



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016124256, 20.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.06.2016Дата регистрации:
16.10.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.06.2016

(45) Опубликовано: 16.10.2017 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,
Институт сильноточной электроники СО РАН,
Зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
Турчановскому И.Ю.

(72) Автор(ы):

**Батраков Александр Владимирович (RU),
Попов Сергей Анатольевич (RU),
Шнайдер Антон Витальевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
(RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 2461449 A1, 06.06.2012. RU
2311652 C1, 27.11.2007. US 20100085671 A1,
08.04.2010. JP 11125653 A, 11.05.1999. US
2010271002 A1, 28.20.2010.**(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛАБОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ**

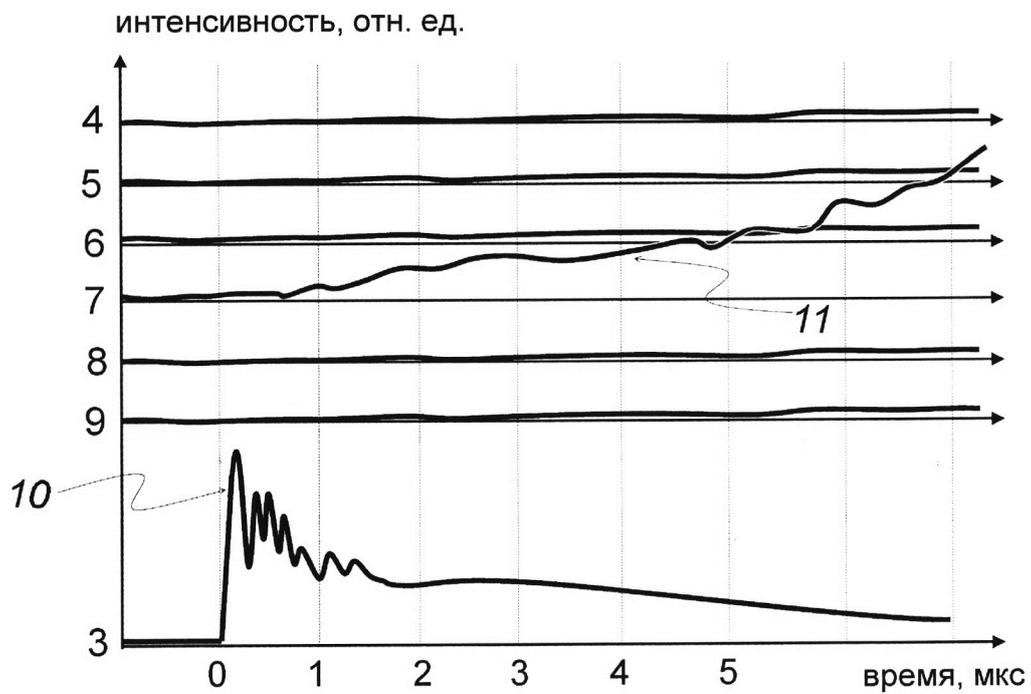
(57) Реферат:

Изобретение относится к методам обнаружения аварийной электрической дуги радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), работающей в условиях вакуума и может быть использовано в бортовой аппаратуре космических аппаратов. Техническим результатом является высокая чувствительность обнаружения слаботочной электрической дуги и локализация сегмента РЭА, в которой дуга возникла. Способ обнаружения слаботочной электрической дуги в радиоэлектронной аппаратуре, работающей в условиях вакуума, включает измерение мощности электромагнитного шума в цепях электропитания РЭА, лежащего в диапазоне частот от 50 МГц до 500 МГц, и одновременное измерение

интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве каждого из сегментов РЭА. Индикатором прогрессирующего дугового разряда является монотонное кратное снижение мощности электромагнитного шума синхронно с монотонным кратным ростом интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве сегмента РЭА. Для исключения влияния светоизлучающих элементов РЭА видимого диапазона спектра на результаты оптических измерений излучения дуги регистрирующий датчик может иметь селективную спектральную чувствительность в УФ диапазоне спектра. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU
2 6 3 3 6 5 1
C 1

RU
2 6 3 3 6 5 1
C 1



Фиг. 2

RU 2633651 C1

RU 2633651 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016124256, 20.06.2016**(24) Effective date for property rights:
20.06.2016Registration date:
16.10.2017

