



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009145865/07, 11.12.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.12.2009

(45) Опубликовано: 20.08.2011 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2266465 C1, 20.12.2005. SU 1081706 A1,
23.03.1984. US 4987345 A, 22.01.1991. EP
1398100 A2, 17.03.2004.

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, МГТУ
им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, директору, В.П.
Архипову

(72) Автор(ы):

Архипов Владимир Павлович (RU),
Камруков Александр Семёнович (RU),
Козлов Николай Павлович (RU),
Кисаров Антон Павлович (RU),
Пшенкин Денис Николаевич (RU),
Степанчиков Пётр Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана" (RU)(54) ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ ПЛАЗМЕННО-ВИХРЕВОЙ ИСТОЧНИК ОПТИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

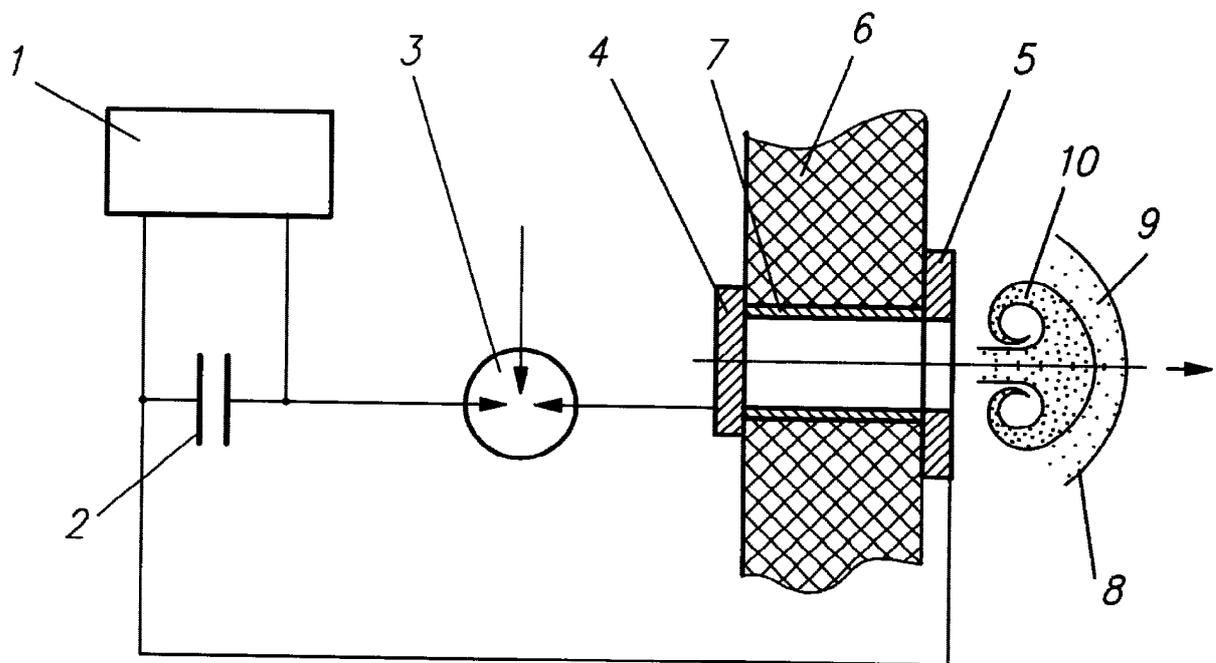
(57) Реферат:

Изобретение относится к плазменной технике и может быть использовано для создания высокояркостных источников оптического излучения. Техническим результатом является повышение КПД и расширение функциональных возможностей при упрощении конструкции. Указанный технический результат достигается за счет того, что в электроразрядном плазменно-вихревом источнике оптического излучения с зарядным устройством, емкостным накопителем, управляемым разрядником и двумя электродами у капиллярного отверстия в плоском изоляторе, в капиллярном отверстии

установлена цилиндрическая токопроводящая трубка из плазмообразующего вещества, второй электрод выполнен в виде кольца, причем оба электрода установлены в электрическом контакте с токопроводящей втулкой, а конструктивные параметры устройства удовлетворяют расчетным соотношениям, связывающим емкость накопителя, напряжение заряда емкостного накопителя, массу и теплофизические параметры плазмообразующего вещества, диаметр и длину капиллярного отверстия в плоском изоляторе и индуктивность разрядного контура. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 4 2 7 1 1 1 C 1

