



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011122592/28, 31.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.05.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2012 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 10.04.2013 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2201006 C2, 20.03.2003. RU 2367059 C1, 10.09.2009. Y.De Wilde, F Gay, F.P.M. Piquemal, and G.Geneves, "Measurements of Single Electron Transistor Devices Combined with a CCC: Progress Report", IEEE Trans. IM, vol.50, №2, pp.231-234, 2001. US 2005040389 A1, 24.02.2005. US 2003052008 A1, 20.03.2003.

Адрес для переписки:

190005, Санкт-Петербург, Московский пр.,
19, ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"

(72) Автор(ы):

Александров Валерий Сергеевич (RU),
Павлов Олег Михайлович (RU),
Телитченко Геннадий Петрович (RU)

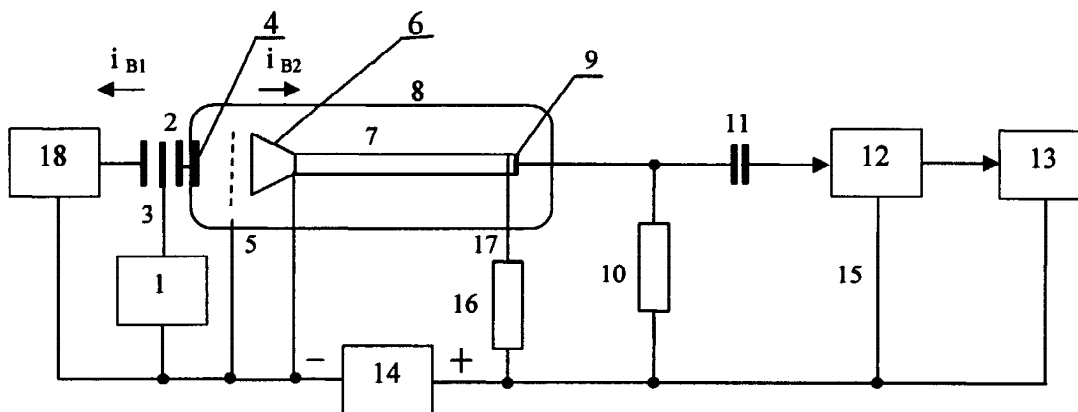
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное
предприятие "Всероссийский научно-
исследовательский институт метрологии им.
Д.И. Менделеева" (ФГУП "ВНИИМ им.
Д.И. Менделеева") (RU)**(54) СПОСОБ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к измерительной технике и метрологии, а именно к технике воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока абсолютным методом. Техническим результатом изобретения выступает повышение точности произведения единицы силы электрического тока и расширение диапазона воспроизведения силы постоянного тока в сторону меньших значений, обеспечение возможности непосредственной регистрации каждого электрона. Поставленная задача осуществляется в цепи воспроизводимого тока, на его вакуумированном участке, из облака

электронов под воздействием разности потенциалов направляют на катод электронного усилителя часть электронов, предопределяющих силу воспроизводимого тока. По частоте фиксируемых импульсов на выходе электронного усилителя и значению элементарного заряда электрона судят о материальном значении силы воспроизводимого постоянного электрического тока. Это дает возможность непосредственно регистрировать каждый электрон в потоке воспроизводимого постоянного электрического тока и обеспечить соответствие единицы силы тока - Ампера его физическому смыслу. 2 н.п. ф-лы, 1 ил.



- 1 – мера линейно изменяющегося напряжения;
- 2 – конденсатор C_{B1} ;
- 3 – конденсатор C_{B2} ;
- 4 – катод, эмитирующий электроны;
- 5 – контрольная сетка;
- 6 – катод электронного умножителя;
- 7 – электронный умножитель;
- 8 – вакуумный баллон;
- 9 – анод электронного умножителя;
- 10 – сопротивление нагрузки;
- 11 – разделительный конденсатор;
- 12 – импульсный усилитель;
- 13 – счетчик импульсов;
- 14 – источник питания электронного умножителя;
- 15 – общая шина;
- 16 – сопротивление смещения;
- 17 – выход распределенного делителя напряжения электронного умножителя;
- 18 – аттестуемое эталонное средство измерения;
- i_{B1} – воспроизводимая единица постоянного электрического тока;
- i_{B2} – воспроизводимый ток для аттестации эталонных средств измерения.

