

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040248**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.05.13

(21) Номер заявки
202191497

(22) Дата подачи заявки
2021.06.28

(51) Int. Cl. **H02P 9/48** (2006.01)
G06N 3/02 (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)

(54) **СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ**

(43) **2022.05.06**

(96) **2021000067 (RU) 2021.06.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
"НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА" (НГТУ) (RU)**

(72) Изобретатель:
**Бердников Иван Евгеньевич,
Дарьенков Андрей Борисович,
Куркин Андрей Александрович (RU)**

(74) Представитель:
Куркин А.А. (RU)

(56) RU-C1-2412513
ХВАТОВ О.С. и др. Интеллектуальные средства управления высокоэффективной дизель-

генераторной установкой переменной частоты вращения. Известия ТулГУ, Технические науки, 2010, Вып.3, страница 128, строка 4-строка 130, строка 13

ГОРОДЕЦКИЙ С.Ю. Лабораторный практикум по методам локальной оптимизации в программной системе LocOpt. Федеральное агентство по образованию Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. Нижний Новгород, 2007, страницы 10, 11, 19-22

ХВАТОВ О.С. и др. Дизель-генераторная электростанция с вентильным генератором по схеме машины двойного питания. Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология, 2020, N3, страница 83, строка 16 - страница 84, строка 18

WANG Jianlin. A long short-term memory neural network approach for the hard-ware-in-the-loop simulation of diesel generator set. Measurement and Control, 2020, Vol. 53, абзацы Setup and data-Evaluation

MINGXIN YU et al. Diesel engine modeling based on recurrent neural networks for a hard-ware-in-the-loop simulation system of diesel generator sets. Neurocomputing, Volume 283, 29 March 2018, абзацы 2-5.1

US-A1-20140008988

(57) Изобретение относится к области электроэнергетики и может быть использовано для управления дизель-генераторной установкой (ДГУ) переменной частоты вращения. Технический результат изобретения - это сокращение времени поиска оптимальной частоты вращения вала ДГУ переменной частоты вращения и, как следствие, дополнительная экономия топлива. Технический результат достигается тем, что в способе управления дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения, содержащей последовательно соединенные двигатель внутреннего сгорания переменной частоты вращения, синхронный генератор, выпрямитель, конденсаторную батарею, инвертор напряжения, повышающий трансформатор с выходными выводами, заключающийся в том, что частота вращения вала двигателя внутреннего сгорания изменяется в зависимости от мощности нагрузки генераторной установки, поиск оптимальной частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания осуществляется относительно текущей частоты вращения его вала в направлении антиградиента зависимости расхода топлива от частоты вращения вала с шагом, определяемым по методу квадратичной интерполяции, поиск считается завершенным, когда модуль градиента расхода топлива двигателя внутреннего сгорания при текущей частоте вращения вала меньше заданной точности поиска.

B1**040248****040248****B1**

Изобретение относится к области электроэнергетики и может быть использовано для управления дизель-генераторной установкой (ДГУ) переменной частоты вращения.

Известен способ управления ДГУ переменной частоты вращения [1], где в зависимости от значения мощности нагрузки блок задания экономичного режима (ЗЭР) формирует сигнал, пропорциональный оптимальной частоте вращения вала двигателя внутреннего сгорания (ДВС). В алгоритм работы ЗЭР заложена многопараметровая характеристика ДВС. Недостатком данного способа является то, что в нем используется многопараметровая характеристика, которая для каждого конкретного ДВС имеет индивидуальный характер. Кроме того, производители ДВС, как правило, не предоставляют таких характеристик. При изменении внешних (температура, давление и влажность окружающего воздуха) и внутренних условий (износ внутренних частей, марка и качество топлива) работы ДВС ЗЭР не будет обеспечивать максимальную топливную экономичность.

Наиболее близкий способ управления ДГУ описан в [2]. В соответствии с данным способом управления ЗЭР осуществляет определение оптимальной частоты вращения вала ДВС методом градиентного спуска с дроблением шага. Недостатком метода является то, что он обладает медленной скоростью сходимости - линейной [3]. Поиск оптимальной частоты вращения осуществляется за 5-12 шагов.

