РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 796 152**(13) **C1**

(51) МПК
H02P 21/14 (2006.01)
G01P 3/56 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02P 21/14 (2023.02); G01P 3/56 (2023.02)

(21)(22) Заявка: **2022112391, 06.05.2022**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.05.2022

Дата регистрации:
17.05.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **06.05.2022**

(45) Опубликовано: **17.05.2023** Бюл. № **14**

Адрес для переписки:
141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Индустриальная, 15, корп. 1, кв. 16, Алексеев В.В.

(72) Автор(ы):
Полушкин Вячеслав Михайлович (RU),
Князев Роман Игоревич (RU),
Алексеев Валерий Васильевич (RU),
Воронцов Павел Сергеевич (RU),
Долидзе Вахтанг Чолович (RU),
Котов Юрий Терентьевич (RU),
Соболев Владимир Алексеевич (RU),
Старостин Олег Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Полушкин Вячеслав Михайлович (RU),
Князев Роман Игоревич (RU),
Алексеев Валерий Васильевич (RU),
Воронцов Павел Сергеевич (RU),
Долидзе Вахтанг Чолович (RU),
Котов Юрий Терентьевич (RU),
Соболев Владимир Алексеевич (RU),
Старостин Олег Викторович (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2703274 C1, 16.10.2019. SU 1120243 A1, 23.10.1984. US 4316143 A, 16.02.1982. SU 1490510 A1, 30.06.1989. SU 1035521 A1, 15.08.1983. JP S6150753 A, 13.03.1986.**

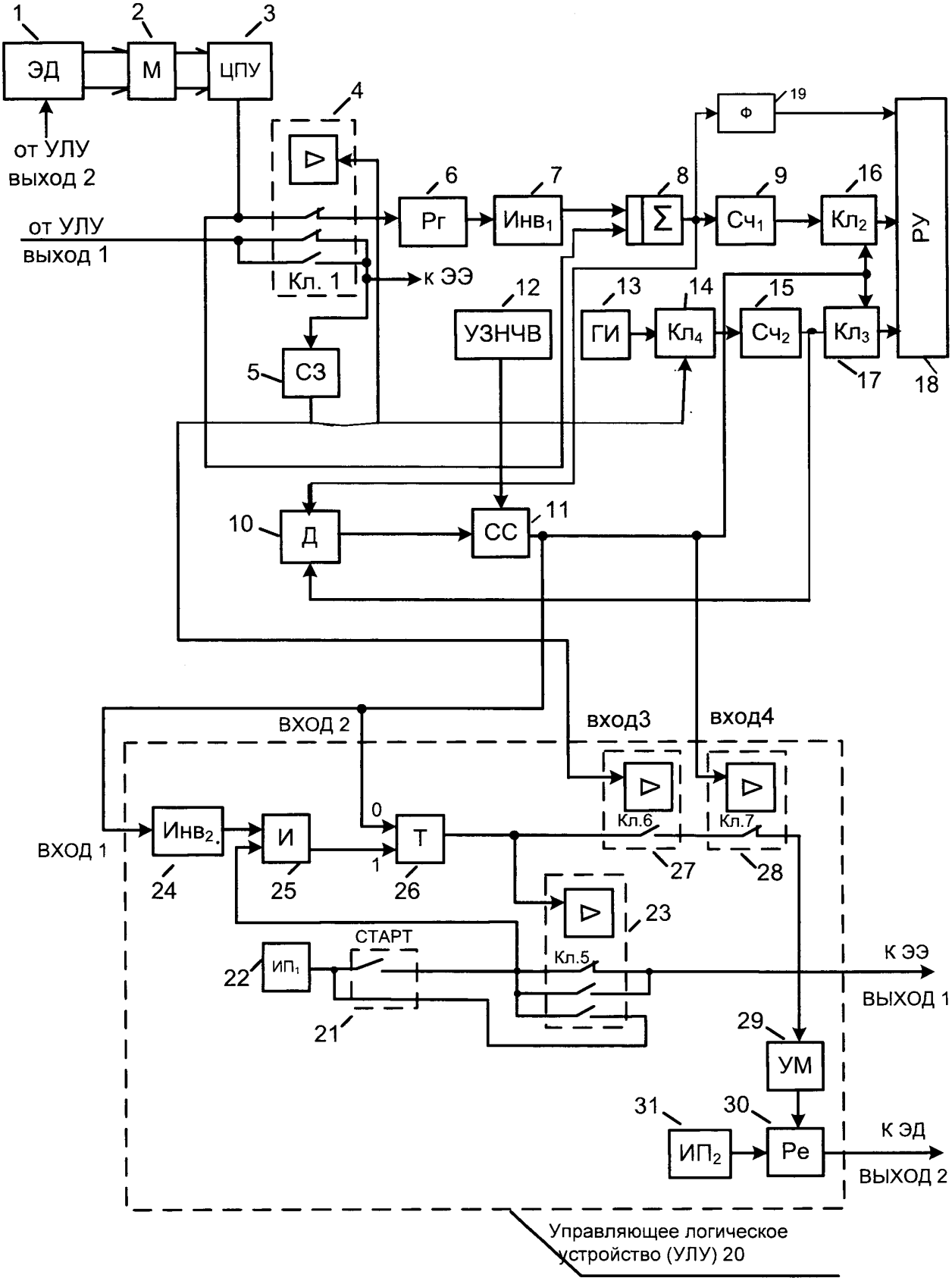
(54) Устройство измерения времени разгона вала электродвигателя

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерительной техники и электротехнике и может быть использовано для измерения времени разгона вала электродвигателя. Технический результат: обеспечение измерения времени разгона вала электродвигателя. Устройство содержит электродвигатель (1), муфту (2), цифровой преобразователь угла (3), первый ключ (4), схему задержки (5), первый счетчик (9), генератор импульсов (13), второй ключ (16), третий ключ (17), регистрирующее устройство (18), формирователь (19), управляющее логическое устройство (20). В устройство введены следующие элементы и изделия: регистр (6), первый инвертор (7), сумматор (8), делитель (10), схему совпадения (11), устройство задания номинальной частоты вращения вала (12), четвертый ключ (14), второй счетчик (15). 1 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2796152 C1

RU 2796152 C1



Фиг. 1

RU 2796152 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 796 152**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
H02P 21/14 (2006.01)
G01P 3/56 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
H02P 21/14 (2023.02); G01P 3/56 (2023.02)

(21)(22) Application: **2022112391, 06.05.2022**

(24) Effective date for property rights:
06.05.2022

Registration date:
17.05.2023

Priority:
(22) Date of filing: **06.05.2022**

(45) Date of publication: **17.05.2023** Bull. № **14**

Mail address:
141006, Moskovskaya obl., g. Mytishchi, ul. Industrialnaya, 15, korp. 1, kv. 16, Alekseev V.V.

