

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **231 957** (13) **U1**
(51) МПК
[H02K 1/276 \(2022.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 20.02.2025)
Пошлина: учтена за 5 год с 29.12.2027 по 28.12.2028. Установленный срок для уплаты пошлины за 6 год: с 29.12.2027 по 28.12.2028. При уплате пошлины за 6 год в дополнительный 6-месячный срок с 29.12.2028 по 28.06.2029 размер пошлины увеличивается на 50%.

(52) СПК

[H02K 1/276 \(2025.01\)](#)

(21)(22) Заявка: **2024109177**, **28.12.2023**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.12.2023

Дата регистрации:
19.02.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **28.12.2023**

(45) Опубликовано: [19.02.2025](#) Бюл. № **5**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2579011 C1**, **27.03.2016**. **CN 104682653 A**, **03.06.2015**. **EA 9858 B1**, **28.04.2008**. **CN 109639001 A**, **16.04.2019**. **WO 2018210577 A1**, **22.11.2018**. **CN 109861424 A**, **07.06.2019**.

Адрес для переписки:

105187, Москва, ул. Вольная, д. 28/4, корп. 3, кв. 598, И.В. Черных

(72) Автор(ы):

Тишин Александр Метталинович (RU),
Чиркин Василий Германович (RU),
Уткин Сергей Юрьевич (RU),
Шеваленко Альберт Львович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

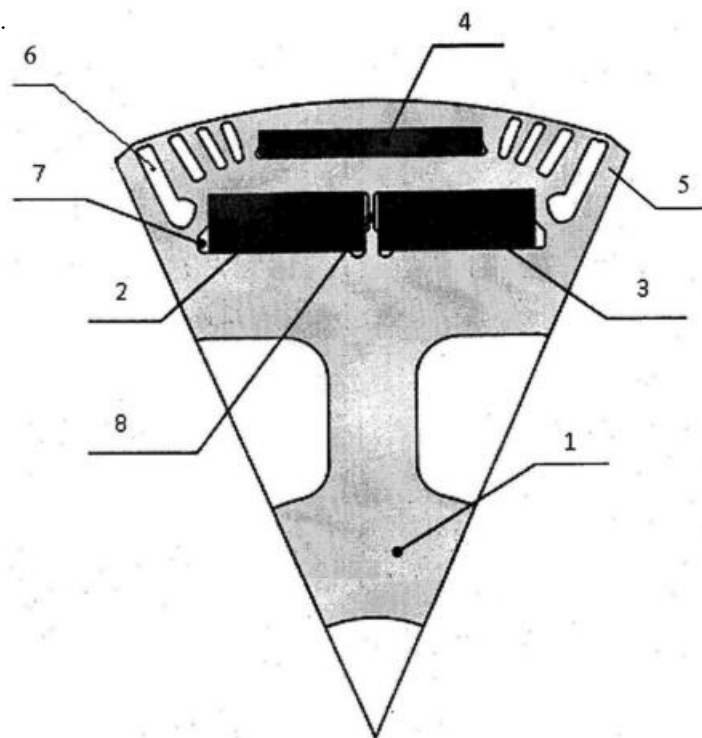
Акционерное общество "КАМА" (АО "КАМА") (RU),
"Русатом РДС" (АО "Русатом РДС") (RU)

(54) Ротор электрической машины с постоянными магнитами

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области электротехники. Технический результат – снижение потерь от вихревых токов. Ротор электрической машины содержит сердечник ротора с инкорпорированными постоянными магнитами, расположенными группами по окружности в непосредственной близости к наружной поверхности магнитопровода, внутренними полостями, и пазами, выполненными на наружной поверхности магнитопровода в промежутках между полюсами перпендикулярно торцевым частям полюсов. Для достижения технического результата сердечник ротора выполнен из пакета пластин из тонколистовой шихтованной электротехнической изотропной стали, электрически изолированных друг от друга. Каждый полюс ротора образован группой, содержащей по три постоянных магнита, расположенных на двух уровнях относительно оси вращения ротора. При этом в каждой группе на уровне, ближайшем к оси вращения ротора, расположены два одинаковых по размерам и характеристикам постоянных магнита. Постоянные магниты выполнены в виде набора пластин, соединенных между собой в неразъемное соединение, например, склейкой. Внутренние полости размещены с ферромагнитными промежутками в сердечнике ротора между его полюсами. 5 з.п.