RU 2 4 7 8 9 7 4 С 2

RU 2 4 7 8 9 7 4 С 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01R 19/25 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011122592/28, 31.05.2011

(24) Effective date for property rights:
31.05.2011

Priority:

(22) Date of filing: 31.05.2011

(43) Application published: 10.12.2012 Bull. 34

(45) Date of publication: 10.04.2013 Bull. 10

Mail address:

190005, Sankt-Peterburg, Moskovskij pr., 19,
FGUP "VNIIM im. D.I. Mendeleeva"

(72) Inventor(s):

**Aleksandrov Valerij Sergeevich (RU),
Pavlov Oleg Mikhajlovich (RU),
Telitchenko Gennadij Petrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "Vserossijskij nauchno-
issledovatel'skij institut metrologii im. D.I.
Mendeleeva" (FGUP "VNIIM im. D.I.
Mendeleeva") (RU)**

(54) **METHOD FOR REPLICATION OF DIRECT CURRENT FORCE UNIT, AND DEVICE FOR IMPLEMENTATION THEREOF**

(57) Abstract:

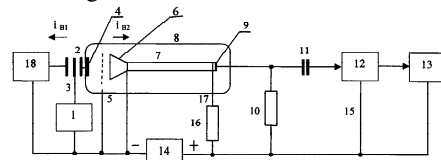
FIELD: medicine.

SUBSTANCE: method is implemented in a replicated current circuit on its vacuum-treated segment; a part of electrons predetermining replicated current force is directed from an electron cloud onto a cathode of an electronic amplifier under a potential difference. A pulse frequency recorded in an output of the electronic amplifier and an electron elementary discharge enable stating replicated direct current force. It enables recording directly each electron in replicated direct current flow and providing correlating a current force unit (Amper) and its physical meaning.

EFFECT: higher accuracy of current unit replication and extended range of direct current

replication towards the lesser values, enabled direct recording of each electron.

2 cl, 1 dwg



- 1 – мера линейно изменяющегося напряжения;
- 2 – конденсатор $C_{В1}$;
- 3 – конденсатор $C_{В2}$;
- 4 – катод, эмитирующий электроны;
- 5 – контрольная сетка;
- 6 – катод электронного умножителя;
- 7 – электронный умножитель;
- 8 – вакуумный баллон;
- 9 – анод электронного умножителя;
- 10 – сопротивление нагрузки;
- 11 – разделительный конденсатор;
- 12 – импульсный усилитель;
- 13 – счетчик импульсов;
- 14 – источник питания электронного умножителя;
- 15 – общая шина;
- 16 – сопротивление смещения;
- 17 – вывод распределенного делителя напряжения электронного умножителя;
- 18 – эталонное средство измерения;
- $i_{В1}$ – воспроизводимая единица постоянного электрического тока;
- $i_{В2}$ – воспроизводимый ток для аттестации эталонных средств измерения.

RU 2 478 974 C2

RU 2 478 974 C2

Группа изобретений относится к измерительной технике и метрологии, а именно к технике воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока абсолютным методом.

5 В первой половине 20-го века общепринятым понятием силы постоянного тока было то, что «электрический ток образуется движением электрических зарядов и может быть определен как количество электрических зарядов, проходящих через проводник в единицу времени» [К.А.Круг, «Основы электротехники». М.-Л., 1936, с.13-14].

10 Из уровня техники средства воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока непосредственно в соответствии с этим определением не известны.

На IX Генеральной конференции по мерам и весам в 1948 году было принято, что Ампер равен силе не изменяющегося тока, который при прохождении по двум 15 параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н. [Международный Комитет мер и весов, 1946 год, Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ, 1948 год].

