



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01F 27/29 (2006.01); H01F 30/14 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017113776, 21.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.04.2017

Дата регистрации:  
04.09.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.04.2017

(43) Дата публикации заявки: 05.07.2017 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 04.09.2018 Бюл. № 25

Адрес для переписки:  
164522, г. Северодвинск, ул. Трухинова, 11, кв.  
106, Коптяев Евгений Николаевич

(72) Автор(ы):

Коптяев Евгений Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Коптяев Евгений Николаевич (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2525298 C2, 10.08.2014. RU 2586322 C1, 10.06.2016. RU 2015117553 A, 20.09.2015. SU 163926 A1, 11.08.1964. SU 399976 A1, 20.03.1944. SU 1820458 A1, 07.08.1993. RU 2014149803 A1, 10.07.2016. CN 202652075 U, 02.01.2013.

## (54) МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, к трансформаторам с вращающимся полем, и может использоваться в многополюсных трансформаторах с вращающимся полем и полупроводниковых преобразователях на их основе. Техническим результатом является уменьшение числа коммутируемых отводов кольцевой обмотки, и необходимых для этого полупроводниковых ключей, возможность использования любого числа магнитных полюсов

в трансформаторе с вращающимся полем, упрощение технологии сборки. Изобретение направлено на уменьшение числа отводов кольцевой обмотки путем объединения групп катушек, лежащих под разными полюсами, в общую секцию кольцевой обмотки, которая коммутируется в составе преобразователя как единое целое при последовательном соединении упомянутых катушечных групп. 7 ил.

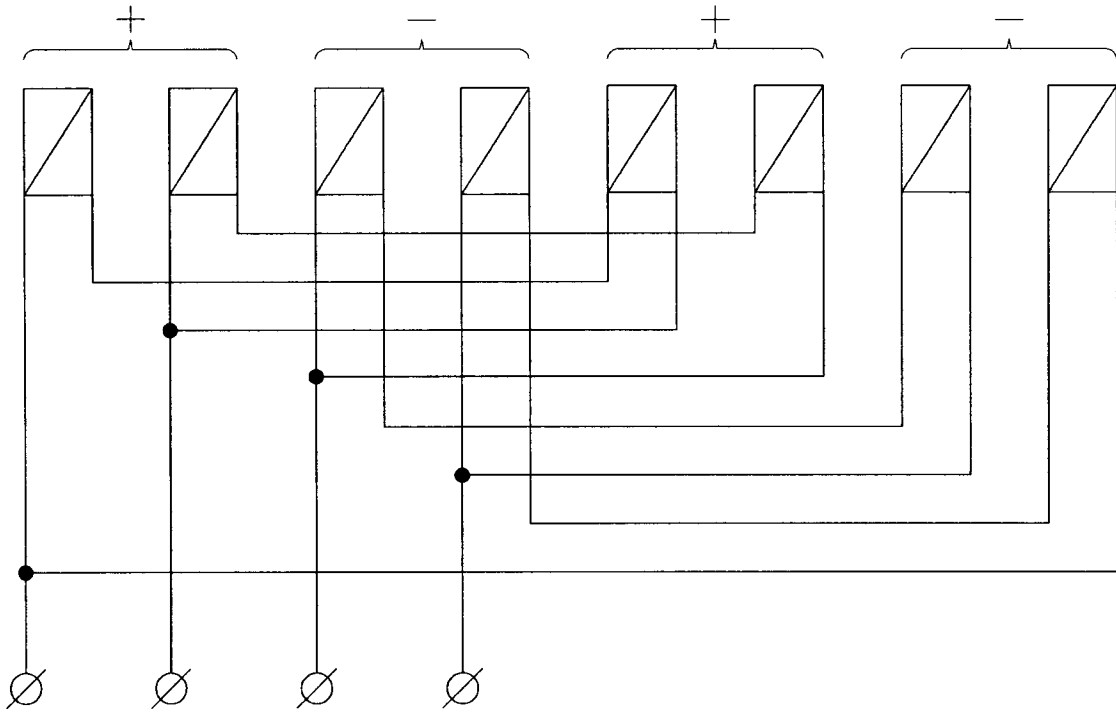


Схема последовательности соединений катушечных групп в секциях многополюсной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами.

Фиг.6

R U 2 6 6 5 6 8 6 C 2

R U 2 6 6 5 6 8 6 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01F 27/29* (2006.01)  
*H01F 30/14* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01F 27/29* (2006.01); *H01F 30/14* (2006.01)

(21)(22) Application: **2017113776, 21.04.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**21.04.2017**

Registration date:  
**04.09.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **21.04.2017**

(43) Application published: **05.07.2017** Bull. № 19

(45) Date of publication: **04.09.2018** Bull. № 25

Mail address:

**164522, g. Severodvinsk, ul. Trukhinova, 11, kv.  
106, Koptyaev Evgenij Nikolaevich**

(72) Inventor(s):

**Koptyaev Evgenij Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Koptyaev Evgenij Nikolaevich (RU)**

(54) **MULTIPOLE RING WINDING**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering, to transformers with a rotating field, and can be used in multipolar transformers with a rotating field and semiconductor converters based on them. Invention is directed to reducing the number of bends of a ring winding by combining groups of coils lying at different poles, to the common section of the ring winding, which is commutated as part of the converter

as a unit when the coil groups are serially connected.

