

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 333 439** <sup>(11)</sup> <sup>(13)</sup> **C2**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

[F27B 14/00 \(2006.01\)](#)[H05B 6/24 \(2006.01\)](#)[H05B 6/44 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 08.08.2016)  
Пошлина: учтена за 7 год с 01.08.2012 по 31.07.2013

(21)(22) Заявка: [2006127708/02](#), 31.07.2006(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
31.07.2006

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2008 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: [10.09.2008](#) Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: ШАМОВ А.И. и др.  
Проектирование и конструкция  
высокочастотных установок. Изд. 2-е. - Л.:  
Машиностроение, 1974, с.46, рис.23. SU  
1814197 A1, 07.05.1993. SU 82952 A,  
01.01.1950. RU 2046554 C1, 20.10.1995.  
ФОМИН Н.И. и др. Электрические печи и  
установки индукционного нагрева. - М.:  
Металлургия, 1979, с.130.

Адрес для переписки:

620078, г.Екатеринбург, ул. Студенческая,  
51, ЗАО "РЭЛТЕК", Т.Г.Соловьевой

(72) Автор(ы):

Лузгин Владислав Игоревич (RU),  
Петров Александр Юрьевич (RU),  
Черных Илья Викторович (RU),  
Шипицын Виктор Васильевич (RU),  
Якушев Константин Викторович (RU),  
Рачков Сергей Александрович (RU),  
Сарапулов Федор Никитич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

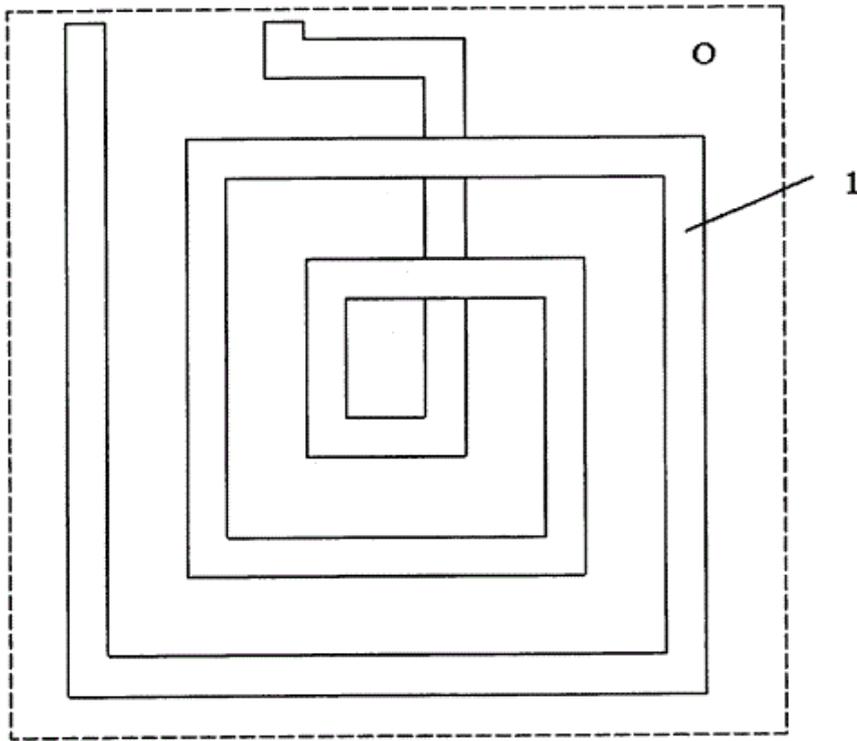
Закрытое акционерное общество  
"РЭЛТЕК" (RU),  
ГОУ ВПО Уральский государственный  
технический университет-УПИ (RU)

**(54) МНОГОФАЗНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ ТИГЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к индукционной нагревательной технике и может быть использовано для плавки металлов и сплавов. Боковая поверхность цилиндрического тигля многофазной индукционной тигельной печи условно разделена на вертикальные сектора по внешней окружности тигля с боковыми сторонами каждого сектора, параллельными оси симметрии тигля. Каждая фазная обмотка выполнена в виде однослойной концентрической прямоугольной катушки, при этом в каждом вертикальном секторе расположена одна упомянутая фазная обмотка таким образом, чтобы две стороны каждого прямоугольного витка в каждой обмотке m-фазного индуктора - нижняя и верхняя - были перпендикулярны оси симметрии тигля, а вторые две стороны того же витка - левая и правая - были параллельны оси симметрии тигля. Все фазные обмотки многофазного индуктора расположены по длине внешней окружности тигля на одном уровне по отношению к нижней и верхней частям тигля, образуя горизонтальный ряд обмоток с высотой, равной высоте нагреваемого металла с одновременным образованием симметричного многофазного катушечного индуктора. Изобретение позволяет создать симметричную многофазную

