



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2009127389/07, 16.07.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.07.2009(45) Опубликовано: **20.11.2010** Бюл. № 32(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2182743 C1, 20.05.2002. RU 2324283 C1,
10.05.2008. RU 2142193 C1, 27.11.1999. GB
2293694 A, 03.04.1996. US 2002033686 A1,
21.03.2002. DE 10037968 A1, 20.02.2002. JP
2004159454 A, 03.06.2004.**

Адрес для переписки:

**111672, Москва, а/я 142, ООО "Компания
"Объединенная Энергия", научно-
исследовательский отдел**

(72) Автор(ы):

**Малафеев Сергей Иванович (RU),
Салов Семен Александрович (RU),
Серебренников Николай
Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной
ответственностью "Компания
"Объединенная Энергия" (RU)****(54) МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА**

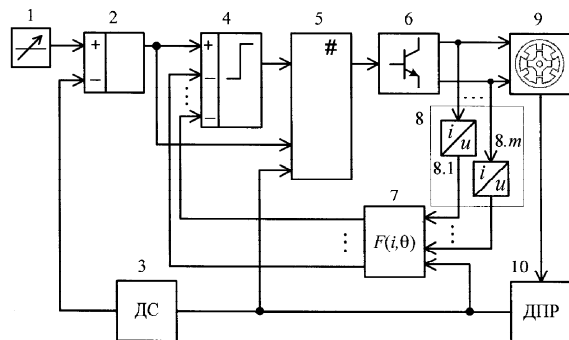
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в исполнительных устройствах различного назначения. Техническим результатом является повышение качества регулирования скорости, снижение пульсации момента, вибрации, излучения звуковых волн при работе. Мехатронная система содержит задатчик скорости (1), регулятор скорости (2), датчик скорости (3), релейный регулятор (4), контроллер (5), силовой транзисторный коммутатор (6), *m*-канальный функциональный преобразователь (7), *m* датчиков фазных токов (8), *m*-фазную индукторную электрическую машину (9), датчик положения ротора (10). Функциональный преобразователь (7) моделирует зависимость электромагнитного момента от положения ротора и фазных токов в соответствии с

уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

где u_j - выходной сигнал *j*-го канала функционального преобразователя (7), $j=1...m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток *j*-ой фазы двигателя (9); θ - угол поворота ротора двигателя (9). Достижение указанного технического результата при работе обусловлено тем, что в системе с подчиненным регулированием координат внутренний подчиненный контур организован на основе обратной связи по моменту. В результате этого реализуется прямое регулирование момента и, следовательно, снижение пульсаций момента, вибраций и звукового излучения при работе. 3 ил.



Фиг. 1

RU 2404503 C1

RU 2404503 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

H02P 6/00 (2006.01)*H02P 6/06* (2006.01)*H02P 6/16* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2009127389/07, 16.07.2009**(24) Effective date for property rights:
16.07.2009(45) Date of publication: **20.11.2010 Bull. 32**

Mail address:

**111672, Moskva, a/ja 142, OOO "Kompanija
"Ob"edinennaja Ehnergija", nauchno-
issledovatel'skij otdel**

(72) Inventor(s):

**Malafeev Sergej Ivanovich (RU),
Salov Semen Aleksandrovich (RU),
Serebrennikov Nikolaj Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Kompanija "Ob"edinennaja Ehnergija" (RU)**

(54) MECHATRONIC SYSTEM

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

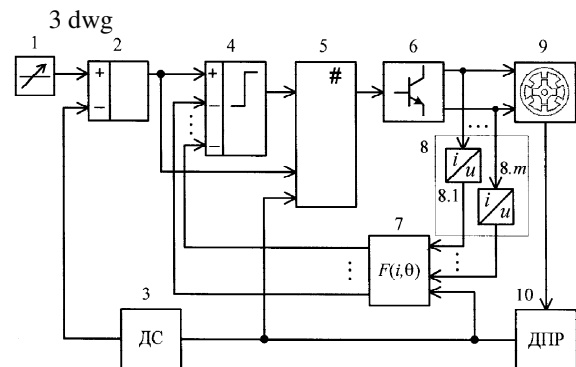
SUBSTANCE: mechatronic system comprises speed setter (1), speed controller (2), speed sensor (3), relay controller (4), controller (5), power transistor commutator (6), m-channel functional converter (7), m sensors of phase currents (8), m-phase induction electric machine (9), sensor of rotor position (10). Functional converter (7) models dependence of electromagnetic moment on position of rotor and phase currents in compliance with equation

