



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02K 9/19 (2020.08); H02H 5/04 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2019125819, 21.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.12.2018

Дата регистрации:  
06.04.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2018

(45) Опубликовано: 06.04.2021 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
Центр интеллектуальной собственности,  
Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Либерман Яков Львович (RU),  
Растягаева Елизавета Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

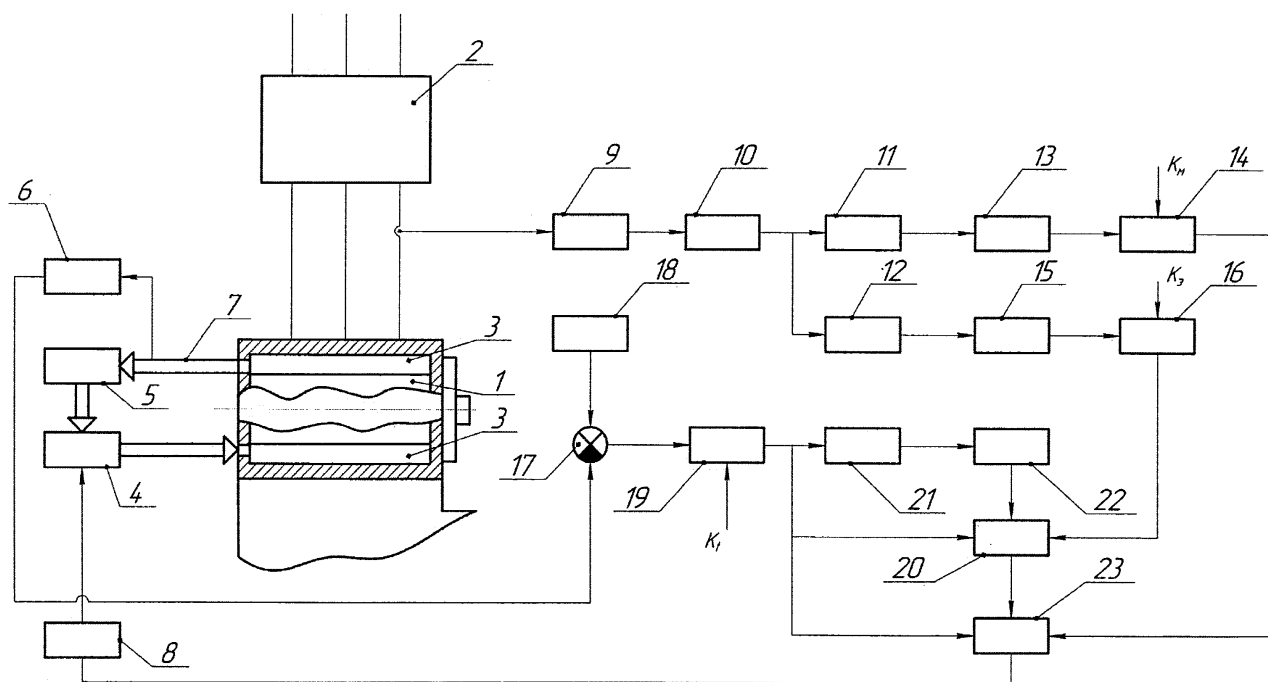
о поиске: RU 2323512 C2, 27.04.2008. SU  
1584026 A1, 07.08.1990. RU 2121209 C1,  
27.10.1998. JPH 11229430 A, 24.08.1999.

(54) СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике. Техническим результатом является повышение быстродействия системы охлаждения и, как следствие этого, повышение экономичности и долговечности электродвигателя. Система водяного охлаждения электродвигателя содержит циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя, насоса для подачи воды в емкость и охладителя воды на ее выходе из емкости. Датчик температуры воды установлен на участке трубопровода между емкостью и охладителем, и регулятор расхода воды. Она снабжена датчиком фазного тока электродвигателя, выход которого через фильтр низкой частоты соединен с частотомером и параллельным последнему сглаживающим фильтром. Блок возведения сигнала в степень «1,3», вход которого соединен с выходом частотомера, а выход - со входом первого усилителя с регулируемым коэффициентом усиления. Блок возведения сигнала в степень «2»,