(72) Inventor(s):
Polushkin Vyacheslav Mikhajlovich (RU),
Knyazev Roman Igorevich (RU),
Alekseev Valerij Vasilevich (RU),
Vorontsov Pavel Sergeevich (RU),
Dolidze Vakhtang Cholovich (RU),
Kotov Yurij Terentevich (RU),
Sobolev Vladimir Alekseevich (RU),
Starostin Oleg Viktorovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Polushkin Vyacheslav Mikhajlovich (RU),
Knyazev Roman Igorevich (RU),
Alekseev Valerij Vasilevich (RU),
Vorontsov Pavel Sergeevich (RU),
Dolidze Vakhtang Cholovich (RU),
Kotov Yurij Terentevich (RU),
Sobolev Vladimir Alekseevich (RU),
Starostin Oleg Viktorovich (RU)

(54) DEVICE FOR MEASURING THE ACCELERATION TIME OF THE MOTOR SHAFT

(57) Abstract:

FIELD: measuring technology; electrical engineering.

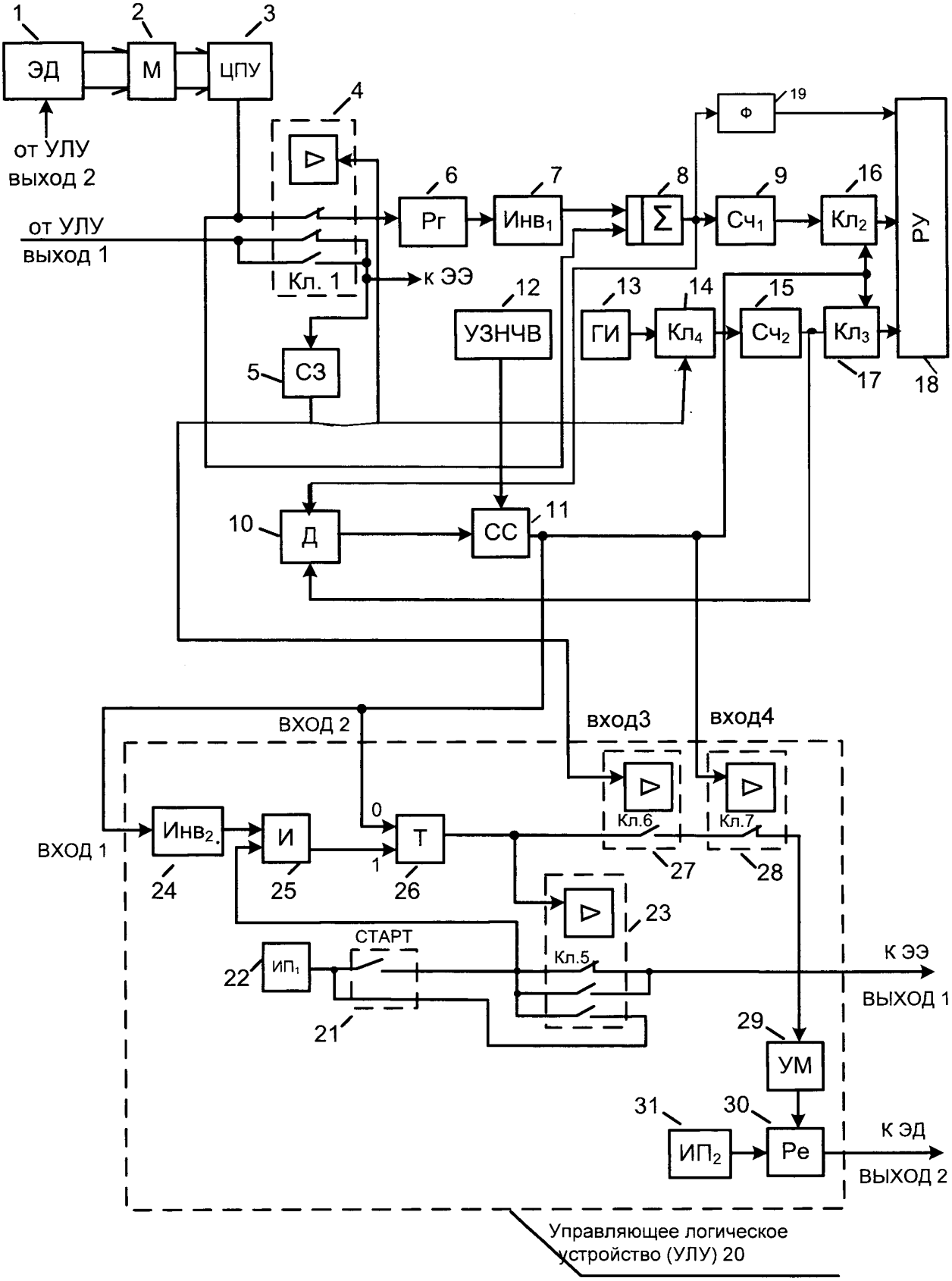
SUBSTANCE: can be used to measure the acceleration time of the motor shaft. The device contains an electric motor (1), a clutch (2), a digital angle converter (3), a first key (4), a delay circuit (5), a first counter (9), a pulse generator (13), a second key (16), a third key (17), registering device (18), shaper (19), control logic device (20). The following elements and products are introduced into the device: register (6), first inverter (7), adder (8), divider (10), coincidence circuit (11), nominal shaft speed setting device (12), fourth key (14), second counter (15).

EFFECT: ensuring the measurement of the acceleration time of the motor shaft.

2 cl, 3 dwg

RU 2796152 C1

RU 2796152 C1



Фиг. 1

RU 2796152 C1

RU 2796152 C1

Изобретение относится к области измерительной техники и электротехнике и может быть использовано для измерения времени разгона вала электродвигателя.

Известно устройство, содержащее последовательно соединенные: задающий генератор, согласующий делитель частоты, фазовращатель, усилитель мощности, подключенный к контролируемому электродвигателю, на валу которого установлен импульсный датчик положения его ротора. Устройство содержит также первый делитель частоты с коэффициентом деления N и второй делитель частоты с коэффициентом деления М, первый и второй блок переключения, первую и вторую схемы И, формирователь корректирующего импульса, триггер и блок регистрации [1].

Недостаток этого устройства заключается в том, что оно имеет недостаточные функциональные возможности, в частности не позволяет измерить время разгона вала.

Наиболее близким техническим решением к изобретению является устройство, содержащее последовательно соединенные кинематически валы электродвигателя (ЭД), муфты и цифрового преобразователя угла (ЦПУ), электрический выход которого подключен к последовательному тракту элементов: к первому ключу, к первой схеме И, к первому триггеру и к первому формирователю, выход первого триггера через схему задержки подключен к управляющему входу первого ключа. Этот тракт обеспечивает обнуление электронных элементов (ЭЭ), Выход ЦПУ подключен также к последовательному тракту, состоящему из элементов: схемы И-НЕ, первого счетчика, второго формирователя, второго триггера, выход которого соединен с управляющими входами второго и третьего ключей и с вторым входом второй схемы И, выход которой через второй счетчик и третий формирователь подключен к первому и второму входам управляющего логического устройства (УЛУ), причем выходы второго и третьего ключей соединены с соответствующими входами регистрирующего устройства, при этом вход второго ключа подключен к выходу ЦПУ, а вход третьего ключа -к выходу генератора импульсов, выход схемы И-НЕ соединен кроме того с первыми входами первой и второй схемы И, первый выход УЛУ подключен к входу первого ключа, а второй выход УЛУ - к входу электродвигателя [2].

Недостаток этого устройства тот же.