индукционную печь независимо от типа шихты, расположения ее по высоте тигля, скорости нагрева и расплавления шихты. 2 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг.1

Изобретение относится к индукционно-нагревательной технике и может быть использовано для плавки металлов и сплавов.

Известно, что индукционный нагрев металлов и сплавов осуществляется вихревыми токами, которые возбуждаются в нагреваемом металле переменным магнитным полем, которое, в свою очередь, создается индуктором, т.е. электромагнитной катушкой при пропускании через него переменного тока. Если индуктор возбуждает в нагреваемой детали (или расплаве) магнитное поле по оси детали, значит индукционный нагрев осуществляется в продольном магнитном поле, если же индуктор возбуждает магнитное поле, направленное перпендикулярно оси детали, значит индукционный нагрев осуществляется в поперечном магнитном поле. Так в известном индукторе для нагрева тонких лент в продольном магнитном поле (см. Шамов А.И., Бодажков В.А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Изд. 2-е, доп. и переработ. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1974, 280 с, стр.136, рис.88 (1)), а также см. там же, индуктор для нагрева тонких лент в поперечном магнитном поле (см. стр.137, рис.89 (2)). Для индукционного нагрева не плоских, а, например, круглых деталей, часто применяется круглый индуктор в виде цилиндрической катушки, имеющей заданный диаметр и заданную длину в соответствии с размерами нагреваемой детали (см. там же, стр.112, рис.72 (3)), при этом как это видно из (3), индуктор часто выполняется трехфазным (или в общем случае многофазным) для того, чтобы равномерно загрузить отдельные фазы многофазного питающего источника переменного напряжения. Однако такая равномерная симметричная загрузка фаз питающего источника переменного напряжения возможна только при нагреве детали с неизменным поперечным сечением, как это показано в (3). При индукционном нагреве и плавке металлов и сплавов используется принятая в качестве прототипа индукционная тигельная печь, в которой индуктор также выполняется в виде электрической катушки, диаметр которой определяется внешним диаметром тигля, внутри которого помещается шихта, подлежащая нагреву и расплавлению, а длина этой катушки определяется высотой шихты в начале процесса индукционного нагрева, а затем высотой расплавленного металла (см. там же стр.46, рис.23 (4)). Поскольку в качестве питающего источника переменного напряжения для индукционных тигельных печей часто используется трехфазная промышленная сеть 50 Гц, для ее симметричной равномерной загрузки индуктор индукционной тигельной печи также целесообразно выполнять трехфазным (или в общем случае многофазным). Однако в индукторе индукционной тигельной печи с продольным магнитным полем, выполненном в соответствии с (4), симметричной равномерной загрузки отдельных фаз трехфазного источника питания (в общем случае многофазного) без специального симметрирующего устройства

обеспечить, особенно в процессе плавки, не удастся из-за того, что электрофизические параметры расплавленного металла: удельное сопротивление  $\rho$  и магнитная проницаемость  $\mu$  существенно отличаются для холодного и расплавленного металла, поэтому эквивалентное сопротивление отдельных фазных обмоток многофазного индуктора, расположенных в вертикальном направлении одна под другой будет различным и будет изменяться по мере расплавления шихты, которое, как правило, начинается с нижней части тигля и постепенно доходит до его верхней части.

Таким образом, в прототипе не может быть достигнут заявленный технический результат - создание симметричной многофазной индукционной тигельной печи.

