



(51) МПК
H01F 38/18 (2006.01)
H01F 30/12 (2006.01)
H01F 27/28 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014149800, 03.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 03.05.2013

Дата регистрации:
 11.09.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
 10.05.2012 FR 1254298

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2016 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 11.09.2017 Бюл. № 26

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
 национальной фазе: 10.12.2014

(86) Заявка РСТ:
 FR 2013/050987 (03.05.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
 WO 2013/167830 (14.11.2013)

Адрес для переписки:
 129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
 ООО "Юридическая фирма Городиский и
 Партнеры"

(72) Автор(ы):
 ДЮВАЛЬ Седрик (FR)

(73) Патентообладатель(и):
 ЛАБИНАЛЬ ПАУЭР СИСТЕМЗ (FR)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: JP 2008245484 A, 09.10.2008. US
 2011050377 A1, 03.03.2011. DE 19953583 C1,
 06.12.2001. EP 0688028 A1, 20.12.1995.
 RU2222066 C1, 20.01.2004.

**(54) МАГНИТНО-ЭКРАНИРОВАННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ВРАЩАЮЩИЙСЯ ТРАНСФОРМАТОР,
 ИМЕЮЩИЙ ТРИ МАГНИТНЫХ СЕРДЕЧНИКА**

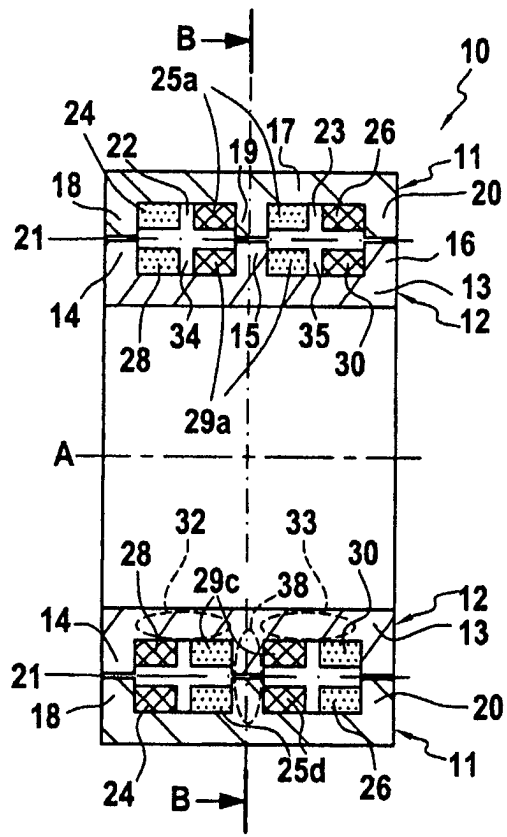
(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике. Технический результат состоит в упрощении изготовления. Трехфазный трансформатор (10) содержит первичную (11; 12) и вторичную (12; 11) части. Первичная часть (11) содержит первый корпус из ферромагнитного материала и первичные обмотки. Вторичная часть (12) содержит второй корпус из ферромагнитного материала и вторичные обмотки (28, 29а, 29с, 30). Первый корпус имеет первый кольцевой паз (22)

оси А и второй кольцевой паз (23) оси А. Первичные обмотки содержат первую тороидальную обмотку (24) оси А в первом пазе (22), вторую тороидальную обмотку (27) оси А во втором пазе (23) и одну или несколько третьих тороидальных обмоток (25а, 25d), соединенных последовательно. Третьи обмотки (25а, 25d) намотаны вокруг одной из упомянутых опор и проходят через пазы (36) в ней. 8 з.п. ф-лы, 14 ил.

RU 2 630 477 C2

RU 2 630 477 C2



ФИГ.3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01F 38/18 (2006.01)
H01F 30/12 (2006.01)
H01F 27/28 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014149800, 03.05.2013**

(24) Effective date for property rights:
03.05.2013

Registration date:
11.09.2017

Priority:

(30) Convention priority:
10.05.2012 FR 1254298

(43) Application published: **10.07.2016** Bull. № 19

(45) Date of publication: **11.09.2017** Bull. № 26

(85) Commencement of national phase: **10.12.2014**

(86) PCT application:
FR 2013/050987 (03.05.2013)

(87) PCT publication:
WO 2013/167830 (14.11.2013)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskiji Partnery"**

(72) Inventor(s):

DYUVAL Sedrik (FR)

(73) Proprietor(s):

LABINAL PAUER SISTEMZ (FR)

(54) **MAGNET-SCREENED THREE-PHASE ROTATING TRANSFORMER HAVING 3 MAGNETIC HEARTS**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: three-phase transformer (10) contains the primary (11; 12) and secondary (12; 11) parts. The primary part (11) comprises a first body of ferromagnetic material, and primary windings. The secondary part (12) comprises a second body of ferromagnetic material and secondary windings (28, 29a, 29c, 30). The first housing has a first annular groove (22) of the axis A and a second annular groove

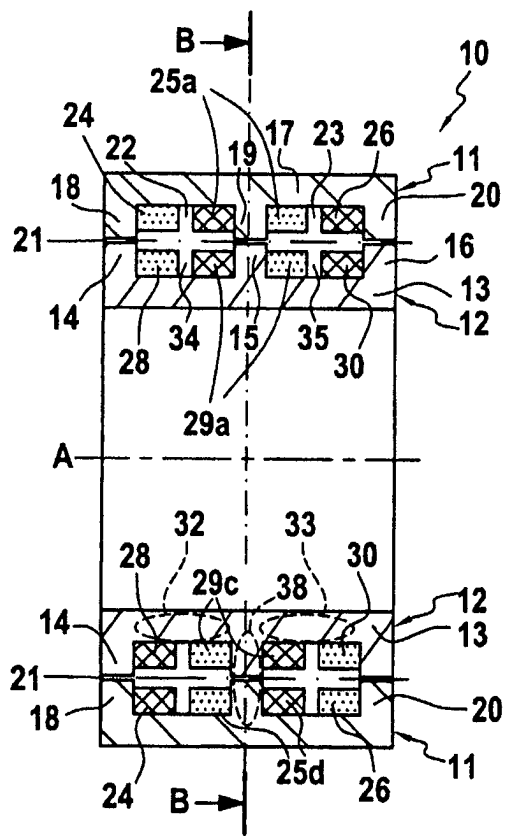
(23) of the axis A. The primary windings comprise the first toroidal winding (24) of the axis A in the first groove (22), the second toroidal winding (27) of the axis A in the second groove (23) and one or more third toroidal windings (25a, 25d) connected in series. The third windings (25a, 25d) are wound around one of the said supports and pass through the slots (36) therein.

EFFECT: simplification of manufacturing.

9 cl, 14 dwg

C 2
7 4 0 9 2
R U

R U
2 6 3 0 4 7 7
C 2



ФИГ.3

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение относится к общей области техники трансформаторов. В частности, изобретение относится к вращающемуся трехфазному трансформатору.

5 Вращающийся трехфазный трансформатор служит для передачи энергии и/или сигналов без контакта между двумя осями, вращающимися одна относительно другой.

На фиг. 1 и 2 показаны соответствующие вращающиеся трехфазные трансформаторы 1 предшествующего уровня техники.