EFFECT: technical result is a reduction in the number of switched bends of the ring winding and the semiconductor keys required for this, possibility of using any number of magnetic poles in a transformer with a rotating field, simplifying the assembly technology.

1 cl, 7 dwg

**C 2**  
**2 6 6 5 6 8 6**  
**R U**

**R U**  
**2 6 6 5 6 8 6**  
**C 2**

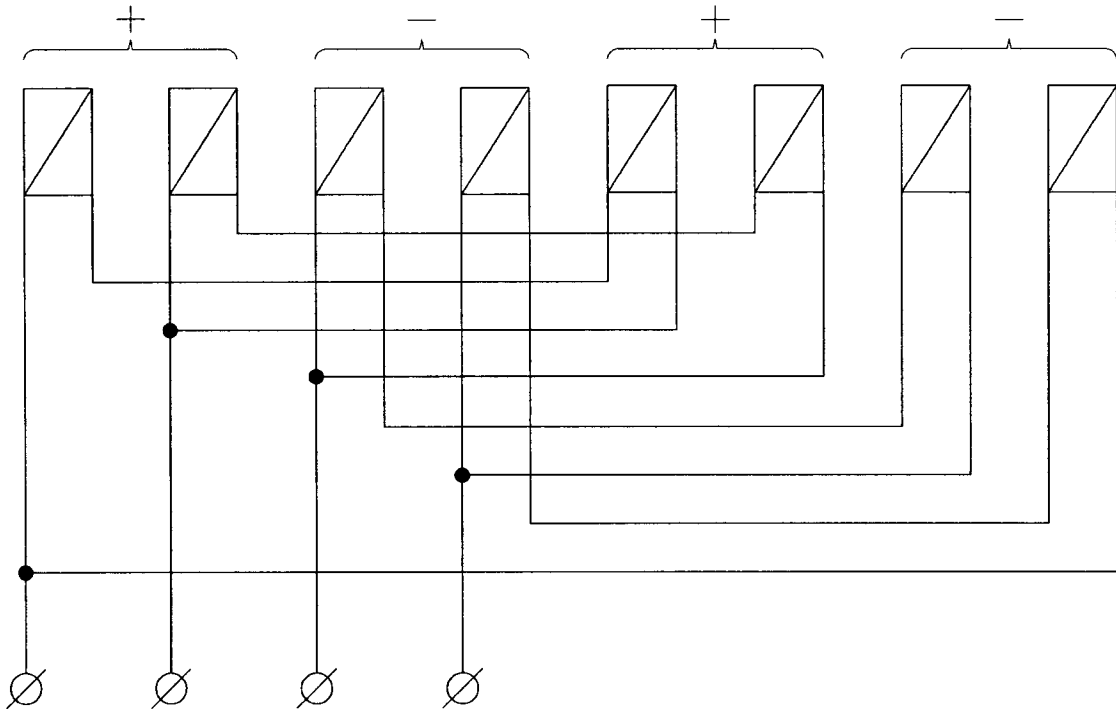


Схема последовательности соединений катушечных групп в секциях многополюсной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами.

Фиг.6

R U 2 6 6 5 6 8 6 C 2

R U 2 6 6 5 6 8 6 C 2

Область техники, к которой относится изобретение. Изобретение относится к электротехнике, а именно - к трансформаторам с вращающимся полем, и может использоваться в многополюсных трансформаторах с вращающимся полем и полупроводниковых преобразователях на их основе.

5       Уровень техники. Из уровня техники известен многофазный трансформатор с вращающимся полем [патент РФ №2115186], содержащий средний витой магнитопровод с пазами на торцевых поверхностях, в которые уложены первичная трехфазная обмотка, и два боковых витых магнитопровода с пазами на торцевых поверхностях, примыкающих к торцам среднего витого магнитопровода с многофазными обмотками.

10       К недостаткам такого решения можно отнести применение в качестве выходной многофазной многолучевой обмотки, что существенно усложняет технологию изготовления трансформатора с вращающимся магнитным полем, а также применение диаметрального шага обмоток, которое приводит к появлению у трансформатора значительных лобовых частей, что ухудшает массогабариты такого решения и снижает  
15       качество выходного напряжения. Основным недостатком является применение трехфазной и многофазной обмоток с большим шагом катушек, что усложняет технологию сборки.

      Также известен трансформатор с вращающимся полем [патент РФ №2525298], предназначенный для использования в многофазных полупроводниковых  
20       преобразователях, и содержащий наружный кольцевой и внутренний магнитопровод, с уложенными в них трехфазной и кольцевой обмотками. Во внутренний шихтованный магнитопровод уложены трехфазная и кольцевая обмотки с укороченным шагом и дробным числом пазов на полюс и фазу, что позволяет уменьшить массогабаритные характеристики трансформатора.

25       К недостаткам такого решения можно отнести использование кольцевой обмотки с укороченным шагом, что усложняет схему соединений катушечных групп обмотки и ведет к удорожанию изготовления трансформатора в целом. Основной же недостаток состоит в том, что при использовании обмоток с одной парой полюсов шаг катушек  
30       кольцевой и трехфазной обмоток равен половине числа зубцов магнитопровода, что ведет к соответствующему увеличению вылета лобовых частей катушек и следовательно, к ухудшению массогабаритных показателей.

