



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 143 753** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **G 21 B 1/00, H 05 H 1/02**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 96103270/06, 20.02.1996

(46) Дата публикации: 27.12.1999

(56) Ссылки: Darkes A.C. et.al.Mast: A Mega Amp. Spherical Tokamak - Fusion Technology 1994. Proceedings of the 18 th Simposium on Fusion Technology. - Karlsruhe: Germany, 22 - 26 August 1994, North-Hollaand 1995, vol. 1, p. 799-802. SU 689444 A1, 30.12.82. FR 2681228 A1, 28.05.93. US 5038052 A, 06.08.91.

(98) Адрес для переписки:
189631, Санкт-Петербург, пос.Металлострой,
Советский пр., д.1 НИИЭФА им.Д.В.Ефремова

(71) Заявитель:

Государственное предприятие
"Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры
им.Д.В.Ефремова"

(72) Изобретатель: Коротков В.А.,
Сойкин В.Ф.

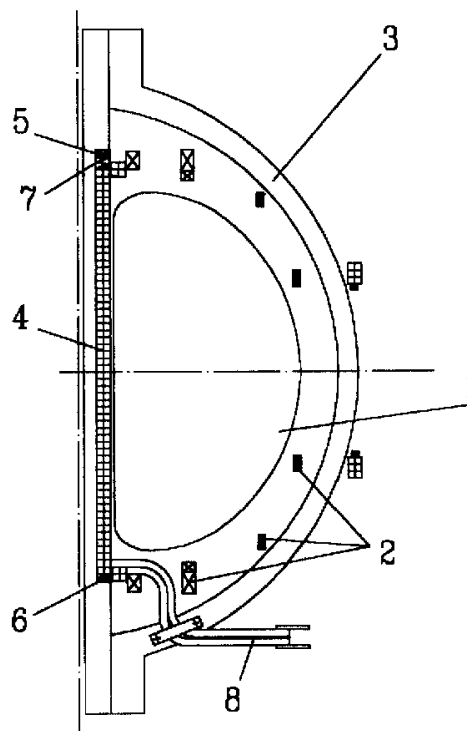
(73) Патентообладатель:

Государственное предприятие
"Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры
им.Д.В.Ефремова"

(54) **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИСТЕМА ТЕРМОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА ТОКАМАК**

(57) Реферат:

Изобретение относится к экспериментальным установкам управляемого термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы. Решается задача устранения отклонений допустимой минимальной величины магнитного поля в зоне образования плазмы, когда центральный соленоид после включения установки получит вертикальную деформацию от действия электромагнитных (пондеромоторных сил). Электромагнитная система содержит центральный соленоид, установленный вертикально между опорными элементами, и обмотки полоидального и тороидального магнитных полей, расположенные на тороидальной разрядной камере. Опорная поверхность одного из опорных элементов центрального соленоида смещена в сторону горизонтальной оси установки на половину величины вертикальной деформации соленоида, возникающей под действием пондеромоторных сил. Один торец соленоида непосредственно примыкает к этому опорному элементу, а между другим опорным элементом и вторым торцом соленоида установлен упругий элемент. 1 з.п.ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 143 753** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁶ **G 21 B 1/00, H 05 H 1/02**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 96103270/06, 20.02.1996

(46) Date of publication: 27.12.1999

(98) Mail address:
189631, Sankt-Peterburg, pos. Metallostroj,
Sovetskij pr., d.1 NII EhFA im.D.V.Efremova

(71) Applicant:
Gosudarstvennoe predpriyatie
"Nauchno-issledovatel'skij institut
ehlektrofizicheskoy apparatury im.D.V.Efremova"

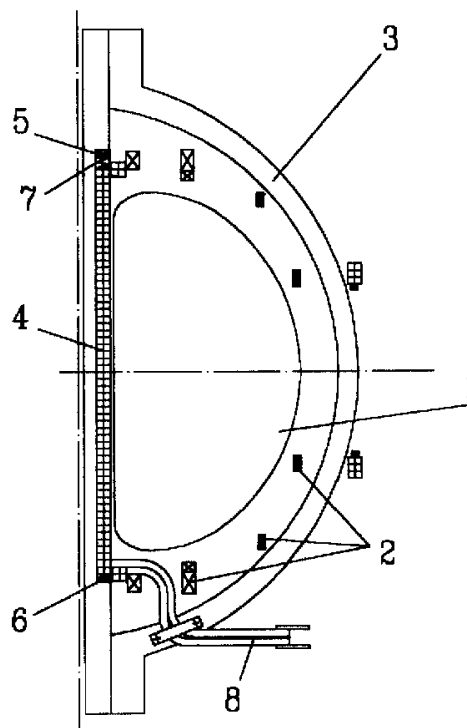
(72) Inventor: Korotkov V.A.,
Sojkin V.F.