ф-лы, 5 ил.



Фиг. 2

Область техники

Полезная модель относится к электротехнике, в частности к электрическим машинам с постоянными магнитами в роторе, и может применяться в тяговых синхронных электрических двигателях и электрогенераторах на электротранспорте.

Уровень техники

Из уровня техники известен ротор электрической машины, включающий магнитопровод, на поверхности которого размещены постоянные магниты, попарно одноименными полюсами, причем расстояние между магнитами пары меньше, чем между соседними магнитами разных пар (пат. RU 2273084, опубл. 27.03.2006). По известному решению, расстояние между магнитами в паре меньше, чем расстояние между парами магнитов. Соседняя боковая поверхность каждого из магнитов одной пары составляет с плоскостью, проходящей через внешнее ребро соответствующего магнита и ось ротора, отличный от нуля угол, который находится в пределах от 0 до 30 геометрических градусов. То есть, как видно из фиг. 1 к описанию известного решения, магниты имеют сечение довольно сложной формы.

К недостаткам известного решения относится повышенная трудоемкость изготовления электрической машины, связанная с необходимостью изготовления магнитов, имеющих сложную пространственную форму.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков - прототипом заявляемой полезной модели - является ротор электрической машины с постоянными магнитами, содержащий магнитопровод с инкорпорированными постоянными магнитами, расположенными группами по окружности в непосредственной близости к наружной поверхности магнитопровода, внутренними полостями между упомянутыми магнитами и пазами, выполненными на наружной поверхности магнитопровода в промежутках между полюсами перпендикулярно торцевым частям полюсов (пат. RU 2579011, опубл. 27.03.2016). По известному решению, каждая группа постоянных магнитов, образующая полюс, содержит два постоянных магнита, расположенных в общей плоскости.

Известно, что при конструировании роторов электрических машин с встроенными (инкорпорированными) постоянными магнитами существует компоновочная проблема размещения магнитов. Для ее решения магниты каждой пары приходится устанавливать с поворотом друг относительно друга на некоторый угол, так что они не образуют общей плоскости, то есть выполнять полюс в виде называемого обратного V-образного профиля (Смирнов А.Ю. «Особенности конструирования и анализа высокооборотных синхронных машин с постоянными магнитами на роторе»./Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. - 2013. - № 4(101). С. 231-235). В этом случае магниты занимают меньшее

пространство между валом и внешней поверхностью ротора, что позволяет, с одной стороны, увеличить механическую прочность ротора, и, с другой стороны, уменьшить его внешний диаметр, ограничивая тем самым способные его разрушить радиальные усилия.

К недостаткам известного решения относятся налагаемые им ограничения в части прочности, что связано с расположением электромагнитов в роторе в одной плоскости в каждой паре.

Раскрытие полезной модели

В контексте настоящей заявки далее в качестве синонимов будут использованы следующие термины:

- «магнитопровод» и «сердечник ротора»,
- «ферромагнитные промежутки», «мостики», «перемычки»,
- «внутренние полости», «внутренние немагнитные карманы»,
- «сердечник ротора», «сердечник», «магнитопровод».

Технической задачей является создание конструкции ротора электрической машины с постоянными магнитами (далее - ротора), позволяющей повысить коэффициент полезного действия (далее - КПД) электрической машины при сохранении прочности ротора.

Технический результат заключается в снижении потерь от вихревых токов.

Решение поставленной технической задачи достигается за счет совокупного применения следующих конструктивных мероприятий:

- выполнения сердечника ротора из пакета пластин из тонколистовой шихтованной электротехнической изотропной стали, электрически изолированных друг от друга;
- выполнения каждого полюса ротора группой, содержащей по три инкорпорированных в сердечник ротора постоянных магнита, расположенных на двух уровнях относительно оси вращения ротора, при этом в каждой группе на уровне, ближайшем к оси вращения ротора, расположены два одинаковых по размерам и характеристикам постоянных магнита,
- выполнения постоянных магнитов в виде набора пластин, соединенных между собой в неразъемное соединение, например, склейкой,
- размещения внутренних полостей с ферромагнитными промежутками в сердечнике ротора между его полюсами.