      Раскрытие изобретения. Из уровня техники известен трансформатор с вращающимся полем, представляющий собой цилиндрический магнитопровод с пазами, по типу  
35       асинхронного двигателя с заторможенным фазным ротором, и нескольких обмоток, которые укладываются в упомянутые пазы. Обмотки выполняются по типу обмоток электрических машин, трехфазная статорного типа машин переменного тока и одна или более кольцевых обмоток якорного типа машин постоянного тока.

      Основная область использования трансформаторов с вращающимся полем - замена трансформаторов с пульсирующими магнитными полями в полупроводниковых  
40       статических преобразователях, например в инверторах и выпрямителях. Это позволяет изменить принцип преобразования за счет наличия дополнительной степени свободы в трансформаторах с вращающимся полем, и отказаться от использования широтно-импульсной модуляции, и связанных с ней тепловыделением и излучения радиопомех. В преобразователях на трансформаторе с вращающимся полем произошло изменение  
45       силовых схем вторичной обмотки для выпрямителя и первичной обмотки для инвертора (то есть со стороны постоянного тока). Вместо трехфазных обмоток, включенных соединением типа "звезда", стала применяться замкнутая кольцевая обмотка по типу якорных обмоток машин постоянного тока. Такая обмотка позволяет реализовать

увеличение числа фаз системы без повышения массы и габаритов трансформатора, за счет увеличения числа секций кольцевой обмотки, и соответственно - количества ее отводов, подключенных к коммутатору.

Отводы обмоток трансформатора с вращающимся полем в полупроводниковых преобразователях коммутируются полупроводниковыми ключами (например, транзисторами) в соответствии с заданным алгоритмом коммутации. Таким образом, увеличение числа отводов кольцевой обмотки неизбежно ведет к росту числа коммутирующих полупроводниковых ключей - что увеличивает стоимость и снижает надежность работы преобразователя. В данном случае происходит снижение частоты коммутации отдельного ключа, по сравнению с преобразователями с широтно-импульсной модуляцией и трансформаторами с пульсирующим полем - но увеличивается общее число полупроводниковых ключей, что ограничивает дальнейшее улучшение качества выходного напряжения преобразователя.

Главное отличие в конструкциях трансформаторов с вращающимся полем заключается в числе пазов магнитопровода и схемах расположения первичной и вторичной обмоток. Вращающееся магнитное поле создается токами, протекающими в первичной обмотке - при этом известные автору случаи промышленного внедрения использовали число полюсов равное двум ( $2p=2$ ), что соответствует асинхронному двигателю со скоростью вращения 3000 об/мин. В этих решениях трансформатор с вращающимся полем имел кольцевую обмотку, и число полюсов равное двум ( $2p=2$ ). Мощность трансформаторов не превышала 10 кВт, что относит их трансформаторам малой и средней мощности. Одно из таких решений и было выбрано автором за основной прототип.

Однако дальнейшее внедрение трансформаторов с вращающимся полем требует повышения единичной мощности трансформатора, и переход на изготовление обмоток из стержней (шин) для больших токов. Основной технологической проблемой в таком случае является соединение пайкой лобовых частей катушек, и выполнение отводов от кольцевой обмотки на коробку внешних подключений. Усложнение технологии сборки обмоток ведет к необходимости уменьшения шага катушек по пазам, и соответственного увеличения числа полюсов. Диаметральный шаг при числе полюсов равном двум ( $2p=2$ ) в данном случае является технологически нецелесообразным, и требуется переход на число полюсов равное четырем ( $2p=4$ ). Поэтому для трансформаторов с вращающимся полем на мощность 100 кВт и выше требуется использовать многополюсные трехфазную и кольцевые обмотки, что позволяет уменьшить шаг катушек по пазам, вылет лобовых частей и упростить конструкцию.

Рассмотрим случай использования трансформатора с вращающимся полем в полупроводниковом преобразователе, тогда трехфазная обмотка подключается к сети переменного тока, а полупроводниковый коммутатор - к кольцевой обмотке. При заданном вращении магнитного поля, создаваемого трехфазной обмоткой, полярность наводимого напряжения в витках кольцевой обмотки зависит от того, магнитный поток какого полюса проходит через них. Таким образом, во всех витках, через которые проходит магнитное поле одного полюса - будет одинаковая полярность напряжения. Главное отличие от якоря машин постоянного тока в том, что обмотки являются неподвижными - а перемещается (вращается) поле, одновременно с которым перемещается диаметральный ось симметрии (диагональ) индуцируемых ЭДС, которая перпендикулярна оси магнитных полюсов.

На фигуре 1 схематично изображена кольцевая обмотка трансформатора с вращающимся полем, имеющая распределенную пространственную конструкцию и

число полюсов равно двум ( $2p=2$ ). Изображены наведенные ЭДС и токи, образующие две параллельные равноценные ветви, направленных встречно, так что сумма ЭДС равна нулю - именно поэтому при соблюдении требования магнитной симметрии в кольцевых обмотка не возникает уравнивающих токов. Проводники кольцевой обмотки, в которых наводятся ЭДС, расположены по обе стороны от диагонали, которая делит их пополам. При вращении магнитного поля, в каждом проводнике наводится переменная ЭДС, а в месте совпадения с диагональю - проходит через ноль, далее меняет знак. Сумма ЭДС в катушках одного полюса примерно одинакова, не меняется во времени и снимается полупроводниковым коммутатором. Выделенные черным отводы обмотки - это текущая диагональ, отводы которой подключены полупроводниковым коммутатором к нагрузке.