Цель изобретения - обеспечить измерение времени разгона вала. Поставленная цель достигается тем, что устройство измерения времени разгона вала электродвигателя, содержащее электродвигатель (привод), с валом которого кинематически соединен вход муфты, выход которой кинематически связан с валом ЦПУ, выход которого соединен с первым нормально замкнутым контактом первого ключа, выходы второго нормально замкнутого и нормально открытого контактов первого ключа соединены с входом схемы задержки, выход которой подключен к управляющему входу первого ключа, выходы первого и второго счетчиков соединены соответственно с входами второго и третьего ключей, выходы которых подключены к второму и третьему входам регистрирующего устройства, формирователь, генератор импульсов, отличающееся тем, что в устройство введены регистр, инвертор, сумматор, устройство задания номинальной частоты вращения вала, делитель, схема совпадения, четвертый ключ, причем выход первого нормально замкнутого контакта первого ключа соединен с входом регистра, выход которого подключен к входу первого инвертора, выход которого соединен с первым входом сумматора, выход которого подключен к входу первого счетчика, а также к первому входу делителя и к входу формирователя, выход которого соединен с первым входом регистрирующего устройства, выход генератора импульсов подключен к входу четвертого ключа, выход которого соединен с входом второго счетчика, выход ЦПУ подключен к второму входу сумматора, выход схемы

задержки соединен с управляющим входом первого ключа и с третьим входом УЛУ, выход второго счетчика подключен к второму входу делителя, выход которого соединен с вторым входом схемы совпадения, выход устройства задания номинальной частоты вращения вала подключен к первому входу схемы совпадения, выход которой соединен с первым, вторым и четвертым входами УЛУ.

Кроме того предложен вариант выполнения УЛУ, которое заявлено в качестве зависимого пункта формулы изобретения и формулируется следующим образом: первый вход УЛУ является входом второго инвертора, выход которого соединен с первым входом схемы И, выход которой подключен к второму входу триггера, выход которого соединен с управляющим входом пятого ключа, а также с входом нормально открытого контакта шестого ключа, выход которого подключен к входу нормально замкнутого контакта седьмого ключа, выход которого соединен с входом усилителя мощности, выход которого подключен к управляющему входу реле, вход которого соединен с выходом второго источника питания, выход реле является вторым выходом УЛУ, который соединяется с входом электродвигателя, выход первого источника питания подключен к входу кнопки «СТАРТ», выход которой соединен с входом первого нормально замкнутого контакта, а также с входами второго и третьего нормально открытых контактов пятого ключа, выход второго нормально открытого контакта этого (пятого) ключа соединен с выходом его первого контакта, являющимся первым выходом УЛУ, выход кнопки «СТАРТ» подключен также к второму входу схемы И, выход третьего контакта пятого ключа соединен непосредственно с выходом первого источника питания, второй вход УЛУ является первым входом триггера.

В описании в основном рассматривается измерение времени разгона вала электродвигателя. Однако с помощью предложенного устройства можно проводить указанные измерения любого привода.

Устройство, представленное на фиг. 1, включает в себя следующие элементы: контролируемый электродвигатель (ЭД) 1, муфту (М) 2, ЦПУ 3, первый ключ ($Кл_1$) 4, схема задержки (СЗ) 5, регистр (Рг) 6, первый инвертор ($Инв_1$) 7, сумматор (Σ) 8, первый счетчик ($Сч_1$) 9, делитель (Д) 10, схему совпадения (СС) 11, устройство задания номинальной частоты вращения вала (УЗНЧВ) 12, генератор импульсов (ГИ) 13, четвертый ключ($Кл_4$) 14, второй счетчик ($Сч_2$) 15, второй ключ ($Кл_2$) 16, третий ключ ($Кл_3$) 17, регистрирующее устройство (РУ) 18, формирователь (Ф).19, УЛУ 20.

В состав УЛУ входят следующие элементы: кнопка «СТАРТ» 21, первый источник питания ($ИП_1$) 22, пятый ключ ($Кл_5$) 23, второй инвертор ($Инв_2$) 24, схема И 25, триггер (Т) 26, шестой ключ ($Кл_6$) 27, седьмой ключ ($КЛ_7$) 28, усилитель мощности (УМ) 29, реле (Ре) 30, второй источник питания ($ИП_2$) 31.

Устройство работает следующим образом. Перед началом процесса измерения включают источники питания и генератор импульсов.

Нажимают кнопку «СТАРТ» 21, в результате с выхода первого источника питания 22 напряжение питания через нормально замкнутый контакт пятого ключа 23 поступает на входы второго (нормально замкнутого) и третьего (нормально открытого) контактов первого ключа 4 и с их объединенных выходов питание приходит ко всем ЭЭ, а также на вход схемы задержки 5. В течение времени задержки происходит обнуление ЭЭ. Кнопку «СТАРТ» отпускают. По истечении времени задержки на выходе схемы задержки 5 появляется напряжение, которое приходит на управляющий вход четвертого ключа 14, он срабатывает и импульсы с генератора 13 пойдут на вход второго счетчика

15. Тракт отсчета времени рабочего процесса измерения готов к проведению измерения.

Одновременно с этим обеспечивается включение и подача напряжения на контролируемый электродвигатель 1. Это осуществляется по следующей последовательной цепи элементов. На выходе схемы совпадения 11 отсутствует напряжение, поскольку на втором ее входе нулевой сигнал, пришедший от делителя 10. Нулевой сигнал со схемы совпадения через вход 1 УЛУ поступает на вход второго инвертора 24, на его выходе формируется напряжение, которое поступает на первый вход схемы И 25, а на второй ее вход приходит напряжение от первого источника питания 22 через параллельные, соединенные между собой, входы (первый, второй и третий) контактов пятого ключа 23. На выходе схемы И 25 устанавливается единичное состояние, которое поступает на второй (единичный) вход триггера 26, а на его первом входе нулевое состояние, пришедшее со схемы совпадения 11. Триггер устанавливается в единичное состояние, которое поступает на управляющий вход пятого ключа 23, он срабатывает и остается во включенном состоянии в течение всего процесса измерения. Благодаря этому вся последовательная цепь: второй инвертор - схема И - триггер - шестой ключ - седьмой ключ - усилитель мощности (УМ) - реле (Ре) обеспечивают подачу напряжения на управляющий вход реле, оно срабатывает и напряжение со второго источника питания через выход 2 УЛУ поступает на вход электродвигателя 1. Его вал начинает вращаться и с этого момента начался процесс измерения.

Пояснение относительно шестого ключа, который имеет нормально открытый контакт до включения. Дело в том, что он включился раньше того, как будет отпущена нажатая кнопка «СТАРТ», поскольку напряжение на управляющий вход ключа пришло со схемы задержки. Ее время срабатывания существенно меньше (в сотни раз) времени нажатия кнопки.

Питание электронных элементов осуществляется непрерывно и при нажатии кнопки «СТАРТ» через нормально замкнутый контакт пятого ключа и после того момента как кнопку отпускают, а пятый ключ сработал. С этого момента цепь питания становится следующей: выход первого источника питания, далее выход третьего контакта пятого ключа, замкнувшийся третий контакт этого ключа и далее на второй вход схемы И и она, следовательно, продолжает быть открытой. От схемы И постоянное напряжение продолжает присутствовать и на входе триггера и через него на управляющем входе пятого ключа. Питание электронных элементов будет идти по тракту: выход первого источника питания на выход нормально открытого третьего контакта пятого ключа (он замкнулся) далее на вход второго нормально открытого контакта пятого ключа, а с его выхода на выход нормально замкнутого первого контакта пятого ключа и далее напряжение питания поступает на выход 1 УЛУ.

