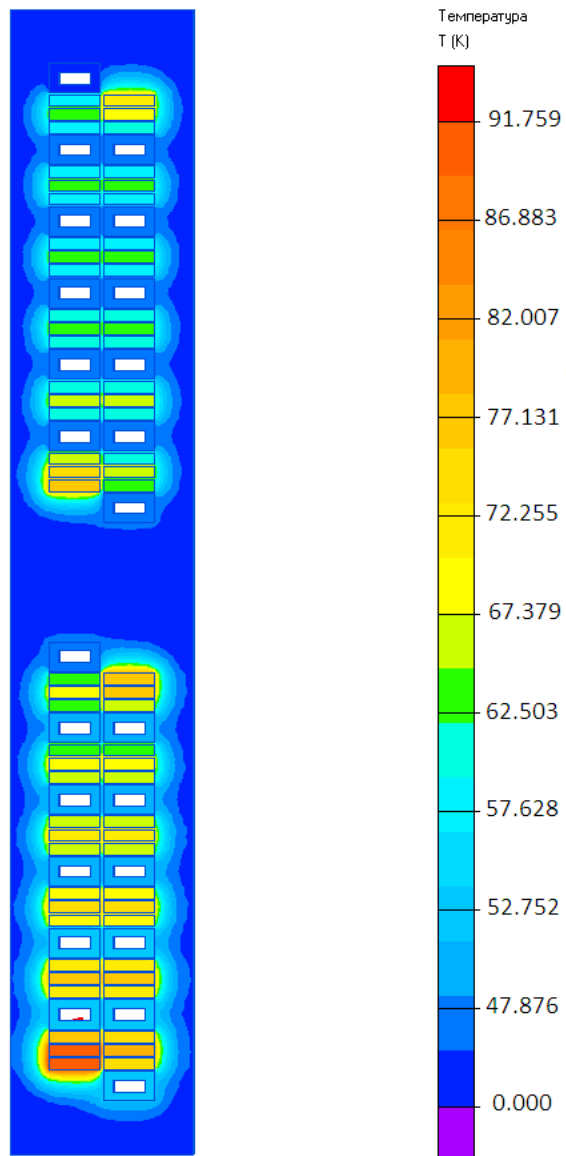
Распределение плотности тока в пазу статора





Расчет нагрева обмотки статора синхронной машины с непосредственным водяным охлаждением в режиме кратковременной перегрузки по току

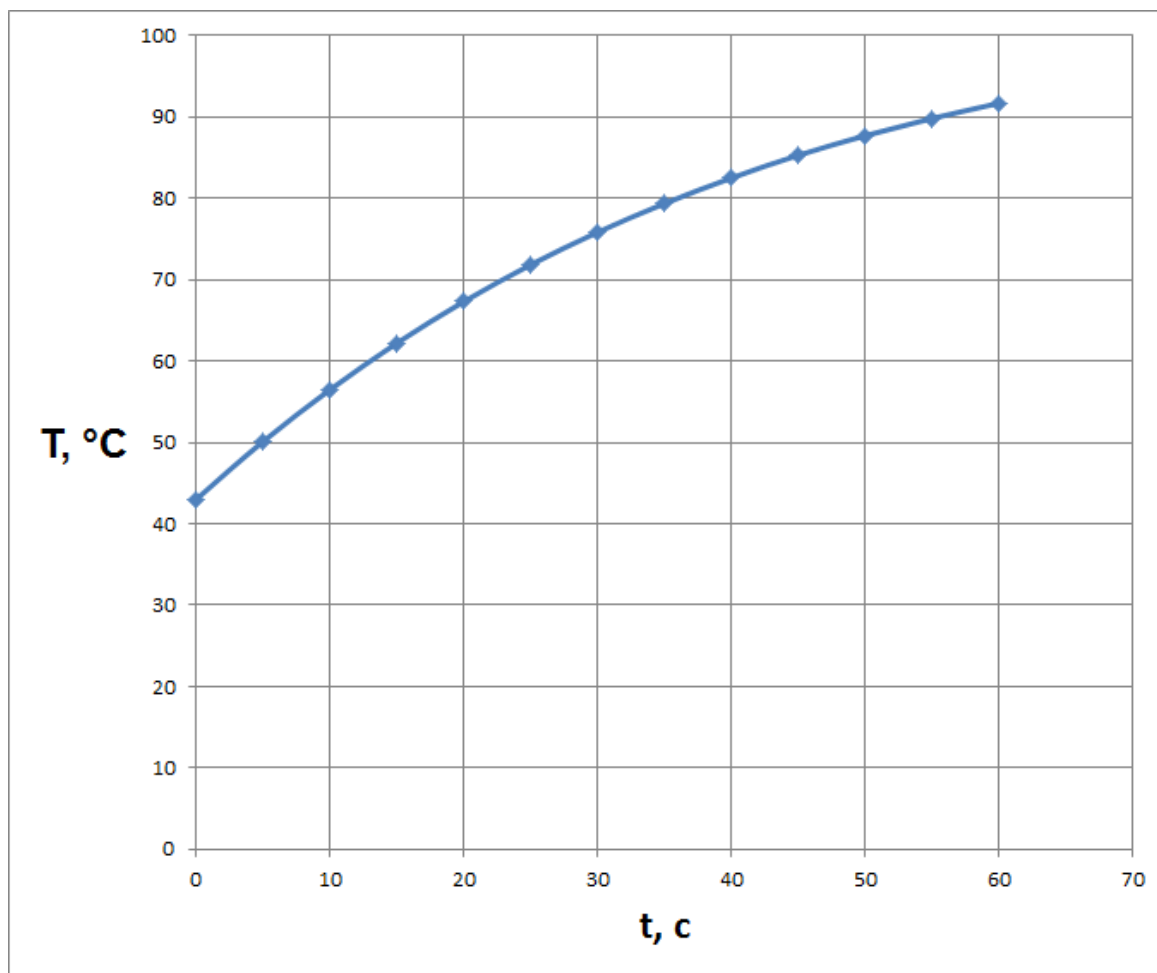
Распределение плотности тока в пазу статора