На фигуре 2 схематично изображена кольцевая обмотка трансформатора с вращающимся полем, имеющая число полюсов, равное четырем ( $2p=4$ ). Здесь видно, что полупроводниковым коммутатором подключено 4 отвода кольцевой обмотки одновременно, при этом существует вместо одной - две диагонали, расположенные диаметрально друг к другу. Таким образом, для коммутации кольцевой обмотки при удвоенном числе полюсов потребуются удвоенное количество полупроводниковых ключей коммутатора - учитывая, что качество выходного напряжения (в случае выпрямителя это число пульсаций выходного напряжения за период питающей сети) пропорционально числу отводов обмотки, которое удваивается в этом случае для обеспечения того числа фаз схемы.

На фигуре 3 изображена принципиальная электрическая схема кольцевой обмотки с коммутатором четырех отводов кольцевой обмотки для случая двух магнитных полюсов ( $2p=2$ ). На фигуре 4 изображена принципиальная электрическая схема кольцевой обмотки с коммутатором для случая четырех пар полюсов ( $2p=4$ ). Из приведенных фигур видно, что количество ключей коммутатора удваивается для обеспечения того же числа пульсаций выпрямленного напряжения при четырех полюсах ( $2p=4$ ). Для случая реверсивного коммутатора изначально требуется в два раза больше полупроводниковых ключей, чем для неревверсивного. Тогда, применение многополюсной кольцевой обмотки с числом полюсов больше двух будет вести к значительному увеличению громоздкости полупроводникового коммутатора, и снижению его надежности - пропорционального увеличению числа ключей.

Предлагаемое решение направлено на уменьшение числа отводов кольцевой обмотки и числа коммутирующих полупроводниковых ключей при использовании многополюсной обмотки (например, число полюсов равное четырем  $2p=4$ ) в полупроводниковых преобразователях на базе трансформатора с вращающимся полем. В основу положен тот факт, что конструкция трансформатора с вращающимся магнитным полем обладает полной симметрией магнитной системы и электрических обмоток, а кольцевая обмотка является замкнутой при взаимном равенстве ЭДС секций, лежащих под одним полюсом. Таким образом, возможно объединение групп катушек, лежащих под разными полюсами, в общую секцию кольцевой обмотки, коммутируемую как единое целое при последовательном соединении упомянутых катушечных групп. Для этого достаточно реализовать такое последовательное соединение, когда упомянутые группы катушек двух полюсов будут иметь согласную полярность и равную ЭДС. Подобное соединение будет иметь свойство универсальности - возможно применение как в выпрямителях при питании трехфазной обмотки от сети переменного тока, так и в инверторах - когда упомянутое последовательное соединение групп катушек разных полюсов будет создавать равное симметричное поле магнитных

полюсов. Однако последовательное соединение подобных объединенных секций кольцевой обмотки в силу замкнутого характера электрической цепи должно сохранять свойство не только симметрии, но и равенства нулю суммарной ЭДС всех секций - что требует равенства числа витков в группах катушек.

5 На фигуре 5 изображена схема обычной двухслойной кольцевой обмотки, имеющей круговую симметрию и 8 отводов, подключаемых к внешнему полупроводниковому коммутатору, что для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами ( $2p=4$ ) равноценно числу фаз, равному  $m=2$ . Это означает, что число ключей удвоилось по сравнению со случаем трансформатора с двумя магнитными полюсами, при этом по  
10 основному параметру - числу пульсаций в режиме выпрямителя, или числу ступеней выходного напряжения для инвертора, оно будет эквивалентно кольцевой обмотке с 4 отводами. Здесь надо оговориться, что количество полупроводниковых ключей в коммутаторе для кольцевых обмоток итак является увеличенным, по сравнению с обмотками типа "звезда" или "треугольник". Это вызвано наличием диагонали кольцевой  
15 обмотки, и необходимостью коммутировать два отвода независимо для каждого такта преобразования. Число фаз кольцевой обмотки при этом также в два раза меньше числа ее отводов (для случая двух магнитных полюсов). Увеличение числа магнитных полюсов трансформатора при этом ведет к пропорциональному увеличению числа отводов кольцевых обмоток, без сопутствующего роста числа фаз. Более того, кольцевая обмотка  
20 при этом разбивается на секторы, количеством равном числу магнитных полюсов, которые коммутируются отдельно. В случае, например, полупроводникового выпрямителя это потребует применения уравнивающих цепей (дресселей) для распределения нагрузки по ветвям цепи.

На фигуре 6 изображена схема соединений катушечных групп кольцевой обмотки,  
25 для случая числа магнитных полюсов, равному четырем. Из схемы видно, что кольцевая обмотка имеет всего 4 отвода вместо 8 для обмотки, представленной на фигуре 5. При этом структура трансформатора с вращающимся полем имеет полную круговую симметрию магнитопровода, а кольцевая обмотка является равномерно распределенной по его окружности. Отсюда следует, что представленные схематично на фигуре 6  
30 катушечные группы чередуются, при этом условно выбранное расположение магнитных полюсов обозначено символами "+" и "-". Из схемы видно, что на одну пару полюсов приходится 4 катушечные группы (по 2 группы на полюс), что равноценно схеме с 4 отводами кольцевой обмотки. Катушки, входящие в состав одноименных полюсов (разных пар полюсов), в силу симметрии магнитной системы трансформатора имеют  
35 одинаковое значение ЭДС. Таким образом, включение их последовательно и согласно, с объединением в одну секцию предлагаемой многополюсной кольцевой обмотки позволяет уменьшить число отводов при сохранении качества работы. Включение групп катушек последовательно позволяет избавиться от необходимости применения внешних уравнивающих цепей на выходе полупроводникового преобразователя,  
40 поскольку ток в таком случае будет одинаковым для всех групп катушек.