вход которого соединен со сглаживающим фильтром, а выход - со входом второго усилителя с регулируемым коэффициентом усиления. Прямой вход компаратора соединен с задатчиком предельно допустимой температуры воды, инверсный - с выходом датчика температуры воды, а выход - со входом третьего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления. Первый трехвходовый сумматор, первый вход которого через блок задержки и инвертор соединен с выходом третьего усилителя, второй вход соединен напрямую с выходом третьего усилителя, а третий вход - напрямую с выходом второго усилителя. Второй трехвходовый сумматор, первый вход которого соединен с выходом первого сумматора, второй вход - с выходом третьего усилителя, а третий - с выходом первого усилителя. Насос выполнен регулируемым по производительности, регулятор расхода воды выполнен в виде регулятора производительности насоса, а вход регулятора соединен с выходом второго сумматора. 2 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*H02K 9/19* (2020.08); *H02H 5/04* (2020.08)(21)(22) Application: **2019125819**, **21.12.2018**(24) Effective date for property rights:  
**21.12.2018**Registration date:  
**06.04.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **21.12.2018**(45) Date of publication: **06.04.2021** Bull. № 10

Mail address:

**620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, Tsentr  
intelektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.**

(72) Inventor(s):

**Liberman Yakov Lvovich (RU),  
Rastyagaeva Elizaveta Sergeevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Uralskij federalnyj universitet  
imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina"  
(RU)**(54) **WATER COOLING SYSTEM OF ELECTRIC MOTOR**

(57) Abstract:

FIELD: electrical equipment.

SUBSTANCE: electric motor water cooling system includes a circulating hydraulic system, made in the form of a flowing tank connected by an annular pipeline, surrounding heated elements of electric motor, pump for water supply to vessel and water cooler at its outlet from vessel. Water temperature sensor is installed on pipeline section between reservoir and cooler, and water flow rate regulator. It is equipped with motor phase current sensor, the output of which is connected through a low-frequency filter to a frequency meter and parallel to the last smoothing filter. Unit for generating a signal to the power of "1.3", the input of which is connected to the output of a frequency meter, and the output is connected to the input of the first amplifier with a controlled amplification factor. Signal generation unit to degree "2", input of which is connected to smoothing filter, and output is to input of second amplifier with controlled gain factor. Direct input of comparator is connected to setter of maximum

permissible water temperature, inverse—to water temperature sensor output, and output is to input of third amplifier with controlled gain factor. First three-input adder, the first input of which through the delay unit and the inverter is connected to the output of the third amplifier, the second input is connected directly to the output of the third amplifier, and the third input is directly connected to the output of the second amplifier. Second three-input adder, the first input of which is connected to the output of the first adder, the second input—to the output of the third amplifier, and the third input—to the output of the first amplifier. Pump is adjustable in efficiency, water flow controller is made in the form of pump capacity controller, and regulator input is connected to second adder output.

EFFECT: technical result is faster operation of cooling system and, as a result, higher efficiency and durability of electric motor.

1 cl, 2 dwg

R U 2 7 4 6 0 5 3 C 1

R U 2 7 4 6 0 5 3 C 1



Предлагаемое изобретение относится к области частотно-регулируемого асинхронного электропривода и может быть использовано в высокоскоростных технологических машинах типа металлорежущих станков.

Системы, аналогичные предлагаемой, известны. К ним относится, например, система водяного охлаждения, описанная на сайте [reinolds.com.ua/service/serv\\_nasos/ohlag-dvigatelya.php](http://reinolds.com.ua/service/serv_nasos/ohlag-dvigatelya.php), состоящая из электродвигателя, насоса, соединенного с его валом, и охлаждающего кожуха двигателя, через который насосом прокачивается вода. Такие системы охлаждения весьма просты, но применимы чрезвычайно ограниченно, т.к. требуют размещения двигателя в водной среде. Последнее обуславливает их использование преимущественно в погружных насосах и не позволяет их устанавливать на технологических машинах, к которым, относятся станки. Вместе с тем существуют системы водяного охлаждения электродвигателей, лишенные отмеченного недостатка, в частности, система, описанная в file: ///C:/Users/user/Desktop/AB-8000\_6000УЗ%20электродвигатель.htm. Эта система по технологической сущности близка к предлагаемой и принята нами за прототип. На указанном сайте она приведена на рис. 6 и включает в себя циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым, трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя, насоса для подачи воды в емкость и охладителя воды на выходе ее из емкости. Она содержит также датчики температуры воды и манометры, установленные на трубопроводе на входе и выходе емкости, и регулятор расхода воды, представляющий собой задвижку с электроприводом. Кроме того, в ней имеются водяные фильтры, электроуправляемый клапан и настроечные дроссели.