Предлагаемое изобретение - многофазная индукционная тигельная печь решает задачу создания устройства для индукционного нагрева, осуществление которого позволяет достичь заявленного технического результата, заключающегося в возможности создания симметричной многофазной индукционной тигельной печи независимо от типа шихты, ее расположения по высоте тигля, от скорости индукционного нагрева и расплавления шихты.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что в многофазной индукционной тигельной печи, содержащей цилиндрический тигель из термостойкого материала и многофазный индуктор, где число фаз  $m > 1$  целое число, боковая поверхность тигля условно разделена на  $m$  вертикальных секторов по внешней окружности тигля с боковыми сторонами каждого сектора, параллельными центральной оси симметрии тигля, причем каждая фазная обмотка многофазного индуктора выполнена в виде однослойной концентрической прямоугольной катушки, при этом в каждом вертикальном секторе расположена одна упомянутая фазная обмотка многофазного индуктора, причем первые две стороны каждого прямоугольного витка каждой обмотки многофазного индуктора - нижняя и верхняя - перпендикулярны оси симметрии тигля, а вторые две стороны того же витка - левая и правая - параллельны той же оси симметрии тигля, причем все  $m$  фазных обмоток многофазного индуктора расположены по длине внешней окружности тигля на одном уровне по отношению к нижней и верхней частям тигля, образуя горизонтальный ряд обмоток с высотой, равной высоте нагреваемого металла с одновременным образованием симметричного многофазного катушечного индуктора, при этом каждая фазная обмотка многофазного индуктора может быть выполнена с магнитопроводом. Кроме того, в индукционной тигельной печи дополнительно введены  $(m-1)$  горизонтальных рядов катушек обмоток многофазного индуктора, при этом  $m-m$  катушек многофазного индуктора расположены на боковой поверхности тигля в «шахматном порядке» по  $m$  катушек обмоток многофазного индуктора в каждом горизонтальном ряду по окружности тигля, перпендикулярном оси тигля, и по  $m$  катушек обмоток многофазного индуктора в каждом вертикальном секторе, параллельном оси тигля, при этом каждая фазная обмотка многофазного индуктора содержит отдельные, последовательно соединенные катушки этой фазной обмотки многофазного индуктора, причем каждая последующая в последовательной цепи катушка каждой фазной обмотки многофазного индуктора расположена одновременно в соседнем вертикальном секторе по отношению к предыдущему и в соседнем горизонтальном ряду по отношению к предыдущему с одновременным образованием симметричного многофазного многокатушечного индуктора.

Таким образом, заявленный технический результат - создание симметричной многофазной индукционной тигельной печи достигается с использованием многофазного катушечного индуктора, так и с использованием многофазного многокатушечного индуктора.

На фиг. 1 - 6 показаны принципы конструктивного исполнения и схемы предлагаемых многофазных индукционных тигельных печей.

На фиг. 1 показан вид фазной однослойной концентрической прямоугольной катушки обмотки  $O$  многофазной индукционной тигельной печи без магнитопровода в соответствии с п.1 формулы, а на фиг. 2 показан вид трехфазной индукционной тигельной печи без магнитопровода (вид сверху), где обозначено: 1 - катушка обмотки трехфазной индукционной тигельной печи, вид которой приведен на фиг. 1, 2 - тигель трехфазной индукционной тигельной печи. На фиг. 3 показан вид фазной однослойной концентрической прямоугольной катушки обмотки многофазной индукционной тигельной печи с магнитопроводом в соответствии с п. 2 формулы, а на фиг. 4 показан вид трехфазной индукционной тигельной печи с магнитопроводом (вид сверху), где обозначено: 1 - катушки обмотки трехфазной индукционной тигельной печи, вид которой приведен на фиг. 3, 2 - тигель трехфазной индукционной тигельной печи, 3 - магнитопровод трехфазной индукционной тигельной печи.

На фиг 5 показан вид боковой развертки тигля и схема трехфазной индукционной тигельной печи с трехфазным трехкатушечным индуктором, с вертикальными секторами  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  и размещенными в каждом секторе катушками фазных обмоток  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$ , каждая из которых может быть выполнена либо в соответствии с фиг.1 без магнитопровода, либо в соответствии с фиг.3 - с магнитопроводом. На фиг.5 обозначено:  $h_{и}=h_{м}$  - равные по значению высоты индуктора  $h_{и}$  и металла  $h_{м}$ ;  $h_{т}$  - высота тигля;  $l_0$  - длина окружности боковой поверхности тигля. К трем фазным обмоткам  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  подведено трехфазное переменное напряжение сети ABC.