Завершение процесса измерения начинается с того момента, когда на выходе схемы совпадения 11 появляется постоянное напряжение. А это происходит тогда, когда на выходе делителя 10 сформируется напряжение. А оно будет получено в тот момент, когда результат деления пройденного пути ($\Sigma q_{Дi}$), пришедшего с выхода сумматора 8, на время (ΣT_j), которое непрерывно нарастает на выходе второго счетчика 15, будет равен номинальной частоте вращения вала. На первом входе схемы совпадения значение номинальной частоты вращения вала присутствует непрерывно в течение всего цикла измерения. Оно приходит сразу от УЗНВЧ 12 при включении процесса измерения.

Следует указать на одну особенность, которая улучшает понимание и работу рассматриваемого участка устройства. На первый вход схемы совпадения приходит значение номинальной частоты вращения вала, выраженная в тех же единицах, которые используются в других элементах устройства. Например, в тракте измерения углового

пути от ЦПУ 3 до регистрирующего устройства 18 используется количество квантов q, а, в тракте измерения времени от генератора импульсов 13 до регистрирующего устройства 18, на выходе генератора идут импульсы с частотой 1 МГц, период их следования равен 1 мкс (одной микросекунде). Поэтому скорость вращения вала выражается отношением (q/мкс). Для рассмотренного примера (о нем ниже) с электродвигателем ДП16-4-10-27 номинальная частота вращения вала составляет величину $\omega_{ном}$=10000 об/мин=166,7 об/с=0,0001667 об/мкс. При этом ЦПУ измеряет угол с наименьшим значением, равным единице младшего разряда q. 10-разрядный ЦПУ типа ПФ-ДЭ-10-40 (о нем ниже) имеет в одном обороте 2^{10}=1024q (кванта). Тогда номинальная частота вращения вала будет равна $\omega_{ном}$=0,0001667·1024=0,170666 q/мкс. Это значение следует округлить и в устройстве задания номинальной частоты вращения вала 12 выставить значение 0,1707 q/мкс. На выходе делителя 10 следует оставлять не более пяти значащих цифр после запятой. Но как только четыре первые цифры после запятой сравняются на обоих входах схемы совпадения, она сработает и на ее выходе установится постоянное напряжение и далее, как указывалось, произойдет выключение всего устройства.

Дополнения и пояснения к предложенному устройству.

В качестве регистрирующего устройства 18 целесообразно применить компьютер.

Включение в устройство формирователя 19 позволит однозначно определять все участки выходной характеристики ω=f(t) по результатам процесса измерения и при этом выявить отличительные (экстремальные, нелогичные) отклонения от плавной кривой.

В том случае, когда будет измеряться мощный привод вместо реле 30 может быть применен контактор. А в случае контроля маломощного электродвигателя (привода) усилитель мощности 29 может отсутствовать.

Конкретизация и обоснование некоторых включенных в предложенное устройство изделий.

Выбор некоторых важных для функционирования предложенного устройства элементов позволяет определить возможности устройства и какие требования могут быть при этом реализованы.

Вначале о контролируемом электродвигателе. Взят для рассмотрения электродвигатель постоянного тока типа ДП16-4-10-27 по ЕИГА.524000.043 ТУ, имеющий следующие параметры: мощность на валу 4 Вт, номинальная частота вращения вала 10000 об/мин=166,67 об/с, электромеханическая постоянная времени пять миллисекунд (5 мс). Электромагнитная постоянная времени в технических условиях не указана, но она обычно в 4-6 раз меньше электромеханической, то есть имеет значение от 0,83 до 1.25 миллисекунд. В худшем варианте будет получено значение: (5+1,25)=6,25 мс=6250 мкс (микросекунд). Это расчетное значение. Реальное время будет получено при измерении конкретного образца этого типа электродвигателя.

Выбор электродвигателя ДП16-4-10-27 обусловлен тем, что он имеет весьма малые значения электромеханической и электромагнитной постоянной времени, а также достаточно высокую частоту вращения вала. Поэтому измерение указанного электродвигателя будет происходить очень быстро (в течение 6,25 мс). И если с этим электродвигателем предлагаемое устройство справляется успешно, то с другими электродвигателями и приводами не столь скоростными будет работать тем более успешно.

Рассмотрение вариантов и выбор конкретного образца контролируемого

электродвигателя дало возможность определить требования к параметрам (важных в предложенном устройстве) изделий. В частности, ЦПУ, который измеряет величину пройденного углового пути и генератора импульсов, на основе которого определяют время процесса измерения.

О выборе ЦПУ. Во-первых, термины, параметры и требования к их числовым характеристикам - все в соответствии с ГОСТ РВ 52015-2003. Преобразователи угла цифровые. Общие технические условия.

Во-вторых, в устройстве предлагается применить фотоэлектрический преобразователь типа ПФ-ДЭ-10-40 (соответствует указанному стандарту), выпускаемый по техническим условиям ПИЖМ.401264.005ТУ или доработанный его аналог в части повышения быстродействия в шесть раз, имеющий наименование ПФ-ДЭ-10-32 и выпускаемый по ТУ: ПИЖМ.401264.017ТУ. Оба эти ЦПУ имеют следующие параметры и характеристики: число двоичных разрядов кода -10, информационная емкость 2^{10}=1024 двоичных кода, протяженность расчетных квантов (дискретность преобразования q= 21600*угл.мин/1024=21,1 угл.мин, в ТУ округлено до 21 угл.мин), погрешность квантования $E_1=\pm q/2=\pm 10{,}5$углюмин, погрешность угловых координат смены значений кода $E_2=\pm 0{,}5q=\pm 10{,}5$ угл.мин, погрешность преобразования $E=E_1+E_2=\pm 21{,}1$ угл.мин, время преобразования (период обновления выходной информации угла) 6 мкс для первого указанного ЦПУ и 1 мкс для второго, максимальная частота вращения вала n=100 об/с, предельная -250 об/с.

* - здесь 21600 угл.мин - это число угловых минут в одном обороте, то есть 360 угл.град × 60 угл.мин=21600 угл.мин.

Особо укажем, что расчетные (теоретические) кванты равны между собой и ими удобно измерять любые углы, при этом единицей измерения является q, а не угловые градусы и минуты и является не кратной им, а дробной (см. выше, где указано, что для 10-разрядного преобразователя q=21,1 угл.мин).

Применение этого типа ЦПУ позволяет определить пройденный угловой путь за время измерения с достаточной точностью на уровне 0,1%. Он обладает большой стабильностью работы и достаточно высокой надежностью.

