

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202190735** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2022.03.29**

(51) Int. Cl. **H02K 16/04** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2020.06.23**

**(54) ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, СОДЕРЖАЩИЙ ДВА СТАТОРА И РОТОР**

(31) **2019/04106; 2019/06297**

(32) **2019.06.25; 2019.09.25**

(33) **ZA**

(86) **PCT/IB2020/055916**

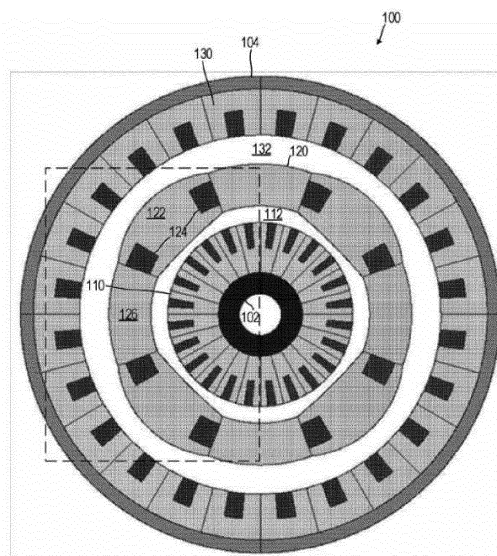
(87) **WO 2020/261113 2020.12.30**

(71) Заявитель:  
**ЗЕ ТРАСТИС ФО ЗЕ ТАЙМ БЕИНГ  
ОФ ЗЕ КМН ФУЛФИЛМЕНТ ТРАСТ  
(ZA)**

(72) Изобретатель:  
**Макгеру Кабу Волтер (ZA)**

(74) Представитель:  
**Гизатуллина Е.М., Христофоров А.А.,  
Джермакян Р.В., Гизатуллин Ш.Ф.,  
Костюшенкова М.Ю., Лебедев В.В.,  
Парамонова К.В., Строкова О.В.,  
Угрюмов В.М. (RU)**

(57) Изобретением предложен генератор электрической энергии, содержащий ротор и множество статоров, которые располагаются коаксиально и концентрически относительно центральной оси. При этом предусмотрен внутренний статор, расположенный радиально внутри от ротора и отделенный от ротора внутренним воздушным зазором, и внешний статор, расположенный радиально снаружи от ротора и отделенный от ротора внешним воздушным зазором. Ротор включает в себя множество элементов полюсной системы, выполненных с возможностью создания или генерирования магнитного поля и содержащих множество магнитных полюсов. Ротор характеризуется неодинаковой толщиной в поперечном разрезе, при этом внутренняя поверхность ротора выгибается внутрь напротив элементов полюсной системы так, что внутренний воздушный зазор является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче напротив элементов полюсной системы и длиннее в промежутках между элементами полюсной системы; а наружная поверхность ротора выгибается наружу напротив элементов полюсной системы так, что внешний воздушный зазор является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче напротив элементов полюсной системы и длиннее в промежутках между элементами полюсной системы.



**A1**

**202190735**

**202190735**

**A1**

# **ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, СОДЕРЖАЩИЙ ДВА СТАТОРА И РОТОР**

## **ОПИСАНИЕ**

### **Область техники, к которой относится настоящее изобретение**

Настоящее изобретение относится к генераторам электрической энергии, в частности, к генератору электрической энергии с двумя статорами и ротором в конфигурации «статор-ротор-статор».

### **Предшествующий уровень техники настоящего изобретения**

На предшествующем уровне техники обычно предлагаются однороторные и одностаторные генераторы электрической энергии. Как хорошо известно, ротор создает магнитное поле и вращается, а вращающееся магнитное поле индуцирует ток в обмотках, предусмотренных в статоре, который остается неподвижным. В этой конфигурации магнитное поле, создаваемое ротором, направляется на статор только в одном направлении, т.е. только радиально внутрь или только радиально наружу.

Автор настоящего изобретения знаком с генератором, выполненным в конфигурации с двумя статорами и одним ротором. В патенте US6297575 описана трехслойная конструкция, где источник магнитного поля в виде ротора располагается между двумя статорами и представляет собой общий источник магнитного поля для статоров, с которыми он взаимодействует. Это изобретение нацелено на использование указанной конструкции для выполнения или функции генератора, или функции электродвигателя или сочетания функций генератора и электродвигателя.

Однако в патенте US6297575 отсутствуют технические данные о воздушных зазорах. Представляется, что при использовании этой установки в качестве генератора электроэнергии вообще не принимается во внимание влияние воздушных зазоров и их взаимодействие. В этом изобретении не учитываются воздушные зазоры между разными слоями, особенно в привязке к генерированию электроэнергии, а ведь воздушные зазоры могут иметь определяющее значение для параметров электрогенерации. Автор настоящего изобретения считает, что это является недостатком патента US6297575 и желает устранить его.

Настоящее изобретение направлено на устранение указанных недостатков, связанных с неоптимизированными воздушными зазорами, с целью повышения выработки и качества генерируемой энергии.

### **Краткое раскрытие настоящего изобретения**

Соответственно, настоящим изобретением предложен генератор электрической энергии, содержащий ротор и множество статоров, при этом:

ротор и множество статоров располагаются коаксиально и концентрически относительно центральной оси;

множество статоров включает в себя внутренний статор, расположенный радиально внутрь от ротора, причем внутренний статор отделен от ротора внутренним воздушным зазором;

множество статоров включает в себя внешний статор, расположенный радиально снаружи от ротора, причем внешний статор отделен от ротора внешним воздушным зазором;

каждый статор из числа внутреннего и внешнего статоров снабжен соответствующими обмотками, выполненными с возможностью индуцирования в них электрического тока;

ротор включает в себя множество элементов полюсной системы, выполненных с возможностью создания или генерирования магнитного поля и содержащих множество магнитных полюсов, обеспечивающих возможность индуцирования тока в обмотках во время работы; и

ротор характеризуется неодинаковой толщиной в поперечном разрезе, при этом:

внутренняя поверхность ротора выгибается радиально внутрь напротив элементов полюсной системы так, что внутренний воздушный зазор является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче напротив элементов полюсной системы и радиально длиннее в промежутках между элементами полюсной системы; и

наружная поверхность ротора выгибается радиально наружу напротив элементов полюсной системы так, что внешний воздушный зазор является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче напротив элементов полюсной системы и радиально длиннее в промежутках между элементами полюсной системы.

Иначе говоря, наружная поверхность каждого из элементов полюсной системы может характеризоваться резко выраженной кривизной или меньшим радиусом кривизны, чем дуга смещения, которую он описывает. Внутренняя поверхность каждого из элементов полюсной системы может быть плоской или характеризоваться, по меньшей мере, более пологой кривизной или большим радиусом кривизны, чем дуга смещения, которую он описывает.

Генератор электрической энергии может содержать всего один ротор и ровно два статора.

Генератор электрической энергии может включать в себя ярмо. Это ярмо может обеспечивать путь замыкания и способствовать замыканию магнитной цепи, изолируя ее от воздействия магнитного поля ротора, направленного радиально наружу. Ярмо может проходить по окружности внешнего статора. Путь замыкания, предназначенный для замыкания магнитной цепи, может быть предусмотрен во внешнем статоре и внутреннем статоре. Внутренний путь замыкания может располагаться на внутренней поверхности внутреннего статора, а наружный путь замыкания может располагаться на наружной поверхности внешнего статора.

Следует отметить, что одно из преимуществ настоящего изобретения заключается в том, что магнитное поле, генерируемое ротором, используется как внутри ротора (внутренним статором), так и снаружи ротора (наружным статором). Этим обеспечивается более эффективное преобразование магнитного поля в электрический ток.

Внешний воздушный зазор может быть, в среднем, длиннее или шире в радиальном направлении, чем внутренний воздушный зазор. Внутренний воздушный зазор может находиться в пределах 5-50 мм в месте его минимальной ширины в радиальном направлении. Внутренний воздушный зазор может находиться в пределах 10-90 мм в месте его максимальной ширины в радиальном направлении. Внешний воздушный зазор может находиться в пределах 20-100 мм в месте его минимальной ширины в радиальном направлении. Внешний воздушный зазор может находиться в пределах 30-165 мм в месте его максимальной ширины в радиальном направлении.

На радиально-наружной поверхности внутреннего статора могут быть предусмотрены зубцы для приема его обмоток. Следовательно, эти обмотки могут примыкать к радиально-внутренней поверхности ротора и располагаться напротив нее.

Внешний статор может содержать зубцы, расположенные на его радиально-внутренней поверхности для приема обмоток этого статора. Следовательно, эти обмотки могут примыкать к радиально-наружной поверхности ротора и располагаться напротив нее.

Соответствующие зубцы внутреннего и внешнего статоров могут быть совмещены друг с другом или находиться на одной оси в радиальном направлении; и, наоборот, соответствующие зубцы внутреннего и внешнего статоров могут не совпадать друг с другом или находиться не на одной оси в радиальном направлении.

Ротор может включать в себя промежуточные опорные элементы, расположенные между соседними элементами полюсной системы и обеспечивающие сплошность или непрерывность ротора в окружном направлении. Опорные элементы могут быть выполнены из черного металла, проводящего или усиливающего магнитное поле; и, наоборот, опорные элементы могут быть выполнены из цветного металла, который предотвращает короткое замыкание магнитного поля.