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \Psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta}, \quad \text{where}$$

u_j - output signal of j channel of functional converter (7), $j=1...m$; k -coefficient of proportion; i_j - current of j phase of motor (9); θ - angle of motor rotor turn (9). In system with subordinate

control of coordinates, inner subordinate circuit is organised on the basis of feedback by moment. Invention realises direct control of the moment, and therefore, reduced pulsation of moment, vibration and sonic radiation in process of operation.

EFFECT: improved quality of speed control, reduced pulsation of moment, vibration, radiation of sound waves in process of operation.



Фиг. 1

Предлагаемое изобретение относится к автоматике и мехатронике и предназначено для использования в исполнительных устройствах различного назначения.

Известны мехатронные системы, содержащие m -фазную индукторную электрическую машину с датчиком положения ротора и m датчиками фазных токов, силовой транзисторный коммутатор, к выходам которого подключены обмотки индукторной машины, а вход соединен с выходом контроллера, входы которого подключены к выходам релейного регулятора фазных токов, регулятора скорости и датчика положения ротора, выход регулятора скорости соединен с суммирующим входом релейного регулятора тока, суммирующий вход подключен к задатчику скорости, а вычитающий вход через датчик скорости соединен с датчиком положения ротора (патент РФ №2182743, МПК H02P 6/18, H02K 29/06; Blaabjerg F., Kjaer P., Rasmussen P., Cossar C. Improved Digital Current Control Methods in Switched Reluctance Motor Drives | IEEE Transactions on Power Electronics, 1999, Vol.14, №.3 - P.563-572, Fig.1-2).

Такие известные мехатронные системы реализованы по классическому принципу подчиненного регулирования координат с внутренним подчиненным контуром регулирования тока. Однако известно, что в индукторных двигателях вращающий момент связан нелинейной зависимостью с фазными токами и положением ротора. Это служит причиной изменений параметров системы и, следовательно, показателей качества при вариациях нагрузок и управляющих воздействий. При этом вращающий момент двигателя имеет переменную составляющую, вызывающую дополнительные вибрации и шум при работе.

Следовательно, недостатками известных мехатронных систем являются невысокие показатели качества регулирования, вибрации и излучение звуковых волн при работе.

Из известных технических решений наиболее близким по достигаемому результату к предлагаемому изобретению является мехатронная система, содержащая m -фазную индукторную электрическую машину с датчиком положения ротора и m датчиками фазных токов, силовой транзисторный коммутатор, к выходам которого подключены обмотки индукторной машины, а вход соединен с выходом контроллера, входы которого подключены к выходам регулятора скорости и датчика положения ротора, выход регулятора скорости соединен с суммирующим входом релейного регулятора, суммирующий вход подключен к задатчику скорости, а вычитающий вход через датчик скорости соединен с датчиком положения ротора (DiRenzo M. Switched Reluctance Motor Control - Basic Operation and Example Using the TMS320F240. - Texas Instruments. Application Report SPRA420A, 2000. - 32 p., Fig.13).

Такая известная мехатронная система реализована по классическому принципу подчиненного регулирования координат с внутренним подчиненным контуром регулирования тока. Однако известно, что в индукторных двигателях вращающий момент связан нелинейной зависимостью с фазными токами и положением ротора. Это служит причиной изменений параметров системы и, следовательно, показателей качества при вариациях нагрузок и управляющих воздействий. При этом вращающий момент двигателя имеет переменную составляющую, вызывающую дополнительные вибрации и шум при работе.

Следовательно, недостатками известных мехатронных систем являются невысокие показатели качества регулирования, вибрации и излучения звуковых волн при работе.

