

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2829212

ЭЛЕКТРОПРИВОД С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С СИСТЕМОЙ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Васильев Богдан Юрьевич (RU), Желтиков Николай Олегович (RU)*

Заявка № 2024110295

Приоритет изобретения 16 апреля 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 30 октября 2024 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 16 апреля 2044 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02P 21/30 (2024.08); H02P 21/12 (2024.08); H02P 23/00 (2024.08); H02P 27/06 (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024110295, 16.04.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.04.2024

Дата регистрации:
30.10.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.04.2024

(45) Опубликовано: 30.10.2024 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО "СПбГУ императрицы Екатерины
II", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Васильев Богдан Юрьевич (RU),
Желтиков Николай Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)

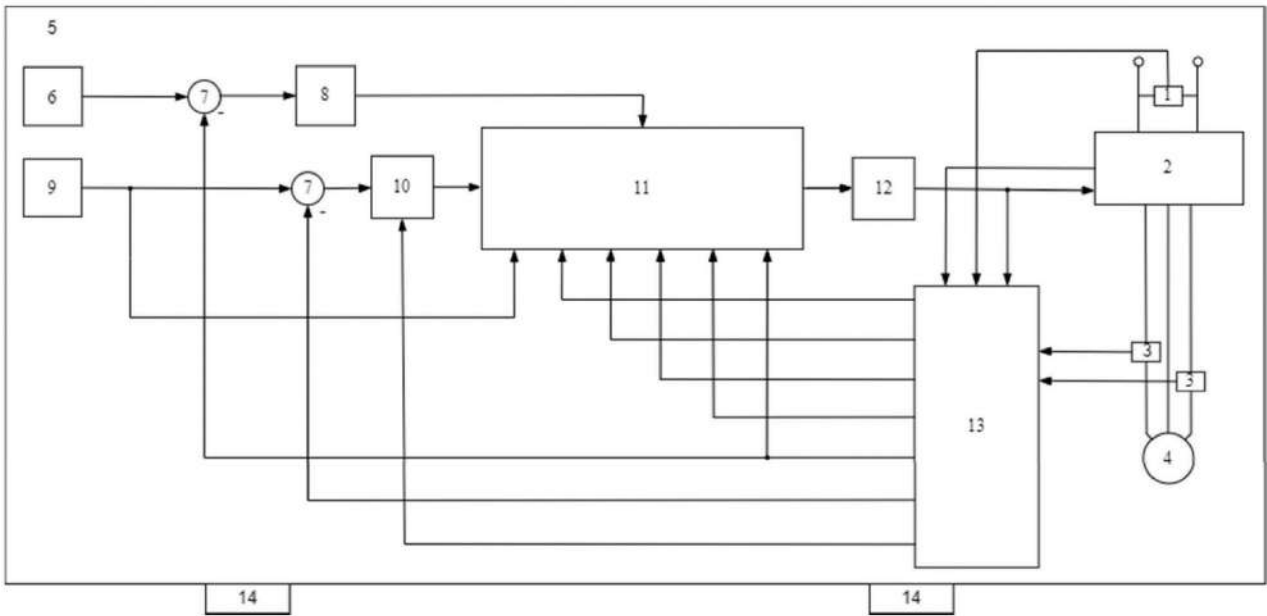
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2498497 C1, 10.11.2013. RU
2476982 C1, 27.02.2013. RU 2313894 C1,
27.12.2007. RU 159422 U1, 10.02.2016. RU 159869
U1, 20.02.2016. EP 2190113 A1, 26.05.2010. W.
Song, S. Le, X. Wu, and Y. Ruan, "An Improved
Model Predictive Direct Torque Control for
Induction Machine Drives," Journal of Power
Electronics, vol. 17, no. 3. The Korean Institute
of (см. прод.)