Обоснование применения абсолютного ЦПУ. Поскольку поставлена цель получить зависимость скорости от времени ω=f(t), то в этом случае необходимо иметь значения скорости со во многих угловых координатах в пределах оборота. Такая возможность может быть реализована с помощью абсолютного ЦПУ, у которого каждое значение кода соответствует строго определенному углу и отличаться это значение от расчетного (теоретического) будет на величину погрешности $E_2=\pm 0{,}5q$. Для выбранного ЦПУ типа ПФ-ДЭ-10-40 на конкретную величину $E_2=\pm 10{,}5$ угл.мин. Следовательно, пройденный путь (это возрастание угла) величиной в один оборот будет измерен с погрешностью±10,5 угл.мин. При этом даже если измерение будет длиться более одного оборота, все погрешности угловых координат (в каждой из них!) будут повторяться, так как каждый следующий оборот вала будет начинаться от одного и того же нулевого положения ЦПУ и соответственно вала электродвигателя.

Инкрементальные (накапливающие) ЦПУ такими возможностями не обладают.

Обеспечение быстродействия со стороны ЦПУ. Как уже указывалось выше время преобразования у выбранного ЦПУ равно одной единице микросекунд. Это означает, что каждый следующий код, изменяющийся на один квант (на одну единицу младшего разряда) будет измерен за 1 мкс без пропуска квантов, то есть будет успевать измерять все коды (кванты). Таким образом за 1 об/с ЦПУ выполнит один миллион элементарных

единиц измерений.

Второй момент в части быстродействия заключается в следующем. При измерении устройством электродвигателя типа ДП16-4-10-27 вал будет вращаться со скоростью (частотой вращения) 166,7 об/с.В этом случае за одну секунду в измерении примут участие (166,7·1024)=170700q (квантов). Поскольку фактическая возможность равна миллиону, то один квант может быть измерен 1000000/170700 ≅ 6 раз. Это нашло отражение на фиг. 2.

О выборе генератора импульсов. Главным критерием выбора генератора импульсов для предложенного устройства является частота следования импульсов, а также возможность регулирования соотношения протяженности импульса и паузы между двумя соседними импульсами. Кроме этого необходимы разные значения величины амплитуды импульсов и возможность ее регулирования, а также погрешность установки периода повторения импульсов.

Требования предложенного устройства могут быть успешно удовлетворены с помощью генератора импульсов типа Г5-63. Он имеет следующие параметры и характеристики. Формирование одиночных и парных последовательностей прямоугольных импульсов обоих полярностей. Диапазон длительностей импульсов 0,1 мкс - 1000 мкс. Скважность импульсов не менее 5. Амплитуда импульсов от 6 мВ до 60 В. Выбросы на вершине и в паузе импульса - 5%. Погрешность установки периода повторения импульсов - одна десятая периода (0,1Т).

При этом некоторые параметры и характеристики имеют большой диапазон регулирования: это и длительность импульсов, скважность и амплитуда импульсов. Это позволяет выставить их оптимальные значения для конкретного процесса измерения или провести сравнительные измерения при других (отличных друг от друга) вариантах одного и того же электродвигателя (привода).

Определение погрешности измерения, обусловленной генератором импульсов. Длительность периода (Т) состоит из длительностей импульса ($t_и$) и паузы ($t_{пауз}$), то есть $T=t_и+t_{пауз}$=l мкс. Выбор величины в 1 мкс показан выше. Протяженность действительного (реального) периода T=1±(0,1+0,05)=(0,85-1,15) мкс. Принимаем худший результат - 1,15 мкс. Тогда погрешность, обусловленная генератором импульсов ($\Delta_{ги}$), для рассмотренного конкретного варианта предложенного устройства будет равна $\Delta_{ги}$=1,15 мкс/6250 мкс=0,000184 округленно 0,02%.

О точности измерения времени разгона вала с помощью предложенного устройства. Основной вклад в погрешность измерения вносят два элемента: ЦПУ и генератор импульсов. Как указывалось выше погрешность преобразования Е ЦПУ типа ПФ-ДЭ-10-40 составляет величину ±1q=±21,1 угл.мин. Относительная погрешность измерения определяется как отношение погрешности преобразования Е к величине пройденного валом углового пути за время измерения ($\alpha_{из}$).

$\Delta_{цпу}=E/\alpha_{из}=\pm 1q/533q=\pm 0{,}00188\cong 0{,}19\%$,

где $\alpha_{из}$=533q - значение, взятое из конкретного примера, (см. ниже).

Необходимо отметить, что здесь указан худший вариант. На фиг.2 показано как распределяется погрешность угловых координат смены значений кода (погрешность E_2). Согласно стандарту на ЦПУ закон распределения вероятностей погрешности E_2 должен быть нормальным, усеченным в диапазоне ±3δ, где δ - среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение), что отражено на фиг. 2. Из нее видно, что в диапазон закона распределения вероятностей укладывается также шесть периодов

импульсов (границы импульсов и сигм совпадают), при длительности их периода в одну микросекунду. Это означает, что в диапазоне закона распределения вероятностей (равном 1q) разместится шесть импульсов. При многократных (например трехкратных) измерениях в двух случаях из трех результаты измерений будут из интервала ±1δ, то есть из числа более точных.

Общая погрешность предложенного устройства $\Delta_у$ является суммой погрешностей, обусловленных ЦПУ $\Delta_{ЦПУ}$ и генератором импульсов $\Delta_{ги}$.

$\Delta_у=\Delta_{цпу}+\Delta_{ги}=0,19\%+0,02\%=0,21\%$

Пояснения к вычислению результатов измерений. Численные значения некоторых величин получаем на основе знаний параметров изделий (электродвигателя, ЦПУ, генератора импульсов), выбранных в качестве конкретных изделий для рассматриваемого примера, иллюстрирующего работоспособность предложенного устройства.

Здесь же сформулируем ограничения и допущения при вычислении некоторых величин.

Вращение вала из начального неподвижного состояния происходит как равноускоренное движение. В этом случае справедливо уравнение ω=at, где ω - угловая скорость, a - ускорение, t - время.

Это уравнение прямой, которое изображено на фиг. 3г в виде пунктирной линии ОА (прямая ω).

Значения параметров цепей питания электродвигателя, электронных элементов, ЦПУ и генератора импульсов в процессе измерения остаются неизменными. Это выполняется ввиду скоротечности процесса измерения.

Чтобы определить значения ускорения (a) необходимо знать значения скорости (ω) и времени (t). В нашем случае они известны в точке О (нулевые значения) и в точке А, а именно: $\omega_{ном}$=10000 об/мин=166,67 об/с=0,16667 об/мс; $t_к$=6,25 мс (конечная точка при измерении). Тогда $a=\omega_{ном}/t_к=0,16667/6,25=0,026667$об/мс^2.

Пройденный угловой путь (α) равен: $\alpha=at^2/2=0,026667\cdot6,25^2/2=0,5208$ оборота. Это же значение, выраженное в расчетных квантах (в случае применения 10-разрядного ЦПУ) равно:

$\alpha=0,5208\cdot1024=533q$.

Пройденный угловой путь можно вычислить и по формуле

$\alpha=\omega^2/2a=0,16667^2/2\cdot0,026667=0,5208$ оборота.

Далее следует изложить как происходит обработка, представление и оценка данных, получаемых при измерении с помощью предложенного устройства.

Напомним, что время измерения $t_к$ здесь взято теоретическое, то есть полученное расчетным путем при выполнении опытно-конструкторской работы по разработке электродвигателя ДП16-4-10-27.