Priority:

(22) Date of filing: **20.06.2016**(45) Date of publication: **16.10.2017** Bull. № 29

Mail address:

**634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut
silnotochnoj elektroniki SO RAN, Zam. direktora
po NR ISE SO RAN Turchanovskomu I.YU.**

(72) Inventor(s):

**Batrkov Aleksandr Vladimirovich (RU),
Popov Sergej Anatolevich (RU),
Shnajder Anton Vitalevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoj
elektroniki Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj
akademii nauk (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR DETECTING LOW-CURRENT ELECTRIC ARC IN RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT**

(57) Abstract:

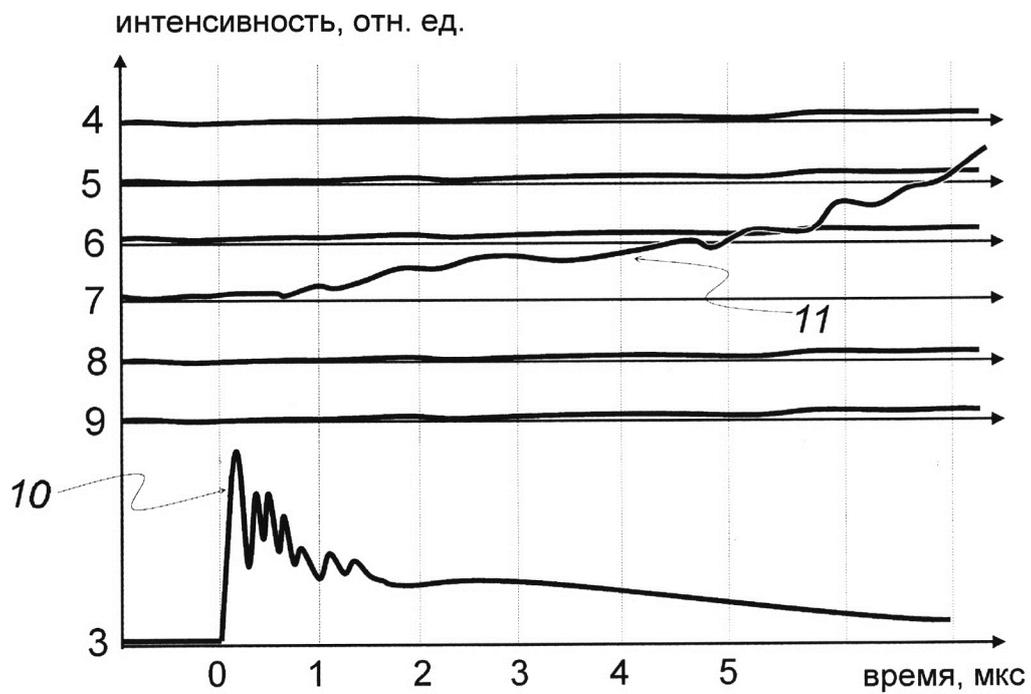
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: method for detecting low-current electric arc in radio electronic equipment operating under vacuum conditions includes measuring the power of electromagnetic noise in power supply circuits of radio electronic equipment (REE) within the frequency range from 50 mhz to 500 mhz, and simultaneously measuring the intensity of optical radiation in the inner space of each of the REE segments. The indicator of progressive arc discharge is a monotonic multiple reduction of electromagnetic noise power synchronisly

with monotonic multiple increase of optical radiation intensity in the inner space of the REE segment. To avoid the influence of the REE light-emitting elements of the spectrum visible range on the arc radiation optical measurements results, a recording sensor can have selective spectral sensitivity in the UV range of the spectrum.

EFFECT: high detection sensitivity of low-current electric arc and localisation of radio electronic equipment segment in which the arc occurred.

2 cl, 2 dwg



Фиг. 2

RU 2633651 C1

RU 2633651 C1

Изобретение относится к методам обнаружения аварийной электрической дуги и может быть использовано в процессе испытаний и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), работающей в условиях вакуума, в частности бортовой аппаратуры космических аппаратов, для обнаружения слаботочной электрической дуги, горящей в диапазоне от токов неустойчивой дуги (в терминах ISO 11221:2011 "Системы космические. Космические солнечные панели. Космический аппарат, заряжаемый индуцированным электростатическим разрядом. Методы испытаний") до токов временно устойчивой дуги (в терминах ISO 11221:2011).