RU 2 4 2 7 1 1 1 C 1



Фиг. 1

RU 2427111 C1

RU 2427111 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H05H 1/42 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2009145865/07, 11.12.2009**

(24) Effective date for property rights:
11.12.2009

Priority:

(22) Date of filing: **11.12.2009**

(45) Date of publication: **20.08.2011 Bull. 23**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU
im. N.Eh. Baumana, TsZIS, direktoru, V.P.
Arkipovu**

(72) Inventor(s):

**Arkipov Vladimir Pavlovich (RU),
Kamrukov Aleksandr Semenovich (RU),
Kozlov Nikolaj Pavlovich (RU),
Kisarov Anton Pavlovich (RU),
Pshenkin Denis Nikolaevich (RU),
Stepanchikov Petr Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet imeni N.Eh. Baumana" (RU)**

(54) ELECTRODISCHARGE PLASMA-VORTEX SOURCE OF OPTICAL RADIATION

(57) Abstract:

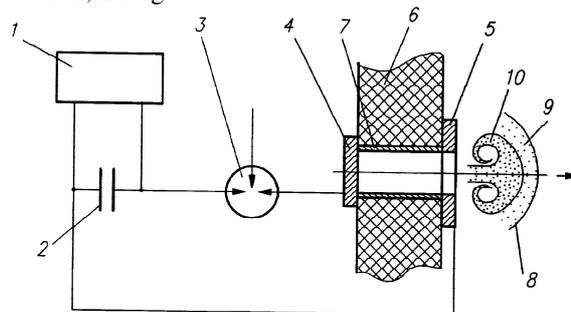
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: in electrodischarge plasma-vortex source of optical radiation with charging device, capacitive storage controlled with discharge device and two electrodes at capillary hole in flat insulator, in capillary hole there installed is cylindrical current-conducting tube from plasma-forming substance; the second electrode is made in the form of ring. At that, both electrodes are installed in electric contact with current-conducting sleeve, and design parameters of device meet design ratios interconnecting storage capacity, charge voltage of capacitive storage, mass and thermophysical parameters of plasma-forming

substance, diameter and length of capillary hole in flat insulator and inductance of discharge circuit.

EFFECT: higher efficiency coefficient and larger functional capabilities at simpler design.

3 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 4 2 7 1 1 1 C 1

RU 2 4 2 7 1 1 1 C 1

Изобретение относится к плазменной технике и может быть использовано в экспериментальной физике.

Известен импульсный электроразрядный источник излучения, содержащий емкостный накопитель, плоский изолятор с капиллярным отверстием, выполненный перпендикулярно поверхности изолятора, два электрода, примыкающие к выходным отверстиям капиллярного отверстия, управляемый разрядник и высоковольтный трансформатор поджига, вторичная обмотка которого включена последовательно между емкостным накопителем и электродами (Демидов М.И., Огурцова Н.Н., Подмошенский И.В. // «Оптико-механическая промышленность», 1960, №1. - С.1-4). Дополнительно в цепь включено малоиндуктивное активное согласующее сопротивление величиной 0,1 Ом. В исходном состоянии накопителя формирующей линии заряжены до 5 кВ. При подаче импульса поджига на первичную обмотку на вторичной обмотке трансформатора возникает напряжение амплитудой 50 кВ, которое вызывает электрический пробой в капилляре. После этого через капилляр происходит основной разряд накопителей, приводящий к образованию излучающей плазмы.

Недостатком известного источника излучения является низкий коэффициент полезного действия (КПД), который в таких устройствах определяется как отношение интегральной энергии импульса излучения к энергии, запасенной в емкостном накопителе. Кроме того, наличие высоковольтного трансформатора усложняет устройство, а его индуктивность рассеивания вторичной обмотки уменьшает амплитуду тока основного разряда, что также снижает яркость излучателя и КПД.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является электроразрядный источник излучения, выбранный в качестве прототипа [патент RU 2266465], содержащий зарядное устройство, емкостный накопитель, управляемый разрядник, два электрода, размещенные у капиллярного отверстия в плоском изоляторе, один из них выполнен в виде заглушки, при этом емкостный накопитель, электроды и управляемый разрядник электрически соединены между собой так, что образуют разрядный контур.