На фигуре 7 изображена схема самой кольцевой многополюсной обмотки для случая четырех магнитных полюсов и 24 пазов магнитопровода. На схеме представлено не только расположение катушек, совпадающее с фигурой 5, но и соединения между катушечными группами. На фигуре 7 отображены также 4 отвода кольцевой  
45 многополюсной обмотки, и можно проследить связи между катушечными группами.

Отличие предлагаемого исполнения многополюсной кольцевой обмотки состоит в последовательном соединении групп катушек, лежащих под разными полюсами - с формированием секции обмотки, имеющей общий отвод. При этом суммарное



количество отводов многополюсной кольцевой обмотки равняется числу отводов обычной кольцевой обмотки при числе полюсов равном двум, что в результате и обеспечивает возможность получения многополюсной обмотки с уменьшенным шагом катушек по пазам без увеличения числа отводов. Технически, это означает, что при использовании в полупроводниковом преобразователе не требуется увеличения числа полупроводниковых ключей коммутатора и применения мер по выравниванию тока по ветвям обмотки.

Заявляемое решение является новым, имеющим следующие принципиальные отличия от прототипа:

- 10 - предложено использовать многополюсные обмотки для уменьшения вылета лобовых частей и шага катушек;
- использованная схема соединения катушечных групп позволяет сократить число отводов многополюсной кольцевой обмотки;
- уменьшается шаг катушек по пазам относительно прототипа, что упрощает технологию сборки по сравнению с диагональным шагом катушек прототипа;
- 15 - использованное последовательное соединение групп катушек разных полюсов в секции не требует выравнивания распределения токов по ветвям для многополюсной обмотки.

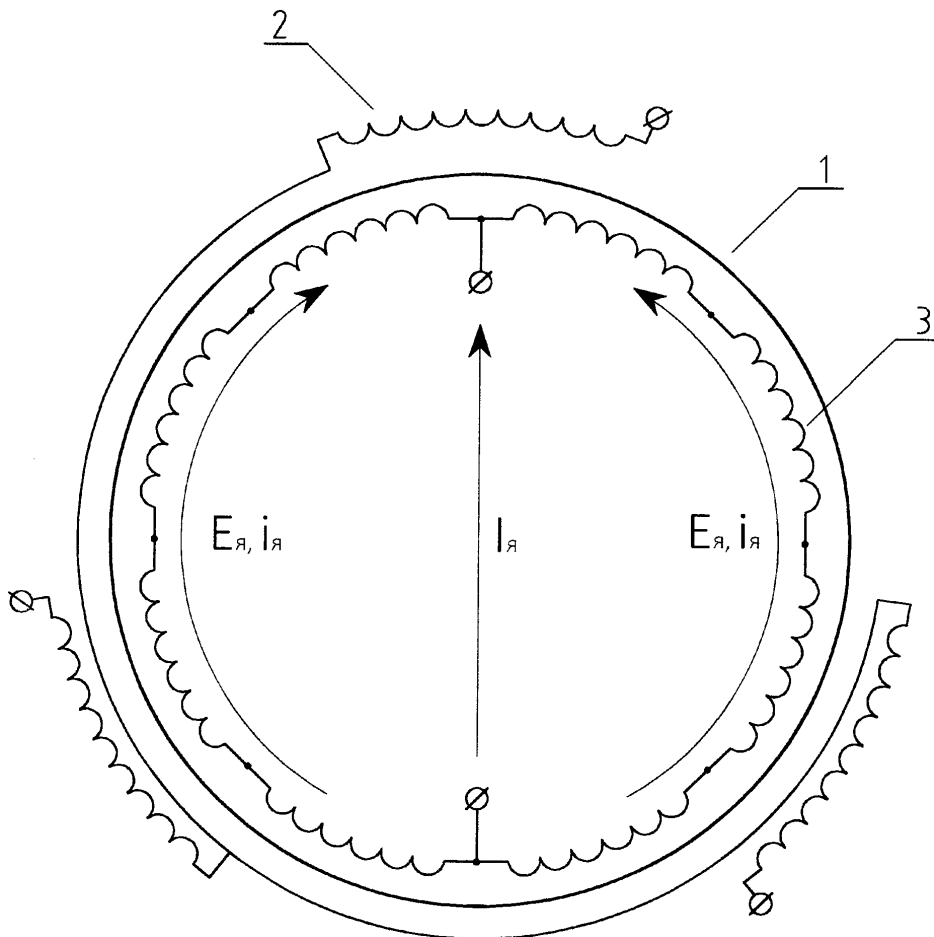
Таким образом, совокупность существенных признаков изобретения приводит к новому техническому результату - уменьшению числа коммутируемых отводов кольцевой обмотки, возможность использования большого числа магнитных полюсов в трансформаторе с вращающимся полем, упрощение технологии сборки.