(54) ЭЛЕКТРОПРИВОД С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С СИСТЕМОЙ ПРЕДИКТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, в частности к электроприводу с асинхронными двигателями. Техническим результатом является повышение энергетической эффективности электропривода. Электропривод с асинхронным двигателем с системой предиктивного управления моментом содержит датчик постоянного напряжения, инвертор напряжения, датчики фазных токов, асинхронный двигатель, задатчик частоты вращения двигателя, сумматоры, регулятор частоты вращения, задатчик потокосцепления статора двигателя, блок вычисления функции стоимости, блок формирования коммутационных функций, наблюдательный блок состояния электропривода. Также устройство содержит корпус, внизу которого закреплены элементы крепления, а

внутри которого дополнительно установлен блок выбора группы векторов напряжения. Блок выбора группы векторов напряжения содержит последовательно установленные релейный регулятор потокосцепления статора двигателя, выход которого соединен с входом идентификатора состояния релейного регулятора потокосцепления статора, выходы которого и выход определителя фазового сектора вектора потокосцепления статора соединены с входами матричного регулятора, выход которого соединен с входом преобразователя сигнала матричного регулятора, выход которого соединен с входом блока вычисления функции стоимости. Выход сумматора соединен с входом релейного регулятора потокосцепления статора двигателя. 2 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):
 Power Electronics, pp.674-685, 20.05.2017.

R U 2 8 2 9 2 1 2 C 1

R U 2 8 2 9 2 1 2 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H02P 21/30 (2016.01)
H02P 21/12 (2006.01)
H02P 23/00 (2006.01)
H02P 27/06 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

H02P 21/30 (2024.08); H02P 21/12 (2024.08); H02P 23/00 (2024.08); H02P 27/06 (2024.08)

(21)(22) Application: **2024110295, 16.04.2024**

(24) Effective date for property rights:
16.04.2024

Registration date:
30.10.2024

Priority:

(22) Date of filing: **16.04.2024**

(45) Date of publication: **30.10.2024** Bull. № 31

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU
VO "SPbGU imperatritsy Ekateriny II", Patentno-
litsenzyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Vasilev Bogdan Iurevich (RU),
Zheltikov Nikolai Olegovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)**

(54) **ELECTRIC DRIVE WITH ASYNCHRONOUS MOTOR WITH PREDICTIVE TORQUE CONTROL SYSTEM**

(57) Abstract:

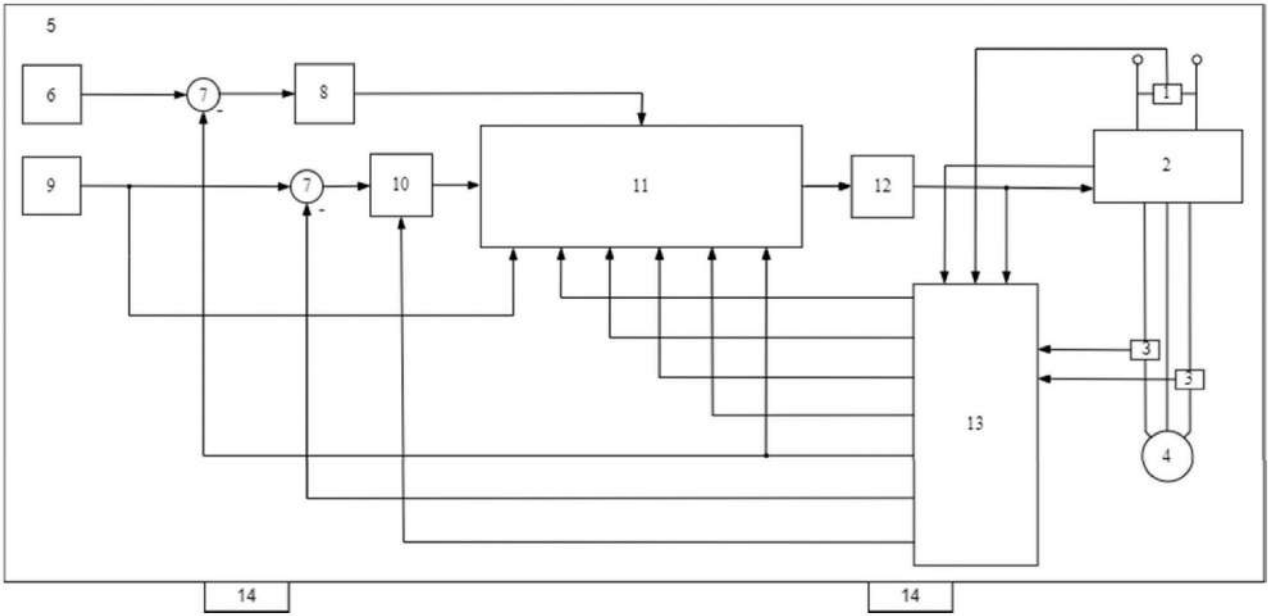
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering, in particular to an electric drive with asynchronous motors. Electric drive with an asynchronous motor with a predictive torque control system comprises a constant voltage sensor, a voltage inverter, phase current transducers, asynchronous motor, motor speed setter, adders, rotational velocity controller, motor stator flux linkage setter, cost function calculation unit, switching functions generation unit, electric drive state monitoring unit. Device also has a housing, at the bottom of which fastening elements are fixed, and inside which there is an additional unit for selecting a group of voltage vectors. Voltage vector group selection unit