В соответствии с этим определением, ведущими мировыми метрологическими центрами (США, Англия, Германия, Япония) были начаты работы по созданию 25 комплекса аппаратуры для воспроизведения единицы тока, который получил название «токовые весы». В 1968 году такой комплекс аппаратуры, созданный во ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, был утвержден Госстандартом СССР в качестве Государственного первичного эталона единицы силы постоянного электрического тока - Ампера (шифр ГЭТ 4-68), [ГОСТ 8.022-72 ГСИ «Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока»] с 30 пределом допускаемой погрешности, как и в других странах, $1 \cdot 10^{-5}$.

В связи с появлением квантовых эталонов - эталон постоянного электрического напряжения, опирающийся на фундаментальную константу Джозефсона и эталон электрического сопротивления, опирающийся на фундаментальную константу 35 Клитцинга, появилась возможность с более высокой точностью воспроизводить Ампер косвенным методом через Вольт и Ом.

Основываясь на этих положениях, в диапазоне $1 \cdot 10^{-3}$ - 1 А в 1991 году был создан и утвержден комплекс средств измерений, вошедший в состав Государственного 40 первичного эталона единицы силы постоянного электрического тока - Ампера (шифр ГЭТ 4-91). [ГОСТ 8.022-91 ГСИ «Государственный первичный эталон и Государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне 10^{-16} - 30 А»]. В состав этого же эталона в диапазоне $1 \cdot 10^{-16}$ - $1 \cdot 10^{-9}$ А вошел также комплекс аппаратуры основанный на методах 45 электрометрии [см. Д.И.Антонова, О.М.Павлов и др. «Устройство для воспроизведения постоянных токов», А.С. №614724, Бюл. изобр. №25, 1978], в которых реализованы косвенные методы воспроизведения Ампера и которые, однако, не соответствуют действующему в настоящее время определению.

50 Погрешность воспроизведения единицы силы тока электрометрической частью эталона ГЭТ 4-91 в диапазоне $1 \cdot 10^{-16}$ - $1 \cdot 10^{-9}$ А составляет (5-0,1) % [A.S.Katkov, O.M.Pavlov, O.P.Galakhova, E.D.Koltik, "Primary Standard of Current Developed of VNIIM", 2nd ISEM'93, China, pp.47-48].

Консультативный комитет по электричеству и магнетизму принял рекомендацию E1 (2007) о предлагаемых изменениях Международной системы единиц СИ и, в частности, действующего определения ампера. Предложен пример определения ампера:

5 - «ампер - это электрический ток, эквивалентного потока, точно равный $1/(1,60217653 \times 10^{-19})$ элементарных зарядов в секунду (Из этого следует, что данное определение фиксирует элементарный заряд как равный точно $1,60217653 \times 10^{-19}$ А·с)» [RECOMMENDATION E1 (2007): Proposed changes to the
10 International System of Units (SI). The Consultative Committee for Electricity and Magnetism (CCEM), CCEM/2007-44].

Основу формулировки определения составляют следующие факторы:

1) определение силы постоянного электрического тока, как явления направленного
15 движения электрических зарядов;

2) определение количественной характеристики этого явления - силы электрического тока - как величины, численно равной количеству заряда, протекающего через определенную поверхность в единицу времени;

3) дискретность заряда.

20 Благодаря развитию современных нанотехнологий появилась возможность воспроизводить Ампер в соответствии с предлагаемым определением. Генеральная конференция обратилась к ведущим метрологическим институтам с призывом начать работы по созданию аппаратуры для воспроизведения Ампера в соответствии с
25 рекомендуемым определением [XXIII Генеральная Конференция Мер и Весов, 2007 год, О возможном переопределении некоторых основных единиц Международной Системы Единиц (СИ). Резолюция L].

Для решения поставленной задачи во многих ведущих метрологических институтах мира проводятся работы по созданию квантового эталона электрического тока на
30 основе эффекта одноэлектронного туннелирования. Для более успешного решения этой проблемы запущен Европейский проект COUNT, в рамках которого разрабатываются два дополняющих друг друга устройства на эффекте одноэлектронного туннелирования для применения в метрологии электрических
35 токов [H.E. van den Brom, O.Kerkhof, S.V.Lotkhov, S.A.Bogoslovsky, G.-D.Willenberg, H.Scherer, A.B.Zorin, S.Pedersen, C.Kristoffersson, P.Delsing, M.Taslakov, Z.Ivanov, H.Nilsson, S.Giblin, P.Kleinschmidt, C.Hof, A.L.Eichenberger, F.Overney, B.Jeanneret, G.Genevès, N.Feltin, L.Devolille, F.Gay, and F.Piquemal «Counting Electrons One by One - Overview of a Joint European Research Project», IEEE Trans. IM vol.52, N2, pp.584-587, 2003].