Известен способ [1] слежения за появлением дугового разряда в работающей бортовой аппаратуре и кабельной сети воздушных летательных и космических аппаратов. В данном способе осуществляется анализ спектра электромагнитного шума, возбуждаемого аварийной электрической дугой в токонесущих шинах, через которые протекает ток дуги, в широком диапазоне частот. В силу физической природы электрической дуги спектральная плотность мощности электромагнитного шума имеет обратно пропорциональную зависимость от частоты, и появление такого частотного спектра шума является индикатором дуги. Данный способ обнаружения дуги требует выполнения сложных математических вычислений средствами бортовой аппаратуры для анализа частотной зависимости спектра шума в широком диапазоне частот, что затрудняет обнаружение дуги в слаботочной стадии разряда, поскольку слаботочная стадия ограничена во времени.

Согласно [2] частотный диапазон электромагнитных шумов, анализ которых требуется для обнаружения аварийной дуги, горящей параллельно нагрузке, может быть сокращен до 100÷500 МГц, что определяется физической природой дугового разряда. Данный подход позволяет использовать фильтры и измерители тока для определения аварийной дуги без использования специальных вычислительных средств. Индикатором дугового разряда является количество электрического заряда, измеряемое с использованием схем интегрирования тока, пропускаемого высокочастотным фильтром на диапазон частот выше 100 МГц. Данный подход обеспечивает надежное обнаружение дуги, но требует времени для накопления заряда выше заданного порогового значения. Поскольку в начальной стадии разряда сила тока дуги относительно мала, время накопления порогового заряда зависит от тока разряда и при малых токах такой подход не обеспечит обнаружение дуги в слаботочной стадии разряда, поскольку слаботочная стадия ограничена во времени.

Более эффективное обнаружение слаботочной стадии дуги вплоть до преддугового (частичного) разряда достигается с использованием способа [3], основанного на регистрации ультрафиолетового (УФ) излучения путем его преобразования в видимое излучение в люминесцирующем оптическом волокне. Такое волокно содержит активное вещество (краситель), возбуждаемое за счет света, попадающего внутрь через боковую поверхность волокна. Свет, генерируемый за счет люминесценции внутри волокна, распространяется исключительно вдоль волокна и регистрируется оптическим приемником, установленным на торце оптоволоконка. Такой способ позволяет регистрировать излучение как в кабельных линиях, так и в любых протяженных объектах, в которых возможны аварийные электроразрядные процессы. Для принятия безошибочного решения о наличии преддугового разряда или начальной слаботочной стадии дуги с использованием лишь оптического типа измерений требуется выполнение условия отсутствия иных источников УФ излучения, что является не всегда выполнимым для бортовой аппаратуры высотных атмосферных и космических летательных аппаратов, эксплуатируемых за пределами плотных слоев атмосферы, поглощающей

жесткое УФ излучение Солнца.

Известны способ и система [4] обнаружения аварийной дуги по сочетанию оптических и электрических измерений, предназначенная для использования бортовой аппаратуры летательных аппаратов. Электрические измерения представляют собой регистрацию уровней напряжений и токов, при этом индикатором дуги является рост тока выше заданного порогового значения и падение напряжения ниже заданного порогового значения. Дополнительно к электрическим измерениям осуществляются оптические измерения. Оптический сигнал снимается с датчика оптического излучения, чувствительного к излучению в УФ области спектра. Спектральная селективность оптического датчика позволяет регистрировать УФ излучение электрического разряда и исключить влияние на регистрируемые сигналы технологического излучения видимого диапазона спектра. Оптический датчик в системе обнаружения дуги является локальным и регистрирует излучение дугового разряда, как прямое, так и отраженное от конструктивных элементов аппаратуры, находящейся под наблюдением. Как электрические, так и оптические измерения в способе [4] эффективно обнаруживают дугу при протекании аварийного тока силой, приводящей к падению напряжения питания, генерирующую световое излучение с интенсивностью, достаточно высокой для его обнаружения локально расположенным датчиком независимо от расположения дуги относительно датчика за счет света, отраженного и рассеянного от поверхности элементов аппаратуры. Таким образом, при эффективности и высокой достоверности обнаружения дуги за счет использования двух типов измерений (оптических и электрических), позволяющей рассматривать способ [4] в качестве прототипа, этот способ недостаточно эффективен для обнаружения дуги в слаботочной стадии развития разряда.