Поскольку при измерении скорость со непрерывно растет, то длительность измерения действительных квантов будет линейно уменьшаться. Самое протяженное по времени измерение будет иметь первый квант, далее второй и так далее, а самое непротяженное (короткое) измерение будет у последних квантов, так как угловая скорость приблизится к номинальному значению.

В процессе измерений в регистрирующее устройство 18 поступят следующие данные:

1) с выхода второго ключа 16 значения протяженности действительных квантов, исходящих от ЦПУ;

2) с выхода третьего ключа 17 импульсы, исходящие от генератора импульсов;

3) импульсы от формирователя 19, которые он вырабатывает во время появления фронтов действительных квантов, исходящих от ЦПУ;

Следует привести некоторые предварительные результаты, которые потребуются и далее.

Длительность одного цикла измерения 6,25 мс=6250 мкс. В цикле измерения укладывается 533q.

На измерение одного кванта затрачивается 6250/533=11,73 мкс.

На генераторе импульсов целесообразно выставить частоту измерения f=0,5 МГц, тогда период следования импульсов будет равен T=1/f=2 мкс.

Количество периодов импульсов, затрачиваемых на измерение одного кванта будет равно $n_{пер}$=11,73 мкс/2 мкс=5.87≅6 периодов.

Диаграмма на фиг. 2а в обобщенном виде отображает процесс получения значений пройденного углового пути за время измерения. В центре ее по оси абсцисс изображен нормальный закон распределения вероятностей в шести сигмовом интервале, что обусловлено требованиями стандарта ГОСТ РВ 52015-2003.

Пояснение. Поскольку теоретический нормальный закон распределен на бесконечном интервале (±∞),то в практических приложениях принято ограничивать диапазон шести сигмовым интервалом. Здесь δ - среднее квадратическое отклонение, равное δ=√D, где D - дисперсия закона распределения. На фиг. 2а вся протяженность оси абсцисс (погрешности E_2) поделена на участки, измеренные в единицах и долях q (расчетного кванта). Протяженность действительных квантов у минимального из них $q_{дмин}$=0,5q, у максимального $q_{дмакс}$=1,5q, а значение δ=q/6.

На фиг. 2б представлена временная диаграмма, соответствующая процессу, изображенному на фиг. 2а. На ней изображены импульсы, исходящие от генератора импульсов с частотой f=0,5 МГц. Причем диаграммы на фиг. 2а и фиг.2б взаимно увязаны.

Кроме того, видно, что в диапазоне ±0,5q укладывается шесть периодов импульсов, в $q_{дмин}$ - три периода импульсов, а в $q_{дмакс}$ - девять периодов. Из этого видно, что все действительные кванты ЦПУ будут уверенно измерены.

На фиг. 2в в увеличенном масштабе изображены три периода следования импульсов, что позволило отчетливо представить графически на этом участке протяженностью 0,5q/ω погрешность периода импульсов $\Delta_{пер}$), которая обусловлена собственно генератором импульсов.

Диаграммы, график, приведенные на фиг. 3 представляют собой фактически состояние процесса измерения от начального периода до конечной угловой координаты $\alpha_к$.

На фиг. 3а графически изображены в укрупненном масштабе первые кванты:

расчетный q (изображен пунктиром) и действительный $q_{д1}$; и последние кванты:

расчетный q и действительный $q_{дк}$.

При этом обозначены соответствующие угловые погрешности Δq_1 и $\Delta q_к$, а также конечная угловая координата $\alpha_к$.

На фиг. 3а показано относительное расположение действительных квантов $q_д$ и расчетных q, а разности их границ определяют границы погрешностей действительных квантов.

На фиг. 3б показано как происходит отсчет времени в процессе измерения: среди монотонной цепи импульсов с частотой f=0,5 МГц помещены импульсы, исходящие от

формирователя, которые фиксируют границы действительных квантов ЦПУ. И те, и другие импульсы приходят в регистрирующее устройство и в нем осуществляется их обработка и, в частности, вычисляется время, которое затрачено на прохождение каждого действительного кванта.

На фиг. 3в показан момент срабатывания схемы совпадения и появляющееся напряжение выключает устройство измерения (точка $\alpha_к$).

Следует проводить многократные измерения. Каждое следующее измерение начинается с нажатия кнопки «СТАРТ». Их количество следует выбирать исходя из рекомендаций различных стандартов. В них установлены числа оттрех до пяти, как указано, например, в стандарте ГОСТ Р 57409-2017 в пункте 5.8.

В результате обработки в регистрирующем устройстве измеренных величин будут получены следующие результаты:

Осуществлен подсчет всех периодов импульсов (частотой 0,5 МГц), пришедших за время измерения. Полученная сумма и является искомой величиной времени разгона вала электродвигателя.

Определены погрешности угловых координат смены значений кода $E_{2i}=\Delta_{qi}$; $\Delta_{qi}=q_{дi}$ - q, где i=1, 2, …к - порядковые номера моментов измерения, отсчитываемых по границам действительных квантов.

Полученный массив погрешности E_2 будет подвергнут статистической обработке, в процессе которой будут определены среднее арифметическое значение, среднее квадратическое отклонение, диапазон погрешности E_2. Далее будет построена гистограмма, она будет согласована с теоретическим законом распределения вероятностей и в итоге будет определен вид этого теоретического закона.

Будут определены величины действительных квантов $q_{дi}$ их сумма $\Sigma q_{дi}=\alpha_i$, где i=1, 2, …к. На основе этого массива будет построен график $\alpha(t)$ по типу рисунка на фиг. 3г.

И, наконец, будут определены значения угловой скорости со как частное от деления величины $\Sigma q_{дi}$ на время t_i. Индекс i пояснен в предыдущем абзаце. На основе и этого массива будет построен график $\omega(t)$ по типу рисунка на фиг. 3г.

Отличие графиков зависимостей $\alpha(t)$ и $\omega(t)$ от теоретических на фиг. 3г будет в том, что в них будут проявляться отклонения практических значений от теоретических. И в случае больших отклонений может возникнуть необходимость поиска причин их появления, например, обусловленных особенностями конструкции электромагнитной системы электродвигателя.

Список документов, цитированных в отчете о поиске.