40 При использовании одноэлектронного насоса для воспроизведения тока основное уравнение измерения, в зависимости от материала изготовления и температуры может быть представлено следующим образом:

$$i = e \cdot f \text{ или } i = 2e \cdot f,$$

где: e - заряд электрона;

45 $2e$ - заряд куперовской пары;

f - частота напряжения, прикладываемого к затвору устройства.

Из уровня техники средства воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока непосредственно в соответствии с этим определением не
50 известны.

Известен способ одноэлектронного туннелирования - способ воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока, который по выполняемой функции и совокупности существенных признаков является наиболее близким аналогом

заявленного способа (Y. De Wilde, F Gay, F.P.M.Piquemal, and G.Geneves, "Measurements of Single Electron Transistor Devices Combined with a CCC: Progress Report", IEEE Trans. IM, vol.50, N2, pp.231-234, 2001).

Эффекты одноэлектронного тунелирования проявляются в системах, которые содержат маленький металлический островок, слабо связанный (т.е. через туннельные переходы) с внешней цепью. Когда емкость островка C_{Σ} достаточно мала, присутствие избыточного электрона на островке может быть обнаружено. Этот эффект наиболее очевиден, когда заряжающая энергия $e^2/2 \cdot C_{\Sigma}$ является доминирующей энергией в системе: она должна превышать энергию электронов, связанных с приложенным напряжением, $e \cdot V$, и их тепловую энергию, $k \cdot T$. На практике это требует применения металлических структур с характеристическими размерами менее 100 нанометра, работающих при температурах менее 50 милликельвин (менее - 223°C).

Посредством емкостного вентиля (затвора), связанного с островком, можно управлять зарядом островка. Наиболее известная структура - это одноэлектронный транзистор, который имеет два туннельных перехода и одну емкость затвора (IEEE Trans. IM vol.52, N2, pp.584-587, 2003).

Известный способ воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока осуществляется устройством, которое содержит цепь, воспроизводящую единицу силы тока, в виде последовательно соединенных: истока, «n» туннельных переходов, «n-1» островков, расположенных между ними, стока, поддерживаемые подложкой, аттестуемого эталонного средства измерения и источника напряжения смещения V_c . Положительный полюс источника напряжения смещения связан с аттестуемым эталонным средством измерения, а отрицательный - с истоком. Фиксированные электроды затворов расположены в непосредственной близости от указанных квантовых островков, образуя емкостную связь между каждым электродом затвора и каждым островком. Каждый электрод затвора, через фазосдвигающую цепочку связан с одним из полюсов генератора радиочастоты, другой полюс генератора радиочастоты соединен с общей точкой истока и отрицательным полюсом источника напряжения смещения V_c .

Известный способ воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока осуществляют следующим образом.

Воспроизводимый устройством одноэлектронного тунелирования ток i_b под воздействием приложенного напряжения источника смещения начнет протекать только после разблокировки туннельного перехода, когда потенциал на затворе станет больше некоторого порогового значения, кулоновской блокады. В заблокированном состоянии у электрона на истоке нет доступных энергетических уровней в пределах диапазона тунелирования. Когда кулоновская блокада прорвется, электрон пройдет через барьер на островок. Прорыв кулоновской блокады зависит от напряжения на затворе. Для протекания тока в цепи исток-сток к каждому затвору через фазосдвигающую цепь от генератора радиочастоты подводится напряжение, которое от затвора к затвору сдвинуто по фазе на величину $\pm \pi$. При этом ток в цепи будет протекать порциями, что соответствует движению единичных электронов. Таким образом, управляя потенциалом на затворе, можно пропускать через кулоновские барьеры одиночные электроны e или кулоновские пары $2e$. Когда к затвору прикладывается положительный потенциал, энергетические уровни на островке понижаются.