Новизной предлагаемого технического решения является выполнение сердечника из пакета пластин из тонколистовой шихтованной электротехнической изотропной стали, электрически изолированных друг от друга, выполнение каждого полюса ротора группой, содержащей по три инкорпорированных в сердечник ротора постоянных магнита, расположенных на двух уровнях относительно оси вращения ротора, при этом в каждой группе на уровне, ближайшем к оси вращения ротора, расположены два одинаковых по размерам и характеристикам постоянных магнита, выполнение постоянных магнитов в виде набора пластин, соединенных между собой в неразъемное соединение, например, склейкой, размещение внутренних полостей с ферромагнитными промежутками в сердечнике ротора между его полюсами.

Постоянные магниты, инкорпорированные в сердечник, выполнены с использованием редкоземельных металлов. При этом каждый из постоянных магнитов, входящих в группу, образующую полюс ротора, выполнен в виде набора пластин из магнитного материала, соединенных между собой в неразъемное соединение, например, склеенных между собой.

Каждый полюс ротора образован группой, содержащей по три инкорпорированных постоянных магнита, расположенных на двух уровнях относительно оси вращения ротора. На уровне, ближайшем к оси вращения ротора, расположены пара одинаковых по размерам и характеристикам постоянных магнитов. Третий постоянный магнит, входящий в состав каждого полюса, расположен на уровне, удаленном от оси ротора, и может иметь размеры и характеристики, отличные от постоянных магнитов, расположенных на предыдущем уровне. В контексте настоящей заявки упомянутые уровни условно определены, как нижний и верхний, соответственно.

Использование групп отдельных магнитов вместо единых магнитов того же объема позволяет снизить потери от вихревых токов в магнитах и увеличить длину замыкания поля рассеяния. Кроме того, наличие двух уровней размещения с расположенными на них постоянными магнитами позволяет улучшить форму электродвижущей силы (далее - ЭДС) в воздушном зазоре электрической машины. Направление намагничивания групп постоянных магнитов соседних полюсов противоположное.

Соседние полюсы ротора разделены ферромагнитными промежутками. По опыту заявителя, ширина ферромагнитных промежутков между соседними внутренними

полостями не должна превышать 1 мм. Ширина внутренних полостей также не должна превышать 1 мм. Из условия обеспечения прочности сердечника, углы внутренних полостей выполнены скругленными.

На наружной поверхности сердечника ротора в зоне мостиков выполнены пазы. Это сделано для того, чтобы воздушный зазор в зонах между полюсами ротора был больше, чем в зонах над серединой полюса (на цилиндрических участках сердечника). Это обеспечивает нужное соотношение между индуктивностями по продольной и поперечной магнитным осям ротора. Кроме того, за счет наличия пазов уменьшаются потери в роторе, вызывающие тепловыделение в этой области.

Количество пазов определяется количеством полюсов ротора. Пазы могут быть выполнены любым способом, известным из уровня техники.

Наличие в теле сердечника, в том числе, вблизи краёв постоянных магнитов немагнитных полостей (карманов) позволяет увеличить длину пути рассеяния, благодаря чему достигается улучшение формы поля в зазоре и как следствие повышение ЭДС, реактивного момента и КПД.

Между постоянными магнитами, установленными на нижнем уровне, выполнена перемычка из пластины (листа) стали. Перемычка обеспечивает дополнительную механическую прочность сердечника.

Прочие конструктивные особенности, включая размеры, их соотношения, марки используемых материалов, технологии получения деталей и сборки изделия, не раскрытые в материалах настоящей заявки, не являются предметом патентной охраны.

Краткое описание чертежей

На Фиг. 1 показан общий вид магнитной системы ротора.

На Фиг. 2 показан сегмент ротора.

На Фиг. 3 показано распределение магнитной индукции в воздушном зазоре, полученное в первом примере осуществления предлагаемой полезной модели.

На Фиг. 4 показано распределение магнитной индукции в воздушном зазоре, полученное во втором примере осуществления предлагаемой полезной модели.

На Фиг. 5 показаны силовые линии магнитного поля в сегменте ротора, выполненного в соответствии с предлагаемой полезной моделью.

Осуществление полезной модели

Ротор представляет собой сердечник 1 с инкорпорированными в него постоянными магнитами 2, 3, 4.