1. SU №1120243 A, 23.10.1984.

2. RU №2703274 C1, 16.102019.

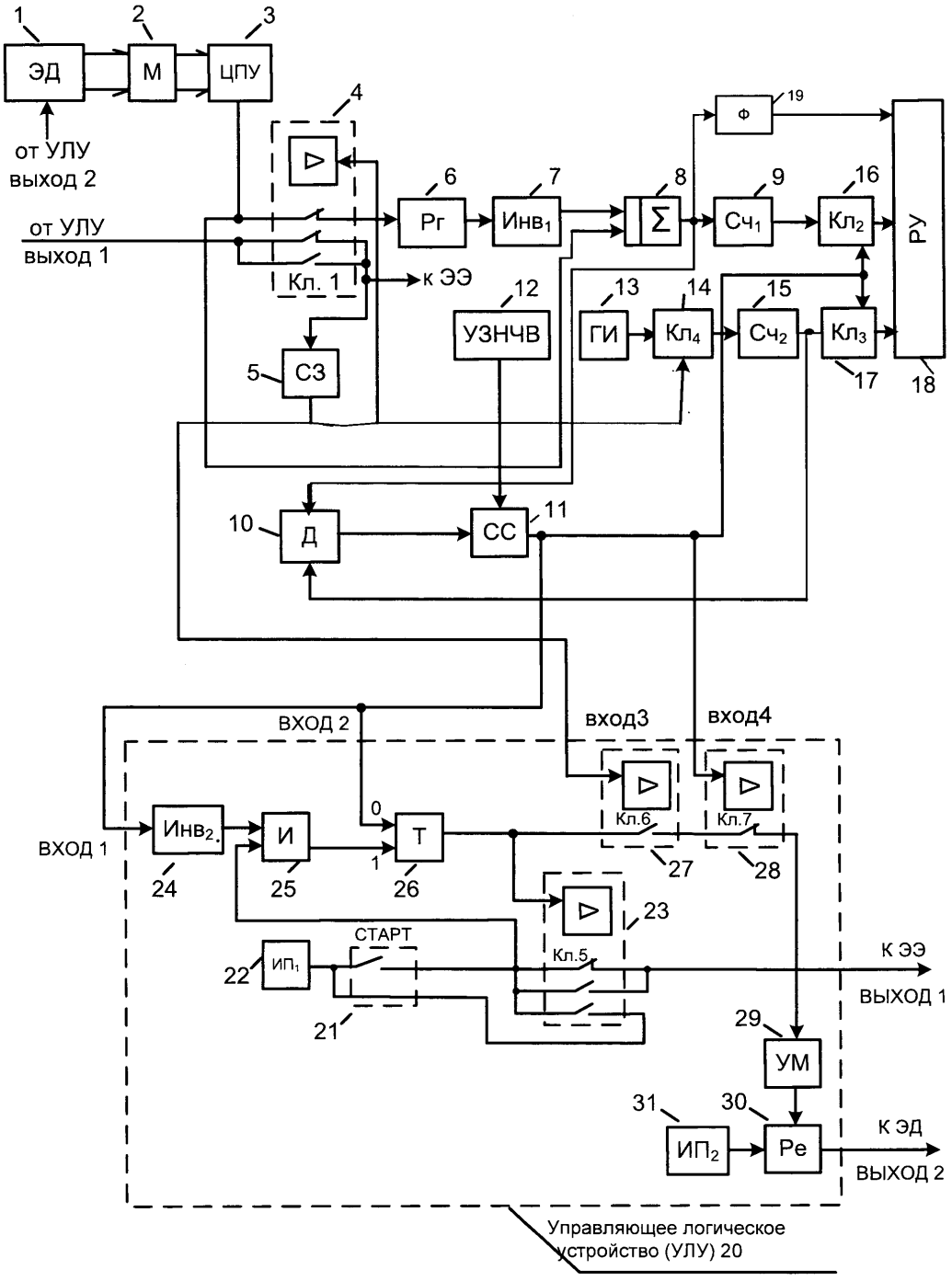
(57) Формула изобретения

1. Устройство измерения времени разгона вала электродвигателя, содержащее электродвигатель, с валом которого кинематически соединен вход муфты, выход которой кинематически связан с валом цифрового преобразователя угла, выход которого соединен с первым нормально замкнутым контактом первого ключа, выходы второго нормально замкнутого и нормально открытого контактов первого ключа соединены с входом схемы задержки, выход которой подключен к управляющему входу первого ключа, выходы первого и второго счетчиков соединены соответственно с входами второго и третьего ключей, выходы которых подключены к второму и третьему входам регистрирующего устройства, формирователь, генератор импульсов,

отличающееся тем, что в устройство введены регистр, инвертор, сумматор, устройство задания номинальной частоты вращения вала, делитель, схема совпадения, четвертый ключ, причем выход первого нормально замкнутого контакта первого ключа соединен с входом регистра, выход которого подключен к входу первого инвертора, выход которого соединен с первым входом сумматора, выход которого подключен к входу первого счетчика, а также к первому входу делителя и к входу формирователя, выход которого соединен с первым входом регистрирующего устройства, выход генератора импульсов подключен к входу четвертого ключа, выход которого соединен с входом второго счетчика, выход цифрового преобразователя угла подключен к второму входу сумматора, выход схемы задержки соединен с третьим входом управляющего логического устройства, выход второго счетчика подключен к второму входу делителя, выход которого соединен с вторым входом схемы совпадения, выход устройства задания номинальной частоты вращения вала подключен к первому входу схемы совпадения, выход которой соединен с первым, вторым и четвертым входами управляющего логического устройства.

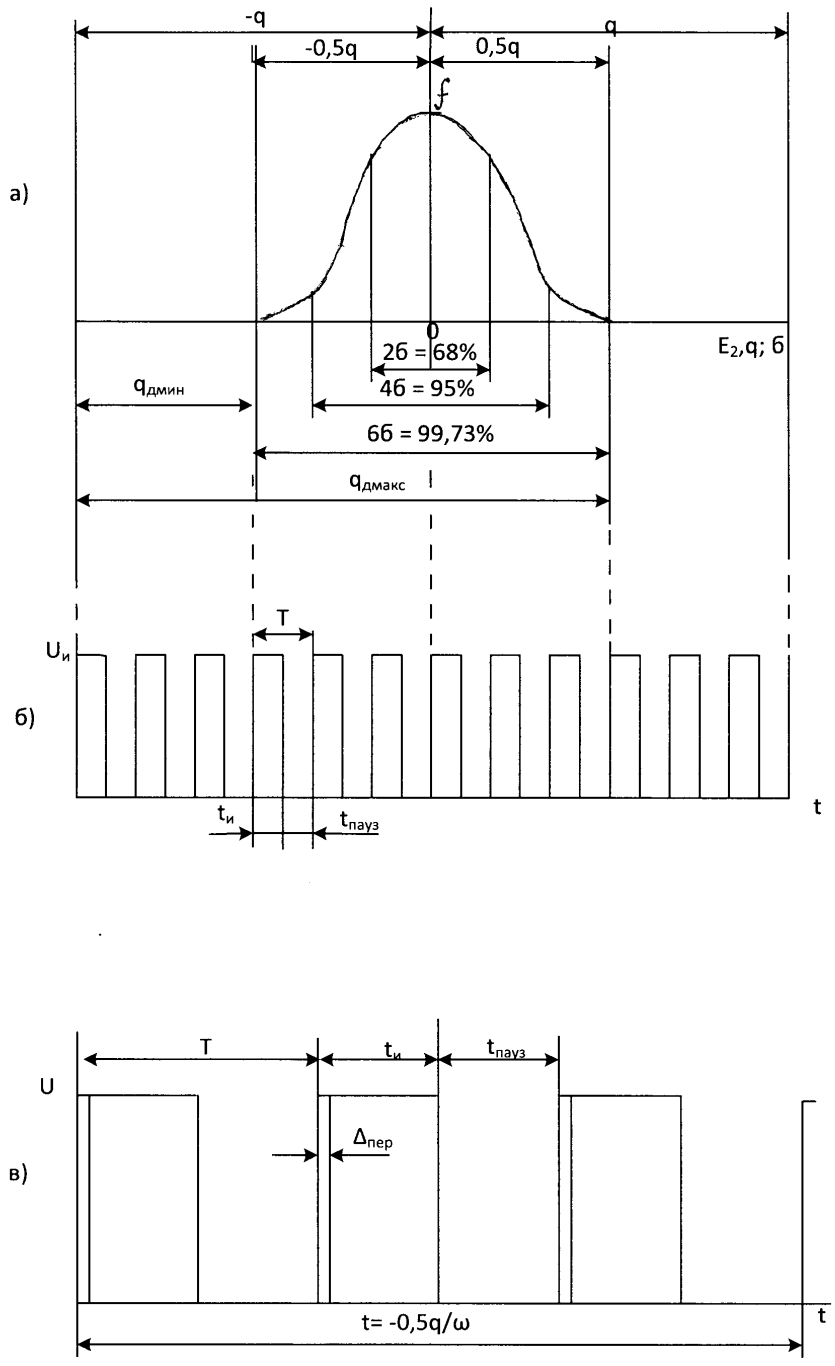
2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что первый вход управляющего логического устройства является входом второго инвертора, выход которого соединен с первым входом схемы И, выход которой подключен к второму входу триггера, выход которого соединен с управляющим входом пятого ключа, а также с входом нормально открытого контакта шестого ключа, выход которого подключен к входу нормально замкнутого контакта седьмого ключа, выход которого соединен с входом усилителя мощности, выход которого подключен к управляющему входу реле, вход которого соединен с выходом второго источника питания, выход реле является вторым выходом управляющего логического устройства, который соединяется с входом электродвигателя, выход первого источника питания подключен к входу кнопки «СТАРТ», выход которой соединен с входом первого нормально замкнутого контакта, а также с входами второго и третьего нормально открытых контактов пятого ключа, выход второго нормально открытого контакта этого пятого ключа соединен с выходом его первого контакта, являющимся первым выходом управляющего логического устройства, выход кнопки «СТАРТ» подключен также к второму входу схемы И, выход третьего контакта пятого ключа соединен непосредственно с выходом первого источника питания, второй вход управляющего логического устройства является первым входом триггера.