Внутренний статор может характеризоваться, в общем, круговой наружной поверхностью. Соответственно, внутренний воздушный зазор может быть, в общем, равномерным по его внутренней границе (задаваемой наружной поверхностью внутреннего статора), но неравномерным по его внешней границе (задаваемой внутренней поверхностью ротора).

Внешний статор может характеризоваться, в общем, круговой внутренней поверхностью. Соответственно, внешний воздушный зазор может быть, в общем, равномерным по его внешней границе (задаваемой внутренней поверхностью внешнего статора), но неравномерным по его внутренней границе (задаваемой наружной поверхностью ротора).

Одно из преимуществ неравномерных воздушных зазоров состоит в том, что они могут обеспечивать выходные колебательные сигналы лучшей или более подходящей формы, включая колебательные сигналы сглаженной формы, с меньшей пульсацией и/или меньшим гармоническим искажением и т.п.

### **Краткое описание фигур**

На фиг. 1 схематически показан вид в поперечном разрезе генератора электрической энергии, содержащего ротор и два статора, согласно настоящему изобретению;

На фиг. 2 представлен увеличенный вид сечения генератора электрической энергии, показанного на фиг. 1;

На фиг. 3 схематически представлена тепловая карта плотности магнитного потока генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 4 схематически представлена тепловая карта плотности магнитного потока с пороговыми значениями для генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 5 представлен график, иллюстрирующий плотность магнитного потока между внутренним статором и ротором генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 6 представлен график, иллюстрирующий плотность магнитного потока между внешним статором и ротором генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 7 представлен график, иллюстрирующий фазное напряжение внутреннего статора генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 8 представлен график, иллюстрирующий фазное напряжение внешнего статора генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 9 представлен график, иллюстрирующий фазный ток внутреннего статора генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 10 представлен график, иллюстрирующий фазный ток внешнего статора генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 11 представлен график, иллюстрирующий вращающий момент внутреннего статора генератора, показанного на фиг. 1;

На фиг. 12 представлен график, иллюстрирующий вращающий момент ротора генератора, показанного на фиг. 1; и

На фиг. 13 представлен график, иллюстрирующий вращающий момент внешнего статора генератора, показанного на фиг. 1.

### **Подробное раскрытие настоящего изобретения**

На фиг. 1-2 показан генератор 100 электрической энергии (для краткости именуемый просто «генератором») согласно настоящему изобретению. Генератор 100 характеризуется наличием центрального вала 102, задающего центральную ось, проходящую через его радиально-внутренний центр, и ярма 104 на его радиально-наружной поверхности. Генератор 100 может также обладать множеством признаков, характерных для генераторов в целом, таких как подшипники, рама, ось, приводной вал, выводная проводка и прочие элементы, которые не проиллюстрированы в настоящем документе; но при этом специалисту в данной области техники понятно, что они являются частью заявленного изобретения.

Генератор 100 содержит внутренний статор 110, промежуточный ротор 120 и внешний статор 130. Эти компоненты могут рассматриваться как три концентрических «слоя» генератора 100. Ротор 120 и статоры 110 и 130 расположены коаксиально

относительно центральной оси. Внутренний статор 110 расположен радиально внутрь от ротора 120, причем внутренний статор 110 отделен от ротора 120 внутренним воздушным зазором 112. Внешний статор 130 расположен радиально снаружи от ротора 120, причем внешний статор 130 отделен от ротора 120 внешним воздушным зазором 132.

Каждый статор из числа внутреннего статора 110 и внешнего статора 130 снабжен соответствующими обмотками 114 и 134, соответственно, выполненными с возможностью индуцирования в них электрического тока. Соответственно, ротор 120 содержит множество элементов 122 и 124 полюсной системы, выполненных с возможностью создания или генерирования магнитного поля и содержащих множество магнитных полюсов, обеспечивающих возможность индуцирования тока в обмотках 114 и 134 во время работы. Каждый магнитный полюс может содержать магнитное тело 122 со встроенными обмотками 124 возбуждения. Таким образом, в этом примере элементы 122 и 124 полюсной системы представляют собой электромагнит (хотя в других примерах это может быть постоянный магнит). Ротор 120 включает в себя промежуточные опорные элементы 126, образующие опорную конструкцию между элементами 122 и 124 полюсной системы.

Ротор 120 имеет, как правило, кольцевую, но не равномерную форму; в частности, ротор 120 характеризуется неравномерной толщиной в поперечном сечении. Это хорошо видно на фиг. 2, где показано сечение генератора 100 в увеличенном виде. Внутренняя поверхность ротора 120 выгибается радиально внутрь напротив элементов 122 и 124 полюсной системы так, что внутренний воздушный зазор 112 является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче (на что указывает стрелка 112.1) напротив элементов 122 и 124 полюсной структуры. Внутренний воздушный зазор 112 оказывается радиально длиннее (на что указывает стрелка 112.2) в промежутках между элементами полюсной системы, т.е. напротив промежуточных элементов 126 или на одной линии с ними в радиальном направлении.

Внешний воздушный зазор 132 имеет аналогичную конфигурацию, хотя в среднем он шире/длиннее в радиальном направлении, чем внутренний воздушный зазор 112. В частности, наружная поверхность ротора 120 выгибается радиально наружу напротив элементов 122 и 124 полюсной системы так, что внешний воздушный зазор 132 является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче (на что указывает стрелка 132.1) напротив элементов 122 и 124 полюсной системы и радиально длиннее (на что указывает стрелка 132.2) в промежутках между элементами 122 и 124 полюсной системы напротив промежуточных элементов 126.

Расстояния или значения ширины могут находиться в следующих пределах, указанных в Таблице 1:

Таблица 1

| Характеристика                                                  | Диапазон  |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| Минимальная ширина (112.1) внутреннего воздушного зазора (112)  | 5-50 мм   |
| Максимальная ширина (112.2) внутреннего воздушного зазора (112) | 10-90 мм  |
| Минимальная ширина (132.1) внешнего воздушного зазора (132)     | 20-100 мм |
| Максимальная ширина (132.2) внешнего воздушного зазора (132)    | 30-165 мм |

Форма магнитного тела 122 также хорошо видна на фиг. 3, где показана плотность магнитного потока. Магнитное тело 122 характеризуется плоской внутренней поверхностью (которая рассматривается как направленная внутрь выпуклость по аналогии с более привычной дугообразно изогнутой внутренней поверхностью, которая располагалась бы концентрически относительно центральной оси и отстояла бы от нее с равными промежутками). Иначе говоря, внутренняя поверхность магнитного тела 122 имеет меньшую кривизну, чем дуга смещения, описываемая внутренней поверхностью во время работы.

Аналогичным образом наружная поверхность магнитного тела 122 характеризуется большей изогнутостью (или имеет меньший радиус кривизны), чем стандартная наружная поверхность с неизменной кривизной; т.е. она рассматривается как направленная наружу выпуклость с большей кривизной, чем дуга смещения, описываемая наружной поверхностью магнитного тела 122.

Автор настоящего изобретения провел имитационное моделирование и тестирование генератора 100. Результаты этого моделирования в общих чертах представлены на фиг. 3-11. Конкретные параметры моделирования указаны в Таблице 2:

Таблица 2

| Характеристика                   | Величина                                                                               |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип анализа                      | Анализ подачи тока                                                                     |
| Ток обмотки возбуждения          | 150А                                                                                   |
| Число витков на фазу             | 12                                                                                     |
| Угол скоса                       | 0°                                                                                     |
| Демпферная обмотка               | Без демпферной обмотки                                                                 |
| Скорость вращения в об/мин       | 1500 об/мин                                                                            |
| Материал пазового клина          | Немагнитный                                                                            |
| Внутренний воздушный зазор (112) | 35 мм в месте минимальной ширины (112.1),<br>75 мм в месте максимальной ширины (112.2) |
| Внешний воздушный зазор (132)    | 90 мм в месте минимальной ширины (132.1),                                              |

| Характеристика                    | Величина                                                                |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                   | 117,5 мм в месте максимальной ширины (132.2)                            |
| Шаг обмотки                       | 6 пазов                                                                 |
| Кол-во витков/полюсов возбуждения | 250                                                                     |
| Длина сердечника                  | 640 мм                                                                  |
| Ярмо (104)                        | Слоистый материал толщиной 35 мм + конструкционная сталь толщиной 20 мм |

Одно из преимуществ генератора 100 состоит в том, что он генерирует электрический выходной сигнал (т.е. характеристики напряжения и тока выходного сигнала) с низким суммарным коэффициентом гармонических искажений (THD) без необходимости использования каких-либо корректирующих, регулирующих или выпрямляющих схем.

На фиг. 3 и 4 показаны тепловые карты 202 и 204 плотности магнитного потока генератора 100 во время работы. На фиг. 5-11 представлены различные графики 206-224, иллюстрирующие характеристики генератора 100:

На графике 206 показана плотность магнитного потока между внутренним статором 110 и ротором 120;

На графике 208 показана плотность магнитного потока между внешним статором 130 и ротором 120;

На графике 210 показаны фазные напряжения внутреннего статора 110;

На графике 212 показаны фазные напряжения внешнего статора 130;

На графике 214 показаны фазные токи внутреннего статора 110;

На графике 216 показаны фазные токи внешнего статора 130;

На графике 220 показан вращающий момент внутреннего статора 110;

На графике 222 показан вращающий момент ротора 120; и

На графике 224 показан вращающий момент внешнего статора 130.