Трансформатор 1 имеет три вращающихся однофазных трансформатора 2, соответствующих фазам U, V и W. Каждый вращающийся однофазный трансформатор 10 2 имеет часть 3 и часть 4, вращающиеся одна относительно другой вокруг оси A. Для примера, часть 3 - это статор, а часть 4 - ротор или наоборот. В одном из вариантов часть 3 и часть 4 - обе выполнены с возможностью вращения относительно неподвижной системы координат (не показана). В пазе 6, определяемом корпусом, изготовленным из ферромагнитного материала, части 3 размещается тороидальная обмотка 5. В пазе 15 8, определяемом корпусом, изготовленным из ферромагнитного материала, части 4 размещается тороидальная обмотка 7. Для каждого вращающегося однофазного трансформатора 2 обмотки 5 и 7 образуют первичную и вторичную обмотки (или наоборот).

На фиг. 1 показан вариант, именуемый "П-образным", в котором часть 3 окружает 20 часть 4 около оси A, а на фиг. 2 показан вариант, именуемый "Ш-образным" или "горшкообразным", в котором часть 3 и часть 4 находятся в осевом направлении одна рядом с другой.

Трехфазный трансформатор 1 по фиг. 1 или 2 имеет большой вес и объем, поскольку невозможно наилучшим образом использовать магнитные потоки каждой из фаз, в 25 отличие от статического трехфазного трансформатора с вынужденными потоками, в котором возможно связывать потоки. Кроме того, в примере по фиг. 2 необходимо использовать электрические проводники с сечениями, которые отличаются в зависимости от расстояния между осью вращения и фазой, чтобы сохранять сбалансированные сопротивления.

30 В документе US 2011/0050377 описывается трехфазный трансформатор с четырьмя стойками. Этот трансформатор имеет значительный вес и объем. В этом документе описывается также вращающийся трехфазный трансформатор с пятью стойками. Этот трансформатор имеет значительный вес и объем. Кроме того, в нем используется радиальная намотка, проходящая через пазы в центральных стойках магнитной цепи, 35 причем такая намотка является более сложной для выполнения, чем тороидальная намотка в трансформаторах по фиг. 1 и 2.

Таким образом, существует необходимость улучшить топологию трехфазного трансформатора.

ЗАДАЧА И СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

40 Изобретение обеспечивает трехфазный трансформатор, имеющий первичную часть и вторичную часть, где:

- первичная часть содержит первый корпус, изготовленный из ферромагнитного материала, и первичные обмотки, вторичная часть содержит второй корпус, изготовленный из ферромагнитного материала, и вторичные обмотки;

45 - первый корпус определяет первый кольцевой паз оси A и второй кольцевой паз оси A, причем первый паз определяется первой боковой опорой, центральной опорой и кольцом, а второй паз определяется центральной опорой, второй боковой опорой и кольцом; и

- первичные обмотки включают в себя первую тороидальную обмотку оси А в первом пазе, вторую тороидальную обмотку оси А во втором пазе, и одну или несколько третьих обмоток, соединенных последовательно, при этом упомянутые третьи обмотки намотаны вокруг одной из упомянутой опоры и проходят в пазах упомянутой опоры.

5 В этом трансформаторе, если трехфазные токи вынуждены течь в первичных обмотках в надлежащих направлениях, учитывая направления первичных обмоток, то магнитные потенциалы первой, второй и третьей первичных обмоток направлены к или от общей точки, приводя тем самым к связыванию потоков. Это позволяет трансформатору иметь меньшие размеры касательно объема и веса. Кроме того, в
10 первичной части трансформатора частично используются простые тороидальные обмотки оси А, позволяя таким образом его конструкции быть особенно простой.

В одном из вариантов осуществления упомянутые третьи обмотки намотаны вокруг упомянутой центральной опоры.

15 В одном из вариантов осуществления первичная часть и вторичная часть выполнены с возможностью вращения относительно друг друга вокруг оси А.

При таких обстоятельствах изобретение обеспечивает вращающийся трехфазный трансформатор, который, благодаря связыванию его потоков, имеет уменьшенный вес и объем, в частности, по сравнению с использованием трех однофазных вращающихся трансформаторов.

20 В одном из вариантов осуществления, второй корпус определяет первый кольцевой вторичный паз оси А и второй кольцевой вторичный паз оси А, причем первый вторичный паз определяется первой вторичной боковой опорой, вторичной центральной опорой и вторичным кольцом, а вторичный второй паз определяется вторичной
25 центральной опорой, второй вторичной боковой опорой и вторичным кольцом;

30 - вторичные обмотки включают в себя первую тороидальную вторичную обмотку оси А в первом вторичном пазе, вторую тороидальную вторичную обмотку оси А во втором вторичном пазе, и одну или несколько третьих вторичных обмоток, соединенных последовательно, при этом упомянутые третьи вторичные обмотки намотаны вокруг одной из упомянутых вторичных опор и проходят через пазы в упомянутой вторичной
35 опоре.

В этом варианте осуществления вторичная часть выполнена по тому же принципу, что и первичная часть. Вторичная часть, таким образом, также вносит вклад в ограничение веса и объема трансформатора и делает возможным изготовление трансформатора, используя только тороидальные обмотки оси А.

35 В одном из вариантов осуществления вторичная часть выполнена по принципу, который отличается от принципа первичной части. К примеру, для каждой фазы в ней используется одна или несколько обмоток, окружающих соответствующую опору.

40 В одном из вариантов осуществления первая боковая опора и первая вторичная боковая опора находятся на одной линии друг с другом и отделены воздушным зазором, первая центральная опора и первая вторичная центральная опора находятся на одной линии друг с другом и отделены воздушным зазором, и вторая боковая опора и вторая вторичная боковая опора находятся на одной линии друг с другом и отделены воздушным зазором.

45 Первичная часть может быть окружена вторичной частью относительно оси А или наоборот. Это соответствует изготовлению трансформатора, который именуется "П-образным".

Первичная часть и вторичная часть могут находиться в направлении оси А одна рядом с другой. Это соответствует изготовлению трансформатора, который именуется

"Ш-образным" или "горшкообразным".

В одном из вариантов осуществления первичная часть и вторичная часть являются неподвижными относительно друг друга. Статический трансформатор согласно изобретению имеет те же преимущества, что и вращающийся трансформатор согласно

5

изобретению. В одном из вариантов осуществления первый и второй корпуса, изготовленные из ферромагнитного материала, полностью окружают первичный и вторичные обмотки.

При таких обстоятельствах трансформатор является магнитно-экранированным.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

10

Другие характеристики и преимущества настоящего изобретения проявятся из нижеследующего описания, сделанного со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых показаны варианты исполнения, не имеющие ограничительного характера. На чертежах:

фиг. 1 и 2 - виды в разрезе соответствующих вращающихся трехфазных трансформаторов предшествующего уровня техники;

15

фиг. 3 и 4 - виды в разрезе магнитно-экранированного трехфазного вращающегося трансформатора с вынужденными связанными потоками в первом варианте осуществления изобретения;

фиг. 5 - вид в перспективе с пространственным разделением деталей магнитной цепи трансформатора по фиг. 3 и 4;

20

фиг. 6 - схема электрической цепи, на которой показаны соединения обмоток в трансформаторе по фиг. 3 и 4; и

фиг. 7 - вид в перспективе с пространственным разделением деталей магнитно-экранированного трехфазного вращающегося трансформатора с вынужденными связанными потоками во втором варианте осуществления изобретения;

25

фиг. 8 - вид в разрезе магнитно-экранированного трехфазного статического трансформатора с вынужденными связанными потоками в третьем варианте осуществления изобретения;