Расчет нагрева обмотки статора синхронной машины с непосредственным водяным охлаждением в режиме кратковременной перегрузки по току

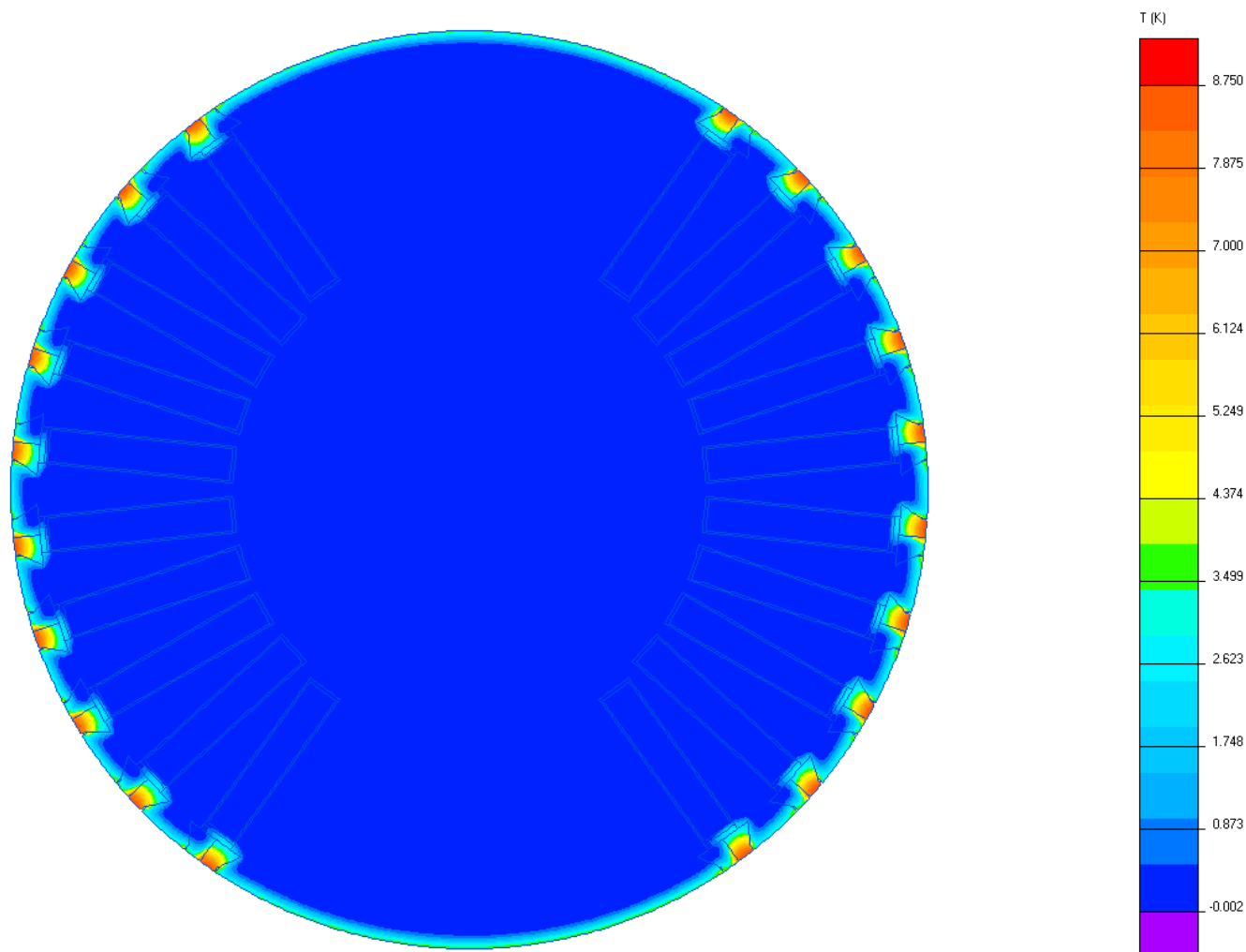
Нагрев обмотки статора за время кратковременной перегрузки по току





Расчет нестационарного температурного поля в пазу ротора неявнополюсного синхронного двигателя в режиме пуска на основе решения задачи магнитного поля переменных токов

Превышение температуры элементов ротора в зависимости от времени





Заключение

Программный комплекс ELCUT не требует обучения - это главный принцип, которого мы придерживаемся в разработке и техподдержке. Всё, что касается программы, документировано, снабжено видео и статьями.

Но если Вы хотите сократить время освоения программы, используя опыт экспертов, провести тренинг для группы новых пользователей на своем предприятии или же понять особенности применения ELCUT для конкретной инженерно-технической области - то такие возможности тоже есть.

Основной задачей наших спецкурсов является заполнение разрыва между общим пониманием принципов моделирования с помощью ELCUT и решением конкретной технической задачи, умение оптимизировать модель, сохраняя высокую точность результатов, и принимать практические инженерные решения по результатам полевого моделирования.

Спецкурс включает лекции и практические занятия по моделированию электромагнитных и тепловых полей и анализу режимов работы различных типов электрических машин.