contains in-series installed relay motor stator flux linkage, the output of which is connected to the stator flux linkage relay state identifier input, which outputs and the output of the stator flux linkage vector phase sector determiner are connected to the matrix controller inputs, the output of which is connected to the input of the signal converter of the matrix controller, the output of which is connected to the input of the unit for calculating the cost function. Adder output is connected to motor stator flux linkage relay input.

EFFECT: increased energy efficiency of electric drive.

1 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2829212 C1

RU 2829212 C1

Изобретение относится к электротехнике, в частности к электроприводу с асинхронными двигателями.

Известна система управления асинхронным электроприводом (I. Takahashi and T. Noguchi, "A New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy of an Induction Motor," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-22, no. 5, pp. 820-827, Sept. 1986, doi: 10.1109/TIA.1986.4504799), которое содержит задатчики потокосцепления статора и момента, релейные регуляторы, таблицу управления, инвертор напряжения, датчики токов и напряжений статора электродвигателя, асинхронный двигатель и наблюдатель координат электропривода.

Недостатками данной системы являются наличие в структуре системы релейного регулятора момента, что обуславливает его высокие пульсации, а также сложность построения таблицы управления и матричного регулятора.

Известен частотно-регулируемый асинхронный электропривод (патент RU №2313894, опубл. 27.12.2007), состоящий из силового блока, электродвигателя и системы управления электроприводом, включающей задатчики потокосцепления ротора и частоты вращения, регуляторы частоты вращения и тока, блок деления, преобразователи координат и наблюдательный блок состояния электропривода.

Недостатком данного электропривода является сложная структура ввиду большого количества настроечных элементов.

Известен высокодинамичный бездатчиковый асинхронный электропривод с непосредственным управлением моментом (патент RU №2498497 опубл. 10.11.2013). Электропривод состоит из силового блока, электродвигателя и системы управления, включающей задатчики частоты вращения и потокосцепления двигателя, сумматоры, регулятор частоты вращения, наблюдательный блок состояния электропривода, формирователь проекций вектора напряжения, координатные преобразователи, векторный модулятор и вычислитель текущего значения выпрямленного напряжения.

Недостатком данного электропривода является сложная структура ввиду большого количества координатных преобразователей.

Известна предиктивная система прямого управления моментом (G. Abad, M. A. Rodriguez and J. Poza, "Predictive Direct Torque Control of the Doubly Fed Induction Machine with Reduced Torque and Flux Ripples at Low Constant Switching Frequency," IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, Paris, France, 2006, pp.1000-1005, doi: 10.1109/IECON.2006.347349), которая состоит из задатчиков потокосцепления ротора и момента двигателя, сумматоров, релейных регуляторов потокосцепления ротора и момента двигателя, таблицы управления, формирователя коммутационных функций, вычислителя переменных электропривода и силового блока.

Недостатком данной системы является наличие релейного регулятора момента, что обуславливает его высокие пульсации.