В этой связи целью изобретения является разработка способа управления ДГУ переменной частоты вращения, при котором поиск оптимальной частоты вращения вала ДВС осуществляется за 2-3 шага. Для решения указанной задачи предлагается использовать метод сопряженных градиентов.

Технический результат изобретения - это сокращение времени поиска оптимальной частоты вращения вала ДГУ переменной частоты вращения и, как следствие, дополнительная экономия топлива.

Технический результат достигается тем, что в способе управления дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения содержащей последовательно соединенные двигатель внутреннего сгорания переменной частоты вращения, синхронный генератор, выпрямитель, конденсаторную батарею, инвертор напряжения, повышающий трансформатор с выходными выводами, заключающийся в том, что частота вращения вала двигателя внутреннего сгорания изменяется в зависимости от мощности нагрузки генераторной установки, поиск оптимальной частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания осуществляется относительно текущей частоты вращения его вала в направлении антиградиента зависимости расхода топлива от частоты вращения вала с шагом, определяемым по методу квадратичной интерполяции, поиск считается завершенным, когда модуль градиента расхода топлива двигателя внутреннего сгорания при текущей частоте вращения вала меньше заданной точности поиска.

На фиг. 1 представлена структурная схема ДГУ переменной частоты вращения, которая включает в себя последовательно соединенные ДВС 1, синхронный генератор 2, выпрямитель 3, конденсаторную батарею 4, датчик 5 тока, инвертор напряжения 6, повышающий трансформатор 7 с выходными выводами 8. К ДВС 1 подключены регулятор 9 частоты вращения вала ДВС, датчик 10 частоты вращения вала ДВС, сумматор сигналов 11, входящие в состав блока 12 формирования оптимальной частоты вращения вала ДВС, сюда же входит блок 13 задания экономичной частоты вращения вала ДВС, который состоит из контроллера управления 14, контроллера обучения 15 и блока 16 ассоциативной памяти. В состав блока 12 также входит датчик 17 потребляемого топлива, вход которого подключен к ДВС 1, а выход подключен к контроллеру обучения 15.

Блок 18 возбуждения синхронного генератора 2 с выводами 19 подключения питания соединен с обмоткой возбуждения синхронного генератора 2 и с выходом контроллера управления 14. Блок 20 стабилизации напряжения, состоящий из задатчика 21 напряжения, сумматора сигналов 22 и регулятора напряжения 23, соединен с выходом датчика 24 напряжения, с которым соединен также блок 18 возбуждения синхронного генератора 2. Вход блока 13 соединен с выходом блока 25 вычисления мощности нагрузки, входы которого соединены с выходами датчика 24 напряжения и датчика 5 тока. Выход задатчика 26 частоты выходного напряжения соединен с инвертором напряжения 6. Причем первый вход контроллера управления 14 соединен с выходом блока 25 вычисления мощности нагрузки, второй вход - с выходом блока 16 ассоциативной памяти, третий вход - с выходом контроллера обучения 15, первый выход контроллера управления 14 соединен с сумматором сигналов 11 блока 12 формирования оптимальной частоты вращения вала ДВС, второй выход - с входом блока 16 ассоциативной памяти, третий выход - с контроллером обучения 15.

Блок 13 задания экономичной частоты вращения вала ДВС, входящий в состав блока 12 формирования оптимальной частоты вращения вала ДВС, получает сигнал с блока вычисления мощности нагрузки 25, который соединен с выходами датчика 24 напряжения и датчика 5 тока, измеряющими соответственно напряжение и ток на выходе выпрямителя 3. В зависимости от значения мощности нагрузки блок 13 задания экономичной частоты вращения вала ДВС, состоящий из контроллера управления 14, контроллера обучения 15 и блока 16 ассоциативной памяти, задает оптимальную частоту вращения вала ДВС 1.