На фиг.6 показан вид боковой развертки тигля и схема трехфазной индукционной тигельной печи с трехфазным девятикатушечным индуктором с вертикальными секторами  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  и горизонтальными рядами  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$ , а также размещенными в каждом прямоугольнике, образованном вертикальными линиями условного деления на вертикальные секторы и горизонтальными линиями условного деления на горизонтальные ряды, отдельными катушками трехфазного девятикатушечного индуктора  $O_{1-1}$ ,  $O_{1-2}$ ,  $O_{1-3}$ ,  $O_{2-1}$ ,  $O_{2-2}$ ,  $O_{2-3}$ ,  $O_{3-1}$ ,  $O_{3-2}$  и  $O_{3-3}$ , каждая из которых может быть выполнена либо в соответствии с фиг.1 без магнитопровода, либо в соответствии с фиг.3 - с магнитопроводом. Также на фиг.6 обозначено:  $h_{и}=h_{м}$  - равные по значению высоты индуктора  $h_{и}$  и металла  $h_{м}$ ;  $h_{т}$  - высота тигля,  $l_0$  - длина окружности боковой поверхности тигля. Каждая фазная обмотка состоит из трех последовательно соединенных катушек в соответствии с п.3 формулы, т.е. первая фазная обмотка состоит из последовательно соединенных катушек  $O_{1-1}$ ,  $O_{2-3}$  и  $O_{3-2}$ , вторая фазная обмотка состоит соответственно из  $O_{1-2}$ ,  $O_{2-1}$  и  $O_{3-3}$  и, наконец, третья фазная обмотка состоит соответственно из  $O_{1-3}$ ,  $O_{2-2}$  и  $O_{3-1}$ . К трем фазным, упомянутым выше обмоткам, подведено трехфазное переменное напряжение питающей сети ABC. Аналогично расположению и соединениям, приведенным на фиг.6, можно создать шестифазную индукционную тигельную печь с шестифазным тридцатикатушечным индуктором, а в общем случае многофазную индукционную тигельную печь с многокатушечным индуктором.

Предложенная многофазная индукционная тигельная печь работает следующим образом.

Во-первых, необходимо отметить, что в предложенной индукционной тигельной печи как в трехфазном трехкатушечном исполнении индуктора (фиг.5), так и в трехфазном девятикатушечном исполнении индуктора (фиг.6), а также в общем случае в многофазном многокатушечном исполнении индуктора каждая фазная обмотка этого многофазного индуктора состоит из последовательно соединенных катушек, расположенных по высоте тигля, значит они охватывают магнитным полем весь тигель по его оси, включая все горизонтальные слои нагреваемого металла, в том числе и расплавленный и нерасплавленный металл с разными электрофизическими параметрами, причем это чередование слоев для всех фазных обмоток совершенно одинаково. Именно этим обстоятельством и обеспечивается достижение заявленного технического результата, т.е. создание симметричной многофазной индукционной тигельной печи независимо от формы шихты, расположения ее по высоте тигля и скорости ее нагрева.

Рассмотрим работу трехфазной индукционной тигельной печи со схемой соединения обмоток трехфазного трехкатушечного индуктора, приведенной на фиг.5. Предположим, что обмотки  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  индуктора соединены по схеме «звезда», что показано пунктиром. Поскольку сопротивления всех обмоток  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  равны, при подключении их к трехфазной сети переменного тока ABC по этим обмоткам будет протекать симметричный трехфазный ток по контурам: А- $O_1$ -Х, В- $O_2$ -У и С- $O_3$ -Z, который вызовет возбуждение трехфазного поперечного электромагнитного поля. Это поле при соответствующей напряженности и частоте обеспечивает, во-первых, в металлической шихте, находящейся внутри тигля, возникновение вихревых токов, а следовательно, нагрев и расплавление шихты, а, во-вторых, обеспечивает бегущую электромагнитную волну от поперечного электромагнитного поля и тяговую электромагнитную силу, обеспечивающую вращение жидкого металла вокруг оси тигля, что обеспечивает повышение качества выплавляемого металла или сплава.

