

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **037831**(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2021.05.26**

**(21)** Номер заявки  
**201990511**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2017.08.10**

**(51)** Int. Cl. **H02K 9/197** (2006.01)  
**H02K 1/32** (2006.01)  
**H02K 7/18** (2006.01)  
**H02K 9/19** (2006.01)

---

---

**(54) СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ РОТОРА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА**

---

**(31)** **A50788/2016**

**(32)** **2016.09.06**

**(33)** **АТ**

**(43)** **2020.01.31**

**(86)** **PCT/EP2017/070273**

**(87)** **WO 2018/046219 2018.03.15**

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**АНДРИЦ ХИДРО ГМБХ (АТ)**

**(72)** Изобретатель:  
**Ноймайер Фритц (АТ), Контрерас  
Эспада Хесус (СН)**

**(74)** Представитель:  
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев  
А.В. (RU)**

**(56)** DE-A1-102013214082  
EP-A2-0461905  
EP-A1-2916438

**(57)** Изобретение относится к способу жидкостного охлаждения для гидрогенератора (1), который охлаждает обмотку (4) ротора (2) посредством контура первичной охлаждающей жидкости, причем охлаждающая жидкость удерживается в контуре с помощью возникающей центробежной силы. Рассеивание тепловой энергии происходит посредством вторичной охлаждающей жидкости (9), которая проходит один раз вертикально через систему. Согласно изобретению указанный теплообмен происходит посредством совместно вращающегося теплообменника (6) в центре ротора. Изобретение также относится к устройству для осуществления способа такого способа.

**B1****037831****037831****B1**

Изобретение относится к способу жидкостного охлаждения для гидрогенератора, который выполнен в виде синхронной электрической машины, оснащенной ротором и статором, причем полюса на роторе образованы посредством полюсной обмотки.

В результате воздействия солнечной и ветровой энергии в электросети изменяются требования к энергообразующим элементам сети. Из-за высокой летучести, возникающей в электросети благодаря данным технологиям, от традиционных производителей, таких как гидроэлектростанции, обладающие большой высотой сбрасывания, требуется присутствие большого количества циклов "пуск-остановка" и изменений нагрузки.

Конструирование очень больших, высокоскоростных гидрогенераторов проблематично. Поскольку пределы максимальной массы ротора обусловлены различными причинами, максимально достижимая мощность зависит от эффективности охлаждения. Поэтому роторы данного типа обычно обеспечены жидкостным охлаждением/водяным охлаждением. Ротор с жидкостным охлаждением раскрыт, например, в EP 0461905A2.

Из-за очень низких вентиляционных потерь гидрогенераторы с водяным охлаждением лучше подходят для режима холостого хода и для генерации реактивной мощности, когда вентиляционные потери составляют большую часть управляющей мощности.

Количество циклов механической нагрузки, а также износ подшипников и тормозной системы могут быть уменьшены, если машинные блоки непрерывно вращаются.

Однако традиционное водяное охлаждение обмотки ротора более сложное и дорогое, чем простое воздушное охлаждение.

Обычно в известных системах жидкостного охлаждения холодоноситель подают в контур между внутренней частью машины (ротором или источником тепла) и внешней частью машины (охладителем или тепловым стоком), которые, особенно при притоке и оттоке жидкости, соединены с полым валом ротора в сложных конструкциях. Охлаждающая жидкость подается и удаляется через верхний конец полого вала ротора, а для циркуляции охлаждающей жидкости требуются насосы. Данные сложные конструкции, в свою очередь, приводят к высоким расходам на техническое обслуживание в рабочем режиме электростанции.

Подобное водяное охлаждение обмотки ротора согласно известному уровню техники применялось в течение нескольких десятилетий, например, в гидроаккумулирующей электростанции Häusling, расположенной в Тироле, Австрия. Подобный напор подачи воды согласно известному уровню техники изображен на фиг. 1 и фиг. 2.

В DE 102013214082A1 раскрыта электрическая винто-рулевая колонка для судна. В DE 102013214082A1 в то же время раскрыт способ охлаждения ротора, который имеет обмотки ротора и окружен статором. Замкнутый контур охлаждения для первичной жидкости предусмотрен в роторе, в котором первичную жидкость подают в совместно вращающийся теплообменник. Первичную жидкость передают здесь посредством центробежных сил, возникающих во время работы. Полый вал ротора пропускают через вторичную жидкость, в которую первичная жидкость выводит тепло, поглощенное из обмоток ротора, с помощью совместно вращающегося теплообменника.