фиг. 9 - вид в разрезе магнитно-экранированного трехфазного вращающегося трансформатора с вынужденными связанными потоками в четвертом варианте осуществления изобретения;

30

фиг. 10 - вид в разрезе трехфазного вращающегося трансформатора с вынужденными связанными потоками в первом варианте осуществления, полезном для понимания изобретения;

фиг. 11 - вид в перспективе с пространственным разделением деталей магнитной цепи трансформатора по фиг. 10;

35

фиг. 12 - схема электрической цепи, на которой показана работа трансформатора по фиг. 10;

фиг. 13 - вид в перспективе с пространственным разделением деталей магнитной цепи трансформатора во втором варианте осуществления полезном для понимания изобретения, который может считаться вариантом трансформатора по фиг. 10; и

40

фиг. 14 - вид в разрезе вращающегося трансформатора с вынужденными связанными потоками в пятом варианте осуществления изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Фиг. 3 и 4 - виды в разрезе трансформатора 10 в первом варианте осуществления изобретения. Трансформатор 10 является магнитно-экранированным трехфазным вращающимся трансформатором с вынужденными связанными потоками.

45

Трансформатор 10 содержит часть 11 и часть 12, которые выполнены с возможностью вращения относительно друг друга вокруг оси А. Для примера, часть 11 - это статор,

а часть 12 - ротор или наоборот. В одном из вариантов часть 11 и часть 12 - обе выполнены с возможностью вращения относительно неподвижной системы координат (не показана).

5 Часть 12 содержит кольцо 13 оси А и три опоры 14, 15 и 16, выполненные из ферромагнитного материала. Каждая из опор 14, 15 и 16 проходит в радиальном направлении от оси А, начиная от кольца 13. Опора 14 находится на одном конце кольца 13, опора 16 находится на другом конце кольца 13, а опора 15 расположена между опорами 14 и 16. Кольцо 13 и опоры 14 и 15 определяют кольцевой паз 34, который открыт в направлении радиально наружу. Кольцо 13 и опоры 15 и 16 определяют
10 кольцевой паз 35, который открыт в направлении радиально наружу. В общем, кольцо 13 и опоры 14, 15 и 16 образуют корпус из ферромагнитного материала, определяющий два кольцевых паза 34 и 35, которые открыты в направлении радиально наружу.

Часть 11 содержит кольцо 17 оси А и три опоры 18, 19 и 20, выполненные из ферромагнитного материала. Кольцо 17 окружает кольцо 13. Каждая из опор 18, 19 и
15 20 проходит в радиальном направлении к оси А, начиная от кольца 17. Опора 18 находится на одном конце кольца 17, опора 20 находится на другом конце кольца 17, а опора 19 расположена между опорами 18 и 20. Кольцо 17 и опоры 18 и 19 определяют кольцевой паз 22, который открыт в направлении радиально внутрь. Кольцо 17 и опоры 19 и 20 определяют кольцевой паз 23, который открыт в направлении радиально внутрь.
20 В общем, кольцо 17 и опоры 18, 19 и 20 образуют корпус из ферромагнитного материала, определяющий два кольцевых паза 22 и 23, которые открыты в направлении радиально внутрь.

Опоры 14 и 18, 15 и 19, а также 16 и 20 обращены друг к другу таким образом, чтобы определять воздушный зазор 21, формируя тем самым стойки трансформатора 10.

25 Кольца 13 и 17 вместе с опорами 14-16 и 18-20 образуют магнитную цепь трансформатора 10. Трансформатор 10 является, таким образом, трансформатором с тремя стойками. Точнее, магнитная цепь трансформатора 10 имеет первую стойку (соответствующую опорам 14 и 18), вторую стойку (соответствующую опорам 15 и 19) и третью стойку (соответствующую опорам 16 и 20).

30 Трансформатор 10 содержит обмотки 24, 25а, 25b, 25с, 25d и 26, закрепленные на части 11, и обмотки 28, 29а, 29b, 29с, 29d и 30, закрепленные на части 12. Ниже система обозначений p и s используется со ссылкой на конфигурацию, в которой обмотки с 24 по 26 являются первичными обмотками трансформатора 10, а обмотки с 28 по 30 являются вторичными обмотками трансформатора 10. Тем не менее, первичные и
35 вторичные могут быть, естественно, поменяны местами по сравнению с описанным примером.

Обмотка 24 является тороидальной обмоткой оси А, соответствующей фазе U_p трансформатора 10. Она находится в пазе 22 и имеет n_1 витков.

40 Обмотки 25а, 25b, 25с и 25d соединены последовательно и соответствуют фазе V_p трансформатора 10. Каждая из обмоток 25а, 25b, 25с и 25d окружает часть опоры 19, проходя через пазы 36, выполненные в опоре 19, как показано на фиг. 4. Вместе обмотки 25а, 25b, 25с и 25d имеют n_1 витков.

Наконец, обмотка 26 является тороидальной обмоткой оси А, соответствующей фазе
45 W_p трансформатора 10. Она находится в пазе 23 и имеет n_1 витков.

Другими словами, намотка фаз U_p и W_p является кольцевой, вокруг оси А, тогда как намотка фазы V_p происходит в радиальном направлении вокруг центральной стойки (соответствующей опорам 15 и 19).

Термин "тороидальная обмотка оси А" используется для обозначения обмотки, имеющей витки, намотанные вокруг оси А. Термин "тороидальный" не используется в ограничительном значении, относящемся к объемной фигуре, создаваемой вращением круга вокруг оси. Напротив, в показанных примерах сечение тороидальной обмотки
5 может быть, в частности, прямоугольным.

Обмотка 28 является тороидальной обмоткой оси А, соответствующей фазе U_p трансформатора 10. Она находится в пазах 34 и имеет n_2 витков.

Обмотки 29а, 29b, 29с и 29d соединены последовательно и соответствуют фазе V_s трансформатора 10. Каждая из обмоток 29а, 29b, 29с и 29d окружает часть опоры 15,
10 проходя через пазы 37, выполненные в опоре 15, как показано на фиг. 4. Вместе обмотки 29а, 29b, 29с и 29d имеют n_2 витков.

Наконец, обмотка 30 является тороидальной обмоткой оси А, соответствующей фазе W_s трансформатора 10. Она находится в пазах 35 и имеет n_2 витков.

Другими словами, как и в первичной части, намотка фаз U_s и W_s является кольцевой, вокруг оси А, тогда как намотка фазы V_s происходит в радиальном направлении вокруг
15 центральной стойки (соответствующей опорам 15 и 19).

Обмотки 24 и 28 окружают магнитный сердечник 32, расположенный в кольце 13. Термин "магнитный сердечник" используется для обозначения части магнитной цепи,
20 в которой поток одного и того же направления, создаваемый обмоткой, преобладает. Электрические токи, текущие в обмотках 24 и 28, таким образом, соответствуют магнитным потенциалам в магнитном сердечнике 32. Соответствующим образом, обмотки 26 и 30 окружают магнитный сердечник 33, расположенный в кольце 13. Электрические токи, текущие в обмотках 26 и 30, таким образом, соответствуют
25 магнитным потенциалам в магнитном сердечнике 33. Кроме этого, обмотки 25а, 25b, 25с, 25d, 29а, 29b, 29с и 29d окружают магнитный сердечник 38, расположенный в центральной стойке, образованной опорами 15 и 19.