Блок 13 задания экономичной частоты вращения вала ДВС работает следующим образом. Блок 16 ассоциативной памяти представляет собой многослойную нейронную сеть, которая обладает способностью накапливать дискретные значения оптимальной с точки зрения потребления топлива частоты вращения вала ДВС 1 для соответствующих дискретных значений мощности нагрузки ДГУ. Кроме того,

блок 16 ассоциативной памяти для отсутствующих в памяти дискрет мощности нагрузки на основе методов ассоциации и интерполяции в пределах диапазона "обучения" может генерировать значения оптимальной с точки зрения потребления топлива частоты вращения вала ДВС 1. Диапазон "обучения" блока 16 ассоциативной памяти - это диапазон дискретных значений мощности нагрузки, для которых в памяти хранятся соответствующие значения оптимальной с точки зрения потребления топлива частоты вращения вала ДВС 1 - логические пары "мощность нагрузки - оптимальное значение частоты вращения вала ДВС 1".

Если значение мощности нагрузки принадлежит диапазону, в котором производилось "обучение" блока 16 ассоциативной памяти, то контроллер управления 14 передает значение мощности нагрузки в блок 16 ассоциативной памяти, принимая в ответ оптимальное с точки зрения потребления топлива значение частоты вращения вала ДВС 1 для данного значения мощности нагрузки. Полученное от блока 16 ассоциативной памяти значение оптимальной частоты вращения вала ДВС контроллер управления 14 передает на вход сумматора сигналов 11.

Если текущее значение мощности нагрузки не принадлежит диапазону, в котором производилось "обучение" блока 16 ассоциативной памяти, то контроллер управления 14 передает значения мощности нагрузки контроллеру обучения 15. Он определяет новую логическую пару "мощность нагрузки - оптимальное значение частоты вращения вала ДВС 1" по методу сопряженных градиентов.

В начале поиска оптимальной частоты вращения вала ДВС контроллер обучения 15 задает желаемую точность поиска ϵ , минимальное приращение частоты вращения вала ДВС $\Delta\omega$, а также начальные значения направления поиска $p_0=0$ и первой производной зависимости расхода топлива от частоты вращения вала ДВС $g'_0(\omega_0)=1$. Так же контроллер обучения 15 определяет итерационную переменную $i=1,2,3,\dots$, начиная первую итерацию поиска оптимальной частоты вращения вала с $i=1$.

На следующем шаге контроллер обучения 15 с помощью датчика 17 потребляемого топлива измеряет расход топлива $g_i(\omega_i+\Delta\omega)$ при частоте вращения вала ДВС $(\omega_i+\Delta\omega)$.

Затем контроллер обучения 15, воздействуя на контроллер управления 14, уменьшает текущее значение заданной частоты вращения вала ДВС 1 на величину $\Delta\omega$ и измеряет расход топлива $g_i(\omega_i)$ при частоте вращения вала ДВС ω_i . Далее контроллер обучения 15, воздействуя на контроллер управления 14, уменьшает текущее значение заданной частоты вращения вала ДВС 1 еще на величину $\Delta\omega$ и производит измерение расхода $g_i(\omega_i-\Delta\omega)$ при частоте вращения вала ДВС $(\omega_i-\Delta\omega)$ (фиг. 2).

На следующем шаге контроллер обучения 15 вычисляет первую и вторую производные зависимости расхода топлива ДВС от частоты вращения его вала в точке ω_i (соответственно $g'_i(\omega_i)$ и $g''_i(\omega_i)$):

$$g'_i(\omega_i) = \frac{g_i(\omega_i + \Delta\omega) - g_i(\omega_i - \Delta\omega)}{2 \cdot \Delta\omega},$$

$$g''_i(\omega_i) = \frac{g_i(\omega_i + \Delta\omega) - 2 \cdot g_i(\omega_i) + g_i(\omega_i - \Delta\omega)}{\Delta\omega^2}.$$

Затем контроллер обучения 15 определяет направление поиска, вычисляя градиент расхода топлива p_i в точке ω_i .

$$p_i = g'_i(\omega_i) + p_{i-1} \frac{(g'_i(\omega_i))^2}{(g'_{i-1}(\omega_{i-1}))^2}.$$

Также контроллер обучения 15 вычисляет длину шага λ_i между текущей частотой вращения вала ДВС ω_i и новой ω_{i+1} с помощью метода квадратичной интерполяции [4]:

$$\lambda_i = \frac{g'_i(\omega_i)}{p_i \cdot (g''_i(\omega_i))^2}.$$

Далее контроллер обучения 15 вычисляет значение новой частоты вращения вала ДВС ω_{i+1} в направлении антиградиента функции расхода топлива:

$$\omega_{i+1} = \omega_i - \lambda_i \cdot p_i.$$

На следующем шаге контроллер обучения 15 определяет, достигается ли в точке ω_i наименьший расход топлива. Для этого модуль градиента функции расхода топлива p_i при частоте вращения вала ДВС ω_i должен быть меньше заданной точности ϵ .