Известна предиктивная система прямого управления моментом (W. Song, S. Le, X. Wu, and Y. Ruan, "An Improved Model Predictive Direct Torque Control for Induction Machine Drives," Journal of Power Electronics, vol. 17, no. 3. The Korean Institute of Power Electronics, pp.674-685, 20-May-2017), принятая за прототип, которая состоит из силового блока, электродвигателя и блока управления, который включает в себя задатчик частоты вращения, регулятор частоты вращения, блок вычисления проекций вектора напряжения, наблюдательный блок состояния электропривода, блок прогнозирования значений потокосцепления статора и момента двигателя и блок вычисления функции стоимости.

Недостатком данной системы является конструкция блока прогнозирования значений потокосцепления статора и момента двигателя, обеспечивающая расчет функции

стоимости для одного нулевого и всех активных базовых векторов напряжения, что обуславливает высокую вычислительную нагрузку.

Техническим результатом является повышение энергетической эффективности электропривода.

5 Технический результат достигается тем, что устройство содержит корпус, внизу которого закреплены элементы крепления, а внутри которого дополнительно установлен блок выбора группы векторов напряжения, который содержит последовательно установленные релейный регулятор потокосцепления статора двигателя, выход которого соединен с входом идентификатора состояния релейного регулятора потокосцепления
10 статора, выходы которого и выход определителя фазового сектора вектора потокосцепления статора соединены с входами матричного регулятора, выход которого соединен с входом преобразователя сигнала матричного регулятора, выход которого соединен с входом блока вычисления функции стоимости, при этом выход сумматора соединен с входом релейного регулятора потокосцепления статора двигателя

15 Устройство поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - конструкция предлагаемого устройства;

фиг. 2 - конструкция блока выбора группы базовых векторов напряжения;

1 - датчик постоянного напряжения;

2 - инвертор напряжения;

20 3 - датчики фазных токов;

4 - асинхронный двигатель;

5 - корпус;

6 - задатчик частоты вращения двигателя;

7 - сумматоры;

25 8 - регулятор частоты вращения;

9 - задатчик потокосцепления статора двигателя;

10 - блок выбора группы векторов напряжения;

11 - блок вычисления функции стоимости;

12 - блок формирования коммутационных функций;

30 13 - наблюдательный блок состояния электропривода;

14 - элементы крепления;

15 - релейный регулятор потокосцепления статора двигателя;

16 - идентификатор состояния релейного регулятора потокосцепления статора;

17 - определитель фазового сектора вектора потокосцепления статора;

35 18 - матричный регулятор;

19 - преобразователь сигнала матричного регулятора.

Электропривод с асинхронным двигателем с системой предиктивного управления моментом включает инвертор напряжения 2, который соединен через датчик напряжения 1 с источником постоянного напряжения, например, выпрямителем напряжения сети,
40 электродвигателя 4, обмотки которого соединены через датчики фазных токов 3 с выходом инвертора напряжения. Выходы датчика напряжения 1 и датчиков фазных токов 3 соединены с входом наблюдательного блока состояния электропривода 13.

Корпус 5, который может быть выполнен из пластика, алюминия, либо другого материала, внизу которого установлены элементы крепления 14. Внутри корпуса 5
45 установлены задатчик частоты вращения 6, выход которого соединен с входом сумматора 7, выход которого соединен с входом регулятора частоты вращения 8. Выход задатчика потокосцепления статора двигателя 9 соединен с входом сумматора 7, выход которого соединен с входом релейного регулятора потокосцепления статора двигателя

15. В блоке выбора группы векторов напряжения 10 установлены релейный регулятор
потокосцепления статора двигателя 15, выход которого соединен с входом
идентификатора состояния релейного регулятора потокосцепления статора 16, который
также установлен в блоке выбора группы векторов напряжения 10. Выход
5 наблюдательного блока состояния электропривода 13 соединен с входом установленного
в блоке выбора группы векторов напряжения 10 определителя фазового сектора вектора
потокосцепления статора 17. Выходы идентификатора состояния релейного регулятора
потокосцепления статора 16 и определителя фазового сектора вектора потокосцепления
статора 17 соединены с входами установленного в блоке выбора группы векторов
10 напряжения 10 матричного регулятора 18, выход которого соединен с входом
преобразователя сигнала матричного регулятора 19, который также установлен в блоке
выбора группы векторов напряжения 10. Выход преобразователя сигнала матричного
регулятора 19 соединен с входом блока вычисления функции стоимости 11.