Система-прототип вполне применима для охлаждения электродвигателей высокоскоростных технологических машин, но обладает низким быстродействием, поскольку регулирование ее работы по данным термометров осуществляется оператором. Но от быстродействия зависит точность поддержания температуры, допустимой при эксплуатации двигателя и, как следствие, долговечность последнего (его межремонтные сроки).

В связи с изложенным проблемой, подлежащей решению предлагаемой системой охлаждения, явилось повышение быстродействия системы.

Технически решение данной проблемы достигается за счет того, что система водяного охлаждения электродвигателя, содержащая циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя, насоса для подачи воды в емкость и охладителя воды на ее выходе из емкости, датчик температуры воды, установленный на участке трубопровода между емкостью и охладителем, и регулятор расхода воды, отличается от прототипа тем, что она снабжена датчиком фазного тока электродвигателя, выход которого через фильтр низкой частоты соединен с частотомером и параллельным последнему сглаживающим фильтром, блоком возведения сигнала в степень «одна и три десятых», вход которого соединен с выходом частотомера, а выход - со входом первого усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, блоком возведения сигнала в «квадрат», вход которого соединен со сглаживающим фильтром, а выход - со входом второго усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, компаратором, прямой вход которого соединен с датчиком предельно допустимый температуры воды, инверсный - с выходом датчика температуры воды, а выход - со входом третьего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, первым трехходовым сумматором, первый вход которого через блок задержки и

инвертор соединен с выходом третьего усилителя, второй вход соединен напрямую с выходом третьего усилителя, а третий вход - напрямую с выходом второго усилителя, вторым трехвходовым сумматором, первый вход которого соединен с выходом первого сумматора, второй вход - с выходом третьего усилителя, а третий - с выходом первого усилителя, при этом насос выполнен регулируемым по производительности, регулятор расхода воды выполнен в виде регулятора производительности насоса, а вход регулятора соединен с выходом второго сумматора.

Схема предлагаемой системы приведена на фиг. 1. На фиг. 2 показаны временные диаграммы, иллюстрирующие работу входящих в систему фильтров.

Система водяного охлаждения электродвигателя 1, питающегося от частотного преобразователя 2, содержит циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости 3, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя 1, насоса 4 для подачи воды в емкость и охладителя 5 воды на ее выходе из емкости, датчик температуры воды 6, установленный на участке 7 трубопровода между емкостью 3 и охладителем 5, и регулятор 8 расхода воды.

Дополнительно она снабжена датчиком 9 фазного тока электродвигателя 1, выход которого через фильтр низкой частоты 10 соединен с частотомером 11 и параллельным последнему сглаживающим фильтром 12, блоком 13 возведения сигнала в степень «одна и три десятых», вход которого соединен с выходом частотомера, а выход - со входом первого усилителя 14 с регулируемым коэффициентом усиления  $K_M$ , блоком 15 возведения сигнала в «квадрат», вход которого соединен со сглаживающим фильтром 12, а выход - со входом усилителя 16 с регулируемым коэффициентом усиления  $K_3$ , компаратором 17, прямой вход которого соединен с задатчиком 18 предельно допустимой температуры воды, инверсный - с выходом датчика температуры 6 воды, а выход - со входом третьего усилителя 19 с регулируемым коэффициентом усиления  $K_6$ , первым трехвходовым сумматором 20, первый вход которого через блок задержки 21 и инвертор 22 соединены с выходом третьего усилителя 19, второй вход соединен напрямую с выходом третьего усилителя 19, а третий вход - напрямую с выходом второго усилителя 16, вторым трехвходовым сумматором 23, первый вход которого соединен с выходом первого сумматора 20, второй вход - с выходом третьего усилителя 19, а третий - с выходом первого усилителя 14, при этом насос 4 выполнен регулируемым по производительности, регулятор 8 расхода воды выполнен в виде регулятора производительности насоса, а вход регулятора соединен с выходом второго сумматора 23.

Работа системы основана на использовании известных соотношений, описывающих потери асинхронного частотно-регулируемого двигателя:

$$P_3 = 3 \cdot I^2 \cdot r_a,$$

где  $P_3$  - электрические потери в обмотках двигателя;  $I_\phi$  - фазный ток обмотки;  $r_a$  - активное сопротивление обмотки;

$$P_m = k \cdot \left(\frac{P}{M}\right)_{10}^{1,3} \cdot B^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} \cdot M,$$

где  $P_m$  - магнитные потери в двигателе;  $k$  - поправочный коэффициент;  $\left(\frac{P}{M}\right)_{10}^{1,3}$  -

удельные потери в стали на единицу массы при индуктивности 1 Гл и частоте 50 Гц; В - среднее значение индукции;  $f_n$  - частота напряжения питания двигателя; М - масса сердечника.