Электрон e или кулоновская пара $2e$ может туннелировать на островок, занимая

свободный энергетический уровень. Далее, пройдя «n-1» островков, они могут туннелировать на сток. Величина воспроизводимого тока i_B , протекающего между истоком и стоком, зависит от частоты генератора напряжения f , приложенного к затворам,

$$i_B = e \cdot f \text{ или } i_B = 2e \cdot f.$$

где: e - заряд электрона;

$2e$ - заряд куперовской пары;

f - частота напряжения, прикладываемого к затвору устройства.

В эксперименте получен ток на уровне $1 \cdot 10^{-12}$ А с погрешностью 0,1% с ошибкой переноса электронов 0,15 ppm. Погрешность счета основного потока электронов оценивается на уровне ± 1 электрон [M.W.Keller and J.M. Martinic, N.M.Zimmerman, A.H.Steinbach "Accuracy of electron counting using a 7-junction electron pump", Appl. Phys. Lett. v.69 N12, pp.1804-1806, 1996].

Недостатком способа воспроизведения силы постоянного тока является то, что воспроизводимый ток определяется косвенным методом, путем приложения к затвору напряжения определенной частоты. При этом возникает необходимость обеспечения защиты электронов e и куперовских пар $2e$ от сотуннелирования для уменьшения общей неопределенности прохождения электронов, а также необходимость применения высоких технологий для создания структур (размеры менее 100 нанометра), работающих в условиях сверхнизких температур; и специального оборудования для обеспечения этих условий (на уровне единиц мили Кельвина).

Устройства для воспроизведения силы постоянного тока, аналогичные по технической сущности и выполняемой функции, в уровне техники заявителем не обнаружены.

Задачей, на решение которой направлена заявляемая группа изобретений, является дальнейшее повышение точности воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока и расширение диапазона воспроизведения силы постоянного тока в сторону меньших значений, обеспечение возможности создания эталона одной из основных единиц международной системы СИ - единицы силы постоянного электрического тока Ампера в области его дольных значений.

Технический результат, полученный при осуществлении заявленной группы изобретений, заключается в обеспечении возможности непосредственной регистрации каждого электрона в цепи воспроизводимого тока для обеспечения соответствия рекомендуемому определению Ампера его физическому смыслу.

Указанный технический результат достигается при осуществлении заявленной группы разнообъектных изобретений, которые образуют единый творческий замысел и представляют собой способ воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока и устройство для его осуществления.

Указанный технический результат при осуществлении заявляемой группы изобретений достигается тем, что в заявляемом способе воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока, использующем заряд электронов и перемещение их в цепи воспроизводимого тока, в отличие от известного способа, участок цепи воспроизводимого тока вакуумируют, на этом участке размещают катод, эмитирующий электронное облако, контрольную сетку и анод в виде катода электронного умножителя, на катоде создают электронное облако и под воздействием заданной разности потенциалов между катодом и контрольной сеткой определяемое ею задаваемое количество электронов, прошедших через контрольную сетку до анода, замыкает цепь воспроизводимого тока, количество электронов, прошедших по цепи

воспроизводимого тока в единицу времени, преобразуют в электронном умножителе в последовательность импульсов, по частоте следования которых f определяют значение единицы силы воспроизводимого постоянного электрического тока i_B по формуле:

$$i_B = e \cdot f,$$

обеспечивая возможность непосредственной регистрации каждого электрона в цепи воспроизводимого тока,

где e - элементарный заряд электрона, точно равный $1,60217653 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Указанный технический результат при осуществлении заявляемой группы изобретений достигается тем, что в заявляемом устройстве для воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока, состоящем из цепи, воспроизводящей единицу силы тока, выполненной в виде меры линейно изменяющегося напряжения, подключенной одним выходом к соединенным первым обкладкам двух конденсаторов равного номинала, другая обкладка одного из конденсаторов подключена к катоду в вакуумированном участке цепи из последовательно расположенных после катода контрольной сетки и анода, подключенных к другому выходу меры, причем анод в цепи воспроизведения тока является катодом электронного умножителя, анод которого связан со счетчиком импульсов, при этом вторая обкладка другого конденсатора является выходом устройства, отображающим воспроизводимую единицу силы постоянного тока.