На Фиг. 1 сердечник 1 показан в изображении, имитирующем перспективу. В действительности сердечник 1 имеет цилиндрическую наружную форму. В сердечнике 1 предусмотрены полости для установки постоянных магнитов 2, 3, 4, ферромагнитные промежутки 5 между внутренними полостями 6, внутренние немагнитные карманы 7 и пазы 8 на наружной поверхности сердечника 1.

Постоянные магниты 2, 3 и 4 выполнены с использованием редкоземельных материалов.

Постоянные магниты 3 и 4 расположены на нижнем уровне, а постоянный магнит 2 расположен на верхнем уровне.

Удельная энергия магнитов 3 и 4 меньше, чем удельная энергия магнита 2.

Вектор намагничивания магнитов 2, 3 и 4 расположен в радиальном направлении ротора.

Между постоянными магнитами 3 и 4 выполнена перемычка 9 из листа стали.

На Фиг. 3, в качестве первого примера осуществления, показано распределение магнитной индукции в воздушном зазоре при использовании на обоих уровнях (постоянные магниты 2, 3, 4) постоянных неодимовых магнитов, изготовленных из материала N52UH.

На Фиг. 4, в качестве второго примера осуществления, показано распределение магнитной индукции в воздушном зазоре при использовании в качестве магнита 2 постоянного неодимового магнита, изготовленного из материала N52UH. При этом в качестве постоянных магнитов 3 и 4 были использованы постоянные неодимовые магниты, изготовленные из материала N38SH.

Соседние полюсы ротора разделены ферромагнитными промежутками 5. Наличие на мостиках 5 пазов 8 приводит к тому, что величина воздушного зазора в зоне паза 8 больше, чем под серединой полюса - на цилиндрических участках сердечника 1. Это обеспечивает нужное соотношение между индуктивностями по продольной и поперечной магнитным осям ротора. Кроме того, за счет наличия пазов 8 внутренних полостей 6 и внутренних немагнитных карманов 7, снижаются потери в роторе, вызывающие тепловыделение.

Наличие внутренних немагнитных карманов 7 в теле сердечника 1 вблизи краёв

постоянных магнитов 2, 3, 4 позволяет увеличить длину пути рассеяния, благодаря чему достигается улучшение формы поля в зазоре и как следствие повышение ЭДС, момента и КПД. Этот эффект иллюстрируется изображением на Фиг. 5.

Предлагаемая конструкция ротора электрической машины с постоянными магнитами ориентирована на использование существующих серийных технологий производства. В частности, сердечник ротора изготавливается из серийно выпускаемого стального листового проката (электротехническая сталь), постоянные магниты изготавливаются по известным технологиям. Сборка также не требует разработки процессов, принципиально отличающихся от применяемых в настоящее время в промышленности. Это позволяет говорить о промышленной применимости предлагаемой полезной модели.

Формула полезной модели

1. Ротор электрической машины с постоянными магнитами, содержащий сердечник ротора с инкорпорированными постоянными магнитами, расположенными группами по окружности в непосредственной близости к наружной поверхности магнитопровода, внутренними полостями, и пазами, выполненными на наружной поверхности магнитопровода в промежутках между полюсами перпендикулярно торцевым частям полюсов, отличающийся тем, что сердечник выполнен из пакета пластин из тонколистовой шихтованной электротехнической изотропной стали, электрически изолированных друг от друга, каждый полюс ротора образован группой, содержащей по три инкорпорированных в сердечник ротора постоянных магнита, расположенных на двух уровнях относительно оси вращения ротора, при этом в каждой группе на уровне, ближайшем к оси вращения ротора, расположены два одинаковых по размерам и характеристикам постоянных магнита, постоянные магниты выполнены в виде набора пластин, соединенных между собой в неразъемное соединение, например, склейкой, внутренние полости размещены с ферромагнитными промежутками в сердечнике ротора между его полюсами.