Выходы наблюдательного блока состояния электропривода 13, задатчика
15 потокосцепления статора двигателя 9 и выход регулятора частоты вращения 8 соединены
с входом блока вычисления функции стоимости 11. Выход блока вычисления функции
стоимости 11 соединен с входом блока формирования коммутационных функций 12,
выход которого соединен с инвертором напряжения 2.

Устройство работает следующим образом. К инвертору напряжения 2 через датчик
20 напряжения 1 подводится постоянное напряжение от источника постоянного
напряжения, например, выпрямителя напряжения сети. К обмоткам электродвигателя
4 через датчики фазных токов 3 подводится формируемое инвертором напряжения 2
трехфазное переменное напряжение. Напряжение шины постоянного тока измеряется
с помощью датчика напряжения 1, выход которого подключен к наблюдательному
25 блоку состояния электропривода 13. К наблюдательному блоку состояния
электропривода 13 также подводят текущие значения тока фаз статора и формируемые
коммутационные функции. Текущее значение тока фаз статора получают с помощью
датчиков фазных токов 3, а коммутационные функции получают с помощью блока
формирования коммутационных функций 12.

30 В наблюдательном блоке состояния электропривода 13 по текущим значениям
фазных токов статора, напряжению шины постоянного тока и коммутационным
функциям определяют переменные двигателя. Сначала определяют текущие значения
проекций фазных токов статора, затем текущие значения проекций вектора напряжения
статора определяют по текущему значению напряжения шины постоянного тока и
35 значению коммутационных функций.

Далее по текущим значениям проекций вектора напряжения статора и вектора тока
статора определяют текущие значения проекций векторов потокосцепления статора и
ротора, текущее значение частоты вращения двигателя, а также угол поворота вектора
потокосцепления статора путем решения системы уравнений асинхронного двигателя

40 С помощью задатчика частоты вращения электродвигателя 6 устанавливают заданное
значение частоты вращения электродвигателя, а с помощью задатчика потокосцепления
статора электродвигателя 9 - заданное значение потокосцепления статора
электродвигателя.

Текущее значение частоты вращения электродвигателя с помощью сумматора 7
45 сравнивают с заданным значением частоты вращения электродвигателя, после чего
сигнал рассогласования частоте вращения поступает на вход регулятора частоты
вращения 8, на выходе которого формируется задание на электромагнитный момент
электродвигателя. Этот сигнал поступает на вход блока вычисления функции стоимости

11 подключен ко входу определителя фазового сектора 17, выход которого подключен ко входу матричного регулятора 18.

Текущее значение модуля вектора потокосцепления статора с помощью сумматора 7 сравнивают с заданным значением потокосцепления статора электродвигателя и формируют сигнал рассогласования по потокосцеплению, который поступает на вход блока выбора группы векторов напряжения 10, к которому от наблюдательного блока состояния электропривода 13 также подводится вычисленное значение угла поворота вектора потокосцепления статора. Релейный регулятор потокосцепления статора 15 формирует сигнал ошибки, поступающий на вход идентификатора состояния релейного регулятора 16, формирующего сигнал о состоянии релейного регулятора потокосцепления статора 15. Далее этот сигнал поступает на вход матричного регулятора 18. Определитель фазового сектора 17 вычисляет номер сектора фазовой плоскости, в котором находится вектор потокосцепления статора на основании сигнала о текущем угле поворота вектора потокосцепления статора, поступающего с наблюдательного блока состояния электропривода 13. На основании сигналов, поступающих с выходов идентификатора состояния релейного регулятора 16 и определителя фазового сектора вектора потокосцепления статора 17 матричный регулятор 18 формирует сигнал, поступающий на вход преобразователя сигнала матричного регулятора 19, который определяет группу векторов напряжения статора, принимаемую к расчету.