Хотя конкретные значения, представленные на графиках 206-224, не обязательно релевантны, формы сигнала, показанные на графиках 206-224, являются релевантными и иллюстрирующими относительную равномерность различных выходных характеристик.

Автор настоящего изобретения отмечает, что заявленное изобретение может обладать и другими преимуществами и отличительными признаками. Задействуется магнитное поле как на внутренней поверхности, так и на наружной поверхности ротора 120. Показатели плотности магнитного потока после FFT (быстрого преобразования Фурье) во внутреннем воздушном зазоре могут находиться в пределах 0,3-0,99 Тл (Тесла), а для внешнего воздушного зазора – в пределах 0,2-0,95 Тл.

В конструкции генератора обычного типа увеличение гармоник происходит при повышении силы тока; однако конструкция генератора 100 согласно настоящему изобретению обеспечивает хорошие результаты в том смысле, что повышается качество генерируемой электроэнергии в отношении гармоник. В этом варианте осуществления настоящего изобретения предусмотрено следующее: если ток на внутреннем статоре 110 поддерживается на постоянном уровне, а ток на внешнем статоре 130 (в частности, на обмотках 134 внешнего статора 130) повышается до определенного значения, происходит уменьшение гармоник (в сравнении с генератором обычной конструкции), причем внутренний воздушный зазор 112 находится в пределах 15-55 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 55-95 мм в месте его максимальной ширины, а внешний воздушный зазор 132 находится в пределах 25-55 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 60-120 мм в месте его максимальной ширины; и когда ток на внешнем статоре 130 повышается, а ток внутреннего статора 110 поддерживается на постоянном уровне, обеспечивается усовершенствование, состоящее в том, что гармоники и суммарный коэффициент гармонических искажений напряжения во внешнем статоре уменьшаются, по меньшей мере, до 0,44%.

С этого момента гармоники начинают увеличиваться с повышением силы тока на внешнем статоре 130. При повышении силы тока, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130 происходит увеличение гармоник и суммарных коэффициентов гармонических искажений, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130. Уменьшение гармоник более существенно во внешнем статоре 130. С другой стороны, при уменьшении силы тока во внешнем статоре 130 в этом статоре происходит увеличение гармоник в отличие от конструкции обычного типа. Все это происходит, когда сила тока во внутреннем статоре 110 поддерживается на постоянном уровне (номинальный ток). Когда ток на внешнем статоре равен половине номинального, гармоники будут выше, чем при номинальном токе. При повышении силы тока, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130 происходит уменьшение гармоник и суммарного коэффициента гармонических искажений, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130, при этом внутренний воздушный зазор 112 находится в пределах 25-65 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 45-110 мм в месте его максимальной ширины, а внешний воздушный зазор 132 находится в пределах 65-110 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 94-140 мм в месте его максимальной ширины; и при повышении силы тока, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130 гармоники и суммарный коэффициент гармонических искажений, как

внутреннего статора 110, так и внешнего статора 130 уменьшаются, по меньшей мере, на 4%.

Еще одно преимущество предложенной конструкции состоит в том, что внешний статор 130 может работать при гораздо большей силе тока, чем генераторы электрического тока стандартной конструкции без ухудшения качества электроэнергии. Ток может быть повышен до значений, превышающих 100% значений, присущих генераторам относительно стандартной конструкции, и это повышает выходную мощность без ухудшения качества снабжения электроэнергией потребителя. При повышении силы тока на 50% гармоники во внешнем статоре 130 суммарно увеличиваются до 0,88%. При этом ток во внешнем статоре 130 может быть по-прежнему повышен на 100%, что повышает производительность генератора 100 без ухудшения качества в отношении гармоник напряжения генератора электроэнергии; причем при 100-процентном повышении силы тока гармоники приближаются к 3-процентному ограничению THD суммарно для всех гармоник во внешнем статоре, а в соответствии с требованиями стандарта IEEE519, который является международно-признанным стандартом по гармоникам, такое ограничение составляет именно 3%. При этом внешний статор 130 может генерировать намного больше энергии с надлежащим уровнем качества без изменения конфигурации.

Таким образом, внешний статор 130 прямо не противоречит требованиям стандарта по гармоникам, а внутренний статор 110 реагирует противоположным образом в сравнении с внешним статором 130. Гармоники внутреннего статора 110 могут увеличиваться с повышением силы тока, тогда как гармоники внешнего статора 130 могут уменьшаться с повышением силы тока во внешнем статоре 130 на этом уровне. Такая ситуация наблюдается до тех пор, пока не произойдет повышение силы тока, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130, что было бы довольно неожиданно, причем внутренний воздушный зазор 112 находится в пределах 25-85 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 65-100 мм в месте его максимальной ширины, а внешний воздушный зазор 132 находится в пределах 35-55 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 63-120 мм в месте его максимальной ширины; а при уменьшении силы тока во внутреннем статоре 110 гармоники и суммарный коэффициент гармонических искажений уменьшаются, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130, по меньшей мере, на 3%.

Внутренний статор 110 реагирует так же, как и обычный генератор в том смысле, что при повышении силы тока происходит также увеличение гармоник. Внутренний статор 110 может быть рассчитан на низкое напряжение, при этом внешний статор 130 для

такой же конфигурации может быть рассчитан на более высокое напряжение при большей силе тока. В этой рабочей конфигурации на внутренний статор 110 может приходиться всего лишь 13% суммарной выходной мощности электрогенератора, тогда как на внешний статор 130 может приходиться 87% электрической выходной мощности. Когда сила тока во внешнем статоре 130 превышает определенное значение, гармоники во внутреннем статоре 110 уменьшаются; т.е. при повышении силы тока во внешнем статоре 130 на +100% гармоники во внутреннем статоре 110 уменьшаются на 10%, и это может говорить о том, что по достижении оптимальной рабочей точки, в которой гармоники все еще удовлетворяют требованиям принятого стандарта, задействуется внешний статор 130 при большей силе тока. Для этого требуется, чтобы размеры внешнего статора 130 были увеличены для возможности использования во внешнем статоре 130 проводников большего размера с целью проведения большего количества тока. Могут быть также увеличены размеры внутреннего статора 110 с тем, чтобы в нем могли разместиться проводники большего размера. Был получен удивительный результат, заключающийся в том, что когда внутренний статор 110 не нагружен, а внешний статор находится под нагрузкой, гармоники внешнего статора не изменяются.

Тот факт, что предусмотрено два воздушных зазора 112 и 132, означает, что может быть использовано два рассеивающих слоя магнитных полюсов. Следовательно, эта схема обеспечивает возможность задействования обеих поверхностей ротора 120 для генерации электроэнергии. Использование магнитного поля на обеих поверхностях элементов 122 и 124 полюсной системы может служить одним из преимуществ настоящего изобретения. В стандартной конструкции это ранее неиспользуемое магнитное поле находится на поверхности, соединенной с поверхностью вала ротора, причем это магнитное поле технически характеризуется такими же размерами и обладает такими же свойствами, что и другая используемая поверхность. Стандартная конструкция генератора предполагает наличие одного ротора и одного статора, что приводит к ситуации, когда другая поверхность магнитного полюса, даже если она обладает всеми свойствами используемой поверхности, никогда не используется.

Воздушные зазоры 112 и 132 и магнитные потоки могут играть важную роль потому, что они влияют на рабочие характеристики и качество электроэнергии, вырабатываемой генератором 100. Внутренний воздушный зазор 112 может находиться в диапазоне 5-50 мм по центру полюса и увеличиваться до 10-90 мм на конце полюса, а внешний воздушный зазор 132 может находиться в диапазоне 20-100 мм по центру полюса и увеличиваться до 35-165 мм на конце полюса. Значения  $B_r$  (плотности магнитного потока) после FFT по центру внутреннего воздушного зазора 112 между

внутренним статором и магнитным полюсом на роторе могут находиться в пределах 0,3-0,9 Тл, а для внешнего воздушного зазора 132 – в пределах 0,2-0,95 Тл. Вследствие увеличения внешнего воздушного зазора 132 показатель плотности магнитного потока может быть очень низким в сравнении с аналогичным показателем внутреннего воздушного зазора 112. Низкий показатель плотности магнитного потока приводит к генерации низкого напряжения.