Если требуемая точность поиска не достигнута, то контроллер обучения 15 воздействует на контроллер управления 14 и задает значение частоты вращения вала ДВС 1, равное $(\omega_{i+1}+\Delta\omega)$, выполняя новую итерацию поиска.

Если требуемая точность поиска достигнута, контроллер обучения 15 воздействует на контроллер управления 14 и задает значение частоты вращения вала ДВС 1, равное ω_i и поиск считается завершенным.

Таким образом, контроллер обучения 15 определяет частоту вращения вала ДВС 1, при которой удельный расход топлива минимальный для данного значения мощности нагрузки. После этого контроллер обучения 15 для логической пары "мощность нагрузки - оптимальное значение частоты вращения

вала ДВС 1" производит "дообучение" блока 16 ассоциативной памяти.

По данным научно-технической и патентной литературы авторам неизвестна заявляемая совокупность признаков, направленная на достижение поставленной задачи, что позволяет сделать вывод о соответствии решения уровню изобретения.

Литература.

1. Дарьенков А.Б. Экспериментальное исследование электростанции на основе ДВС переменной частоты вращения/IX межд. конф. по автоматизированному электроприводу, Пермь.-2016. - С. 29-33.

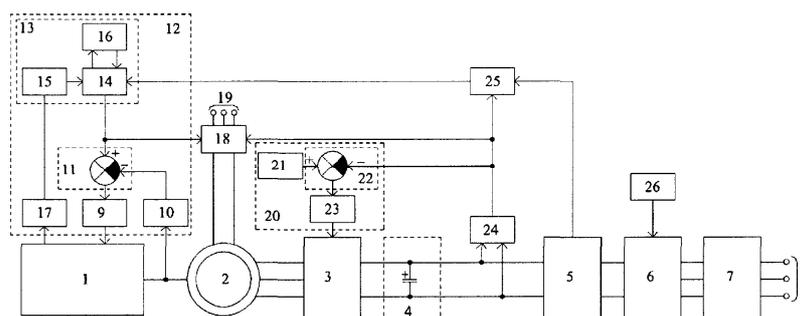
2. Хватов О.С. Интеллектуальные средства управления высокоэффективной дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения/О.С. Хватов, А.Б. Дарьенков//Известия ТулГУ. Технические науки. - 2010. - № 3 - С. 126-131.

3. Интернет ресурс: www-sbras.nsc.ru/rus/textbooks/akhmerov/mo_unicode/3.html.

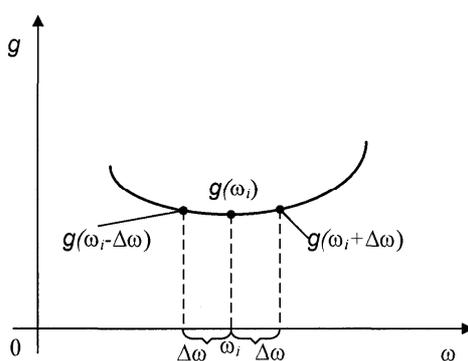
4. Интернет ресурс: http://dit.isuct.ru/IVT/sitanov/Literatura/M171_2.html.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ управления генераторной установкой, содержащей последовательно соединенные двигатель внутреннего сгорания переменной частоты вращения, синхронный генератор, выпрямитель, конденсаторную батарею, инвертор напряжения, повышающий трансформатор с выходными выводами, заключающийся в том, что частота вращения вала двигателя внутреннего сгорания изменяется в зависимости от мощности нагрузки генераторной установки, и отличающийся тем, что поиск оптимальной частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания осуществляется относительно текущей частоты вращения его вала в направлении антиградиента зависимости расхода топлива от частоты вращения вала с шагом, определяемым по методу квадратичной интерполяции, поиск считается завершенным, когда модуль градиента расхода топлива двигателя внутреннего сгорания при текущей частоте вращения вала меньше заданной точности поиска.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2