Кроме того, из уровня техники известны роторы, охлаждаемые хладагентами. Здесь ротор снабжен ротором конденсации-испарения хладагента, который затем выводит использованную теплоту со стороны конденсатора, например, в воду. В качестве примера, подобное конструктивное исполнение описано в документе GB 880262. GB 989698 описывает схожую конструкцию, в которой статор охлаждается, а теплообменник/конденсатор для вывода тепла расположен снаружи электродинамической машины. В данных двух вариантах осуществления хладагент испаряется и конденсируется. Преимущество этих методов заключается в более высокой теплоемкости хладагентов по сравнению с холодоносителями, что достигается фазовым переходом от жидкого состояния к газообразному. В способах данного типа также теоретически возможно применение указанных способов в соответствии с принципом термосифона без дополнительного насоса/компрессора или применение центробежной силы для распыления хладагента через форсунки (GB 989698).

Ввиду физических и химических предпосылок в гидрогенераторе и требований по защите окружающей среды и противопожарной защиты выбор хладагента также затруднен. Дополнительными недостатками данных методов являются склонность контуров хладагента к дисфункции в отношении электрохимической устойчивости полых обмоточных путей, а также обеспечение газонепроницаемости линий и т.д. Связанные с этим затраты на производство и техническое обслуживание кажутся огромными, из-за чего системы подобного типа не получили практического применения.

Поэтому настоящее изобретение основано на цели создания способа охлаждения ротора высокоскоростного гидрогенератора, который сочетает эффективность охлаждения жидкостью или хладагентом с простотой и неприхотливостью способов охлаждения.

Данная цель достигается посредством способа охлаждения для ротора гидрогенератора по п.1 формулы изобретения. Согласно настоящему изобретению данный способ имеет замкнутый контур первичной жидкости, который поглощает тепловую энергию и выводит ее в центр ротора через теплообменники к вторичной охлаждающей жидкости, проходящей один раз через полый вал ротора.

Указанный вторичный поток жидкости предпочтительно представляет собой поток свежей воды, не находящейся под давлением, которая может быть извлечена, например, из резервуара, расположенного на уровне электростанции, или из резервуара, расположенного чуть выше электростанции, или же просто из сети водоснабжения.

Вторичная охлаждающая жидкость предпочтительно удаляется из генератора через вертикально расположенный полый вал ротора на его нижнем конце (турбинном конце) непосредственно в выходящую техническую воду, которая в то же время образует тепловой сток в указанной системе охлаждения.

Благодаря указанной организации потока вторичной охлаждающей жидкости типа "сквозной поток" структурные затраты значительно уменьшены по сравнению с используемыми в настоящее время системами, в частности в отношении проводящего жидкость соединения между полым валом ротора и тепловым стоком, расположенными снаружи электродинамической машины.

Поэтому гидрогенератор данного типа, несмотря на свою высокую мощность, может работать при относительно высоких скоростях вращения для гидрогенераторов, например, в диапазоне от 400 до 1200 об/мин, и может быть охлажден при помощи жидкости без выявления структурных недостатков в герметизации полого вала ротора.

Корпус ротора, который предпочтительно образован из стальных колец, имеет каналы подачи первичной охлаждающей жидкости, причем каналы подачи проводят жидкость в радиальном направлении от трубчатого теплообменника, который расположен в осевом направлении в центре полого вала ротора, к каналам охлаждения в обмотке ротора. Кроме того, радиальные обратные каналы проводят нагретую первичную охлаждающую жидкость обратно к центру ротора, и, следовательно, первичная охлаждающая жидкость описывает замкнутый контур. Как ни странно, имитационные моделирования и тестирования показали, что такой контур в подобных высокоскоростных гидрогенераторах может быть приведен в движение, а также поддерживаться, посредством изменения плотности, возникающего при нагреве, первичной охлаждающей жидкости и поля центробежных сил ротора. Поэтому внешний насос, предназначенный для разделения первичной охлаждающей жидкости, не требуется. Этому также может поспособствовать выполнение гидравлической системы в виде множества параллельных ветвей. Дальнейшая оптимизация указанной циркуляции достигается, например, за счет теплоизоляции каналов подачи первичной охлаждающей жидкости до тех пор, пока последняя не поступит в каналы охлаждения обмотки ротора.

Через теплообменник, расположенный внутри полого вала ротора, первичная охлаждающая жидкость, наконец, выводит поглощенную тепловую энергию на вторичную охлаждающую жидкость, предпочтительно воду, которая протекает через полый вал ротора сверху вниз в направлении конца турбины, и удаляется посредством вытекающей технической воды.

Таким образом, вторичная охлаждающая жидкость, проходя один раз через ротор, принимает на себя тепловые потери и удаляет их из системы.

Тем самым происходит надлежащее охлаждение обмотки ротора.