Вопрос генерации низкого напряжения может быть решен за счет увеличения диаметра/размеров внешнего статора 130, что повышает напряжение, генерируемое большим числом обмоток 134, а также за счет увеличения размеров (глубины) пазов во внешнем статоре и за счет использования проводников большего размера или использования большего количества обмоток 134. Хотя магнитное поле проходит большое расстояние до внешнего воздушного зазора 132, габаритные размеры внешнего статора 130 компенсируют низкую плотность магнитного потока. Внутренний статор 112 может генерировать низкое напряжение, тогда как внешний статор 130 может генерировать более высокое напряжение, что повышает производительность и гибкость этого генератора 100. Генератор 100 может генерировать более высокое напряжение, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130; кроме того, два статора 110 и 130 могут генерировать низкое напряжение, которое в сравнении с более высоким напряжением на статорах практически изнашивает генератор (под низким напряжением обычно понимается напряжение менее 1000В, а под высоким напряжением – напряжение более 1000В). Если сравнивать низкое напряжение с высоким напряжением, то более высокое напряжение может генерировать намного больше электроэнергии в сравнении с низким напряжением без изменения конфигурации. Это конструктивное решение может больше подходить для тех сфер применения, где используется дешевое топливо, особенно возобновляемые энергоресурсы, такие как ветровые ресурсы, гидроресурсы и геотермальные ресурсы.

Генератор 100 может обладать множеством характеристик, обеспечивающих его коммерческий успех, который основан на низком уровне гармоник напряжения, что позволяет ему генерировать гораздо больший ток и, следовательно, вырабатывать электроэнергию в большом для его размеров объеме. Существует уже давно назревшая потребность в доступной электроэнергии лучшего качества. Этот вариант осуществления настоящего изобретения предлагает решение, удовлетворяющее эту потребность рынка. Этот уровень качества электроэнергии приносит множество экономических выгод и преимуществ в плане обеспечения безопасности пользователя электрической энергии, а также при передаче и распределении электроэнергии. Он также благоприятно сказывается

на работе электрооборудования, чувствительного к гармоникам. Высокий уровень выходной мощности повышает отношение мощности к массе (кВт/кг) в сравнении с генераторами предшествующего уровня техники. Эта возможность генератора 100 снижает капитальные затраты в пересчёте на центы/кВт. Низкий уровень гармоник является результатом неожиданного положительного эффекта, состоящего в том, что наличие двух статоров 110 и 130 и одного ротора 120 срабатывает синергетически, обеспечивая низкий уровень гармоник напряжения.

При повышении силы тока во внешнем статоре 130 происходит уменьшение гармоник внутреннего статора 110 и внешнего статора 130 в отличие от обычных генераторов, в которых при повышении силы тока в одном статоре также происходит увеличение гармоник. Еще один контрастный эффект заключается в том, что когда внутренний статор 110 находится под нагрузкой, а затем нагружается внешний статор 130, происходит заметное снижение входной мощности, потребляемой генератором 100. При повышении силы тока, как во внутреннем статоре 110, так и во внешнем статоре 130 гармоники напряжения для двух статоров 110 и 130 продолжают уменьшаться.

### ПРИТЯЗАНИЯ

1. Трехслойный генератор электрической энергии с ротором, расположенным между двумя статорами, в котором воздушный зазор между внутренним статором и внутренней поверхностью ротора с магнитными полюсами находится в пределах 5-50 мм по центру полюса и увеличивается до 10-90 мм на конце полюса, а внешний воздушный зазор между наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью внешнего статора находится в пределах 20-100 мм по центру полюса и увеличивается до 35-130 мм на конце полюса, при этом считанное значение  $B_r$  (плотности магнитного потока) после FFT по центру внутреннего воздушного зазора между внутренним статором и магнитным полюсом на роторе находится в пределах 0,3-0,7 Тл, а для внешнего воздушного зазора между наружной поверхностью магнитного полюса на роторе и внутренней поверхностью внешнего статора это значение находится в пределах 0,2-0,6 Тл.

2. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором усовершенствование состоит в том, что используемый ротор меньше обычного ротора с сопоставимой выходной мощностью.

3. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором усовершенствование состоит в том, что используемый статор по своим размерам больше обычного статора.

4. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внутренний воздушный зазор находится в пределах 5-50 мм по центру полюса и увеличивается до 10-90 мм на конце полюса, а внешний воздушный зазор находится в пределах 20-100 мм по центру полюса и увеличивается до 35-130 мм на конце полюса, что обеспечивает усовершенствование, состоящее в том, что гармоники на внешнем статоре уменьшаются с повышением силы тока только на внешнем статоре.

5. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внутренний воздушный зазор находится в пределах 5-50 мм по центру полюса и увеличивается до 10-90 мм на конце полюса, а внешний воздушный зазор находится в пределах 20-100 мм по центру полюса и увеличивается до 35-130 мм на конце полюса, что обеспечивает усовершенствование, состоящее в том, что гармоники на внутреннем статоре уменьшаются с повышением силы тока, начиная со значения номинального тока, только во внешнем статоре.

6. Генератор электрической энергии по п. 2, в котором усовершенствование состоит в том, что обмотки статора спирально намотаны одна поверх другой.

7. Трехслойный генератор электрической энергии по п. 1, отличающийся тем, что внешние статоры работают с большей силой тока, но по-прежнему поддерживают требуемый уровень гармоник.

8. Трехслойный генератор электрической энергии по п. 1, отличающийся тем, что внутренний статор может генерировать низкое напряжение, а внешний статор может генерировать более высокое напряжение, или же оба указанных статора могут генерировать высокое напряжение.

9. Трехслойный генератор электрической энергии по п. 1, в котором внутренний воздушный зазор находится в пределах 5-50 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 10-95 в месте его максимальной ширины; а внешний воздушный зазор находится в пределах 20-140 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 30-165 мм в месте его максимальной ширины.

### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Генератор электрической энергии, содержащий ротор и множество статоров, при этом:

ротор и множество статоров располагаются коаксиально и концентрически относительно центральной оси;

множество статоров включает в себя внутренний статор, расположенный радиально внутрь от ротора, причем внутренний статор отделен от ротора внутренним воздушным зазором;

множество статоров включает в себя внешний статор, расположенный радиально снаружи от ротора, причем внешний статор отделен от ротора внешним воздушным зазором;

каждый статор из внутреннего и внешнего статоров снабжен соответствующими обмотками, выполненными с возможностью индуцирования в них электрического тока;

ротор включает в себя множество элементов полюсной системы, выполненных с возможностью создания или генерирования магнитного поля и содержащих множество магнитных полюсов, обеспечивающих возможность индуцирования тока в обмотках во время работы; и

ротор характеризуется неодинаковой толщиной в поперечном разрезе, при этом:

внутренняя поверхность ротора выгибается радиально внутрь напротив элементов полюсной системы так, что внутренний воздушный зазор является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче напротив элементов полюсной системы и радиально длиннее в промежутках между элементами полюсной системы; и

наружная поверхность ротора выгибается радиально наружу напротив элементов полюсной системы так, что внешний воздушный зазор является неравномерным в том смысле, что он оказывается радиально короче напротив элементов полюсной системы и радиально длиннее в промежутках между элементами полюсной системы.

2. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором ротор характеризуется средним или умеренным радиусом кривизны, а его радиально внутренняя и наружная поверхности между элементами полюсной системы имеют радиус кривизны, концентрический относительно среднего радиуса кривизны.

3. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором:  
наружная поверхность каждого элемента полюсной системы имеет меньший радиус кривизны, чем дуга смещения, которую он описывает; а  
внутренняя поверхность каждого элемента полюсной системы имеет больший радиус кривизны, чем дуга смещения, которую он описывает.
4. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внешний воздушный зазор, в среднем, длиннее или шире в радиальном направлении, чем внутренний воздушный зазор.
5. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внутренний воздушный зазор находится в пределах 5-50 мм в месте его минимальной ширины в радиальном направлении.
6. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внутренний воздушный зазор находится в пределах 10-95 мм в месте его максимальной ширины в радиальном направлении.
7. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внешний воздушный зазор находится в пределах 20-100 мм в месте его минимальной ширины в радиальном направлении.
8. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внешний воздушный зазор находится в пределах 30-165 мм в месте его максимальной ширины в радиальном направлении.
9. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором ротор включает в себя промежуточные опорные элементы между соседними элементами полюсной системы, обеспечивающие сплошность или непрерывность ротора в окружном направлении.
10. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внутренний статор характеризуется, по существу круговой наружной поверхностью, а внутренний воздушный зазор является по существу равномерным по своей внутренней границе, задаваемой наружной поверхностью внутреннего статора, но неравномерным по своей внешней границе, задаваемой внутренней поверхностью ротора.

11. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором внешний статор характеризуется, по существу круговой внутренней поверхностью, а внешний воздушный зазор является по существу равномерным по своей внешней границе, задаваемой внутренней поверхностью внешнего статора, но неравномерным по своей внутренней границе, задаваемой наружной поверхностью ротора.

12. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором:  
внутренний воздушный зазор находится в пределах 15-55 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 55-95 мм в месте его максимальной ширины; а  
внешний воздушный зазор находится в пределах 25-55 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 60-120 мм в месте его максимальной ширины; при этом:  
при повышении силы тока во внешнем статоре с поддержанием силы тока во внутреннем статоре на постоянном уровне суммарный коэффициент гармонических искажений напряжения во внешнем статоре уменьшается, по меньшей мере, до 0,44%.