Для дальнейшего увеличения интенсивности электромагнитного перемешивания авторами предложена многофазная индукционная тигельная печь с многофазным многокатушечным индуктором, один из вариантов которой, а именно, трехфазный девятикатушечный, показан на фиг.6. При подаче на обмотки упомянутого трехфазного индуктора, соединенные по схеме «звезда», переменного напряжения от

трехфазного источника питания ABC по этим обмоткам будет протекать симметричный трехфазный ток по контурам:  $A-O_{1-1}-O_{2-3}-O_{3-2}-X$ ,  $B-O_{1-2}-O_{2-1}-O_{3-3}-U$  и  $C-O_{1-3}-O_{2-2}-O_{3-1}-Z$ , который вызовет возбуждение и трехфазного поперечного и трехфазного продольного электромагнитных полей. Эти поля при соответствующей напряженности и частоте также обеспечивают, во-первых, в металлической шихте, находящейся внутри тигля, возникновение вихревых токов, а следовательно, нагрев и расплавление шихты, а, во-вторых, обеспечивают бегущие электромагнитные волны как от поперечного, так и от продольного электромагнитных полей и тяговую электромагнитную силу, обеспечивающую движение жидкого металла как вокруг оси симметрии тигля, так и параллельно оси симметрии тигля, что еще больше увеличивает электромагнитное перемешивание жидкого металла. Поперечная электромагнитная бегущая волна, направление движения которой перпендикулярно оси тигля, и продольная бегущая электромагнитная волна, направление движения которой параллельно оси тигля, образуются в результате того, что в отдельных обмотках трехфазного индуктора как в каждом горизонтальном ряду, так и в каждом вертикальном секторе протекает симметричная трехфазная (в общем случае многофазная) система токов. Так, например, в соответствии с фиг.6 в первом секторе  $C_1$  по обмоткам  $O_{1-1}$ ,  $O_{2-1}$  и  $O_{3-1}$  протекают соответственно токи фаз А, В и С. Во втором секторе  $C_2$  по обмоткам  $O_{1-2}$ ,  $O_{2-2}$  и  $O_{3-2}$  протекают соответственно токи фаз В, С и А. В третьем секторе  $C_3$  по обмоткам  $O_{1-3}$ ,  $O_{2-3}$  и  $O_{3-3}$  протекают соответственно токи фаз С, А и В. Именно упомянутые фазные токи создают и поперечную и продольную бегущие электромагнитные волны.

Возможность формирования поперечной бегущей электромагнитной волны обеспечивается тем, что в каждом витке катушек обмоток многофазного индуктора многофазной тигельной печи имеется две стороны прямоугольного витка, расположенных вертикально, т.е. параллельно оси тигля, а возможность формирования продольной бегущей электромагнитной волны обеспечивается тем, что в каждом витке катушек обмоток многофазного индуктора многофазной тигельной печи имеется две стороны прямоугольного витка, расположенные горизонтально, т.е. перпендикулярно оси тигля.

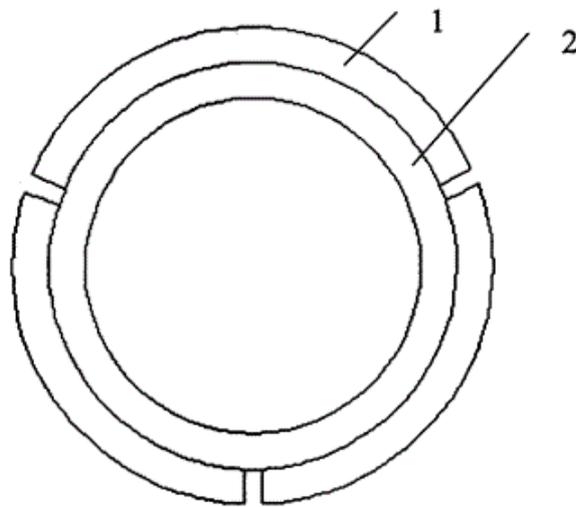
#### Формула изобретения

1. Многофазная индукционная тигельная печь, содержащая цилиндрический тигель из термостойкого материала для нагрева и расплавления шихты и многофазный катушечный индуктор, где число фаз  $m > 1$  целое число, отличающаяся тем, что боковая поверхность тигля условно разделена на вертикальные сектора по внешней окружности тигля с боковыми сторонами каждого сектора, параллельными центральной оси симметрии тигля, причем каждая фазная обмотка многофазного индуктора выполнена в виде однослойной концентрической прямоугольной катушки, в каждом вертикальном секторе расположена одна упомянутая фазная обмотка многофазного индуктора, причем первые две стороны каждого прямоугольного витка каждой обмотки многофазного индуктора - нижняя и верхняя - перпендикулярны оси симметрии тигля, а вторые две стороны того же витка - левая и правая - параллельны оси симметрии тигля, причем все фазные обмотки многофазного индуктора расположены по длине внешней окружности тигля на одном уровне по отношению к нижней и верхней частям тигля, образуя горизонтальный ряд обмоток с высотой, равной высоте нагреваемого металла, с одновременным образованием симметричного многофазного катушечного индуктора.