Заданное значение потокосцепления электродвигателя с выхода задатчика потокосцепления электродвигателя 9 также поступает на вход блока вычисления функции стоимости 11.

Расчет функции стоимости в блоке вычисления функции стоимости 11 производится для каждого вектора группы, выбранной в блоке выбора группы векторов напряжения 10, при этом расчет функции стоимости в блоке вычисления функции стоимости 11 производится только для одного из нулевых векторов, и, в случае, если нулевой вектор обеспечивает минимальное значение функции стоимости, выбирается тот нулевой вектор, для формирования которого в инверторе напряжения 2 потребуется минимальное количество изменений текущих значений коммутационных функций.

На основании выходных сигналов блока выбора группы векторов напряжения 10 и выходных сигналов наблюдательного блока состояния электропривода 13 о проекциях вектора тока статора, проекциях вектора потокосцепления статора и текущего значения частоты вращения электродвигателя в блоке вычисления функции стоимости 11 определяют прогнозируемые значения модулей векторов тока и потокосцепления статора, углы поворота этих векторов, а также разницу между углами поворота векторов тока и потокосцепления статора. Далее вычисляется номер оптимального вектора напряжения. Для этого сначала вычисляется прогнозируемое значение момента, затем вычисляется функция стоимости.

В блоке вычисления функции стоимости 11 выбирается тот вектор напряжения из группы векторов напряжения, принятой к расчету, для которого функция стоимости будет минимальной.

В блоке формирования коммутационных функций 12 на основании выходного сигнала блока вычисления функции стоимости 11 формируются коммутационные функции, например, для двухуровневого инвертора напряжения

Выходной сигнал блока формирования коммутационных функций 12 поступает на инвертор напряжения 2 и на вход наблюдательного блока состояния электропривода 13.

За счет установки блока выбора группы векторов напряжения, релейного регулятора
потокосцепления статора двигателя, идентификатора состояния релейного регулятора
потокосцепления статора, определителя фазового сектора вектора потокосцепления
статора, матричного регулятора и преобразователя сигнала матричного регулятора в
5 электропривод с асинхронным двигателем с системой предиктивного управления
моментом повышается энергетическая эффективность электропривода.

(57) Формула изобретения

Электропривод с асинхронным двигателем с системой предиктивного управления
10 моментом, включающий датчик постоянного напряжения, инвертор напряжения,
датчики фазных токов, асинхронный двигатель, задатчик частоты вращения двигателя,
сумматоры, регулятор частоты вращения, задатчик потокосцепления статора двигателя,
блок вычисления функции стоимости, блок формирования коммутационных функций,
наблюдательный блок состояния электропривода, отличающийся тем, что устройство
15 содержит корпус, внизу которого закреплены элементы крепления, а внутри которого
дополнительно установлен блок выбора группы векторов напряжения, который
содержит последовательно установленные релейный регулятор потокосцепления статора
двигателя, выход которого соединен с входом идентификатора состояния релейного
регулятора потокосцепления статора, выходы которого и выход определителя фазового
20 сектора вектора потокосцепления статора соединены с входами матричного регулятора,
выход которого соединен с входом преобразователя сигнала матричного регулятора,
выход которого соединен с входом блока вычисления функции стоимости, при этом
выход сумматора соединен с входом релейного регулятора потокосцепления статора
двигателя.