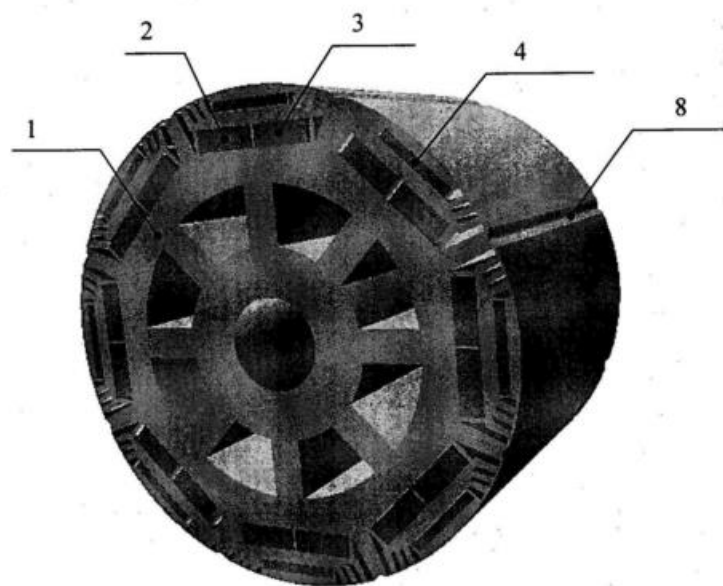
2. Ротор по п. 1, отличающийся тем, что третий постоянный магнит, расположенный на уровне, удаленном от оси ротора, имеет размеры и характеристики, отличные от постоянных магнитов, расположенных на ближнем к оси уровне.

3. Ротор по п. 1, отличающийся тем, что постоянные магниты выполнены с использованием редкоземельных металлов.

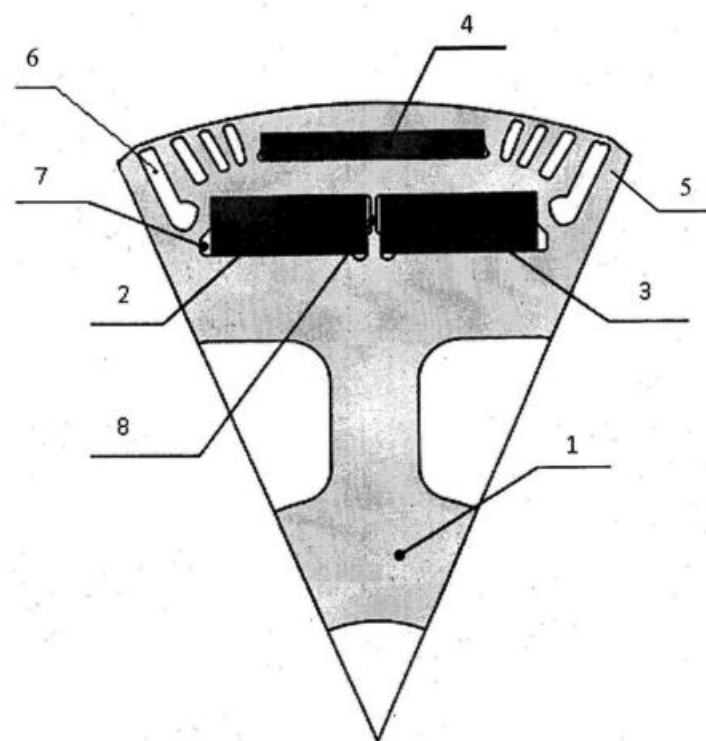
4. Ротор по п. 1, отличающийся тем, что паз, расположенный на наружной поверхности ротора и отделяющий соседние полюсы ротора друг от друга, имеет боковые стороны, параллельные оси вращения ротора.

5. Ротор по п. 1, отличающийся тем, что в теле сердечника ротора вблизи краев постоянных магнитов выполнены внутренние немагнитные карманы.