Краткое описание чертежей. На фигуре 1 изображена схема трансформатора с вращающимся полем при числе магнитных полюсов равном двум. Здесь 1 - магнитопровод, 2 - трехфазная обмотка, 3 - кольцевая обмотка. На фигуре 2 изображена схема трансформатора с вращающимся полем при числе магнитных полюсов равном четырем. Здесь 1 - магнитопровод, 2 - трехфазная обмотка, 3 - кольцевая обмотка. На фигуре 3 изображена принципиальная схема коммутатора кольцевой обмотки при числе магнитных полюсов равном двум. На фигуре 4 изображена принципиальная схема коммутатора кольцевой обмотки при числе магнитных полюсов равном четырем. На фигуре 5 изображена схема обычной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами. На фигуре 6 изображена схема последовательности соединений катушечных групп в секциях многополюсной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами. На фигуре 7 изображена схема многополюсной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами.

#### (57) Формула изобретения

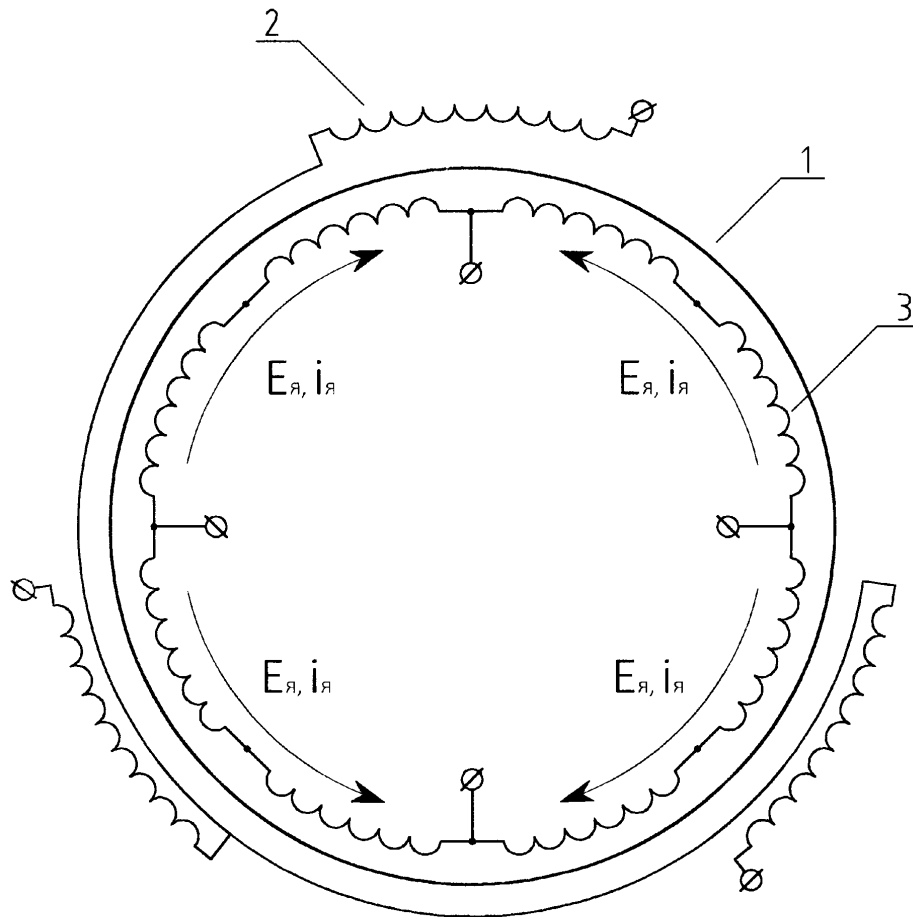
Многополюсная кольцевая замкнутая обмотка трансформатора с вращающимся магнитным полем, имеющая разбиение на секции, снабженные отводами, и отличающаяся тем, что катушечные группы упомянутой обмотки, относящиеся к одноименным полюсам, объединяются в секции при последовательном согласном включении.

## МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



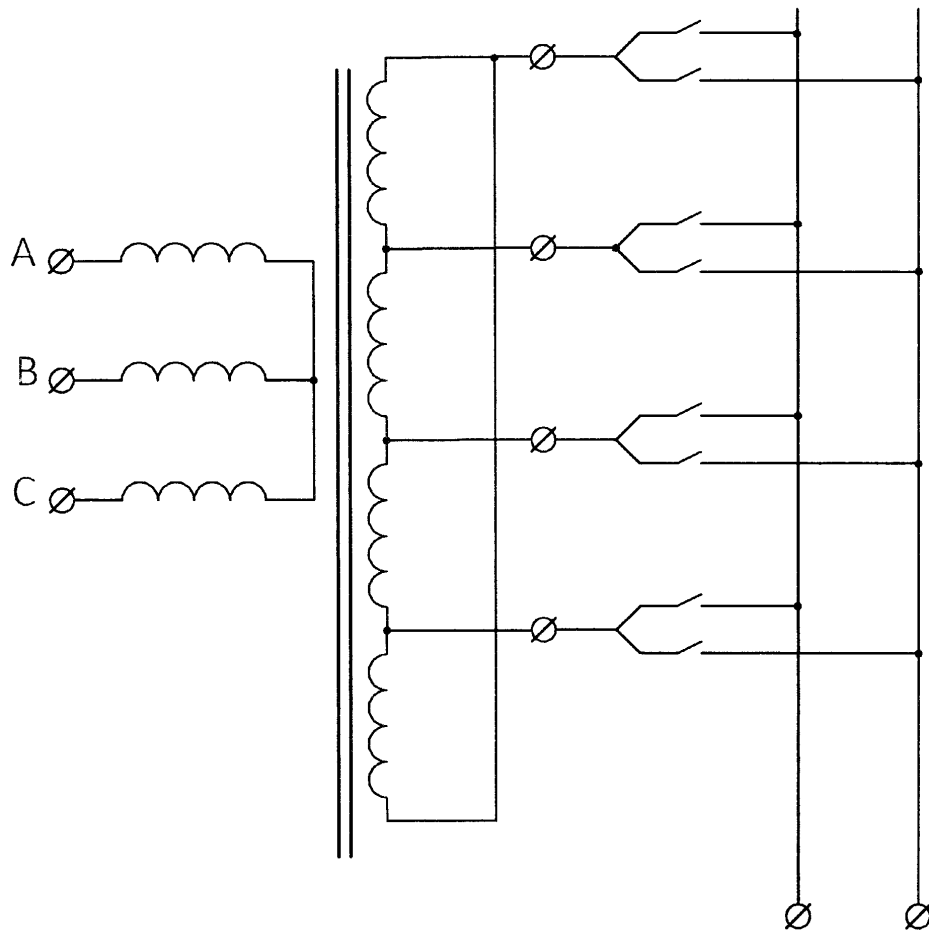
Фигура 1. Схема трансформатора с вращающимся полем при числе магнитных полюсов равном двум (1 – магнитопровод, 2 – трехфазная обмотка, 3 – кольцевая обмотка).

## МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



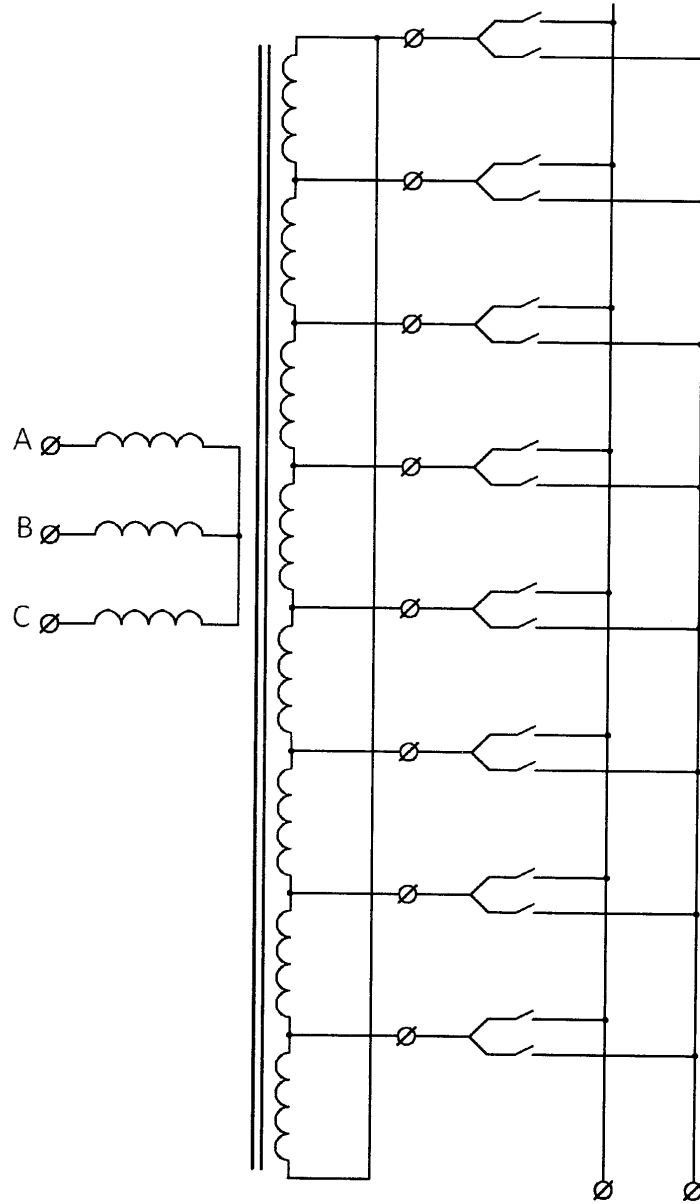
Фигура 2. Схема трансформатора с вращающимся полем при числе магнитных полюсов равном четырем (1 – магнитопровод, 2 – трехфазная обмотка, 3 – кольцевая обмотка).

МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



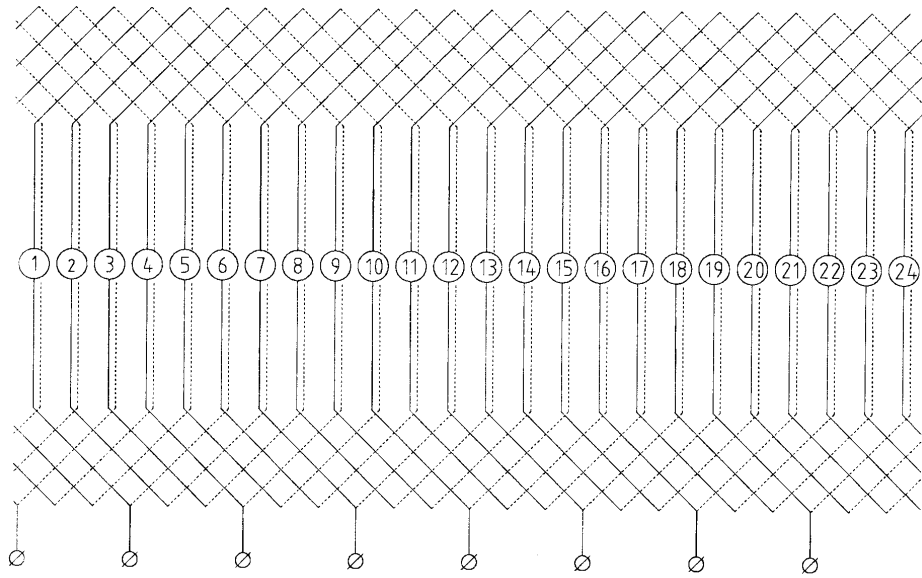
Фигура 3. Принципиальная схема коммутатора кольцевой обмотки при числе магнитных полюсов равном двум.

МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



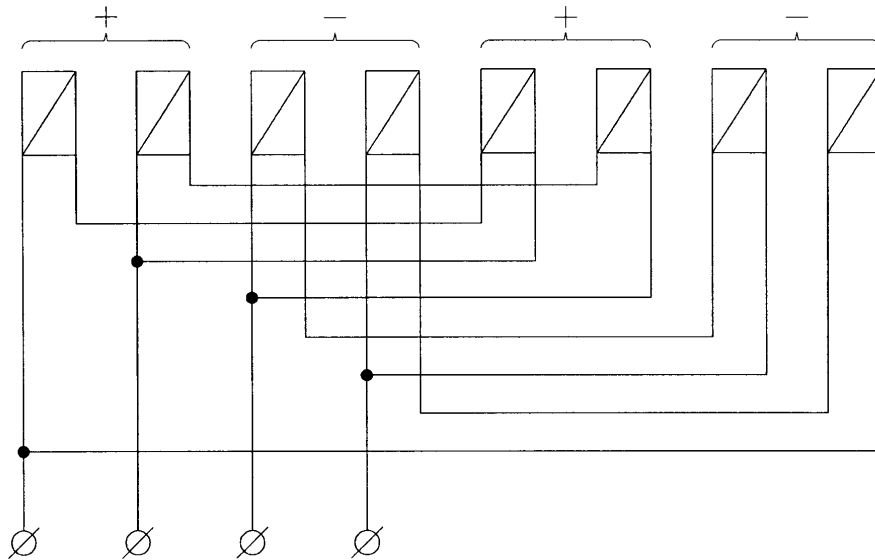
Фигура 4. Принципиальная схема коммутатора кольцевой обмотки при числе магнитных полюсов равном четырем.

МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



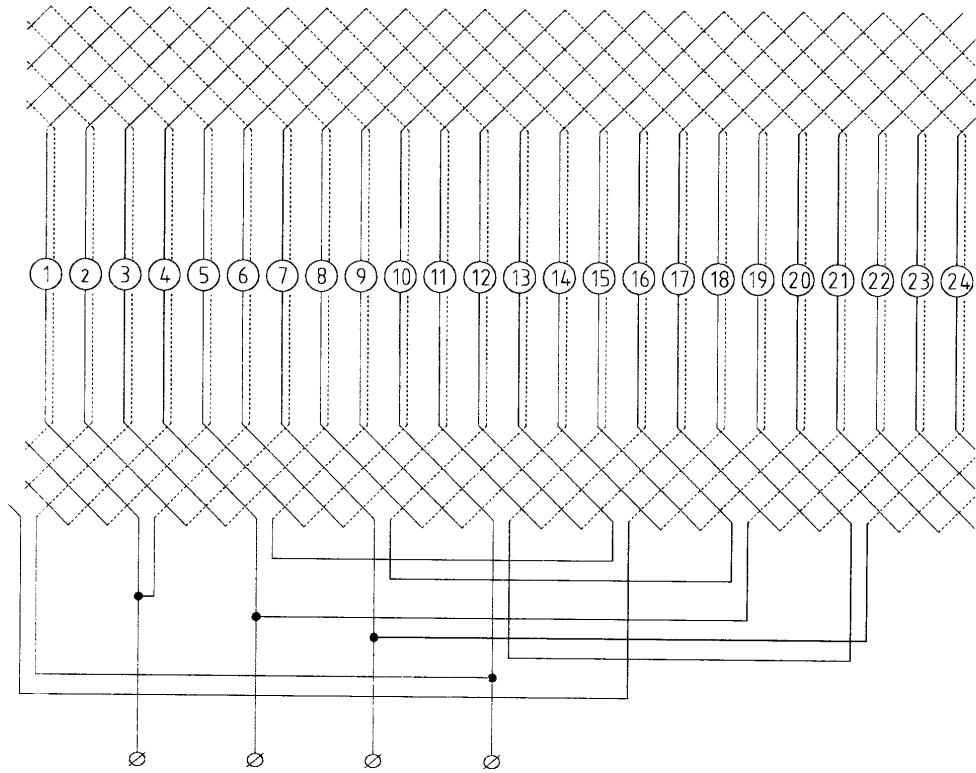
Фигура 5. Схема обычной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами.

МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



Фигура 6. Схема последовательности соединений катушечных групп в секциях многополюсной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами.

МНОГОПОЛЮСНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ ОБМОТКА



Фигура 7. Схема многополюсной кольцевой обмотки для случая трансформатора с четырьмя магнитными полюсами.