Целью предлагаемого изобретения является повышение качества регулирования скорости, снижение пульсаций момента, вибраций, излучения звуковых волн при работе.

Поставленная цель достигается тем, что в известной мехатронной системе,

содержащей m -фазную индукторную электрическую машину с датчиком положения ротора и m датчиками фазных токов, силовой транзисторный коммутатор, к выходам которого подключены обмотки индукторной машины, а вход соединен с выходом контроллера, входы которого подключены к выходам релейного регулятора, регулятора скорости и датчика положения ротора, выход регулятора скорости соединен с суммирующим входом релейного регулятора, суммирующий вход подключен к задатчику скорости, а вычитающий вход через датчик скорости соединен с датчиком положения ротора, дополнительно введен m -канальный функциональный преобразователь, m входов которого подключены к выходам m датчиков фазных токов, один вход соединен с выходом датчика положения ротора, а m выходов подключены к m вычитающим входам релейного регулятора, при этом функциональный преобразователь моделирует зависимость электромагнитного момента от положения и фазных токов в соответствии с уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

где u_j - выходной сигнал j -го канала функционального преобразователя, $j=1 \dots m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток j -ой фазы двигателя; θ - угол поворота двигателя.

По сравнению с наиболее близким аналогичным техническим решением предлагаемое устройство имеет следующие новые признаки:

- дополнительно введен m -канальный функциональный преобразователь;
- функциональный преобразователь моделирует зависимость электромагнитного момента от положения и фазных токов в соответствии с уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

где u_j - выходной сигнал j -го канала функционального преобразователя, $j=1 \dots m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток j -ой фазы двигателя; θ - угол поворота двигателя.

Следовательно, заявляемое техническое решение соответствует требованию «новизна».

При реализации предлагаемого изобретения обеспечивается стабилизация показателей качества регулирования во всем диапазоне изменений нагрузок и управляющих воздействий, снижаются пульсации момента, вибрации и излучение звуковых волн при работе. Этот эффект обусловлен тем, что в системе с подчиненным регулированием координат внутренний подчиненный контур организован на основе обратной связи по моменту. В результате этого реализуется прямое регулирование момента и, следовательно, снижение пульсаций момента, вибраций и звукового излучения при работе.

Следовательно, заявляемое техническое решение соответствует требованию «положительный эффект».

По каждому отличительному признаку проведен поиск известных технических решений в области электротехники, автоматики и электропривода.

Мехатронные системы, содержащие m -канальный функциональный преобразователь, который моделирует зависимость электромагнитного момента от

положения и фазных токов в соответствии с уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

где u_j - выходной сигнал j -го канала функционального преобразователя, $j=1 \dots m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток j -ой фазы двигателя; θ - угол поворота двигателя, в известных технических решениях аналогичного назначения не обнаружены.

Таким образом, указанные признаки обеспечивают заявляемому техническому решению соответствие требованию «существенные отличия».

Сущность предлагаемого изобретения поясняется чертежами. На фиг.1 показана функциональная схема мехатронной системы, на фиг.2 и фиг.3 показаны графики переходных процессов в системе при изменении задающего сигнала и момента нагрузки (на фиг.2 показаны графики процессов в предлагаемой системе, на фиг.3 показаны графики процессов в мехатронной системе известной структуры).

Мехатронная система, функциональная схема которой показана на фиг.1, содержит задатчик скорости 1, регулятор скорости 2, датчик скорости 3, релейный регулятор 4, контроллер 5, силовой транзисторный коммутатор 6, m -канальный функциональный преобразователь 7, m датчиков фазных токов 8, m -фазную индукторную электрическую машину 9, датчик положения ротора 10. В мехатронной системе обмотки m -фазной индукторной электрической машины 9 с датчиком положения ротора 10 и m датчиками фазных токов 8 (8.1, ..., 8.m) подключены к выходам силового транзисторного коммутатора 6, вход которого соединен с выходом контроллера 5, входы которого подключены к выходам релейного регулятора 4, регулятора скорости 2 и датчика положения ротора 10, выход регулятора скорости 2 соединен с суммирующим входом релейного регулятора 4, суммирующий вход подключен к задатчику скорости 1, а вычитающий вход через датчик скорости 3 соединен с датчиком положения ротора 10, m входов m -канального функционального преобразователя 7 подключены к выходам m датчиков фазных токов 8, один вход соединен с выходом датчика положения ротора 10, а m выходов подключены к m вычитающим входам релейного регулятора 4, при этом функциональный преобразователь 7 моделирует зависимость электромагнитного момента от положения ротора и фазных токов в соответствии с уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

где u_j - выходной сигнал j -го канала функционального преобразователя 7, $j=1 \dots m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток j -ой фазы двигателя 9; θ - угол поворота ротора двигателя 9.