Известное устройство-прототип обладает теми же недостатками, что и аналог, а именно низким КПД, что обусловлено неизбежными потерями в согласующих линиях и в дополнительных компонентах для обеспечения первичного электрического пробоя капилляра, а также сложностью конструкции, что связано с необходимостью заряда емкостного накопителя до напряжения 40-50 кВ и коммутации этого напряжения. Столь высокое напряжение необходимо для обеспечения электрического пробоя капилляра в плоском изоляторе.

Задачей настоящего изобретения является повышение КПД, упрощение конструкции и расширение функциональных возможностей электроразрядного источника оптического излучения.

Такой технический результат достигается тем, что в капиллярном отверстии установлена цилиндрическая токопроводящая трубка из плазмообразующего вещества, второй электрод выполнен в виде кольца, причем оба электрода установлены в электрическом контакте с токопроводящей втулкой, а конструктивные параметры устройства удовлетворяют соотношениям

$$Q_{пл} < \frac{CU^2}{2m} \leq Q_{исп} \quad (1)$$

$$\frac{U^2}{Ad\Delta} \sqrt{\frac{C}{L}} \geq 1 \quad (2)$$

где C - емкость накопителя, Ф;

U - напряжение заряда емкостного накопителя, В;

m - масса плазмообразующего вещества, кг;

$Q_{пл}$ - удельная теплота плавления плазмообразующего вещества, Дж/кг;

$Q_{исп}$ - удельная теплота испарения плазмообразующего вещества, Дж/кг;

d - диаметр капиллярного отверстия в плоском изоляторе, м;

Δ - толщина плоского изолятора (длина капиллярного отверстия), м;

L - индуктивность разрядного контура, Гн;

$A=10^{10}$ Вт/м² - постоянный коэффициент.

Здесь удельная энергия, необходимая для расплавления плазмообразующего вещества, включает энергию для нагрева вещества от исходной температуры до температуры плавления и энергию для плавления вещества, находящегося при температуре плавления:

$$Q_{пл} = k_1(T_{пл} - T_0) + \lambda,$$

где k_1 - удельная теплоемкость плазмообразующего вещества, находящегося в твердом состоянии;

$T_{пл}$ - температура плавления плазмообразующего вещества;

T_0 - исходная температура плазмообразующего вещества;

λ - удельная теплота плавления плазмообразующего вещества при температуре плавления.

Удельная энергия, необходимая для испарения плазмообразующего вещества, включает $Q_{пл}$, энергию для нагрева вещества от температуры плавления до температуры кипения и энергию для испарения вещества при температуре кипения:

$$Q_{исп} = Q_{пл} + k_2(T_{кип} - T_{пл}) + r,$$

где r - удельная теплота испарения плазмообразующего вещества при температуре кипения;

k_2 - удельная теплоемкость плазмообразующего вещества, находящегося в жидком состоянии.

В варианте выполнения внутри цилиндрической токопроводящей трубки может быть размещено дополнительное количество плазмообразующего вещества.

В качестве плазмообразующего вещества может быть выбран алюминий.

Повышение КПД предлагаемого электроразрядного плазменно-вихревого источника оптического излучения происходит за счет того, что при его работе формируется импульс излучения со сложной временной структурой, интегральный выцвет которого значительно повышается по сравнению с аналогами и прототипом.

Упрощение конструкции заключается в том, что в предлагаемом устройстве в принципе отсутствуют компоненты для первоначального высоковольтного пробоя капилляра.

Расширение функциональных возможностей предлагаемого электроразрядного плазменно-вихревого источника оптического излучения обусловлено как специфической, нестандартной для электроразрядных излучателей формой генерируемого импульса излучения, так и возможностями ее трансформации сравнительно простыми экспериментальными методами, что позволяет решать дополнительные задачи, например имитацию специальных воздействий.