Уровень техники и примерный вариант осуществления изобретения будут описаны ниже со ссылкой на графические материалы. Одинаковые ссылочные позиции на отдельных фигурах обозначают идентичные части установки.

На графических материалах

на фиг. 1 изображено схематичное продольное сечение гидрогенератора 1а с водяным охлаждением, известного из уровня техники; здесь виден напор 5 подачи воды с притоком и оттоком на верхнем конце полого вала ротора;

на фиг. 2 изображен напор 5 подачи воды согласно уровню техники в качестве детали с фиг. 1. Водозаборное сооружение 13 охлаждающей воды и возвратное сооружение 14 охлаждающей воды, в также конструктивное исполнение вращающейся переключки 12 показаны согласно уровню техники;

на фиг. 3 изображено схематичное сечение гидрогенератора 1 в соответствии с настоящим изобретением, в котором иллюстрация установки и других деталей, не относящихся к настоящему изобретению, была опущена. Хорошо видны контур первичной жидкости в каналах 8 охлаждения для первичной охлаждающей жидкости и путь вторичной охлаждающей жидкости 9 сверху вниз через систему. Вертикальный ротор 2 расположен внутри статора 3, который расположен на основании 10. Вторичная охлаждающая жидкость 9 "не под давлением" может быть направлена во внутреннюю часть ротора через осевое отверстие в полой валу 7 ротора.

Указанная подача воды может быть очень простой, поскольку герметизация какого-либо значительного давления и обратного потока жидкости не требуется. Вторичная охлаждающая жидкость 9, предпочтительно вода, в дальнейшем течет вокруг трубчатого теплообменника 6 контура первичного холодоносителя, причем указанный теплообменник расположен в центре полого вала 7 ротора в направлении оси вращения.

Наконец, поток 9 вторичной охлаждающей жидкости выходит из торцевой стороны турбины полого вала 7 ротора и покидает систему. Турбина 11 здесь может представлять собой, например, как показано на фиг. 3, турбину Пелтона, которая часто применяется в электростанциях с большой высотой сбрасывания.

Кроме того, на фиг. 3 показано, что каналы 8а подачи первичной охлаждающей жидкости к обмотке мотора могут иметь теплоизоляцию 15 в частичной области их длины или по всей их полноте. Теплоизоляция в этом месте предотвращает нежелательный преждевременный нагрев первичной охлаждающей жидкости на пути к обмотке 4 ротора. Посредством целенаправленного введения тепла в первичную охлаждающую жидкость направление циркуляции первичной охлаждающей жидкости дополнительно определяется по существу в вертикальной обмотке 4 ротора, так как снижение плотности первичной охлаждающей жидкости в этом месте способствует насосному действию вращения системы.

На фиг. 4 изображено радиальное сечение части обмотки 4 ротора, изображающее каналы 8 охлаждения для первичной охлаждающей жидкости, а также радиальные расстояния А и В между каналами 8а подачи и обратными каналами 8b. Первичная охлаждающая жидкость предпочтительно, а именно, как показано, подается в обмотку 4 ротора в радиальном направлении дальше от центра ротора и снова удаляется в радиальном направлении ближе к центру ротора. В результате на уменьшение плотности первичной охлаждающей жидкости дополнительно положительно влияет увеличение ее нагрева в верхней части обмотки ротора.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