Таким образом, трансформатор 410 имеет три магнитных сердечника: осевые сердечники 32 и 33 и радиальный сердечник 38 вдоль центральной стойки.

Фиг. 5 - вид в перспективе с пространственным разделением деталей магнитной цепи трансформатора 10.
30

Далее со ссылкой на фиг. 6 следует объяснение того, как работает трансформатор 10. На фиг. 6 используется следующая система обозначений:

- A_p , B_p , и C_p - точки ввода первичных обмоток трансформатора 10; фазы U, V и W
35 по фиг. 3 соотносятся соответствующим образом с фазами А, В и С по фиг. 6, но возможны и все другие типы соответствия, при условии, что такое же соответствие используется для вторичной части;

- I_{ap} , I_{bp} и I_{cp} - соответствующие входящие токи в точках A_p , B_p и C_p ;

- O_{ap} , O_{bp} и O_{cp} - точки соединения, делающие возможным электрические соединения,
40 тождественные всем видам статического трехфазного трансформатора (звезда-звезда, звезда-треугольник, треугольник-треугольник, треугольник-звезда, зигзаг, ...);

- черные точки показывают взаимосвязь между током, текущим в обмотке, и направлением соответствующего магнитного потенциала;

- P_a , P_b и P_c - магнитные потенциалы в сердечниках 32, 38 и 33, соотносящиеся,
45 соответственно, с токами I_{ap} , I_{bp} и I_{cp} ;

- A_s , B_s , C_s , O_{as} , O_{bs} и O_{cs} - точки вывода и точки для соединения с вторичной частью.

Как показано на фиг. 6, для тока I_{ap} обмотка 24 соответствует осевому магнитному

потенциалу Pa, направленному в магнитном сердечнике 32 вправо. Обмотки 25a, 25b, 25c и 25d соответствуют, для тока I_{bp} , радиальному магнитному потенциалу Pb, направленному в магнитном сердечнике 38 вниз. Наконец, для тока I_{cp} обмотка 26 соответствует осевому магнитному потенциалу Pc, направленному в магнитном сердечнике 33 влево. Магнитные потенциалы Pa, Pb и Pc равны по модулю и противоположны по направлению на каждом магнитном сердечнике, и они симметричны относительно точки симметрии 39, находящейся на пересечении трех сердечников.

В одном из вариантов, который не показан, направления намотки обмоток и/или их точки подсоединения отличаются, так что магнитные потенциалы Pa, Pb и Pc направлены в противоположных по сравнению с показанным примером направлениях.

Эта конфигурация делает возможным правильное связывание потоков. Точнее, топология трансформатора 10 позволяет получать коэффициент связи 3/2.

В показанном варианте осуществления трансформатор 10 имеет четыре первичные обмотки с 25a по 25d, соединенные последовательно, и четыре вторичные обмотки с 29a по 29d, соединенные последовательно. В одном из вариантов количество обмоток на центральной стойке могло бы быть больше либо меньше. На центральной стойке для первичной части и для вторичной части может быть разное количество обмоток.

В показанном примере пазы 36 и 37 выполнены в центральной стойке (опоры 15 и 19). Обмотки с 25a по 25d и с 29a по 29d, таким образом, окружают центральную стойку, а в центральной стойке находится магнитный сердечник 38. В одном из вариантов, который не показан, пазы 36 и 37 выполнены в одной из боковых стоек (опоры 14 и 18 или 16 и 20). Обмотки с 25a по 25d и с 29a по 29d, таким образом, окружают одну из боковых стоек, а магнитный сердечник 38 находится в этой боковой стойке. Однако такой вариант не является магнитно-экранированным.

Трансформатор 10 имеет несколько преимуществ.

В частности, видно, что магнитная цепь полностью окружает обмотки с 24 по 30. Трансформатор 10 является, таким образом, магнитно-экранированным. Кроме того, некоторые из обмоток с 24 по 30 являются тороидальными обмотками оси A. Таким образом, трансформатор 10 позволяет использовать обмотки простой формы.

Помимо этого, фазы трансформатора 10 могут быть сбалансированы по индуктивности и по сопротивлению.

Для того чтобы получить теоретический коэффициент связи и баланс трех фаз, достаточно, чтобы магнитные сопротивления между средней точкой кольца 17 и средней точкой кольца 13 и проходящие через каждую из стоек были тождественными.

Если воздушный зазор создает магнитными сопротивления, которые являются большими в сравнении с магнитными сопротивлениями колец 13 и 17, то магнитные сопротивления колец можно игнорировать, и поэтому для стоек, имеющих одинаковое магнитное сопротивление, возможно получать частичную балансировку. В таком случае магнитную цепь можно проектировать особенно просто.

Один возможный улучшенный вариант осуществления, обеспечивающий получение лучшего баланса, состоит в небольшом увеличении магнитного сопротивления центральной стойки, чтобы компенсировать дисбаланс в магнитных сопротивлениях вследствие вторичных магнитных сопротивлений (магнитного сопротивления кольца, магнитного сопротивления опор, ...). Чтобы это сделать, возможно, среди прочего, немного уменьшить ширину средней стойки или немного увеличить воздушный зазор в центральной стойке по сравнению с другими стойками.

Также следует учитывать магнитное сопротивление пазов 36 и 37.

В конечном счете, трансформатор 10 имеет уменьшенный вес и объем.

Конкретно, если сравнивать трансформатор 10 с трансформатором 1 по фиг. 1 или 2, и предполагая, что он спроектирован обеспечивать такую же производительности, можно сделать следующие допущения.

5 Проводящий материал. Пусть Q - количество проводящего материала в обмотке одного из трех однофазных трансформаторов трансформатора 1. Тогда количество проводящего материала в обмотках трансформатора 1 равно $3Q$.

Магнитный материал. Если одно и то же магнитное сопротивление Re относится к каждой стойке, каждый однофазный трансформатор трансформатора 1 имеет общее магнитное сопротивление магнитной цепи близкое к $2Re$. Для трансформатора 10 общее магнитное сопротивление магнитной цепи близко к $(3/2)Re$.

10 Для трансформатора 10 с таким же током намагничивания и таким же количеством витков n_1 как для трансформатора 1, поле индукции и поток, соответственно, удваиваются. Конкретно, для трансформатора 1 коэффициент умножения составляет 0,5 (т.е. коэффициент связи равный единице, деленный на показатель магнитного сопротивления, равный двум), а для трансформатора 10 со связанными потоками поправочный коэффициент равен единице (т.е. коэффициент связи, равный $3/2$, деленный на показатель магнитного сопротивления, равный $3/2$). Показатель, соответственно, фактически равен 2 ($1/0,5$). Это свойство позволяет приблизительно оценивать возможности оптимизации трансформатора 10 в сравнении с трансформатором 1 для одной и той же производительности.

Решено уменьшить количество витков в $\sqrt{2}$ раза, обуславливая тем самым увеличение поля индукции в $\sqrt{2}$ раза, позволяя в то же время иметь такое же напряжение для того же тока намагничивания.