Мехатронная система работает следующим образом. Обмотки индукторного двигателя 9 подключены к выходу транзисторного коммутатора 6. Регулирование скорости Ω двигателя осуществляется изменением напряжения на обмотках двигателя. Для измерения положения ротора используется датчик положения ротора 10. Скорость двигателя 9 измеряется датчиком скорости 3, например микроконтроллерным вычислительным устройством, преобразующим выходной сигнал датчика положения ротора в сигнал, пропорциональный скорости. Токи в

обмотках двигателя 9 измеряются с помощью датчиков фазных токов 8, например шунтов.

На суммирующий вход регулятора скорости 2 с выхода задатчика скорости 1 поступает сигнал u_1 , пропорциональный требуемому значению угловой скорости двигателя 9. На вычитающий вход регулятора скорости 2 поступает выходной сигнал u_3 датчика скорости 3, пропорциональный угловой скорости Ω вращения ротора двигателя 9. В регуляторе скорости 2 производится вычисление ошибки регулирования $\varepsilon = u_1 - u_3$ и преобразование полученного сигнала в соответствии с реализованным в устройстве законом регулирования, например пропорционально-интегральным. Сигнал ε с выхода регулятора скорости 2 поступает на первый вход релейного регулятора 4 и один из входов контроллера 5.

На m входах нелинейного функционального преобразователя 7 действуют выходные сигналы датчиков фазных токов 8, на $(m+1)$ -м входе действует выходной сигнал датчика положения ротора 10. На m выходах нелинейного функционального преобразователя 7 формируются сигналы

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

пропорциональные составляющим вращающего момента, создаваемым отдельными фазами двигателя 9.

Релейный регулятор 4 выполняет сравнение сигнала, поступающего с выхода регулятора скорости 2, с выходными сигналами функционального преобразователя 7, и формирование сигналов коммутации ключей транзисторного коммутатора 6 для соответствующей фазы. Последовательность коммутации ключей во времени задается выходным сигналом датчика положения ротора 10 и полярностью выходного сигнала регулятора скорости 2, определяющей направление вращения двигателя 9. Так как на вычитающие входы релейного регулятора 4 поступают сигналы с выхода функционального преобразователя 7, пропорциональные составляющим вращающего момента, создаваемым отдельными фазами двигателя 9, то, следовательно, релейный регулятор выполняет функцию регулятора вращающего момента. В результате этого реализуется прямое регулирование момента и, следовательно, снижение пульсаций момента, вибраций и звукового излучения при работе.

Таким образом, в предлагаемой мехатронной системе осуществляется регулирование скорости с помощью двух обратных связей - главной по скорости, которая обеспечивает точное регулирование скорости, и подчиненной по вращающему моменту, обеспечивающей управление моментом двигателя. Благодаря этому обеспечиваются высокие показатели качества регулирования, снижение пульсаций момента, вибраций и звукового излучения при работе.

С целью подтверждения положительного эффекта, достигаемого при использовании предлагаемого технического решения, было выполнено имитационное моделирование электропривода, реализованного по схеме, изображенной на фиг.1. Параметры системы имели следующие значения.

Индукторный двигатель: конструкция 6/4; число фаз - 3; мощность 30 кВт.

Транзисторный коммутатор: напряжение питания $U=400$ В;

Датчики: коэффициент передачи тахогенератора $k_\Omega=0,1$ В·с/рад; коэффициент передачи датчика тока $k_i=0,1$ В/А.

