

**УКРАЇНА****(19) UA****(11) 112404****(13) C2****(51) МПК****H01J 37/075** (2006.01)**C23C 14/24** (2006.01)**C23C 14/30** (2006.01)**C23C 14/54** (2006.01)

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД****(21) Номер заявки:** а 2009 12432**(22) Дата подання заявки:** 01.12.2009**(24) Дата, з якої є чинними  
права на винахід:** 12.09.2016**(31) Номер попередньої  
заявки відповідно до  
Паризької конвенції:** 61/118,812**(32) Дата подання  
попередньої заявки  
відповідно до  
Паризької конвенції:** 01.12.2008**(33) Код держави-учасниці  
Паризької конвенції,  
до якої подано  
попередню заявку:** US**(41) Публікація відомостей  
про заявку:** 10.06.2010, Бюл.№ 11**(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту:** 12.09.2016, Бюл.№ 17**(72) Винахідник(и):****Кірушко Володимир В. (UA),****Джеймс В. Ніл (US),****Рябенко Сергій І. (UA)****(73) Власник(и):****ЮНАЙТЕД ТЕКНОЛОДЖІЗ КОРПОРЕЙШН,  
One Financial Plaza, Hartford, CT 06103, USA  
(US)****(74) Представник:****Дубинський Михайло Ілліч, реєстр. №70****(56) Перелік документів, взятих до уваги  
експертизою:**

US 3909662 A, 30.09.1975

US 2005092253 A1, 05.05.2005

US 20060250092 A1, 09.11.2006

JP 9170079 A, 30.06.1997

JP 60007051 A, 14.01.1985

UA 82852 C2, 26.05.2008

JP 60080212 A, 08.05.1985

RU 2059737 C1, 10.05.1996

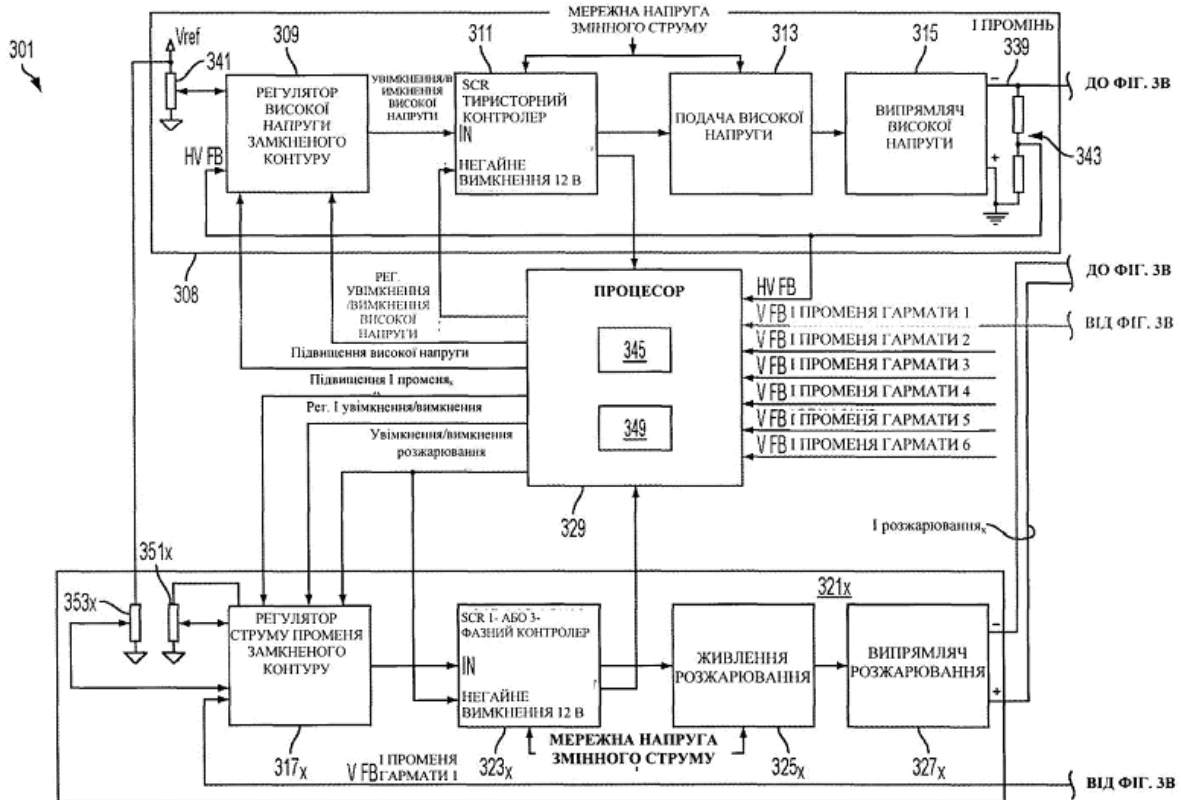
GB 1263532 A, 09.02.1972

**(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЗА ПОДАЧЕЮ СТРУМУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПРОМЕНЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ГАРМАТИ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПРОМЕНЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ГАРМАТИ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ****(57) Реферат:**