25 Для конструкции, имеющей одинаковые потери в джоулях и одинаковое сопротивление фаз, это дает следующее:

- для обмотки 24 нужно в $\sqrt{2}$ раз меньше витков, и, соответственно, количество проводящего материала составляет $Q/\sqrt{2}$. Для постоянных потерь в джоулях, сопротивление (pI/S) тоже делится на $\sqrt{2}$ (длина, деленная на $\sqrt{2}$), так что для сохранения потерь в джоулях возможно делить сечение на $\sqrt{2}$ для тех же тока нагрузки, тока намагничивания и напряжения (на практике экономия может быть не такой большой, поскольку необходимо избегать местного перегрева, который зависит от теплопроводности). Количество проводящего материала для обмотки 24 составляет, таким образом, $Q/2$. Такое же рассуждение применимо к обмотке 26;

35 - для обмоток 25a, 25b, 25c и 25d нужно в $\sqrt{2}$ раз меньше витков, и, соответственно, количество проводящего материала составляет $2*Q/\sqrt{2}=\sqrt{2}*Q$. При постоянных потерях в джоулях, поскольку длина умножается на $\sqrt{2}$ в сравнении с П-образным однофазным трансформатором, то сечение умножается на $\sqrt{2}$. В результате, эти обмотки требуют количество проводящего материала равное $2Q$.

40 Для постоянного сопротивления фаз для трансформатора 10 общее количество проводящего материала составляет, таким образом: $Q/2+2Q+Q/2=3*Q$. Для трансформатора 1 количество проводящего материала было $3*Q$, т.е. таким же количеством. Для сравнения, для статического трехфазного трансформатора количество проводящего материала составляет $3Q/2$.

45 Касательно потерь в сердечнике, то несмотря на увеличение поля B индукции, предполагается, что его увеличение в $\sqrt{2}$ раза позволяет оставаться в ненасыщенных условиях (высокое магнитное сопротивление воздушного зазора благоприятствует проектированию трансформатора 10 со слабым полем индукции в магнитном материале, причем для снижения его магнитного сопротивления необходимо увеличивать площадь

воздушного зазора, а это требует увеличения площади магнитного материала).

Потери от гистерезиса задаются формулой $K_H V^2 f * V$, а потери по току задаются формулой $K_F V^2 f^2 * V$,

5

где

V - объем;

f - частота использования;

V - максимальное значение поля индукции;

10

K_H - постоянная, связанная с магнитными материалами и с конструкцией магнитной цепи;

K_F - постоянная, связанная с магнитными материалами и с конструкцией магнитной цепи.

15

Таким образом, при замене стандартного вращающегося трансформатора 1 на трехфазный трансформатор 10 с вынужденным потоком потери на единицу объема в два раза выше ($(\sqrt{2}B)^2 = 2B^2$).

20

Если оценивать экономию на объеме магнитной цепи, то можно подсчитать, что объем снижается примерно на 42%, что означает наличие общего уменьшения для потерь в сердечнике около 16% ($(0,58*2=1,16)$). Это, естественно, зависит от первоначальных габаритов. Для вращающегося трансформатора потери в сердечнике гораздо меньше, чем джоулевы потери и, соответственно, можно считать, что увеличение суммарных потерь (менее 8%) является пренебрежимо малым.

25

На фиг. 7 показана магнитная цепь трансформатора (не показан) во втором варианте осуществления. Трансформатор можно считать "Ш-образным" или "горшкообразным" вариантом "П-образного" трансформатора 10 по фиг. 3. Поэтому и на фиг. 7, и фиг. 3 используются те же ссылки, без риска путаницы, и подробное описание трансформатора во втором варианте осуществления опущено. Просто утверждается, что ссылки 13 и 17 соответствуют двум расположенным на расстоянии друг от друга в осевом направлении кольцам, опоры с 14 по 16 и с 18 по 20 проходят в осевом направлении между двумя кольцами 13 и 17, и что магнитные сердечники в этом примере находятся в стойках.

30

35

На фиг. 8 показан трансформатор 110 в третьем варианте осуществления изобретения. Трансформатор 110 можно рассматривать в качестве статического трансформатора, соответствующего вращающемуся трансформатору 10 по фиг. 3. Поэтому, чтобы обозначать элементы, которые тождественны или подобны элементам по фиг. 3, на фиг. 8 используются такие же ссылки, как на фиг. 3, с добавлением ссылки 100.

40

Трансформатор 110 имеет кольцо 113 вокруг оси А, три опоры 114, 115 и 116 и кольцо 117 из ферромагнитного материала вокруг оси А. Каждая из опор 114, 115 и 116 проходит в радиальном направлении от оси А, начиная от кольца 113. Опора 114 находится на одном конце кольца 113, опора 116 находится на другом конце кольца 113, а опора 115 расположена между опорами 114 и 116. Кольцо 117 окружает кольцо 113 и опоры с 114 по 116, определяя воздушный зазор 121.

45

Кольца 113 и 117 вместе со опорами с 114 по 116 образуют магнитную цепь трансформатора 110 с тремя стойками. Точнее, магнитная цепь трансформатора 110 имеет первую стойку (соответствующую опоре 114), вторую стойку (соответствующую опоре 115) и третью стойку (соответствующую опоре 116).

Магнитная цепь трансформатора 110 определяет паз 122 между двумя кольцами, первой стойкой и второй стойкой, и паз 123 между двумя кольцами, второй стойкой и

третьей стойкой.

Как показано на фиг. 8, трансформатор 110 имеет обмотки 124, 125а, 125d (вместе с двумя не показанными обмотками), 126, 128, 129а, 139с (вместе с двумя не показанными обмотками) и 130, соответствующие обмоткам с 24 по 30 трансформатора 10.

5 Трансформатор 110 является магнитно-экранированным трехфазным статическим трансформатором с вынужденными связанными потоками и магнитной цепью с тремя стойками. Его работа и преимущества подобны трансформатору 10 по фиг. 3.

На фиг. 9 показан трансформатор 210 в четвертом варианте осуществления изобретения. Трансформатор 210 можно рассматривать в качестве магнитно не
10 экранированного варианта магнитно-экранированного трансформатора 110 по фиг. 8. Поэтому на фиг. 9 используются те же ссылки, что и фиг. 8, без риска путаницы, и подробное описание трансформатора 210 опущено. Просто утверждается, что магнитная цепь трансформатора 210 не полностью окружает обмотки 124, 128, 126 и 130, и что трансформатор 210 поэтому не является магнитно-экранированным в отличие от
15 трансформатора 110.

Фиг. 10 - вид в разрезе трансформатора 310 в первом варианте осуществления, полезном для понимания изобретения. Трансформатор 310 можно рассматривать в качестве трехфазного вращающегося трансформатора с вынужденными связанными потоками, и его можно рассматривать в качестве варианта трансформатора 10 по фиг.
20 3. Таким образом, элементы на фиг. 10 (и на фиг. с 11 по 13), которые тождественны или подобны элементам трансформатора 10 по фиг. 3, обозначены теми же ссылками, без риска путаницы. Конкретные признаки трансформатора 310 описаны ниже более подробно.

Вместо тороидальной обмотки 24 трансформатор 310 имеет четыре обмотки, из
25 которых обмотка 324а и обмотка 324d показаны на фиг. 10, эти обмотки соединены последовательно и размещаются в пазах 436, выполненных в опоре 18 (пазы 36 можно видеть на фиг. 11). Соответствующим образом, вместо тороидальной обмотки 28 трансформатор 310 имеет четыре обмотки, из которых обмотка 328а и обмотка 328d показаны на фиг. 10, эти обмотки соединены последовательно и размещаются в пазах
30 37, выполненных в опоре 15.