Изобретение поясняется графическими материалами, где на фиг.1 изображена схема электроразрядного плазменно-вихревого источника оптического излучения, на фиг.2 - осциллограмма импульса излучения.

Электроразрядный плазменно-вихревой источник излучения содержит зарядное

устройство 1, обеспечивающее заряд емкостного накопителя 2. В примере выполнения емкость накопителя составляла 350 мкФ. Емкостный накопитель 2 через управляемый разрядник 3 электрически подключен к электродам, один из которых выполнен в виде заглушки 4, а другой 5 - в виде кольца вокруг капиллярного отверстия в изоляторе 6.

Толщина изолятора 50 мм, диаметр отверстия 10 мм. В капиллярном отверстии в изолятора 6 установлена цилиндрическая токопроводящая трубка 7 из плазмообразующего материала, например алюминия. В примере выполнения трубка 7 изготовлена из алюминиевой фольги толщиной 20 мкм. Трубка 7 находится в электрическом контакте с электродами 4 и 5. В трубке 7 может размещаться дополнительное количество плазмообразующего вещества, например, в виде порошка. В примере выполнения полная масса плазмообразующего вещества (масса фольги и порошка алюминия) составляла 200 мг.

Предложенный источник излучения работает следующим образом.

Включается зарядное устройство 1 и осуществляется заряд емкостного накопителя 2. В примере выполнения напряжение накопителя составляет 3,7 кВ, что для величины емкости накопителя 350 мкФ соответствует запасенной электрической энергии 2,4 кДж. После достижения необходимого зарядного напряжения зарядное устройство 1 выключается, напряжение накопителя оказывается приложенным к разрядным электродам управляемого разрядника 3.

От внешнего источника (на фиг.1 не показан) на разрядник 3 подается управляющий импульс, разрядник коммутирует цепь и напряжение емкостного накопителя 1 оказывается приложенным к электродам 4 и 5. Под действием этого напряжения между электродами 4 и 5 по токопроводящей трубке 7 возникает электрический ток, который быстро разогревает и расплавляет материал трубки. Нагретый до температуры, близкой к температуре испарения, расплав фольги уменьшает локальную плотность воздуха вблизи стенки капилляра и тем самым существенно облегчает условия для электрического пробоя. В результате в этой зоне возникает электрический разряд в воздухе между электродами 4 и 5. Возникающая при этом воздушная ударная волна диспергирует жидкую фазу, мелкодисперсные капли алюминия под действием тепловых (преимущественно радиационных) потоков из плазмы испаряются и ионизируются, и начиная с некоторого момента времени состав электроразрядной плазмы определяется в основном материалом фольги. При этом не вся масса плазмообразующего вещества переходит в плазменное состояние, значительная ее доля остается в капельной фазе, и истекающий из капилляра поток является существенно гетерогенным.

Истечение плазмы сопровождается оттеснением воздуха из области, прилегающей к выходному отверстию капилляра, и формированием контактной границы «плазма-воздух». При этом в воздухе образуется ударная волна 8 и прослойка ударно сжатого газа 9, на которой происходит торможение истекающей из капилляра плазменной струи.

Осевое движение ударно сжатой плазмы сопровождается ее радиальным расширением, причем в начальный период торможения скорость радиального расширения близка к продольной скорости контактной границы. Радиальный разлет плазмы приводит к уменьшению ее температуры, конкурирующим с точки зрения выхода излучения процессом является рост геометрических размеров тела свечения. В результате в первые 20...25 мкс истечения мощность излучения, регистрируемая с фронта струи, монотонно возрастает. Яркостные температуры излучения в первом максимуме составляют 8...10 кК при характерных размерах тела свечения 4...7 см.

Примерно к 150 мкс с начала тока процессы ударного торможения плазменной струи в основном завершаются. На этой, быстрой, стадии течения достигаются максимальные яркостные температуры и мощности излучения - осевая сила излучения составляет ~200 кВт/ср.

5 К концу быстрой стадии в результате динамической суперпозиции осевого и радиального движений плазмы контактная граница приобретает характерную «грибовидную» форму, при этом в полости «шляпки гриба» создается разреженность. Это приводит к возникновению обратного движения, последующей закрутке газа на периферии и в конечном итоге к формированию крупномасштабного тороидального плазменного вихря 10.