Электрическая дуга в РЭА является одним из аварийных процессов, вызывающих режим короткого замыкания в электрических цепях, деструктивное воздействие которого распространяется на нормально функционирующие компоненты аппаратуры вплоть до полной утраты аппаратурой возможности функционировать. Кроме деструктивного теплового воздействия дуга оказывает негативное влияние на электроизоляционные свойства диэлектриков вследствие распыления металла и металлизации поверхности, причем этот процесс начинается сразу же после зажигания разряда. Кроме того, в отличие от горения дуги при атмосферном давлении, в вакууме отсутствует газовая среда, способная поглощать энергию из дугового канала за счет конвекции и теплопроводности окружающего дуговой канал газа, что приводит к обязательному переходу неустойчивой и временно устойчивой дуги в перманентно устойчивую дугу, если источник питания РЭА потенциально обеспечивает ток перманентно устойчивой дуги без уменьшения выходного напряжения источника питания или с уменьшением выходного напряжения до уровня не ниже падения напряжения на дуге. В этой связи ключевой задачей защиты РЭА от электрической дуги является обнаружение дугового разряда в стадиях, предшествующих стадии перманентно устойчивой дуги. Поскольку задача состоит в обнаружении слаботочного разряда, измерительная аппаратура должна обладать высокой чувствительностью, что повышает риск ложного обнаружения дуги за счет шумов значений измеряемых величин. В этой связи требуется использование совокупных измерений по числу измеряемых величин не менее двух для исключения ложного заключения о наличии дуги в РЭА, находящейся под наблюдением.

В этой связи предлагается изобретение способа обнаружения слаботочной дуги в РЭА, эксплуатируемой в вакууме. Техническим результатом данного изобретения является высокая чувствительность способа обнаружения слаботочной электрической

дуги и локализация сегмента РЭА, в которой дуга возникла.

Указанный технический результат достигается за счет выполнения одновременных измерений и анализа результатов измерений, включая измерение мощности электромагнитного шума токов в цепях электропитания РЭА, лежащего в диапазоне частот от 50 МГц до 500 МГц, анализ измерения на наличие уменьшения мощности электромагнитного шума в данном диапазоне частот с течением времени, измерение интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве каждого из сегментов РЭА и анализ измерения на наличие роста интенсивности оптического излучения с течением времени. Индикатором прогрессирующего дугового разряда является монотонное кратное снижение мощности электромагнитного шума тока синхронно с монотонным кратным ростом интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве сегмента РЭА. Для исключения влияния светоизлучающих элементов РЭА видимого диапазона спектра на результаты оптических измерений излучения дуги регистрирующий датчик может иметь селективную спектральную чувствительность в УФ диапазоне спектра.

Техническая сущность изобретения состоит в следующем.

Электрическая дуга в РЭА при эксплуатации в вакууме обнаруживается в стадии слаботочной дуги до перехода в стадию перманентно устойчивой дуги по регистрации мощности электромагнитного шума в токонесущих проводниках, генерируемого дугой, одновременно с регистрацией оптического излучения во внутреннем пространстве РЭА, при этом регистрация оптического излучения осуществляется в УФ области спектра. Слаботочная дуга обнаруживается по факту снижения мощности шума с одновременным ростом интенсивности оптического излучения.

Согласно данным научных исследований [5] значения максимума спектральной плотности мощности шумов тока в диапазоне частот от 50 МГц до 500 МГц и ширина диапазона частот шумов тока при горении вакуумной дуги зависят от тока согласно обратно пропорциональной зависимости, следовательно, мощность шума изменяется обратно пропорционально квадрату тока дуги, т.е. обратно пропорционально мощности, выделяемой в дуговом канале. Столь сильная зависимость мощности шума от тока дуги позволяет обнаруживать слаботочную дугу в момент ее инициирования по максимальной мощности шума и рост тока дуги по уменьшению мощности шума в токонесущих проводниках при токах дуги, много меньших максимально допустимых токов потребления работающей РЭА.