1


ЭД
М
ЦПУ
от УЛУ
выход 2
от УЛУ
выход 1
Кл. 1
к ЭЭ
Рг
Инв1
Σ
Сч1
Кл2
Ф
РУ
УЗНЧВ
ГИ
Кл4
Сч2
Кл3
СЗ
Д
СС
ВХОД 2
вход3
вход4
ВХОД 1
Инв2
И
Т
Кл.6
Кл.7
СТАРТ
ИП1
Кл.5
К ЭЭ
ВЫХОД 1
УМ
ИП2
Ре
К ЭД
ВЫХОД 2
Управляющее логическое
устройство (УЛУ) 20

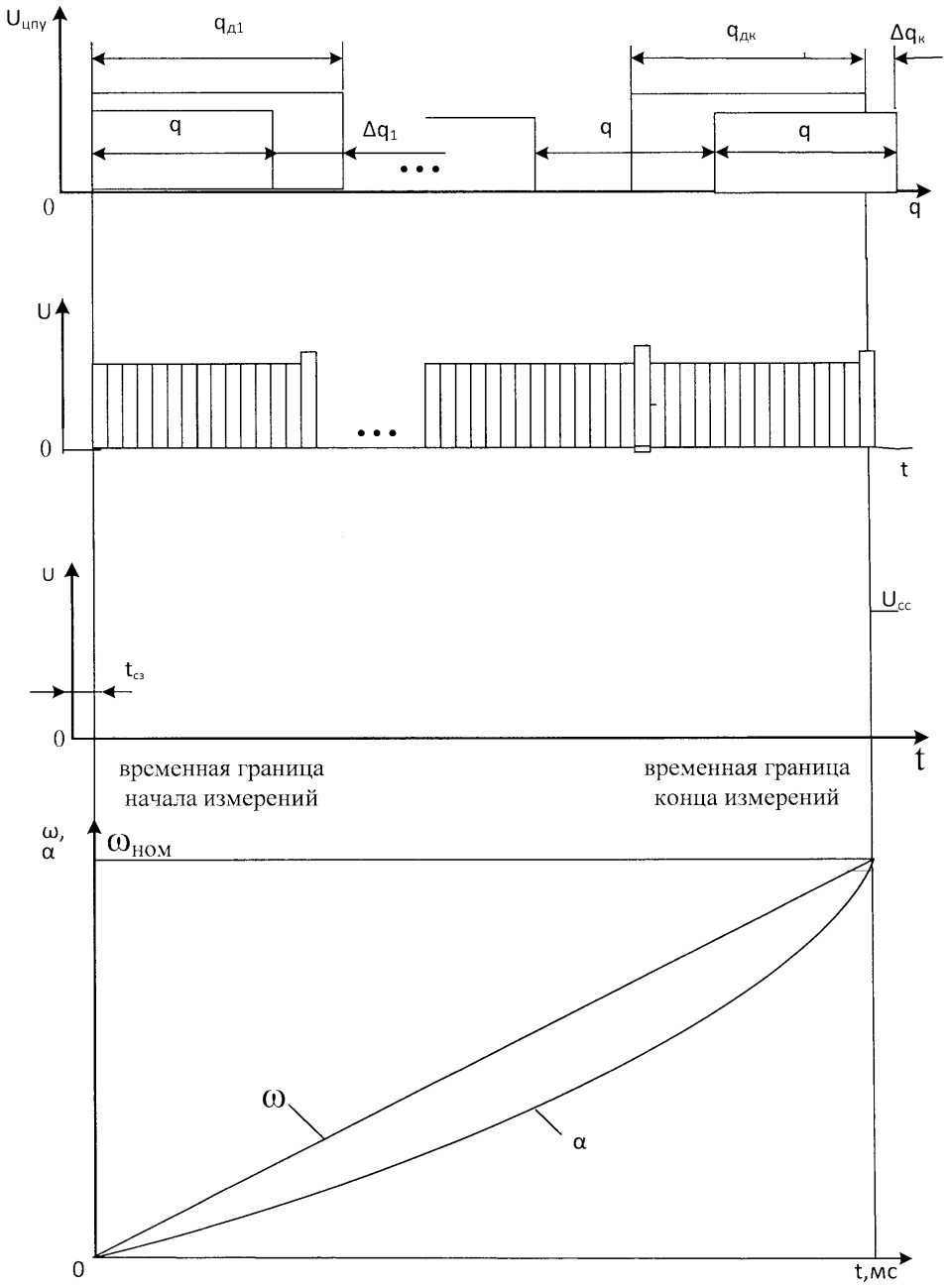
Фиг. 1

2


а)
-q
q
-0,5q
0,5q
f
0
2б = 68%
4б = 95%
6б = 99,73%
$q_{дмин}$
$q_{дмакс}$
E_2,q; б
б)
T
$U_и$
$t_и$
$t_{пауз}$
t
в)
U
T
$t_и$
$t_{пауз}$
$Δ_{пер}$
t= -0,5q/ω
t

Фиг.2

3


Uцпу
qд1
qдк
Δqк
q
Δq1
q
q
0
q
U
0
t
U
Uсс
tсз
0
t
временная граница
начала измерений
временная граница
конца измерений
ω,
α
ωном
ω
α
0
t,мс

Фиг. 3