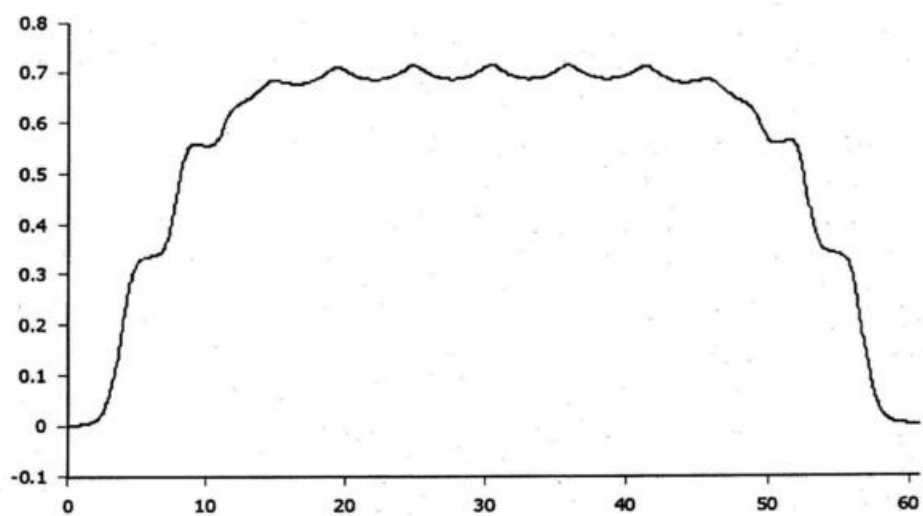
6. Ротор по п. 1, отличающийся тем, что между постоянными магнитами, размещенными на нижнем уровне, выполнена перемычка из пластины стали.



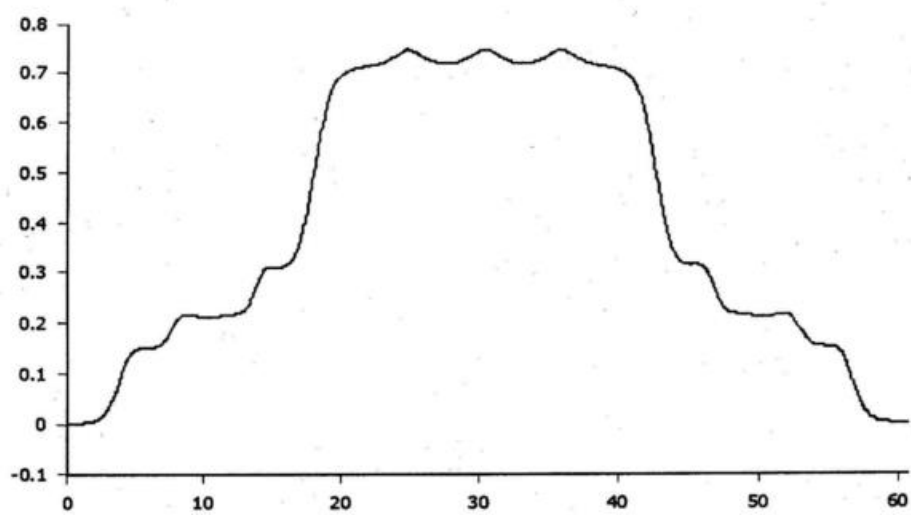
Фиг. 1



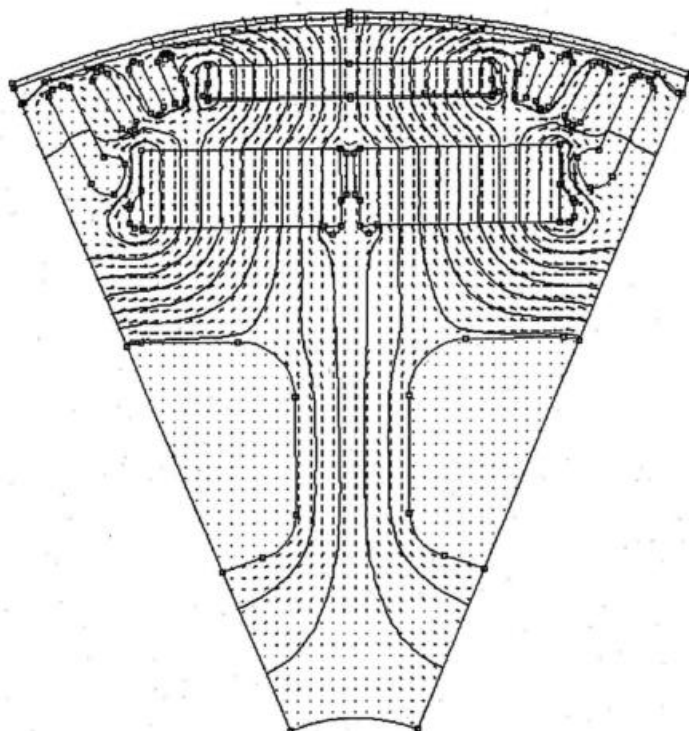
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5