Измерение шумов токов питания РЭА не позволяет локализовать дугу, поскольку электромагнитные шумы распространяются по всем проводникам, через которые осуществляется питание сегментов РЭА. Для локализации дуги и для повышения достоверности принятия решения о возникновении дуги измеряется интенсивность излучения УФ диапазона спектра в пространстве между элементами РЭА. Признаком наличия дуги в сегменте РЭА является не только появление УФ излучения, но и его рост с течением времени синхронно с падением мощности электромагнитного шума в токонесущих проводниках в диапазоне частот от 50 МГц до 500 МГц. Необходимость слежения за динамикой интенсивности УФ излучения связана с возможным проникновением рассеянного естественного излучения УФ диапазона спектра внутрь РЭА, создающего фон при оптических измерениях.

Указанный способ может быть реализован с использованием устройства, представленного на Фиг. 1.

Шины электропитания 1 и 2 блока РЭА подключены к измерителю мощности электромагнитного шума 3, содержащему входной фильтр на диапазон частот от 50

МГц до 500 МГц. Напротив каждого из сегментов блока РЭА установлены регистраторы с 4 по 9 оптического излучения УФ диапазона спектра.

Осциллограммы сигналов, зарегистрированных измерителем 3 и регистраторами с 4 по 9 при иницировании электрической дуги в сегменте РЭА напротив регистратора 7, представлены на Фиг. 2. В первую микросекунду после иницирования дуги регистрируется всплеск мощности электромагнитного шума в токонесущих проводниках 10, после чего происходит снижение уровня мощности шума и начинается рост интенсивности свечения дуги 11 в аварийном сегменте РЭА. К концу первой микросекунды процесса горения дуги сила тока дуги составила 4 А, что при номинальном токе потребления блоком РЭА являлось несущественной паразитной нагрузкой и не воспринималось системой защиты по току. Через 5 мкс горения дуги сила тока дуги возрастала до 20 А и пропорционально току возрастала интенсивность свечения дуги, при этом уровень мощности шума тока снижался в несколько раз.

Таким образом, измерение мощности электромагнитного шума, распространяемого по цепям электропитания, в рассматриваемом устройстве оказалось наиболее чувствительным измерением при обнаружении слаботочной дуги.

Источники информации

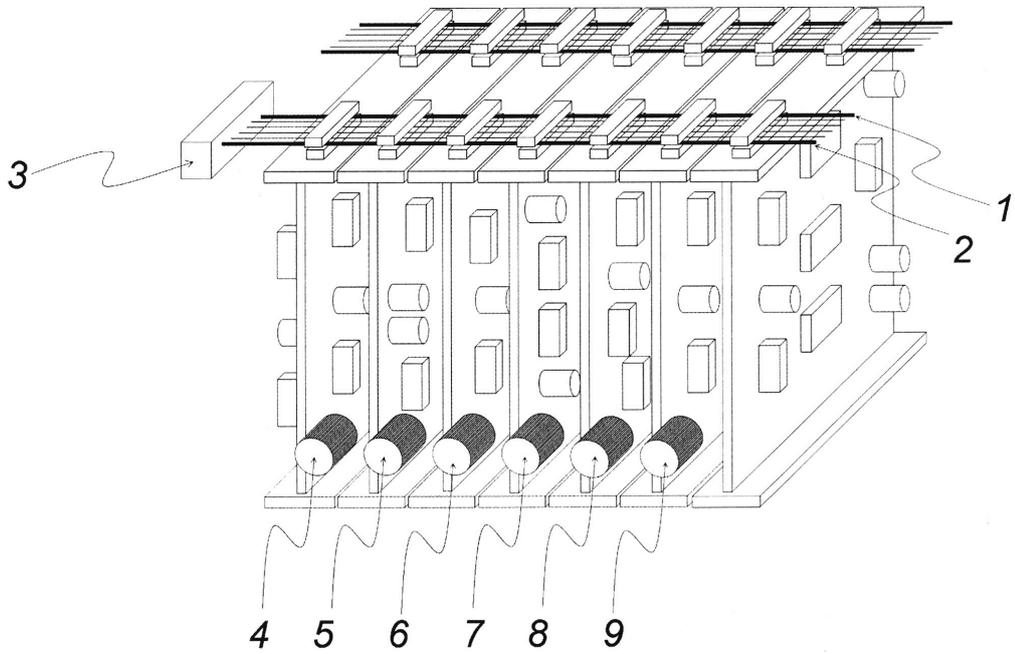
1. M.T. Parker, H.M. Ham, J.J. Keenan, L.P. Benoit. Electric arc monitoring systems // Патент США (19) US (11) 6772077 (13) G01R 31/08. - Заявл. 10.08.1998. - Оpubл. 03.08.2004.
2. Tom Wakimoto, Yoshimitsu Takahashi, Shinji Kouda. Method and apparatus for detection and control of dc arc faults // Патент США (19) US (11) 8368404 (13) G01R 31/12, G01R 31/08, H01H 9/50. - Заявл. 27.04.2010. - Оpubл. 05.02.2013.
3. J.G. Sarkozi, N.A. Evers. Detection of partial discharge or arcing in wiring via fiber optics // Патент США (19) US (11) 7142291 (13) F21V 8/00, G01R 31/12, G01D 7/00, G01N 21/67, G01D 5/26, G01N 21/00. - Заявл. 23.12.2003. - Оpubл. 28.11.2006.
4. T.M. Gillis, R.L. Fillmore, W.B. Hubbard, R.T. Wetzel, R.J. Norris. Arc fault detection method and system // Патент ЕС (19) EP (11) 2461449 (13) H02H 1/00, B64D 45/00, H01H 9/50, G01R 31/12. - Заявл. 25.11.2011. - Оpubл. 14.05.2014.
5. Andre Anders, Efim Oks. Material-dependent high-frequency current fluctuations of cathodic vacuum arcs: Evidence for the ecton cutoff of the fractal model // J. Appl. Phys. - 2006. - Vol. 99. - PP. 103301 (1-5).