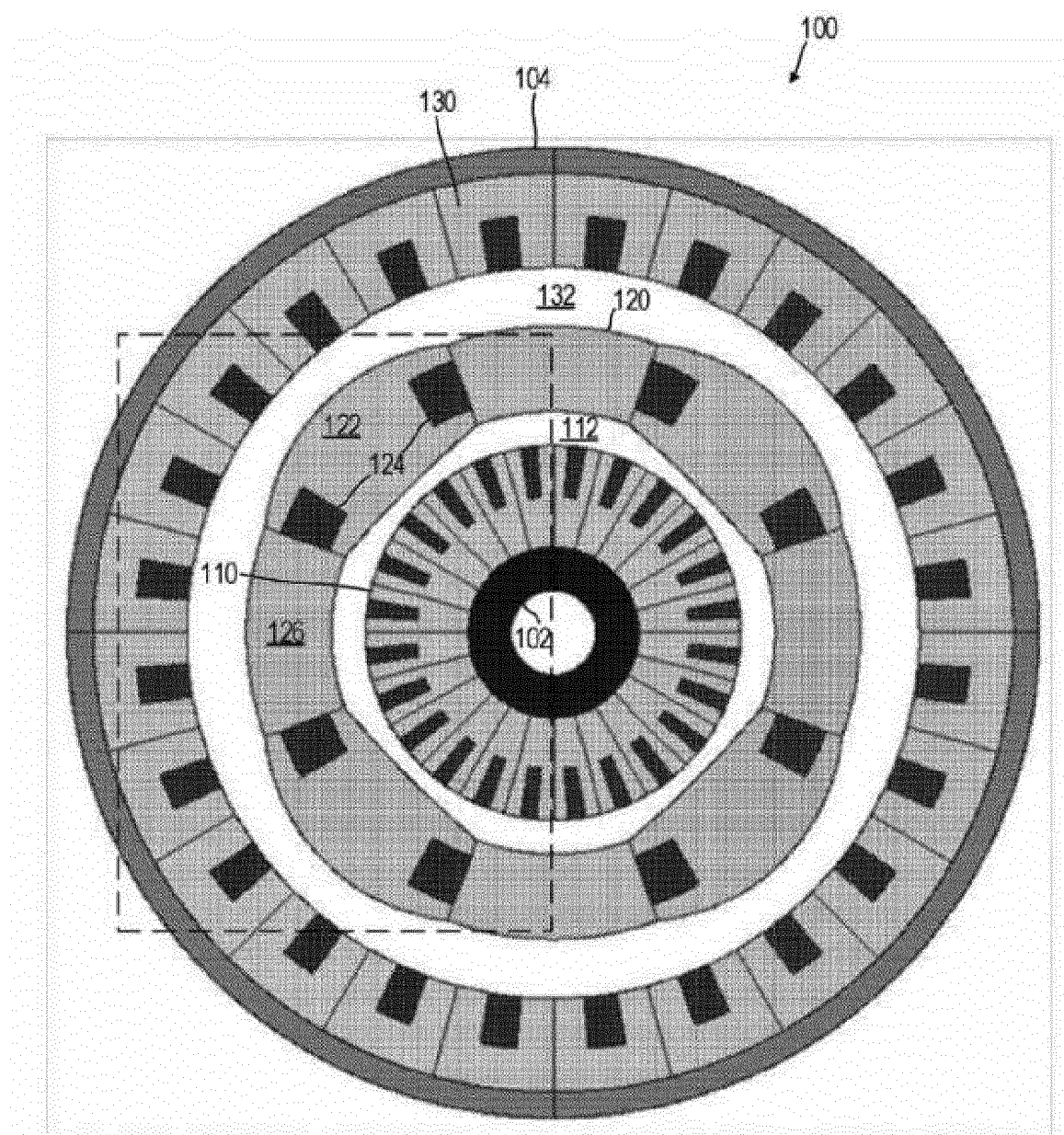
13. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором:  
внутренний воздушный зазор находится в пределах 25-65 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 45-110 мм в месте его максимальной ширины; а  
внешний воздушный зазор находится в пределах 65-110 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 94-140 мм в месте его максимальной ширины; при этом:  
при повышении силы тока как во внутреннем статоре, так и во внешнем статоре, гармоники и суммарный коэффициент гармонических искажений как во внутреннем статоре, так и во внешнем статоре уменьшаются, по меньшей мере, на 4%.

14. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором:  
внутренний воздушный зазор находится в пределах 25-85 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 65-100 мм в месте его максимальной ширины; а  
внешний воздушный зазор находится в пределах 35-55 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 63-120 мм в месте его максимальной ширины; при этом:  
при уменьшении силы тока во внутреннем статоре, гармоники и суммарный коэффициент гармонических искажений уменьшаются, по меньшей мере, на 3%, как во внутреннем статоре, так и во внешнем статоре.

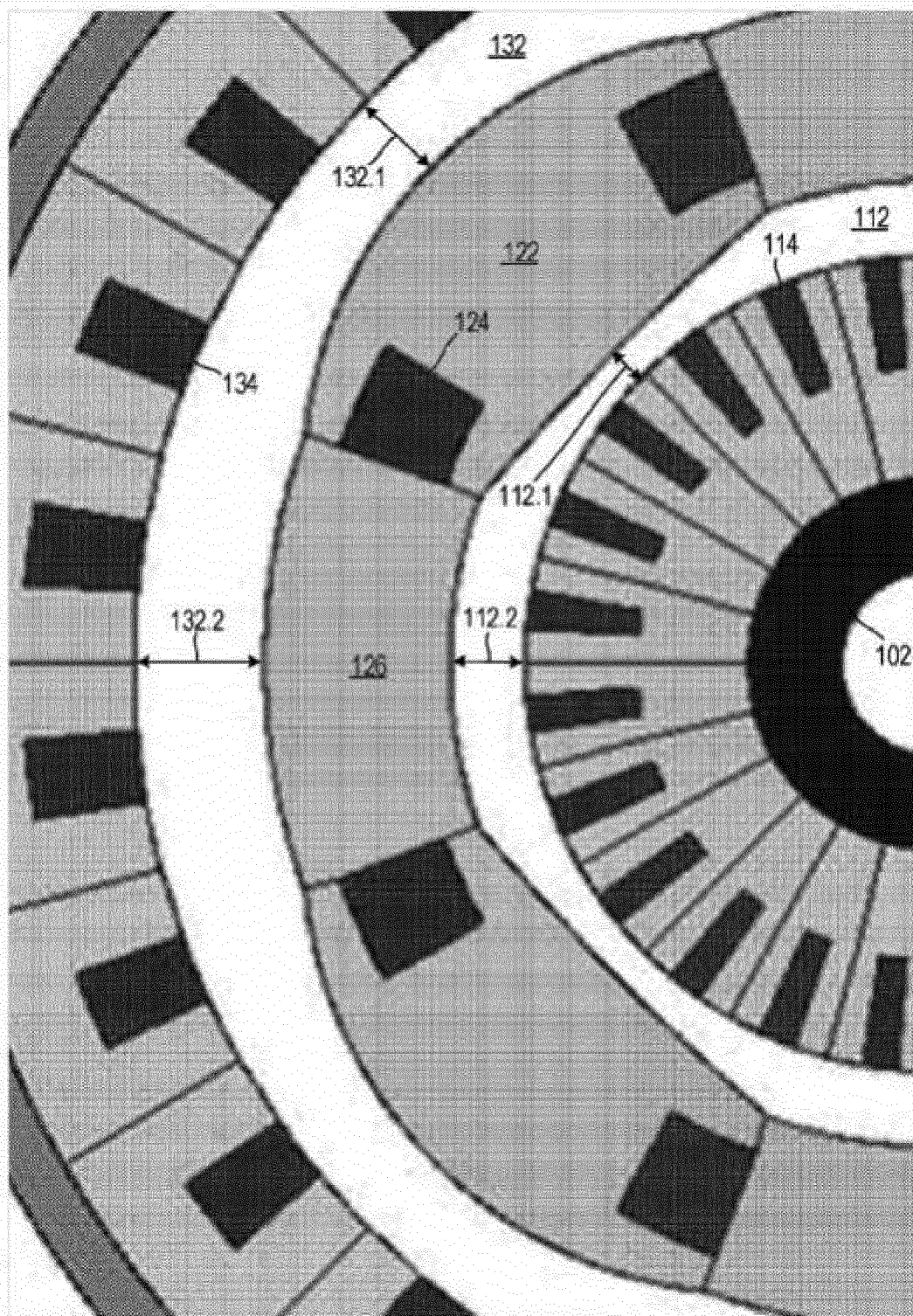
15. Генератор электрической энергии по п. 1, в котором:

внутренний воздушный зазор находится в пределах 5-50 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 10-95 мм в месте его максимальной ширины; а