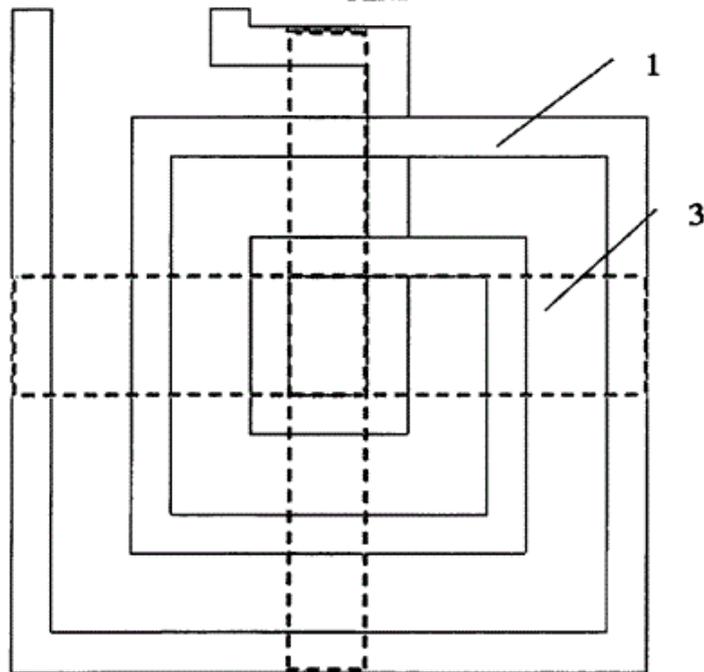
2. Многофазная индукционная тигельная печь по п.1, отличающаяся тем, что каждая фазная обмотка многофазного индуктора выполнена с магнитопроводом.

3. Многофазная индукционная тигельная печь по п.1 или 2, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит  $(m-1)$  горизонтальных рядов катушек обмоток многофазного индуктора, при этом  $m-m$  катушек многофазного индуктора расположены на боковой поверхности тигля в «шахматном порядке» по  $m$  катушек обмоток многофазного индуктора в каждом горизонтальном ряду по окружности тигля, перпендикулярном оси тигля, и по  $m$  катушек обмоток многофазного индуктора в каждом вертикальном секторе, параллельном оси тигля, при этом каждая фазная обмотка многофазного индуктора содержит отдельные последовательно соединенные катушки этой фазной обмотки многофазного индуктора, причем каждая последующая в последовательной цепи катушка каждой фазной обмотки многофазного индуктора расположена одновременно в соседнем вертикальном секторе по отношению к предыдущему и в соседнем горизонтальном ряду по отношению к предыдущему с

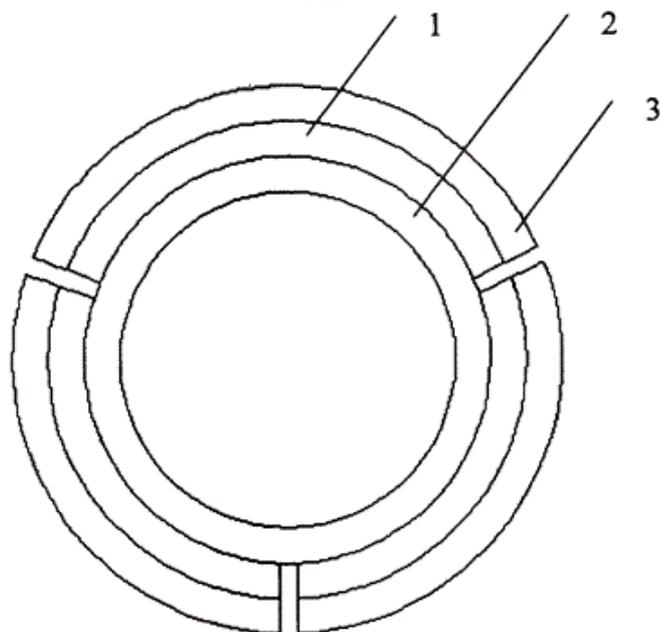
одновременным образованием симметричного многофазного многокатушечного индуктора.