(57) Формула изобретения

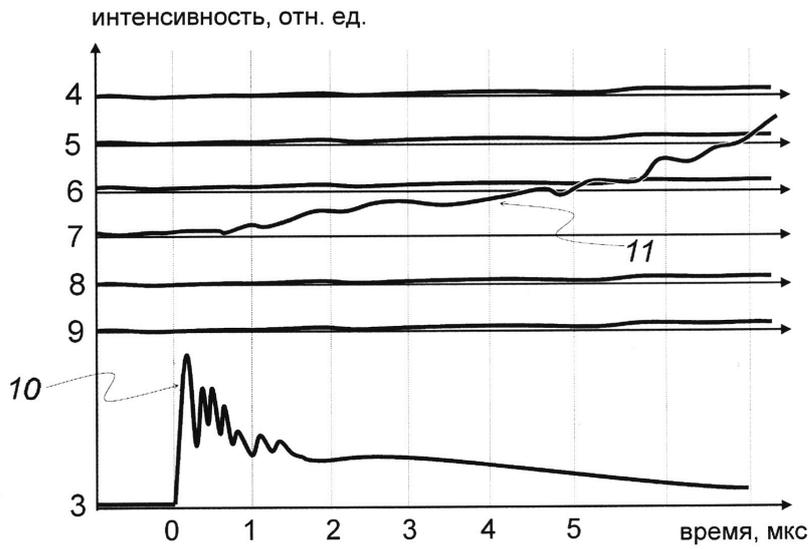
1. Способ обнаружения слаботочной электрической дуги в радиоэлектронной аппаратуре, работающей в условиях вакуума, заключающийся в измерении мощности электромагнитного шума в цепях электропитания радиоэлектронной аппаратуры, лежащего в диапазоне частот от 50 МГц до 500 МГц, с одновременным измерением интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве каждого из сегментов радиоэлектронной аппаратуры, отличающийся тем, что наличие слаботочной электрической дуги обнаруживается по факту монотонного кратного снижения мощности электромагнитного шума синхронно с монотонным кратным ростом интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве радиоэлектронной аппаратуры.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что регистрация интенсивности оптического излучения во внутреннем пространстве каждого из сегментов радиоэлектронной аппаратуры осуществляется в ультрафиолетовом диапазоне спектра.

**СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛАБОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ДУГИ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ**



Фиг. 1



Фиг. 2