25

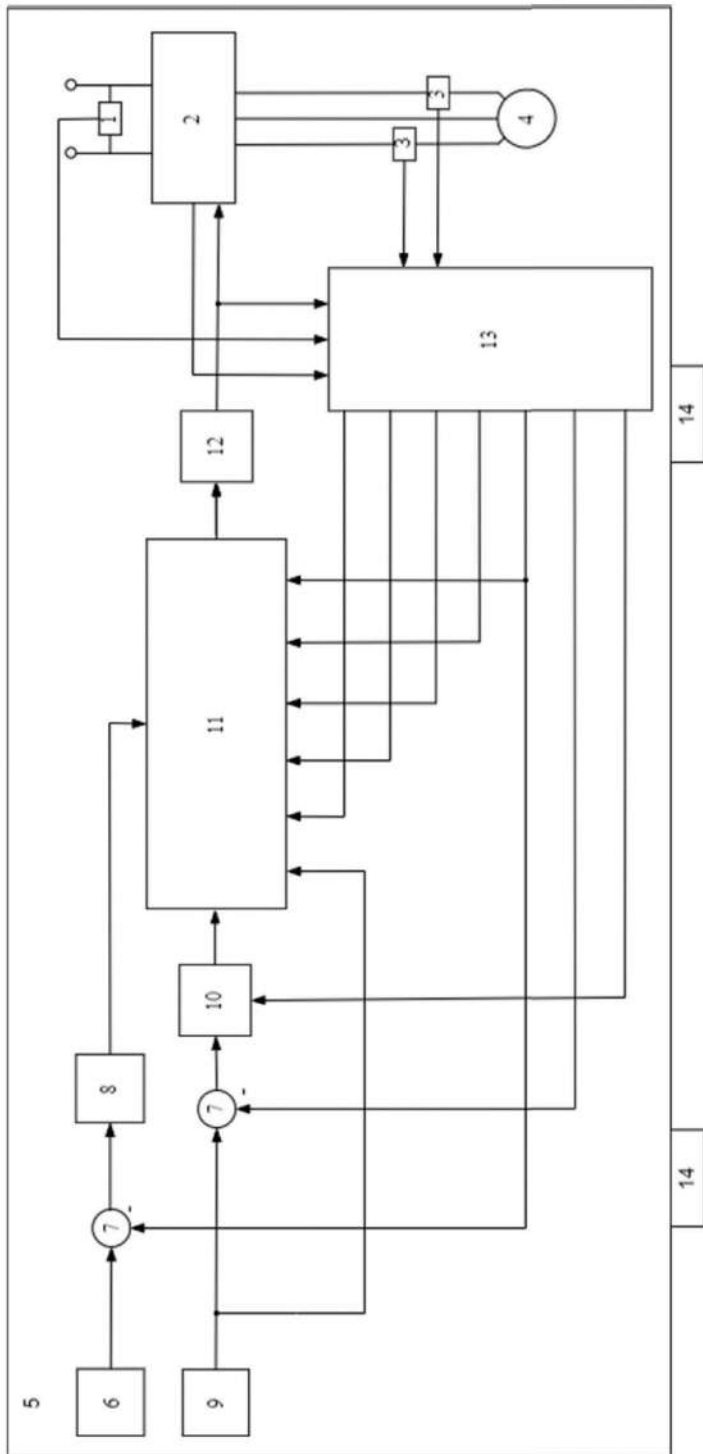
30

35

40

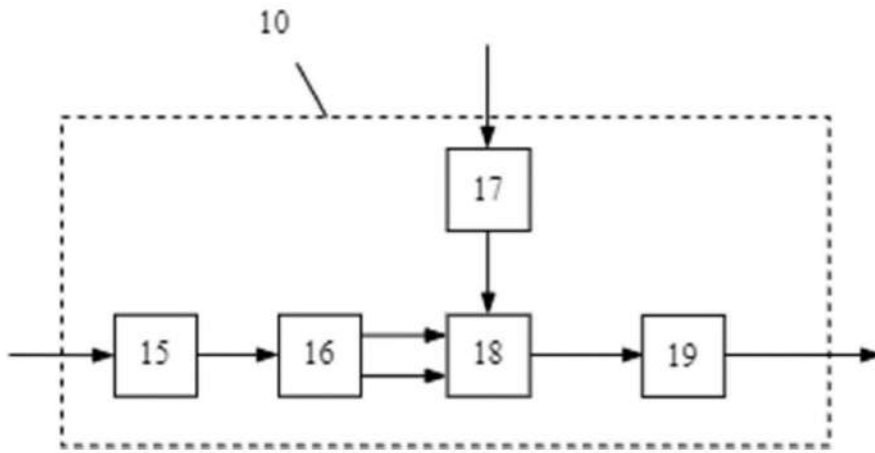
45

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2