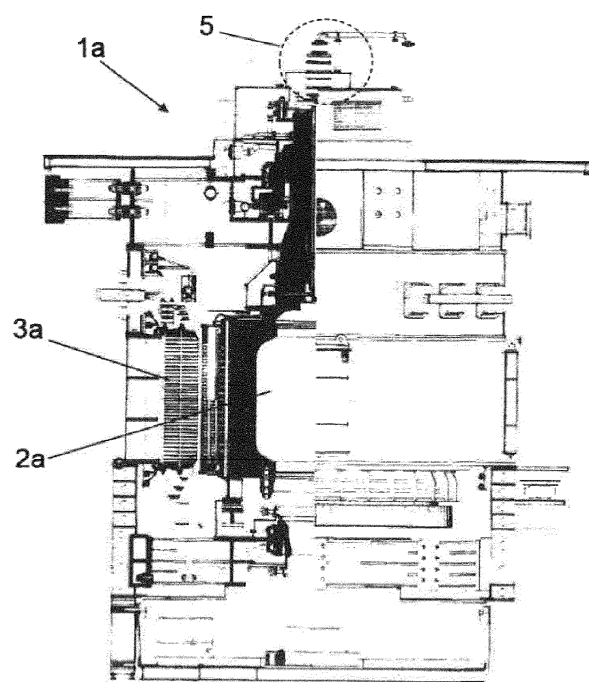
1. Способ охлаждения ротора высокоскоростного электрического гидрогенератора (1) с вертикальным ротором (2) и статором (3), расположенным вокруг ротора (2) и находящимся на основании (10), причем ротор (2) имеет обмотки (4) ротора, которые обеспечены каналами (8) охлаждения для прохождения первичной охлаждающей жидкости, причем в роторе (2) присутствует замкнутый контур охлаждения для первичной охлаждающей жидкости, в котором первичную охлаждающую жидкость, выходящую из совместно вращающегося теплообменника (6), проходящего в осевом направлении, подают через, по существу, радиально идущие каналы (8а) подачи, расположенные в нижней части, в каналы (8) охлаждения в обмотках (4) ротора, и отводят из каналов (8) охлаждения через следующие далее, по существу, радиально идущие обратные каналы (8b), расположенные в верхней части, и вновь подают в совместно вращающийся теплообменник (6), при этом первичную охлаждающую жидкость перемещают посредством центробежных сил, возникающих во время работы, через каналы (8) охлаждения снизу вверх, и при этом через полый вал (7) ротора пропускают вторичную охлаждающую жидкость, в которую первичная охлаждающая жидкость выводит тепло, поглощенное из обмоток (4) ротора, с помощью совместно вращающегося теплообменника (6), при этом вторичную охлаждающую жидкость (9) вводят на верхнем конце полого вала (7) ротора и выпускают на нижнем конце полого вала (7) ротора.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что вторичная охлаждающая жидкость (9) покидает блок, содержащий генератор (1) и турбину (11), через полый вал (7) ротора посредством вытекающей из турбины (11) технической воды.

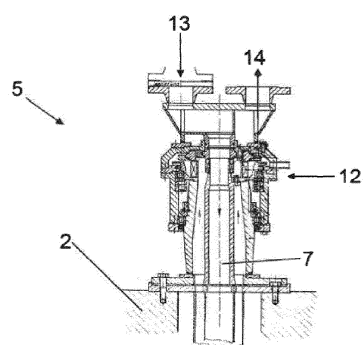
3. Способ по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что существует множество параллельных каналов (8) охлаждения, предназначенных для охлаждения обмотки (4) ротора.

4. Способ по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что подача первичной охлаждающей жидкости в обмотку (4) ротора происходит в точке, радиально более удаленной от центра ротора, чем отвод первичной жидкости в направлении совместно вращающегося теплообменника (6).

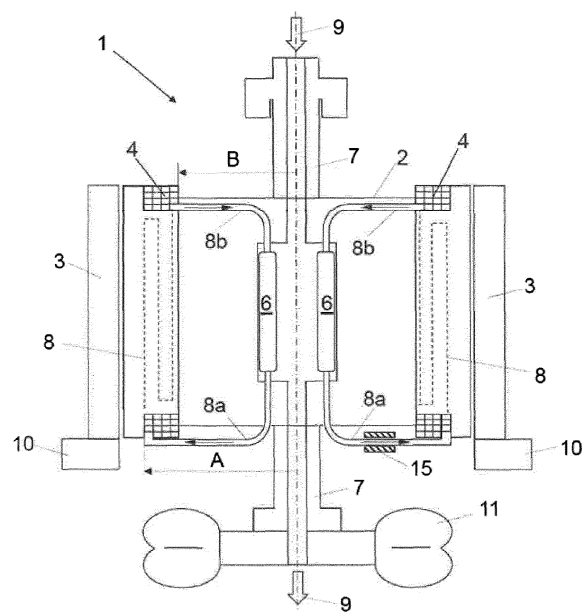
5. Способ по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что в качестве первичной охлаждающей жидкости применяют жидкость, не проводящую электричество.



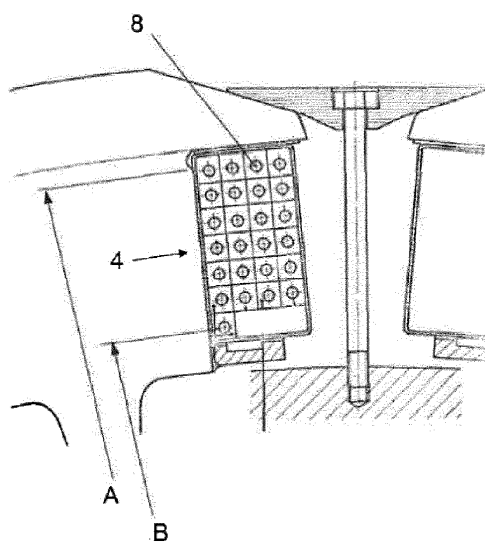
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