Аналогично, вместо тороидальной обмотки 26 трансформатор 310 имеет четыре обмотки, из которых обмотка 326а и обмотка 326d показаны на фиг. 10, эти обмотки соединены последовательно и размещаются в пазах 36, выполненных в опоре 20. Соответствующим образом, вместо тороидальной обмотки 30 трансформатор 310
35 имеет четыре обмотки, из которых обмотка 330а и обмотка 330d показаны на фиг. 10, эти обмотки соединены последовательно и размещаются в пазах 37, выполненных в опоре 16.

Другими словами, подобно центральной фазе боковые фазы намотаны уже не вокруг оси вращения А, а в радиальном направлении вокруг каждой из стоек. Трансформатор
40 310, таким образом, имеет три радиальных магнитных сердечника: сердечник 38 в центральной стойке, образованной опорами 15 и 19, сердечник 39 в стойке, образованной опорами 14 и 18, и сердечник 40 в стойке, образованной опорами 16 и 20.

На фиг. 12 используется такая же система обозначений, как на фиг. 6, и она иллюстрирует работу трансформатора 310.

45 На фиг. 12 обмотки 324а, 324d и обмотки, которые не показаны и соединены с ними, соответствуют, для тока $I_{ар}$ радиальному магнитному потенциалу P_a , направленному в магнитном сердечнике 39 к оси А. Аналогично, обмотки 25а, 25b, 25с и 25d соответствуют, для тока $I_{бр}$, радиальному магнитному потенциалу P_b , направленному

в магнитном сердечнике 38 вниз к оси А. Наконеч, обмотки 326а, 326d и обмотки, которые не показаны и соединены с ними, соответствуют, для тока I_{cp} радиальному магнитному потенциалу P_c , направленному в магнитном сердечнике 40 к оси А.

Магнитные потенциалы P_a , P_b и P_c равны по модулю, и они все направлены к оси А. В одном из вариантов, который не показан, магнитные потенциалы P_a , P_b и P_c имеют противоположное относительно показанного примера направление, т.е. они все направлены от оси А.

Эта конфигурация делает возможным правильное связывание потоков. Точнее, топология трансформатора 310 позволяет получать такой же коэффициент связи $3/2$, как и в описанном выше трансформаторе 10. Для того, чтобы получить теоретический коэффициент связи и баланс трех фаз, достаточно, чтобы магнитные сопротивления между средней точкой кольца 17 и средней точкой кольца 13 и проходящие через каждую из стоек были тождественными.

Трансформатор 310 имеет такие же преимущества, как трансформатор 10, за исключением использования тороидальных обмоток. В частности, трансформатор 310 позволяет получить связывание фаз, что обеспечивает получение мультипликативного коэффициента $3/2$.

В показанном варианте осуществления трансформатор 310 содержит, для каждой фазы, четыре первичные обмотки (обмотки с 25а по 25d для центральной фазы), соединенные последовательно, и четыре вторичные обмотки (обмотки с 29а по 29d для центральной фазы), соединенные последовательно. В одном из вариантов количество обмоток на каждой стойке могло бы быть больше либо меньше. На каждой стойке для первичной части и для вторичной части может быть разное количество обмоток.

Трансформатор 310, показанный на фиг. с 10 по 12, является "П-образным" трансформатором. В одном из вариантов, который не показан, "Ш-образный" или "горшкообразный" трансформатор имел бы подобную топологию. При таких обстоятельствах магнитные сердечники были бы осевыми. На фиг. 13 в перспективе с пространственным разделением деталей показана магнитная цепь, подходящая для изготовления такого "Ш-образного" варианта. Элементы, соответствующие элементам по фиг. 11, обозначены такими же ссылками, без риска путаницы.

В трансформаторе 10 по фиг. 3 и в трансформаторе 310 по фиг. 10 обмотки делают возможным воспроизведение трехфазных потоков в трех стойках трансформатора таким образом, который эквивалентен трехфазному статическому трансформатору с вынужденными связанными потоками. Аналогично, в "Ш-образных" вариантах трансформатора (не показаны, но основаны на магнитной цепи по фиг. 7 или по фиг. 13 соответственно), обмотки делают возможным воспроизведение трехфазных потоков в трех стойках трансформатора таким образом, который эквивалентен трехфазному статическому трансформатору с вынужденными связанными потоками.

Таким образом, первичные обмотки и вторичные обмотки этих трансформаторов являются совместимыми. В общем, первичная часть трансформатора 10 совместима с любой вторичной частью топологии, позволяя воспроизводить трехфазные потоки в трех стойках таким образом, который эквивалентен трехфазному статическому трансформатору с вынужденными связанными потоками. Соответственно, в трансформаторе 10 первичная часть и вторичная часть выполнены по одному и тому же принципу. Тем не менее, в одном из вариантов первичная часть или вторичная часть могли бы быть выполнены по другому принципу, например, по принципу трансформатора 310 по фиг. с 10 по 12.

Фиг. 14 - вид в разрезе трансформатора 410 в пятом варианте осуществления

изобретения, используя первичную часть трансформатора 10 и вторичную часть трансформатора 310. Поэтому на фиг. 14 используются те же ссылки, что и на фиг. 3 или на фиг. 10, и подробное описание опущено.

Известным образом, трансформатор может иметь множество вторичных частей.

5 Таким образом, в не показанном варианте осуществления обмотки каждой вторичной части могут быть изготовлены одновременно, используя принцип трансформатора 10 и принцип трансформатора 310, на общем корпусе, при условии, что он имеет необходимые пазы в его опорах для прохождения обмоток, используя принцип трансформатора 310.

10

(57) Формула изобретения

1. Трехфазный трансформатор (10, 110, 210, 410), имеющий первичную часть (11; 12) и вторичную часть (12; 11), имеющие общую ось А симметрии, где:

15 - первичная часть (11) содержит первый корпус, изготовленный из ферромагнитного материала, и первичные обмотки (24, 25a, 25b, 25c, 25d, 26; 124, 125a, 125d, 126), вторичная часть (12) содержит второй корпус, изготовленный из ферромагнитного материала, и вторичные обмотки (128, 129a, 129c, 130);

20 - первый корпус определяет первый кольцевой паз (22) оси А и второй кольцевой паз (23) оси А, причем первый паз (22) определяется первой боковой опорой (18; 114), центральной опорой (19; 115) и кольцом (17; 113), а второй паз (23) определяется центральной опорой (19; 115), второй боковой опорой (20; 116) и кольцом (17; 113);

25 - первичные обмотки включают в себя первую тороидальную обмотку (24, 124) оси А в первом пазе (22), вторую тороидальную обмотку (26, 126) оси А во втором пазе (23), и одну или несколько третьих обмоток (25a, 25b, 25c, 25d; 125a, 125d), соединенных последовательно, при этом упомянутые третьи обмотки намотаны вокруг одной из упомянутых опор и проходят в пазах (36) упомянутой опоры.

2. Трансформатор (10, 110, 210, 410) по п. 1, в котором упомянутые третьи обмотки намотаны вокруг упомянутой центральной опоры (19, 115).

30 3. Трансформатор (10, 410) по п. 1 или 2, в котором первичная часть (11; 12) и вторичная часть (12; 11) выполнены с возможностью вращения относительно друг друга вокруг оси А.