(73) Proprietor:
Gosudarstvennoe predpriyatie
"Nauchno-issledovatel'skij institut
ehlektrofizicheskoy apparatury im.D.V.Efremova"

(54) **TOKAMAK UNIT ELECTROMAGNETIC SYSTEM**

(57) Abstract:

FIELD: experimental controlled nuclear fusion units with magnetic plasma retention. SUBSTANCE: electromagnetic system has central solenoid vertically mounted between supporting members as well as centroidal and toroidal magnetic field windings placed on toroidal discharge chamber. Effective surface of one of supporting members of central solenoid is shifted towards horizontal axis of unit through half the amount of vertical strain of solenoid caused by ponderomotive forces. One end of solenoid directly abuts against mentioned supporting member; flexible member is placed between other supporting member and other end of solenoid. EFFECT: provision for eliminating deviations from minimal field strength in plasma generation zone when central solenoid suffers vertical strain. 2 cl, 2 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к экспериментальным установкам управляемого термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы.

Известен проект электромагнитной системы (ЭМС) установки типа токамак, состоящей из обмотки тороидального поля (ОТП) и обмотки полоидального поля (ОПП), в состав которой входит катушка индуктора. Индуктор расположен в центральном отверстии, образованном витками ОТП. Внутри ОТП установлена тороидальная разрядная камера [1]. Такая система подвергается действию электромагнитных (пондеромоторных) сил, возникающих в результате взаимодействия тороидального магнитного поля с током ОТП, а также от взаимодействия магнитного поля катушки индуктора с собственным током [2]. Центральный индуктор или, как его принято называть в современной литературе, центральный соленоид, устанавливается в таких установках симметрично относительно горизонтальной оси установки. Он предназначен для создания центрального магнитного потока, генерирующего вихревую ЭДС для поджига разряда плазмы и поддержания ее горения в разрядной камере. Под действием вертикальной составляющей пондеромоторной силы центральный соленоид сжимается, в результате чего его длина уменьшается. При этом происходит смещение витков катушки соленоида с током и, соответственно, искажается конфигурация и изменяется величина полоидального поля (по сравнению с расчетным значением) в зоне образования плазмы, что приводит к срыву плазмы. Для устранения этого в ОПП устанавливаются дополнительные компенсирующие витки.

Известна ЭМС сферического токамака MAST, содержащая центральный соленоид и обмотки полоидального и тороидального магнитных полей, расположенные на тороидальной разрядной камере. Центральный соленоид установлен вертикально между опорными элементами, равноотстоящими от горизонтальной оси установки, и намотан на центральную часть витков ОТП. Выводные концы центрального соленоида выведены вверх и вниз и жестко закреплены на разрядной камере [3]. Недостатком этой ЭМС является возможность срыва плазмы во время ее поджига в результате изменения конфигурации и величины полоидального магнитного поля в зоне образования плазмы из-за уменьшения длины центрального соленоида под действием вертикальной составляющей пондеромоторной силы. Для зажигания плазмы в зоне ее образования необходимо иметь минимальную величину фонового полоидального поля порядка 1-3 Гс [3]. Такая величина поля специально обеспечивается путем сложения магнитных полоидальных полей от протекания в момент зажигания требуемых величин токов во всех катушках полоидального поля с учетом их геометрического положения. Ввиду, как правило, большой длины центрального соленоида (например, в сферическом токамаке MAST, его длина около 3,5 м), уменьшение длины соленоида достигает десятков миллиметров (для MAST эта величина около 16 мм). Остальные катушки

ОПП не имеют такой деформации, ввиду существенно меньшего размера высоты. Соответственно, при таких изменениях положения токовых витков центрального соленоида, изменяются конфигурация и величина полоидального поля~ на 5-10 Гс, что соответственно и приводит к срыву плазмы. В сферическом токамаке этот фактор проявляется в наибольшей степени ввиду малого аспектного отношения (близкое расположение плазмы к центральной оси установки и соответственно к центральному соленоиду). Для борьбы с этим явлением в установке устанавливаются компенсирующие витки.