В устройстве для осуществления способа воспроизведения единицы силы тока (чертеж) мера линейно изменяющегося напряжения 1 подключена одним выходом к общим обкладкам конденсаторов 2 и 3 с равным значением емкости. Другая обкладка конденсатора 2 подключена к катоду 4, расположенному вместе с контрольной сеткой 5, анодом 6 (в виде катода 6 электронного умножителя 7) и электронным умножителем 7 в вакуумном баллоне 8. Контрольная сетка 5 и анод 6 соединены с другим концом меры линейно изменяющегося напряжения 1. Анод 9 электронного умножителя 7 связан с одним из концов сопротивления нагрузки 10 и одной из обкладок разделительного конденсатора 11. Другая обкладка конденсатора 11 соединена с входом импульсного усилителя 12, выход которого соединен с входом счетчика импульсов 13. Другой конец сопротивления нагрузки 10 соединен с положительным полюсом источника питания 14, с общей шиной 15 импульсного усилителя 12 и с другим концом счетчика импульсов 13. Сопротивление смещения 16 одним концом соединено с выходом 17 распределенного делителя напряжения электронного умножителя 7, а другим - с положительным полюсом источника питания 14. Отрицательный выход источника питания 14 соединен с катодом 6 электронного умножителя 7. Другая обкладка конденсатора 3 соединяется с высокоомным входом аттестуемого эталонного средства измерения 11%. Низкоомный вход средства измерения 18 соединен с другим концом меры линейно изменяющегося напряжения 1 и с отрицательным полюсом источника питания 14.

Заявляемый способ воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока осуществляется устройством, следующим образом.

Сила тока i_{B1} , воспроизводимая мерой линейно изменяющегося напряжения 1 и конденсатором C_{B1} 2, протекает между катодом 4 и анодом 6 (который является катодом 6 электронного умножителя 7) через контрольную сетку 5, и автоматически устанавливает напряжение между катодом 4 и контрольной сеткой 5, которое определяется силой воспроизводимого тока i_{B1} и не зависит от нагрузки.

В результате, при воспроизведении силы тока i_{B1} , напряжение между катодом 4 и

контрольной сеткой 5 остается постоянным. Вследствие этого эмиссия электронов из облака катода 4 является пропорциональной силе воспроизводимого тока i_{B1} .

Электроны, создающие силу воспроизводимого тока i_{B1} , протекают от катода 4 под воздействием электростатического поля, образованного высоковольтным источником напряжения 14, питающим электронный умножитель 7, затыгиваются анодом 6, проходя через контрольную сетку 5. При этом каждый электрон, попадая на катод 6 электронного умножителя 7, прежде чем замкнуть цепь воспроизводимого тока i_{B1} , выбивает вторичные электроны, которые, умножаясь, образуют на аноде 9 электронного умножителя 7 импульс, который выделяется на сопротивлении нагрузки 10. Этот импульс проходит через разделительный конденсатор 11, усиливается импульсным усилителем 12 и поступает на счетчик импульсов 13. Сопротивление смещения 16 предназначено для установления оптимального рабочего режима электронного умножителя 7.

Воспроизводимое мерой линейно изменяющегося напряжения 1 и конденсатором C_{B1} 2 значение единицы силы тока i_{B1} , при равенстве значений емкостей двух конденсаторов C_{B1} 2 и C_{B2} 3, отображается воспроизводимым значением единицы силы тока i_{B2} через конденсатор C_{B2} 3 для дальнейшего использования его при передаче размера единицы силы тока эталонам сравнения 18.