4. Трансформатор (10) по п. 3, в котором второй корпус определяет первый кольцевой вторичный паз (34) оси А и второй кольцевой вторичный паз (35) оси А, причем первый вторичный паз (34) определяется первой вторичной боковой опорой (14), центральной вторичной опорой (15) и вторичным кольцом (13), а второй вторичный паз (35) определяется центральной вторичной опорой (15), второй вторичной боковой опорой (16) и вторичным кольцом (13);

40 - вторичные обмотки включают в себя первую тороидальную вторичную обмотку (28) оси А в первом вторичном пазе (34), вторую тороидальную вторичную обмотку (31) оси А во втором вторичном пазе (35), и одну или несколько третьих вторичных обмоток (29a, 29b, 29c, 29d), соединенных последовательно, при этом упомянутые третьи вторичные обмотки намотаны вокруг одной из упомянутых вторичных опор и проходят через пазы (37) в упомянутой вторичной опоре.

45 5. Трансформатор (10) по п. 4, в котором первая боковая опора (18) и первая вторичная боковая опора (14) находятся на одной линии друг с другом и отделены воздушным зазором (21), первая центральная опора (19) и первая вторичная центральная опора (15) находятся на одной линии друг с другом и отделены воздушным зазором (21), и вторая боковая опора (20) и вторая вторичная боковая опора (16) находятся на

одной линии друг с другом и отделены воздушным зазором (21).

6. Трансформатор (410) по п. 3, в котором первичная часть (11; 12) окружает вторичную часть (12; 11) относительно оси А или наоборот.

7. Трансформатор по п. 3, в котором первичная часть (11; 12) и вторичная часть (12; 11) находятся одна рядом с другой в направлении оси А.

8. Трансформатор (110, 210) по п. 1, в котором первичная часть и вторичная часть являются неподвижными относительно друг друга.

9. Трансформатор (10, 110) по п. 1, в котором первый и второй корпуса, изготовленные из ферромагнитного материала, полностью окружают первичные и вторичные обмотки.