ПИ-регулятор скорости: коэффициент передачи регулятора $k_{pc}=4$; постоянная

времени $T_{pc}=0,4$ с.

Результаты моделирования приведены на фиг.2, где показаны процессы для момента, скорости, напряжения и тока в мехатронной системе. На фиг.2 приведены результаты моделирования предлагаемой мехатронной системы, на фиг.3 показаны процессы в известной системе с традиционным релейным регулятором тока.

Амплитуда пульсаций момента в предлагаемой системе в 2 раза меньше, чем в известной системе за счет введения обратной связи по моменту.

Таким образом, использование в известной мехатронной системе, содержащей m -фазную индукторную электрическую машину с датчиком положения ротора и m датчиками фазных токов, силовой транзисторный коммутатор, к выходам которого подключены обмотки индукторной машины, а вход соединен с выходом контроллера, входы которого подключены к выходам релейного регулятора, регулятора скорости и датчика положения ротора, выход регулятора скорости соединен с суммирующим входом релейного, суммирующий вход подключен к задатчику скорости, а вычитающий вход через датчик скорости соединен с датчиком положения ротора, дополнительно m -канальный функциональный преобразователь, m входов которого подключены к выходам m датчиков фазных токов, один вход соединен с выходом датчика положения ротора, а m выходов подключены к m вычитающим входам релейного регулятора, при этом функциональный преобразователь моделирует зависимость электромагнитного момента от положения ротора и фазных токов в соответствии с уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

где u_j - выходной сигнал j -го канала функционального преобразователя, $j=1 \dots m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток j -ой фазы двигателя; θ - угол поворота ротора двигателя, обеспечивает повышение качества регулирования скорости, снижение пульсаций момента, вибраций, излучения звуковых волн при работе.

Использование предлагаемого устройства в различных промышленных системах позволит улучшить технические характеристики оборудования, оснащенного мехатронными системами с индукторными двигателями.

Формула изобретения

Мехатронная система, содержащая m -фазную индукторную электрическую машину с датчиком положения ротора и m датчиками фазных токов, силовой транзисторный коммутатор, к выходам которого подключены обмотки индукторной машины, а вход соединен с выходом контроллера, входы которого подключены к выходам релейного регулятора, регулятора скорости и датчика положения ротора, выход регулятора скорости соединен с суммирующим входом релейного, суммирующий вход подключен к задатчику скорости, а вычитающий вход через датчик скорости соединен с датчиком положения ротора, отличающаяся тем, что дополнительно введен m -канальный функциональный преобразователь, m входов которого подключены к выходам m датчиков фазных токов, один вход соединен с выходом датчика положения ротора, а m выходов подключены к m вычитающим входам релейного регулятора, при этом функциональный преобразователь моделирует зависимость электромагнитного момента от положения ротора и фазных токов в соответствии с уравнением

$$u_j = \frac{1}{2} k i_j^2 \frac{\partial \Psi \left(i_j, \theta - \frac{j\pi}{m} \right)}{\partial \theta},$$

5 где u_j - выходной сигнал j -го канала функционального преобразователя, $j=1 \dots m$; k - коэффициент пропорциональности; i_j - ток j -й фазы двигателя; θ - угол поворота ротора двигателя.