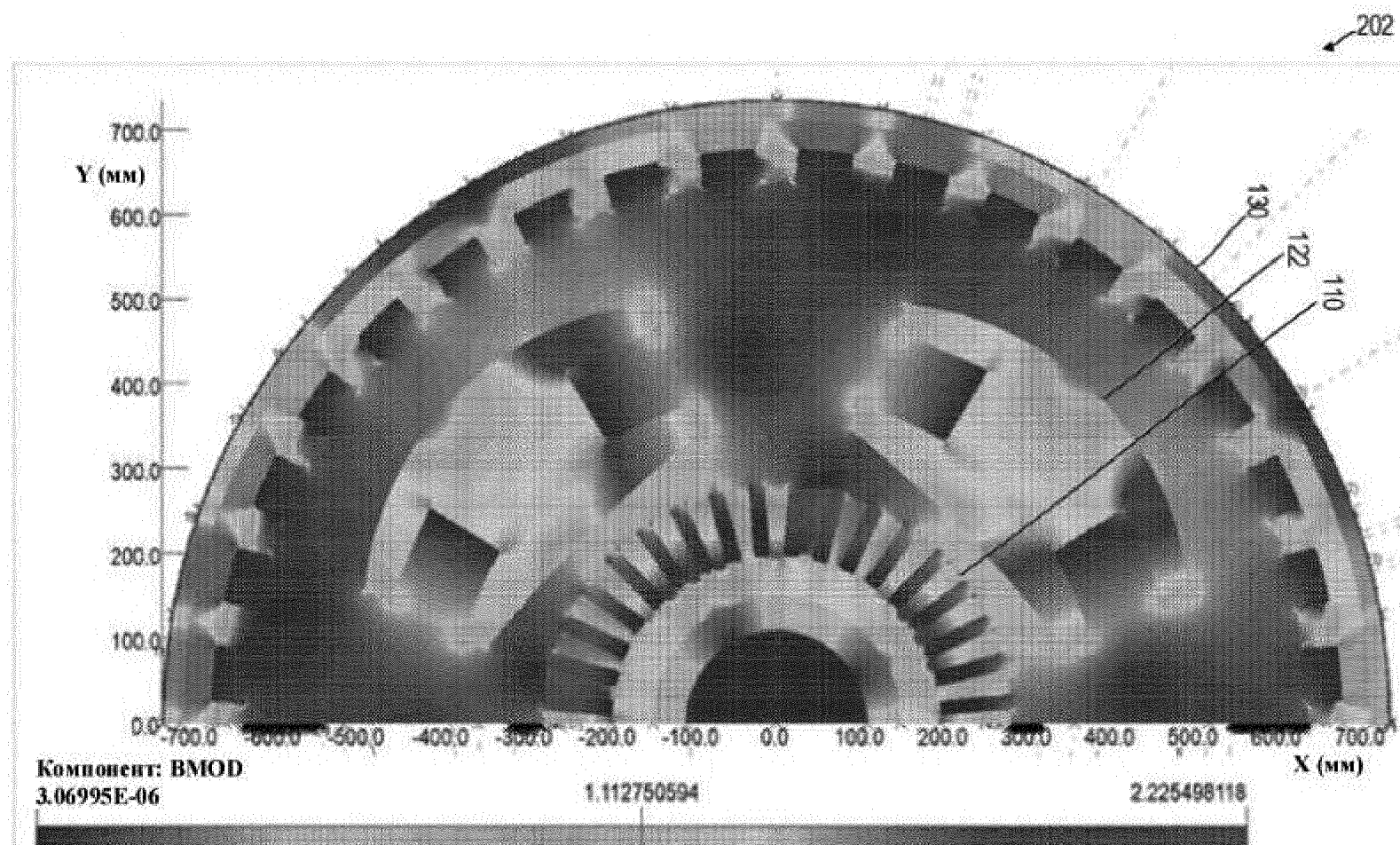
внешний воздушный зазор находится в пределах 20-140 мм в месте его минимальной ширины и в пределах 30-165 мм в месте его максимальной ширины.