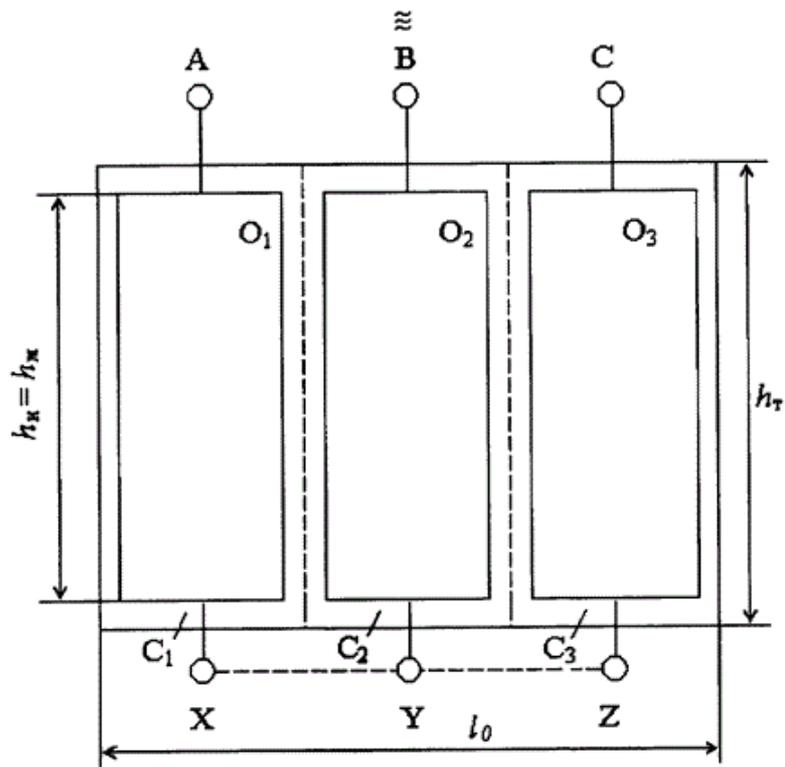
Фиг.2



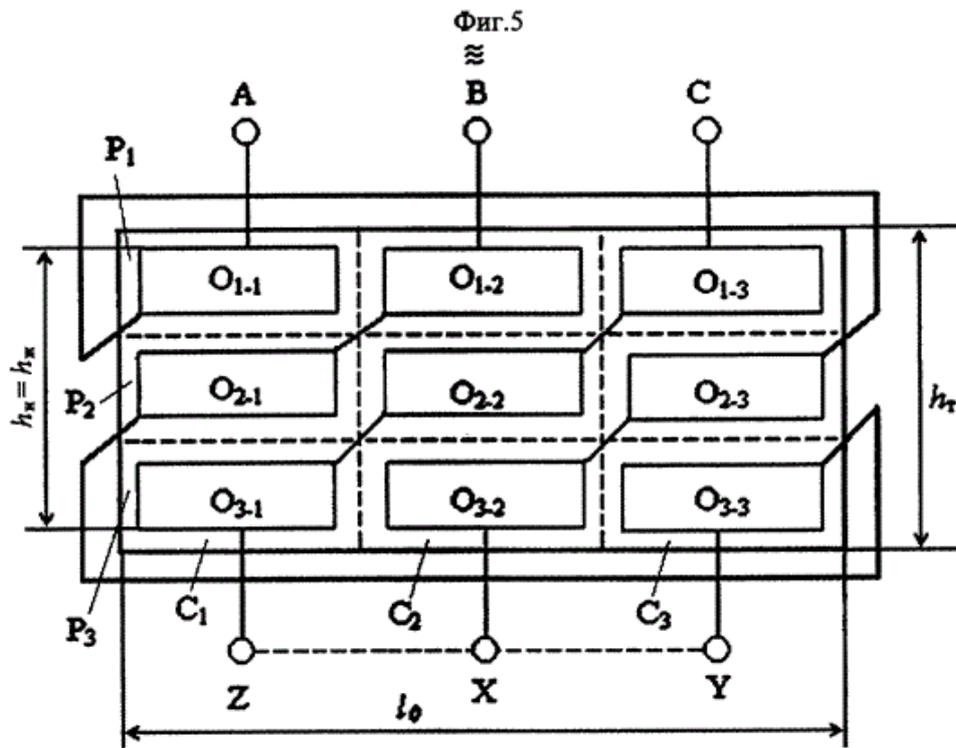
Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6

## ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: 01.08.2013

Дата публикации: [20.06.2014](#)