С достаточной для практики точностью правомерно считать, что для конкретного двигателя

$$\begin{aligned} P_s &\approx K_s \cdot I^2 \\ P_M &\approx K_M \cdot f^{1,3}, \end{aligned}$$

где  $K_s$  и  $K_M$  - некоторые постоянные коэффициенты. Поскольку  $P_s$  и  $P_M$  вызывают нагрев двигателя при его работе, но он происходит с некоторым запаздыванием по отношению к ним, то целесообразно определенное «упреждение», увеличивающее производительность насоса, входящего в систему, сразу же после увеличения  $P_s$  и  $P_M$ , не дожидаясь, когда температура двигателя недопустимо возрастает. Когда температура начинает возрастать, то, очевидно, производительность насоса тоже следует увеличивать. Причем выполнять это имеет смысл тем быстрее, чем быстрее температура двигателя растет. Если все это учесть, то система охлаждения будет обладать весьма высоким быстродействием.

Перед эксплуатацией двигателя, оснащенного предложенной системой водяного охлаждения, ее необходимо настроить. Для этого усилители 14 и 16 регулируют, делая их коэффициенты усиления, соответственно равными  $K_M$  и  $K_s$ , рассчитанными заранее в зависимости от параметров двигателя 1. Коэффициент усиления  $K_t$  регулируют на основе предварительных пробных запусков двигателя. После этого задатчиком 18 вводят в систему сигнал, эквивалентный допустимому значению температуры нагрева двигателя  $t_3$ , и включают двигатель. На выходе датчика 9 появляется сигнал, имеющий вид, показанный на первой временной диаграмме на фиг. 2. Проходя через фильтр 10, он превращается в сигнал, показанный на второй временной диаграмме, а проходя через фильтр 12 - в сигнал, показанный на третьей временной диаграмме. Частотомер 11 выдает сигнал, соответствующий частоте питающего двигателя напряжения  $f$ , на выходе блока 13 появляется сигнал  $f^{1,3}$ , а на выходе усилителя 14 - сигнал  $K_M \cdot f^{1,3}$ . На выходе фильтра 12 возникает сигнал, в среднем равный  $I$ , на выходе блока 15 - сигнал  $I^2$ , а на выходе усилителя 16 - сигнал  $K_s \cdot I^2$ . При возрастании температуры  $t_\Phi$  - фактической температуры, отображаемой сигналом датчика 6, на выходе компаратора 17 имеет место возрастающий сигнал  $(t_3 - t_\Phi) = \Delta t$ , а на выходе усилителя 19 - сигнал  $K_t \cdot \Delta t$ . Он поступает на сумматор 20 непосредственно, а на инвертор 22 - с задержкой на время  $\tau$ , обусловленной применением блока 21.

Сигналы на выходе инвертора 22 и усилителя 19 отличаются на величину  $\Delta(K_t \cdot \Delta t)$ , характеризующую скорость изменения сигнала  $K_t \cdot \Delta t$ . Сумматор 20 алгебраически складывает  $K_s \cdot I^2$  и  $\Delta(K_t \cdot \Delta t)$ , а затем сумматор 23 складывает сигнал  $K_s \cdot I^2 + \Delta(K_t \cdot \Delta t)$  с сигналами  $K_t \cdot \Delta t$  и  $K_M \cdot f^{1,3}$ . В результате на выходе сумматора 23 окажется сигнал, отображающий электрические потери в двигателе, магнитные потери, температуру на выходе проточной емкости и скорость ее изменения. Этот сигнал, поступая на регулятор 8, заставляет соответствующим образом работать насос, обеспечивая определенную скорость циркуляции воды в гидросистеме. При увеличении частоты  $f$  питающего двигателя напряжения, тока  $I$ , температуры  $t$  или скорости увеличения последней,

скорость циркуляции воды будет возрастать. В противном случае - снижаться. Так как факторов, инициирующих указанные увеличение или снижение четыре, причем два из них действуют с «упреждением», то происходить это будет достаточно быстро.

Быстро будет осуществляться и необходимый и достаточный теплоотвод от двигателя.