15

20

25

30

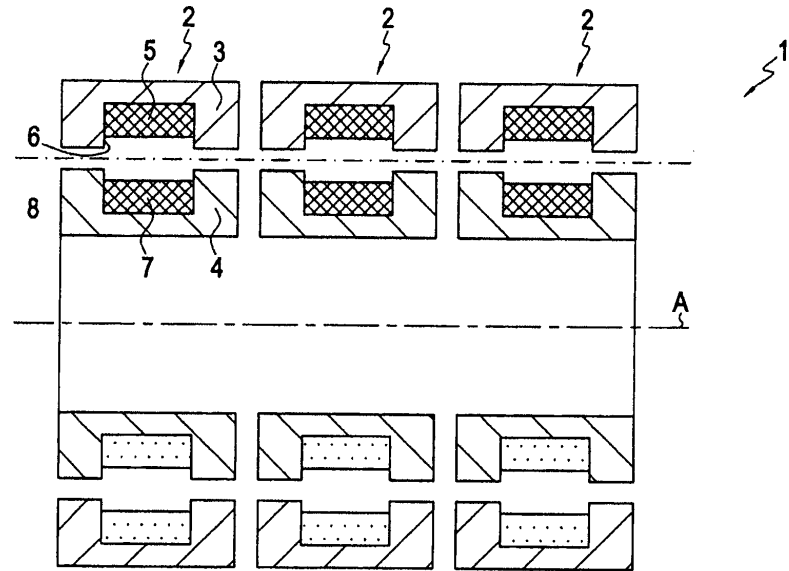
35

40

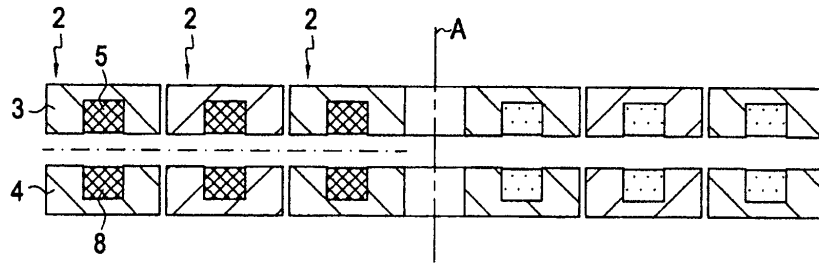
45

1

1/7

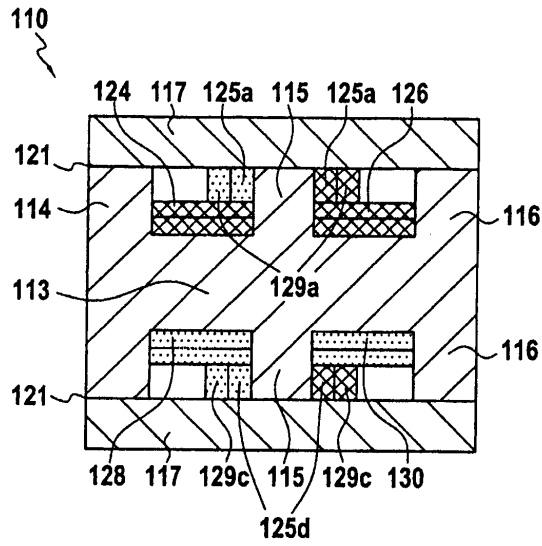


ФИГ.1

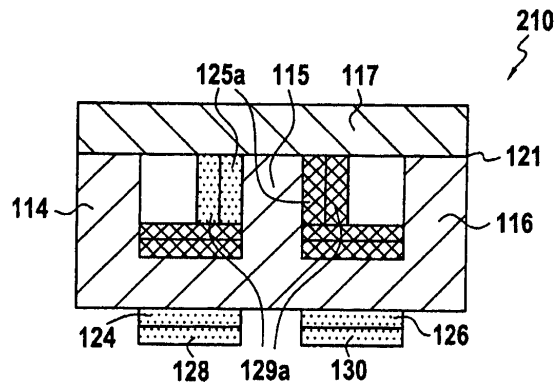


ФИГ.2

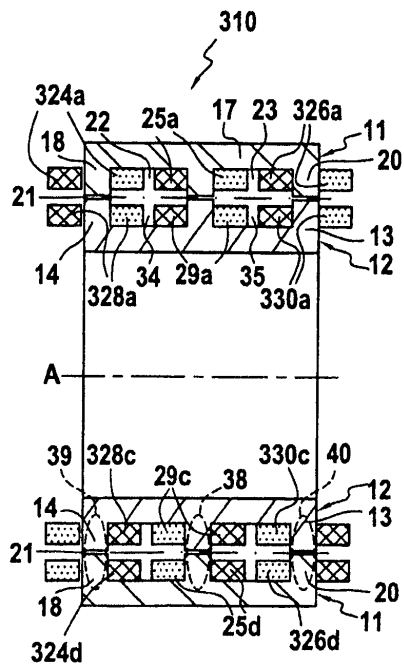
2



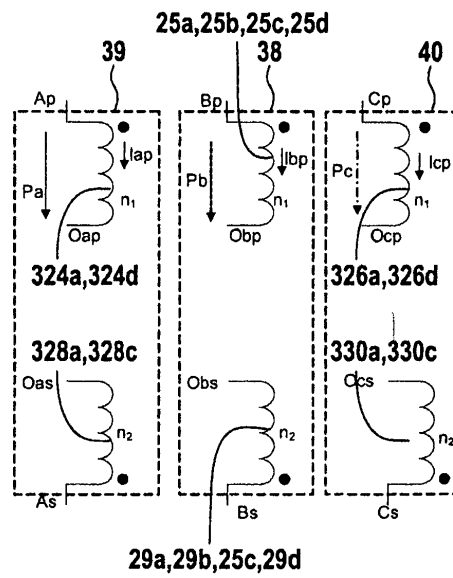
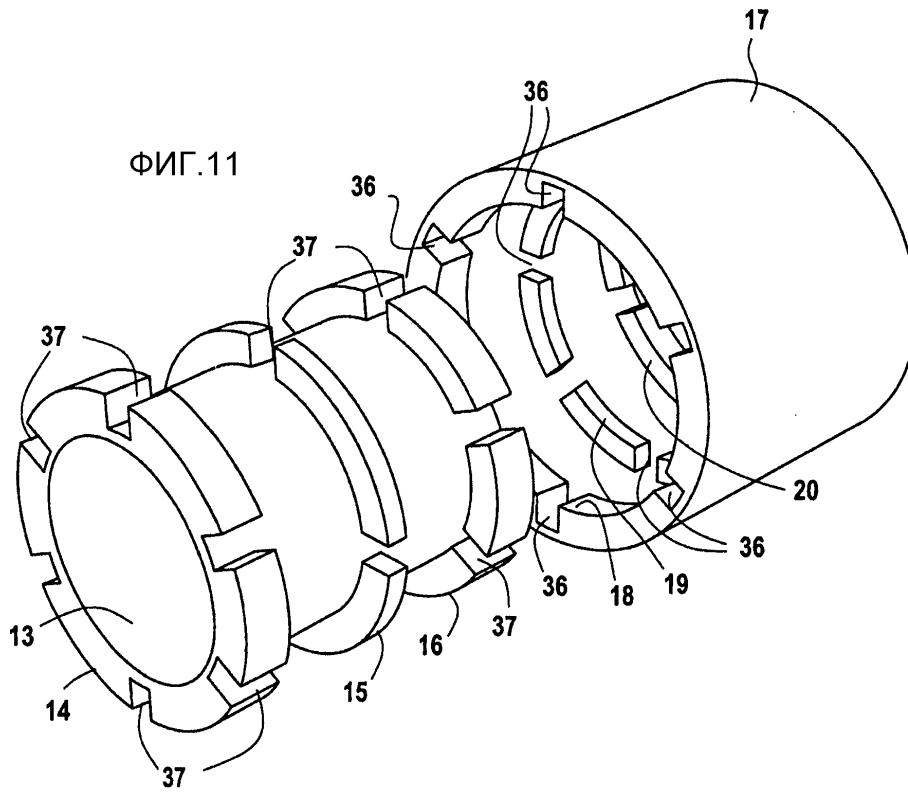
ФИГ.8



ФИГ.9

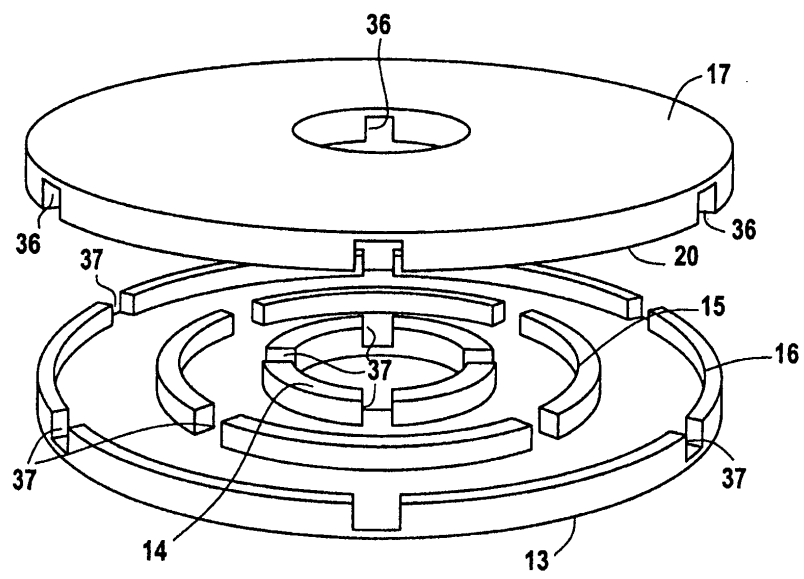


ФИГ.10



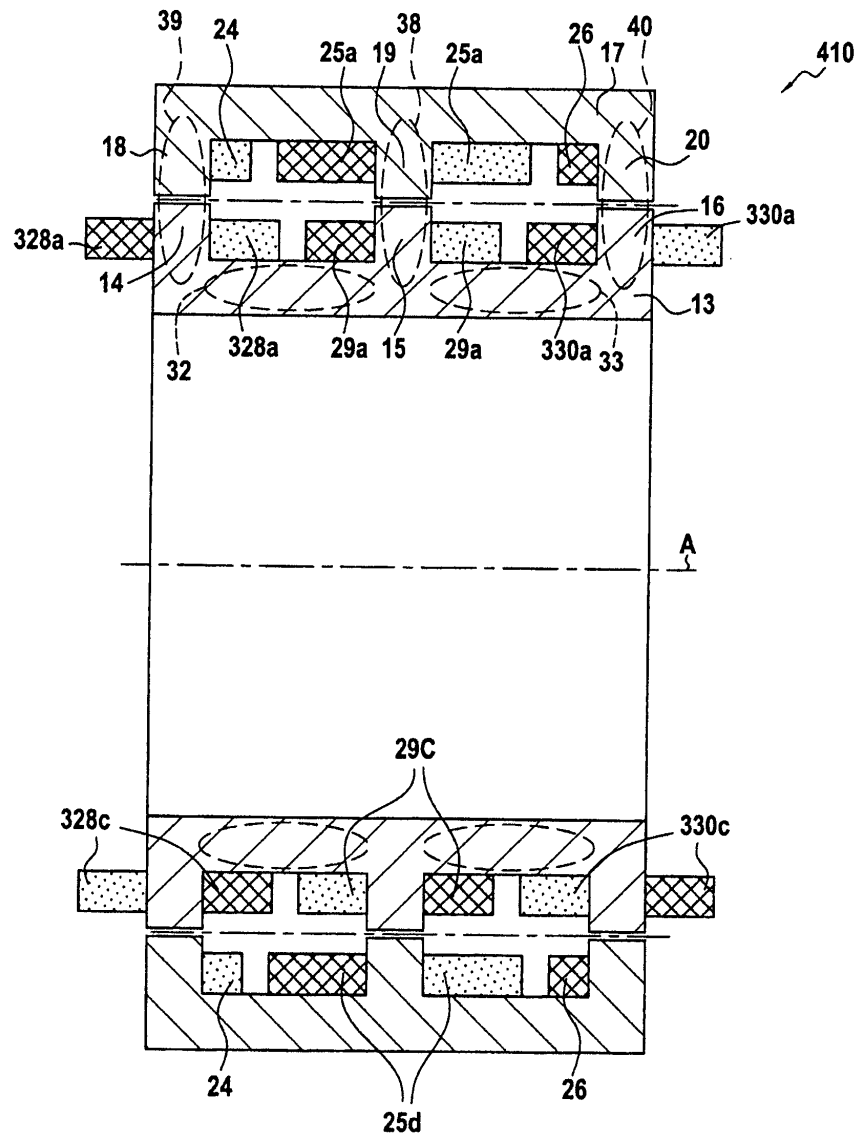
ФИГ.12

6/7



ФИГ.13

7/7



ФИГ.14