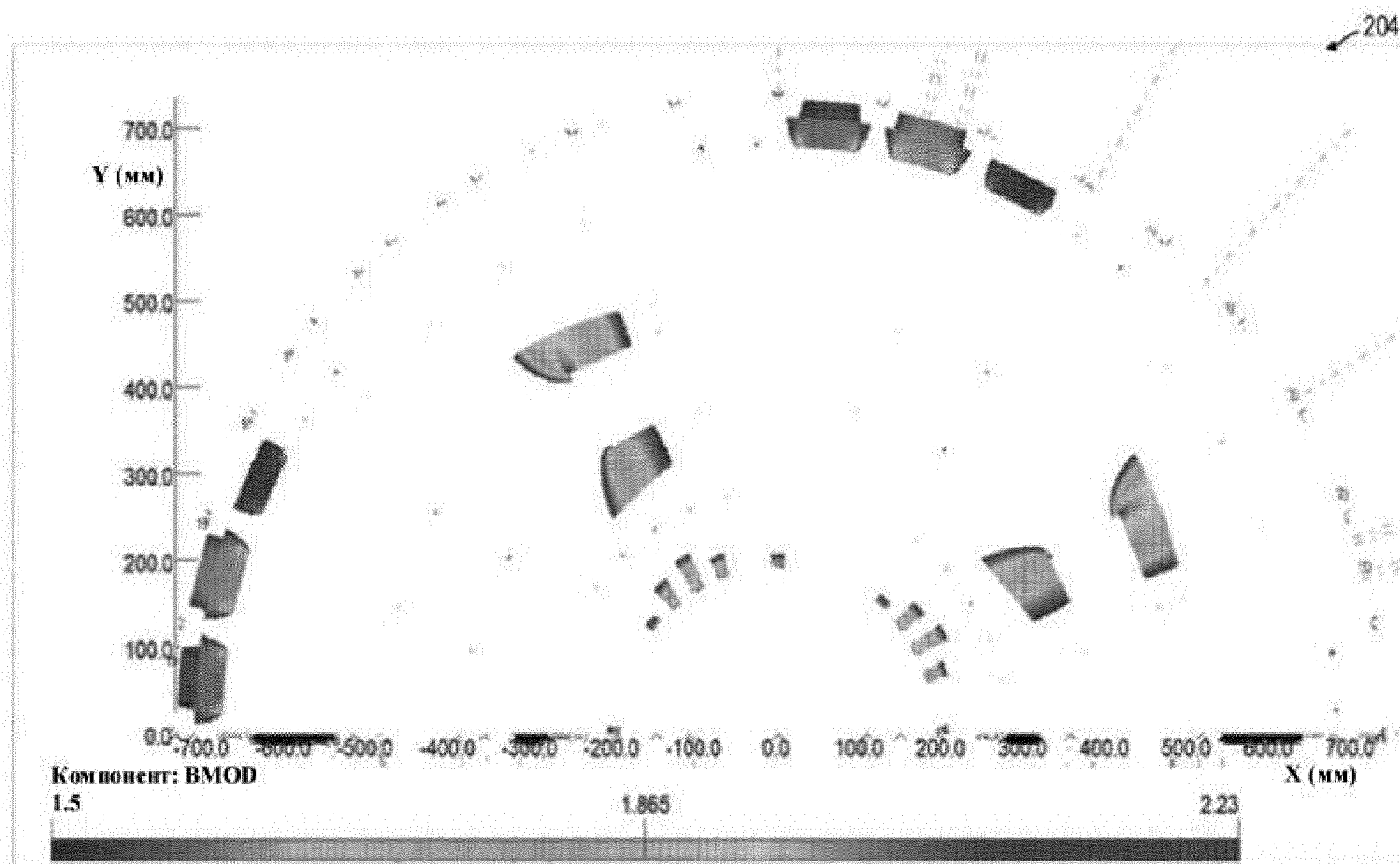
ФИГ. 1



ФИГ. 2

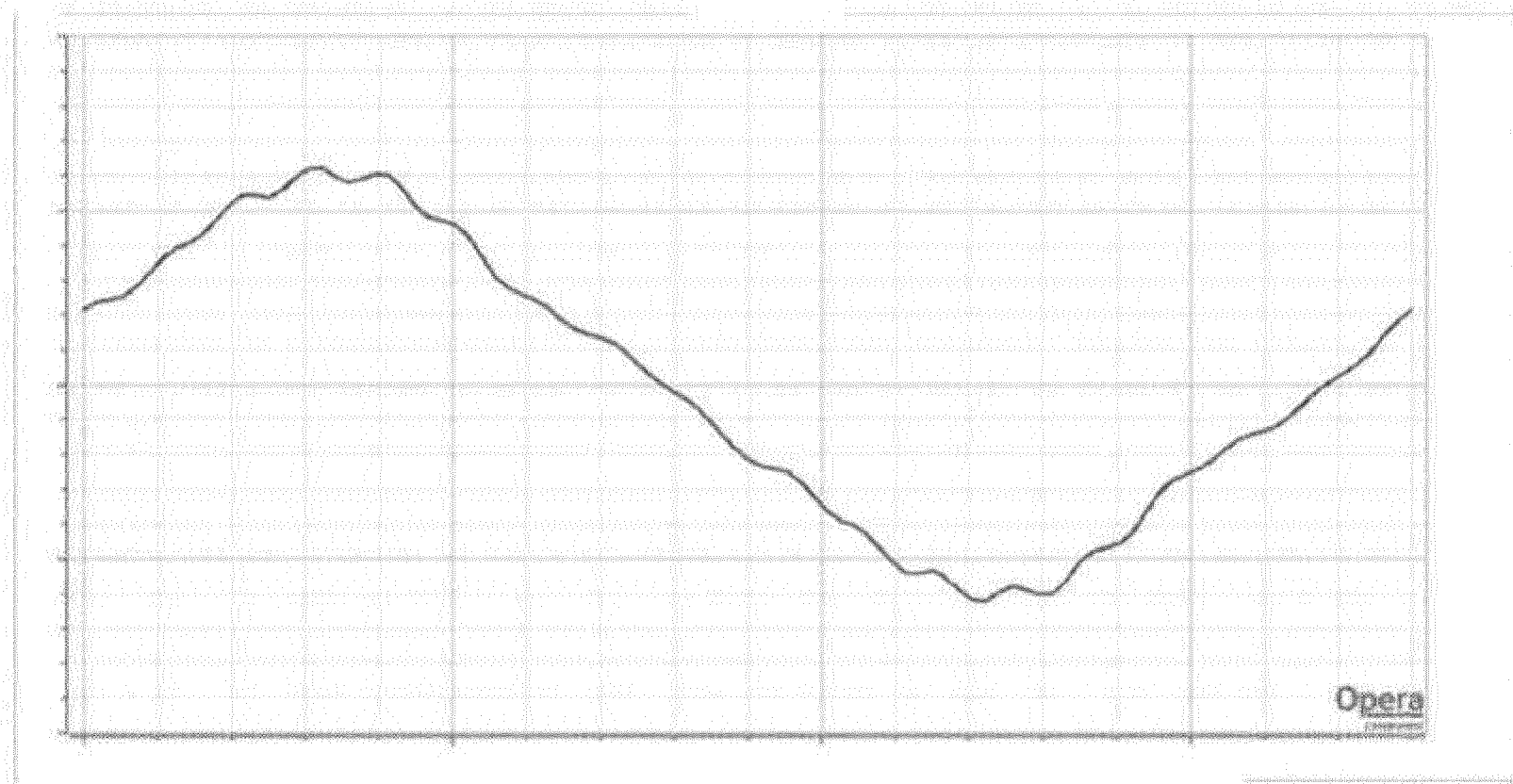


ФИГ. 3

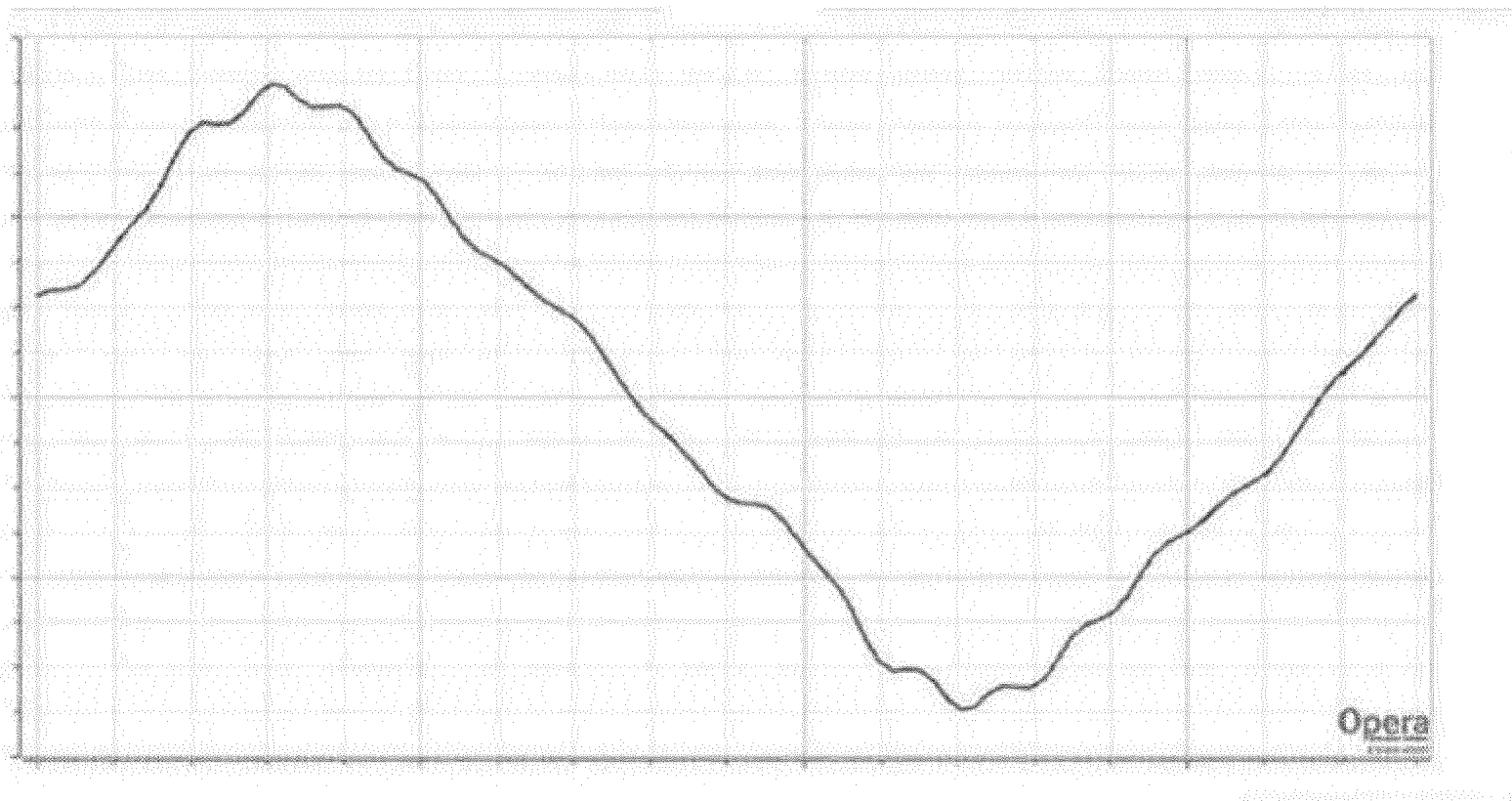


ФИГ. 4

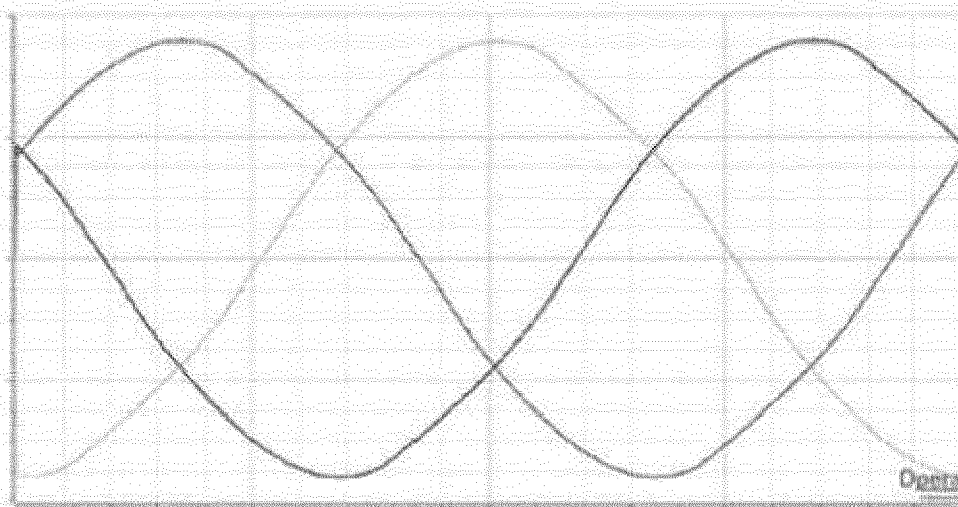
206



ФИГ. 5



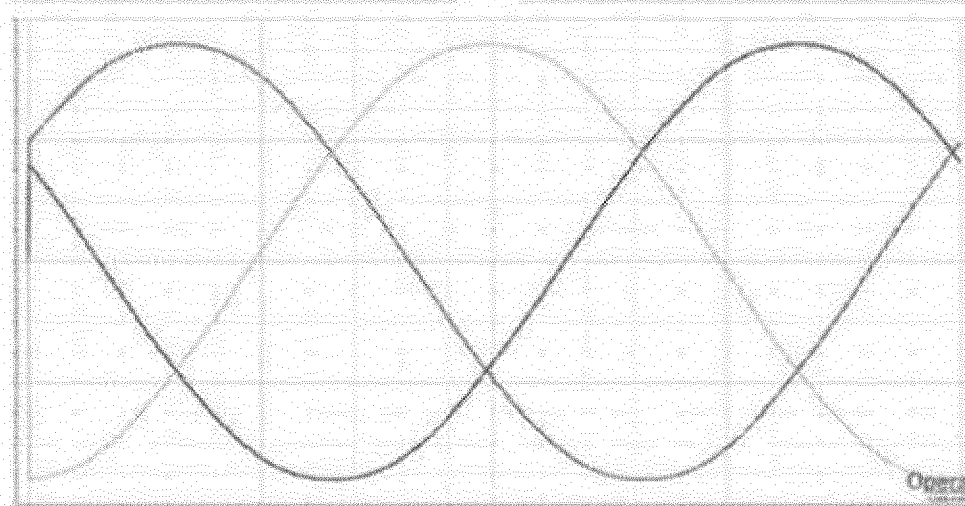
ФИГ. 6

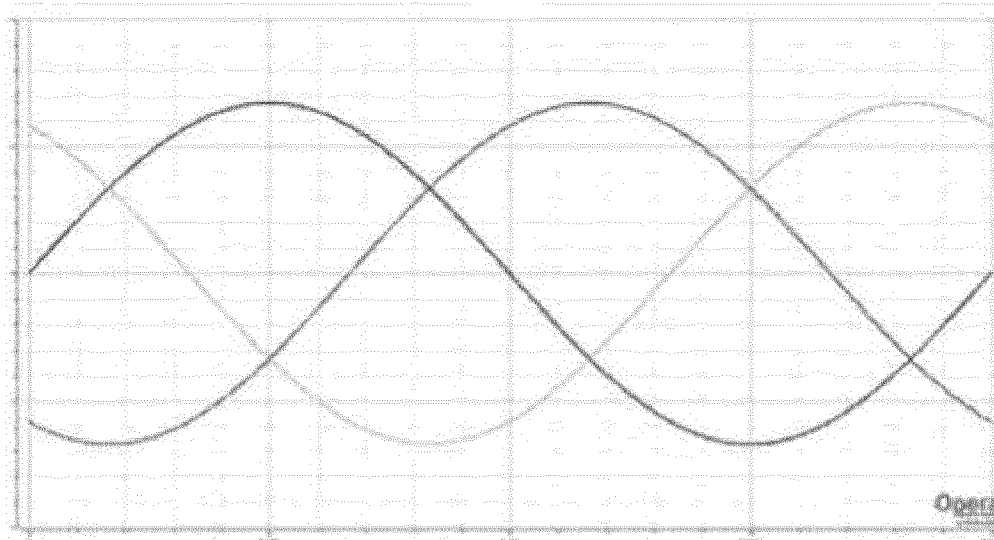