5 А это, в свою очередь, повлечет за собой повышение точности поддержания температуры, допустимой при эксплуатации двигателя, повышение экономичности системы (насосу не нужно будет всегда работать с максимальной производительностью) и повышение долговечности двигателя.

10 Таким образом, предлагаемая система водяного охлаждения электродвигателя обеспечивает существенный технический результат, проистекающий из увеличения ее быстродействия.

#### (57) Формула изобретения

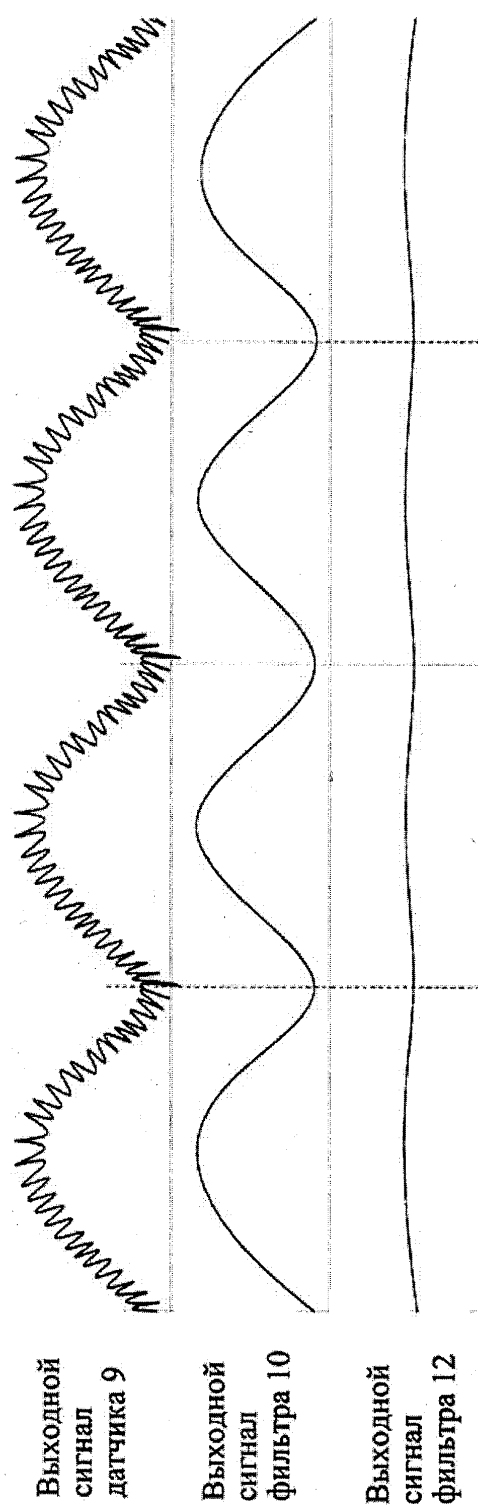
15 Система водяного охлаждения электродвигателя, содержащая циркуляционную гидросистему, выполненную в виде соединенных кольцевым трубопроводом проточной емкости, окружающей подверженные нагреву элементы электродвигателя, насоса для подачи воды в емкость и охладителя воды на ее выходе из емкости, датчик температуры воды, установленный на участке трубопровода между емкостью и охладителем, и регулятор расхода воды, отличающаяся тем, что она снабжена датчиком фазного тока  
20 электродвигателя, выход которого через фильтр низкой частоты соединен с частотомером и параллельным последнему сглаживающим фильтром, блоком возведения сигнала в степень «одна и три десятых», вход которого соединен с выходом частотомера, а выход со входом первого усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, блоком возведения сигнала в «квадрат», вход которого соединен со  
25 сглаживающим фильтром, а выход - со входом второго усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, компаратором, прямой вход которого соединен с задатчиком предельно допустимой температуры воды, инверсный - с выходом датчика температуры воды, а выход - со входом третьего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, первым трехходовым сумматором, первый вход которого через блок задержки и  
30 инвертор соединен с выходом третьего усилителя, второй вход соединен напрямую с выходом третьего усилителя, а третий вход - напрямую с выходом второго усилителя, вторым трехходовым сумматором, первый вход которого соединен с выходом первого сумматора, второй вход - с выходом третьего усилителя, а третий - с выходом первого усилителя, при этом насос выполнен регулируемым по производительности, регулятор расхода воды выполнен в виде регулятора производительности насоса, а вход регулятора соединен с выходом второго сумматора.

40

45







Фиг.2