10

15

20

25

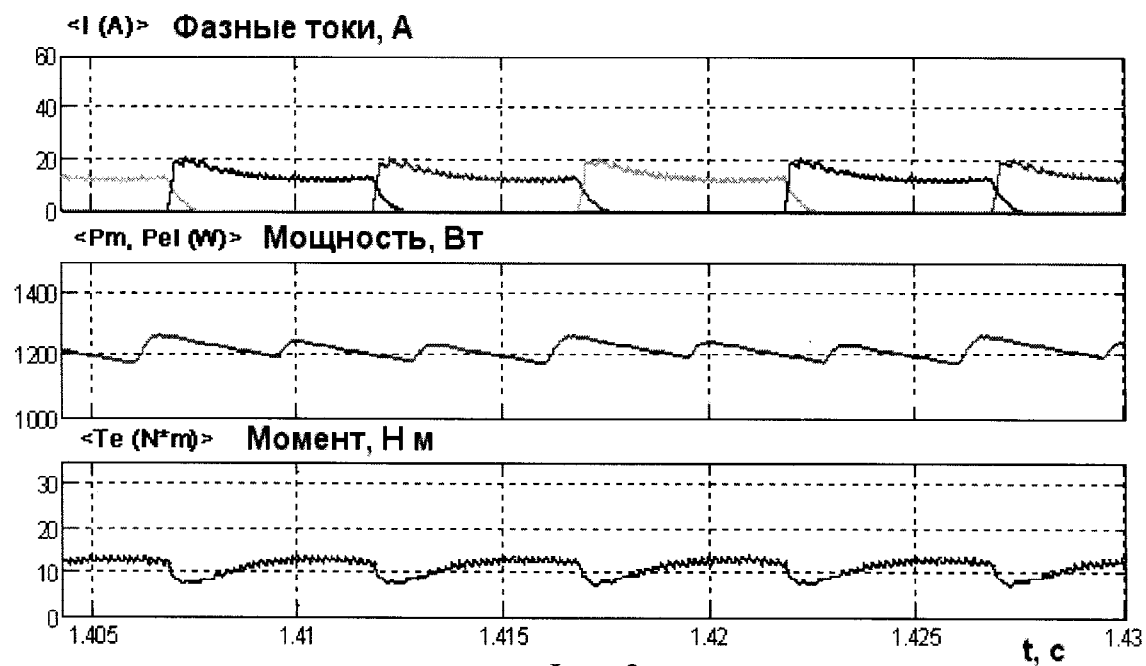
30

35

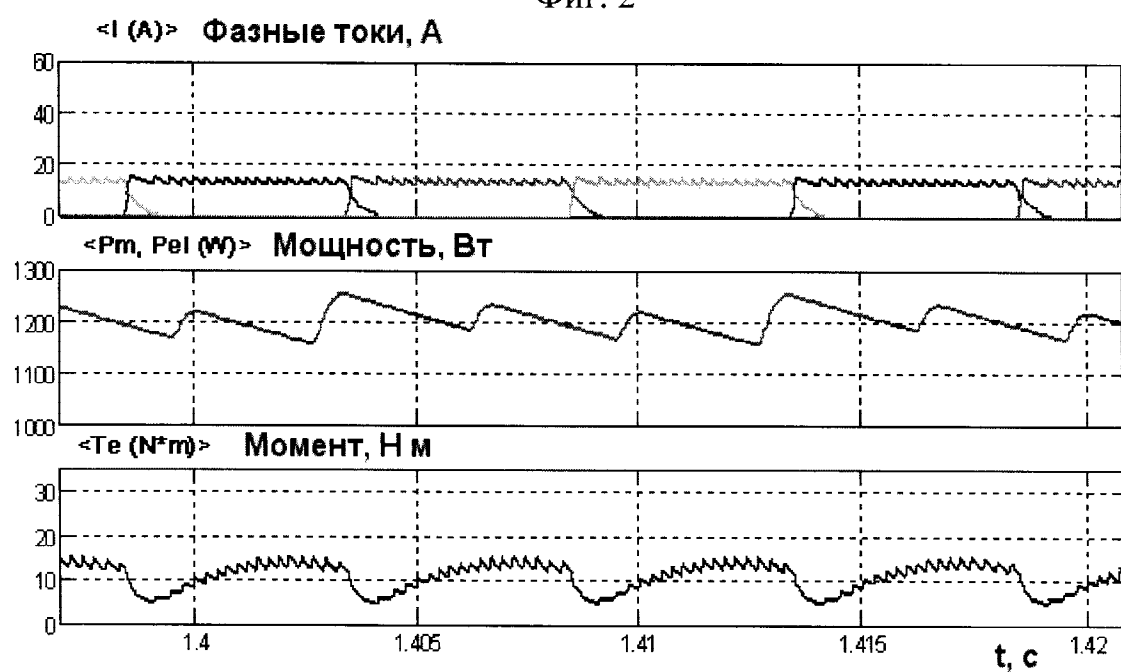
40

45

50



Фиг. 2



Фиг. 3