Одновременно с формированием вихревого течения продолжается истечение из капилляра парокапельного потока, который индуцированным полем вихря захватывается в циркуляционное движение. При взаимодействии с кислородом воздуха, также захватываемым в вихрь, мелкодисперсные капли алюминия окисляются, а выделяемая при этом дополнительная тепловая энергия трансформируется в энергию вращательного движения и энергию излучения. В результате формируется долгоживущее (несколько миллисекунд) плазменно-вихревое образование, которое интенсивно излучает световую энергию с яркостной температурой 3...4 кК.

Приведенное описание работы электроразрядного плазменно-вихревого источника излучения и достижение заявленного технического результата имеет место лишь при условии соблюдения определенных взаимосвязей между конструктивными параметрами устройства.

Так, соотношение (1) ограничивает выбор емкости накопителя и напряжения на нем (а следовательно, и запасаемой электрической энергии) в таких пределах, которые, с одной стороны, обеспечивают расплавление всего помещенного в капиллярное отверстие плазмообразующего вещества, а с другой стороны, предотвращает полное испарение плазмообразующего вещества (поскольку не вся энергия, запасенная в конденсаторе, вкладывается в полезную нагрузку). В результате плазмообразующее вещество попадает в плазменную струю в виде мелкодисперсной гетерогенной суспензии и в таком состоянии эффективно вступает в реакцию окисления кислородом воздуха, интенсивно захватываемым тороидальным вихрем.

Соотношение (2) обеспечивает высокую скорость протекания процессов генерации плазмы, формирование сильной ударной волны в капилляре, необходимой скорости истечения плазмы из отверстия в изоляторе, высокую скорость вихревого движения и интенсивное окисление (горение) мелкодисперсных капель плазмообразующего вещества при его перемешивании с воздухом в вихревой зоне (эффект вихревой горелки).

В результате выполнения указанных соотношений создаются условия для самоподдержания устойчивого плазменно-вихревого образования, излучение которого формирует вторую, медленную, стадию результирующего импульса излучения предложенного источника излучения.

Таким образом, заявленная в формуле изобретения совокупность существенных признаков обеспечивает при работе предложенного электроразрядного плазменно-вихревого источника излучения протекание таких физических процессов, которые приводят к двухстадийному характеру образующейся излучающей плазмы и, соответственно, к двухстадийному импульсу излучения. Наличие 2-й, медленной, стадии на порядок увеличивает общий высвет излучения и КПД источника по

отношению к электрической энергии, запасенной емкостным накопителем.

На фиг.2 изображен характерный вид импульса излучения, формируемого предложенным электроразрядным плазменно-вихревым источником излучения, при регистрации с фронта ударной волны. Здесь $P_{изл}$ - интегральная по спектру сила излучения; $E_{изл}$ - энергия излучения в единичном телесном угле.

Расчеты, выполненные на основании результатов экспериментальных измерений показывают, что полная энергия излучения в телесном угле 4π стерадиан оказывается близкой к энергии, запасенной в емкостном накопителе, т.е. КПД предложенного источника излучения по отношению к запасенной в емкостном накопителе электрической энергии приближается к 1. Вполне вероятно, что при более детальном подборе конструктивных параметров в пределах, определяемых соотношениями (1) и (2), можно достичь величины КПД больше 1, что в данном случае не противоречит закону сохранения энергии.

Действительно, общие затраты энергии на образование и поддержание излучающей плазмы и квазиустойчивого плазменно-вихревого излучающего образования складываются из электрической энергии, запасенной в емкостном накопителе, и тепловой энергии, выделяющейся при протекании химической реакции окисления алюминия, присутствующего в плазменном вихре в виде мелкодисперсных капель.

Таким образом, КПД предлагаемого устройства, определяемый как отношение полной излученной энергии к энергии, запасенной в емкостном накопителе, вполне может превышать 1.

Предложенный электроразрядный плазменно-вихревой источник излучения может быть использован, например, для проверки и калибровки различных фотоприемников с одновременной регистрацией работоспособности сравнительно быстропротекающих и медленнопротекающих процессов. Кроме того, такая уникальная форма выходного импульса излучения позволяет применить предложенный источник для имитации специальных воздействий, например излучения воздушного ядерного взрыва.