Кроме того, из-за уменьшения длины соленоида подвергаются деформации выводные концы соленоида, жестко закрепленные на разрядной камере. Появляющиеся в них дополнительные механические напряжения снижают ресурс работы соленоида ввиду циклического характера работы установки.

Таким образом, имеется задача избежать отклонений допустимой минимальной величины полоидального магнитного поля в зоне образования плазмы, когда центральный соленоид, после включения установки, получит вертикальную деформацию от действия пондеромоторной силы.

Эта задача решается тем, что в ЭМС термоядерной установки типа токамак, содержащей центральный соленоид, установленный вертикально между опорными элементами, и обмотки полоидального и тороидального магнитных полей, расположенные на тороидальной разрядной камере, опорная поверхность одного из опорных элементов центрального соленоида смещена в сторону горизонтальной оси установки на половину величины вертикальной деформации соленоида, возникающей под действием пондеромоторных сил. Один торец соленоида непосредственно примыкает к этому опорному элементу, а между другим опорным элементом и вторым торцом соленоида установлен упругий элемент. Выводы центрального соленоида в такой ЭМС целесообразно располагать вблизи торца, непосредственно примыкающего к опорному элементу.

Техническим результатом, достигаемым при использовании изобретения, является упрощение ЭМС за счет устранения необходимости применения компенсирующих витков и механических узлов их крепления. Это приводит к снижению трудоемкости изготовления, упрощению наладки системы и экономии электроэнергии, а также к повышению ресурса работы центрального соленоида, ввиду того, что выводы при работе соленоида находятся в неподвижном состоянии, т.к. устранено перемещение торца соленоида, на котором они расположены, и отсутствуют дополнительные механические напряжения.

На фиг. 1 приведено схематическое изображение конструкции ЭМС, выполненной в соответствии с изобретением.

На фиг. 2 представлены три варианта положения центрального соленоида:

- а) положение соленоида в конструкции прототипа;
- б) положение соленоида в изобретении

при сборке ЭМС;

в) положение соленоида в изобретении после включения установки.

ЭМС термоядерной установки токамак (фиг. 1) выполнена следующим образом. На тороидальной разрядной камере 1 расположены обмотки 2 полоидального магнитного поля и обмотка 3 тороидального магнитного поля. Центральный соленоид 4 намотан на центральную часть витков обмотки 2 и установлен между опорными элементами 5 и 6. Опорная поверхность нижнего опорного элемента 6 смещена на половину величины деформации соленоида в сторону горизонтальной оси установки (фиг. 2, б, в), а нижний торец соленоида 4 непосредственно установлен на этой опорной поверхности. Между верхним опорным элементом 5 и верхним торцом соленоида 4 установлен упругий элемент 7, выполненный, например, в виде пружин, равномерно расположенных по верхнему торцу соленоида. Выводные концы 8 соленоида 4 расположены на нижнем его конце и закреплены на витках ОТП 3 или на опорных элементах, на которых стоит ЭМС. Таким образом, верхний опорный элемент 5 отстоит от нижнего опорного элемента 6 на величину длины соленоида 4 и пространства, необходимого для установки пружин упругого элемента 7.

Величина смещения опорной поверхности нижнего опорного элемента 6, а следовательно, и нижнего торца соленоида 4 рассчитывается следующим образом [4]:

$$\Delta l = \left(\frac{P \cdot l_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}} \cdot F} + \frac{P \cdot l_{\text{из}}}{E_{\text{из}} \cdot F} \right) : 2,$$

где Δl - половинная величина деформации соленоида, происходящая под действием пондеромоторной силы (м);

P - электромагнитная сжимающая сила, действующая на соленоид, после первичного включения установки (Н);

$l_{\text{пр}}$ - суммарная высота (длина) витков проводника соленоида (м);

$l_{\text{из}}$ - суммарная толщина межвитковой изоляции соленоида (м);

F - площадь поперечного сечения соленоида (м²);

$E_{\text{пр}}$ - модуль упругости материала проводника соленоида (Н/м²);

$E_{\text{из}}$ - модуль упругости материала изоляции соленоида (Н/м²).