210

**ФИГ. 7**

212

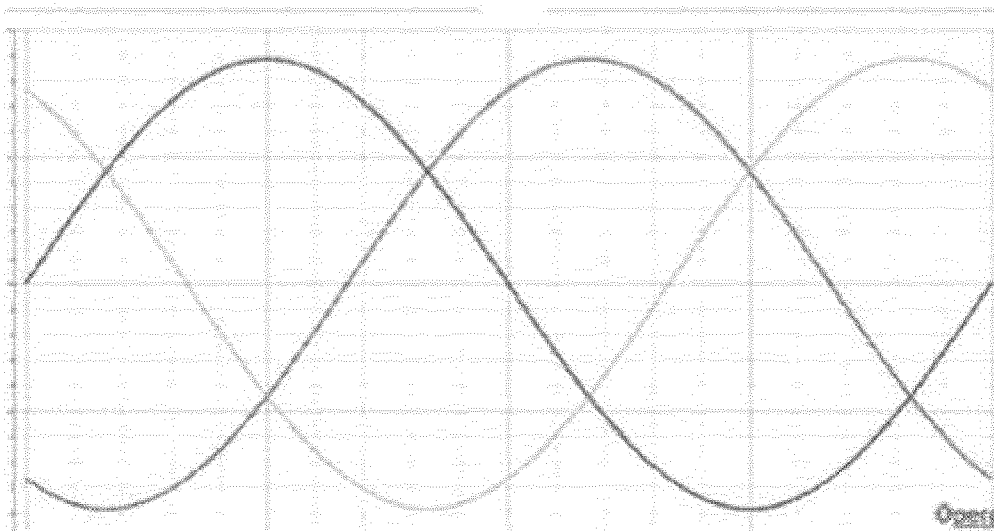
**ФИГ. 8**



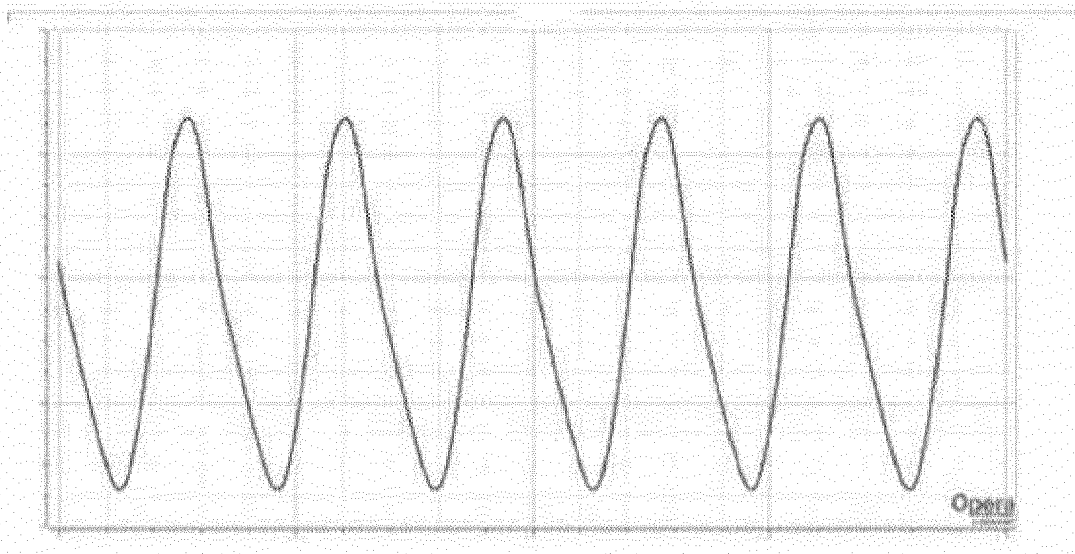
214 ↗

**ФИГ. 9**

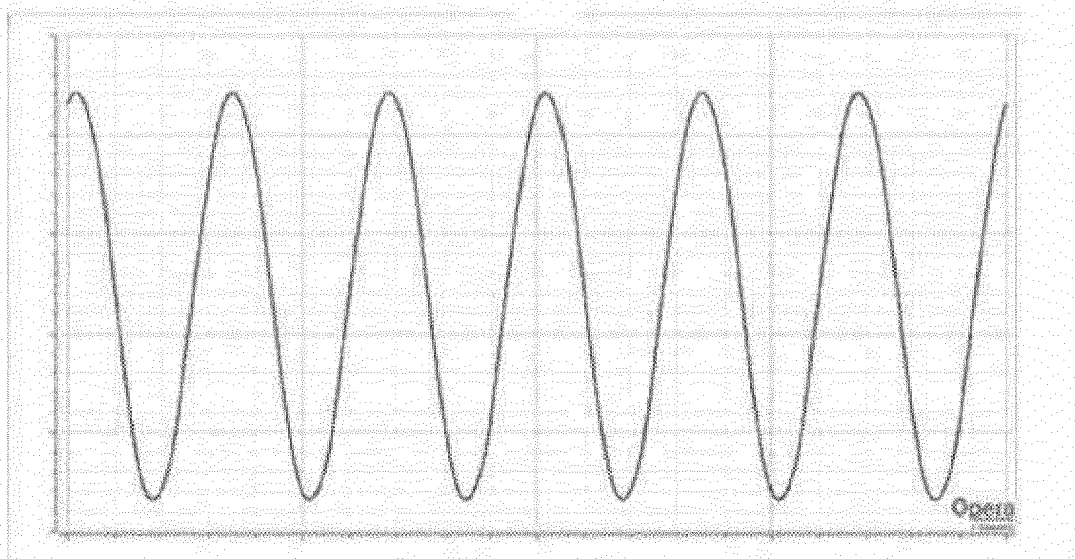
216 ↘

**ФИГ. 10**

220

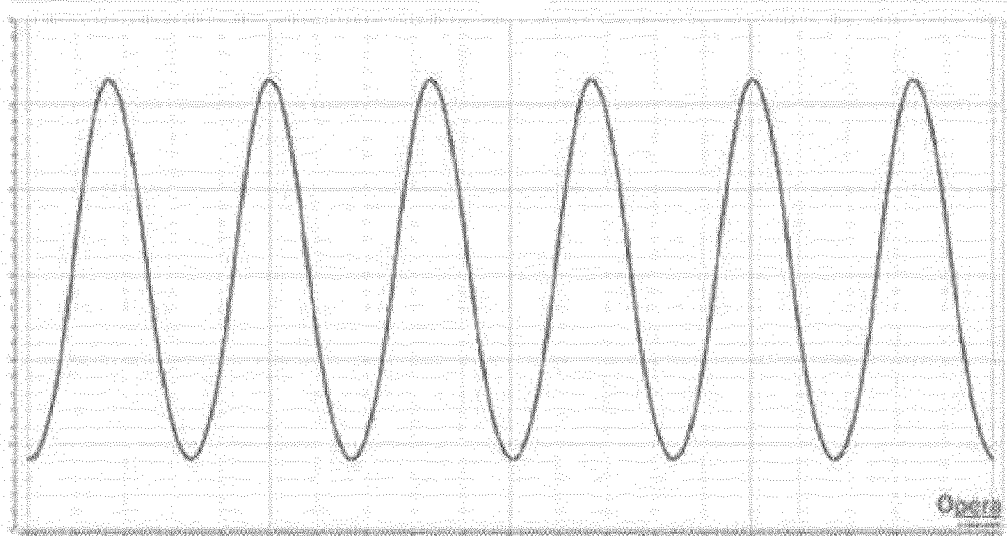


ФИГ. 11



222

ФИГ. 12

224  
↓**ФИГ. 13**