Формула изобретения

1. Электроразрядный плазменно-вихревой источник оптического излучения, содержащий зарядное устройство, емкостный накопитель, управляемый разрядник, два электрода, размещенных у капиллярного отверстия в плоском изоляторе, один из них выполнен в виде заглушки, при этом емкостный накопитель, электроды и управляемый разрядник электрически соединены между собой так, что образуют разрядный контур, отличающийся тем, что в капиллярном отверстии установлена цилиндрическая токопроводящая трубка из плазмообразующего вещества, второй электрод выполнен в виде кольца, причем оба электрода установлены в электрическом контакте с токопроводящей втулкой, а конструктивные параметры устройства удовлетворяют соотношениям

$$Q_{пл} < \frac{CU^2}{2m} \leq Q_{исп}$$

$$\frac{U^2}{Ad\Delta} \sqrt{\frac{C}{L}} \geq 1$$

где C - емкость накопителя, Ф;

U - напряжение заряда емкостного накопителя, В;

m - масса плазмообразующего вещества, кг;

$Q_{пл}$ - удельная теплота плавления плазмообразующего вещества, Дж/кг;

$Q_{исп}$ - удельная теплота испарения плазмообразующего вещества, Дж/кг;

d - диаметр капиллярного отверстия в плоском изоляторе, м;

Δ - длина капиллярного отверстия, м;

L - индуктивность разрядного контура, Гн;

$A=10^{10}$ Вт/м² - постоянный коэффициент.

5

2. Электроразрядный плазменно-вихревой источник оптического излучения по п.1, отличающийся тем, что внутри цилиндрической токопроводящей трубки размещено дополнительное количество плазмообразующего вещества.

10

3. Электроразрядный плазменно-вихревой источник оптического излучения по п.1 или 2, отличающийся тем, что в качестве плазмообразующего вещества выбран алюминий.

15

20

25

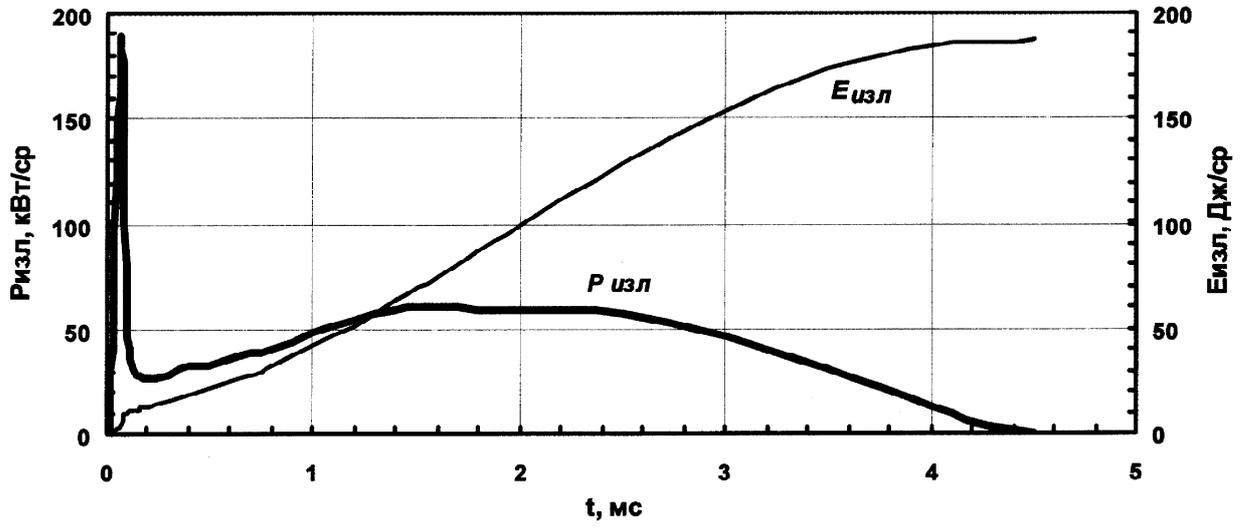
30

35

40

45

50



Фиг. 2