Работа установки происходит следующим образом.

При первой подаче электропитания на установку включаются обмотки 2 и 3 (ОПП и ОТП), в катушках которых начинает протекать электрический ток по заданной программе. К моменту зажигания плазмы в плазменном пространстве вакуумной разрядной камеры 1 наводится вихревая ЭДС и создается необходимая конфигурация полоидального магнитного поля. При этом центральный соленоид 4, заранее установленный со смещением торца на половину величины

механической деформации по отношению к горизонтальной оси симметрии (фиг. 2б), сжимается от действия пондеромоторных сил и приходит в строго симметричное (относительно горизонтальной оси) положение (фиг. 2в), обеспечивая симметричное распределение полоидального поля и требуемую его величину. Упругий элемент 7 обеспечивает постоянное поджатие торца соленоида 4 с выводами 8 к нижнему опорному элементу 6. Это поджатие обеспечивает неподвижность торца с выводами независимо от величины перемещения при механической деформации другого торца центрального соленоида 4. В результате неподвижными оказываются выводы 8 соленоида и дополнительные механические напряжения в них отсутствуют. Далее происходит зажигание (пробой) газа, находящегося в разрядной камере 1, образование плазменного шнура и дальнейший разогрев плазмы. При этом обмотка 2 полоидального поля поддерживает разогрев плазмы и обеспечивает устойчивость ее положения, за счет изменений величин токов в катушках, согласно требуемому режиму работы.

Источники информации

1. Ваулина И.Г. и др. О расчете электромагнитной системы установки Т-20. Доклады Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов. ГИИЭ СССР, НИИЭФА. - Л.: 1977, т. 1, с. 265-273.

2. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

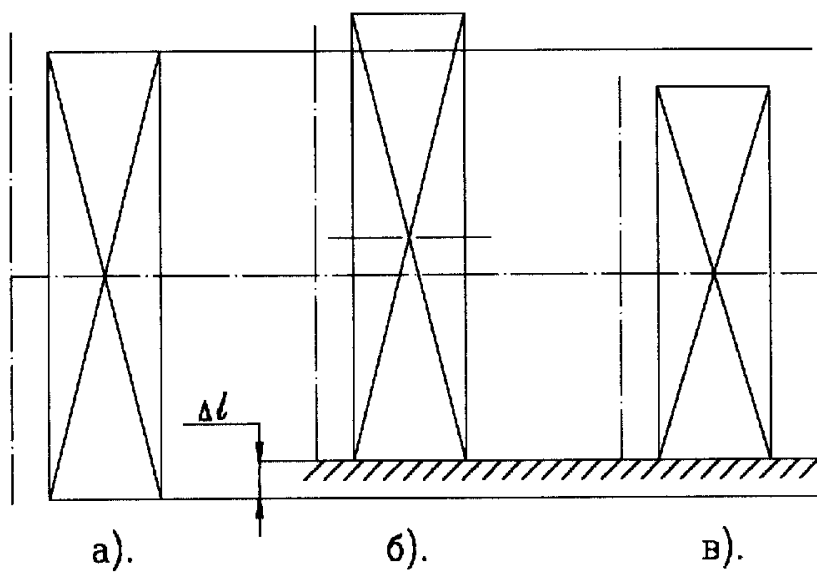
3. Darke A.C. et al. MAST: A Mega Amp. Spherical Tokamak - Fusion Technology 1994. Proceedings of the 18th Symposium on Fusion Technology, Karlsruhe, Germany, 22-26 August 1994; North-Holland, 1995, vol. 1, p. 799-802.

4. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1979.

Формула изобретения:

1. Электромагнитная система термоядерной установки типа токамак, содержащая центральный соленоид, установленный вертикально между опорными элементами, и обмотки полоидального и тороидального магнитных полей, расположенные на тороидальной разрядной камере, отличающаяся тем, что опорная поверхность одного из опорных элементов центрального соленоида смещена в сторону горизонтальной оси установки на половину величины вертикальной деформации соленоида, возникающей под действием пондеромоторных сил, один торец соленоида непосредственно примыкает к этой опорной поверхности, а между другим опорным элементом и вторым торцом соленоида установлен упругий элемент.

2. Электромагнитная система по п.1, отличающаяся тем, что выводы центрального соленоида расположены вблизи торца, непосредственно примыкающего к опорному элементу.



Фиг. 2