При точном равенстве значений емкостей двух конденсаторов C_{B1} 2 и C_{B2} 3 сила воспроизводимого тока i_{B1} точно равна силе воспроизводимого тока i_{B2}

$$i_{B1} = i_{B2} = e \cdot f.$$

Так как сила тока определяется величиной заряда, т.е. количеством электронов, проходящих через поперечное сечение проводника за 1 с, основное уравнение измерения устройства будет:

$$i = e \cdot f.$$

Значение единицы силы воспроизводимого тока i_{B2} при равенстве значений емкостей конденсаторов C_{B1} и C_{B2} определяется из соотношения:

$$i_{B2} = I_{B1} = C_{B2} \cdot dV/dt = C_{B1} \cdot dV/dt = e \cdot f,$$

где C_{B1} и C_{B2} - емкости конденсаторов 2 и 3, к которым прикладывается напряжение V , линейно изменяющееся за период времени t ;

e - элементарный заряд электрона, точно равный $1,60217653 \cdot 10^{-19}$ Кл;

f - измеряемая частота (число) импульсов на выходе электронного умножителя 7.

При этом нестабильность коэффициента усиления электронного умножителя 7 не играет роли, так как амплитуда импульса не входит в основное уравнение измерения.

В изготовленном заявителем опытном образце была проверена принципиальная возможность счета электронов, образующих воспроизводимый ток.

В опытном образце были использованы:

- мера линейно изменяющегося напряжения 1 - мера линейно изменяющегося напряжения калибратора тока НК1-4;

- конденсатор C_{B1} 2 - емкостью ≈ 1 пф с лейкосапфировой изоляцией (собственного производства);

- катод, эмитирующий электроны 4, - позолоченный молибденовый диск с лейкосапфировой изоляцией (собственного производства);

- контрольная сетка 5, катод электронного умножителя 6, электронный умножитель 7, анод электронного умножителя 9, выход распределенного делителя напряжения электронного умножителя, 17 - вторично-электронный умножитель ВЭУ-6;

- вакуумный баллон 8 - баллон из молибденового стекла (собственного

производства);

- сопротивление нагрузки 10 - сопротивление типа МВСТ $\approx 10^8$ Ом;
- разделительный конденсатор 11 - конденсатор типа ФТ $\approx 0,1$ мкФ;
- источник питания электронного умножителя 14 - высоковольтный источник питания БПВ-5;
- импульсный усилитель 12 - усилитель импульсный ВЗ-2;
- счетчик импульсов 13 - частотомер ЧЗ-47;
- сопротивление смещения 16, - сопротивление $R_{CM} \approx 10^4$ Ом (подбирается при настройке).

Таким образом, видно, что приведенные выше сведения подтверждают возможность осуществления заявляемого изобретения, достижения указанного технического результата и решения поставленной задачи.

Формула изобретения

1. Способ воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока, использующий заряд электронов и перемещение их в цепи воспроизводимого тока, отличающийся тем, что участок цепи воспроизводимого тока вакуумируют, на этом участке размещают катод, эмитирующий электронное облако, контрольную сетку и анод в виде катода электронного умножителя, на катоде создают электронное облако и под воздействием заданной разности потенциалов между катодом и контрольной сеткой определяемое ею задаваемое количество электронов, прошедших через контрольную сетку до анода, замыкает цепь воспроизводимого тока, количество электронов, прошедших по цепи воспроизводимого тока в единицу времени, преобразуют в электронном умножителе в последовательность импульсов, по частоте следования которых f определяют значение единицы силы воспроизводимого постоянного электрического тока i_B по формуле:

$$i_B = e \cdot f,$$

обеспечивая возможность непосредственной регистрации каждого электрона в цепи воспроизводимого тока,

где e - элементарный заряд электрона, точно равный $1,60217653 \cdot 10^{-19}$ Кл.

2. Устройство для воспроизведения единицы силы постоянного электрического тока, состоящее из цепи, воспроизводящей единицу силы тока, выполненной в виде меры линейно изменяющегося напряжения, подключенной одним выходом к соединенным первым обкладкам двух конденсаторов равного номинала, другая обкладка одного из конденсаторов подключена к катоду в вакуумированном участке цепи из последовательно расположенных после катода контрольной сетки и анода, подключенных к другому выходу меры, причем анод в цепи воспроизведения тока является катодом электронного умножителя, анод которого связан со счетчиком импульсов, при этом вторая обкладка другого конденсатора является выходом устройства, отображающим воспроизводимую единицу силы постоянного тока.