Описуються системи та способи, які дозволяють контролювати струм та напругу електронного променя. Системи та способи реагують на несправні стани, такі, як дуговий розряд, який виникає під час процесів випарювання та осадження, для вимкнення та захисту відповідного обладнання електроживлення. Системи та способи можуть забезпечувати оперативний контроль струму променя для забезпечення стійкого функціонування електронно-променевих гармат під час роботи у режимі нагрівання та розплавлення.

**UA 112404 C2**

Регулювання струму електронного променя для осадження з парової фази



Фіг. 3А

Заявляється пріоритет Патентної заявки США № 61/118,812, поданої 1 грудня 2008 р., під назвою "Регулювання струму електронного променя для осадження з парової фази", опис якої включено авторами шляхом посилання у повному обсязі, так само, якби її було викладено без скорочень.

Винахід в цілому стосується галузі вакуумного осадження. Більш конкретно винахід стосується систем та способів регулювання струму розжарювання електронного променя, яке застосовують при фізичному осадженні з парової фази з випарюванням електронним променем для лопатей турбін авіадвигунів та додаткових пристосувань.

У наш час тривають розробки способів вакуумного осадження тонких плівок та покриття. Це ж саме стосується процесів, обладнання, застосування та збуту.

Фізичне осадження з парової фази з випарюванням електронним променем (фізичне осадження з парової фази) являє собою технологію вкривання матеріалів, при якій покриття, таке, як метал, сплав або кераміку розплавляють, випарюють у вакуумі, а потім осаджують на заготовку. Матеріал, який підлягає осадженню, перетворюють на пару фізичними засобами. Зазвичай процес передбачає осадження атомів або молекул по черзі. Оскільки процес здійснюють у вакуумі, ця технологія є екологічно безпечною, придатною для заміни на інші способи вкривання у багатьох випадках застосування. Ця технологія дозволяє одержувати покриття для широкого промислового застосування.

Способи осадження з парової фази є атомістичними, і згідно з ними, матеріал, випарений з твердого або рідкого джерела, переносять як пару через вакуум або середовище з низьким тиском. При контакті з заготовкою він конденсується. Способи осадження з парової фази застосовують для нанесення плівок, які мають товщину у межах від кількох нанометрів до тисяч нанометрів, однак вони можуть застосовуватися для утворення багатошарового покриття, товстого покриття та окремих структур.

Вакуумне випарювання є способом осадження з парової фази, при якому матеріал з джерела для термічного випарювання досягає субстрату без зіткнення з молекулами газу у просторі між джерелом та субстратом. Траєкторія випареного матеріалу перебуває у зоні прямої видимості.

Обладнання, яке застосовують для створення середовища осадження, є складовою частиною процесу. Головними компонентами системи осадження є камера для осадження, засоби осадження, фіксуючі пристосування (які тримають деталі, що підлягають вкриванню) та система вакуумного насоса (яка видаляє гази та пару з камери для осадження).

Створення вакууму зменшує тиск газу таким чином, що випарені атоми мають велику середню довжину вільного пробігу і не створюють ядер у парі для утворення сажі. Вакуум також знижує рівень забруднення до моменту, коли може бути осаджена потрібна плівка. Фіксуючі пристосування тримають субстрати, які підлягають вкриванню, і забезпечують переміщення відносно джерела випарювання. Це часто буває необхідним для забезпечення рівномірного осадження на велику площу, складну поверхню або на багато субстратів. Камера для осадження має такий розмір, що дозволяє вміщувати фіксуючі пристосування і забезпечувати простір для додаткових пристосувань, таких, як засувки, засоби контролю швидкості осадження, нагрівачі і т. ін. Вимагаються належні проектування, конструювання, експлуатація та технічне обслуговування для забезпечення відтворюваності виробничого процесу з високим виходом продукції та потрібною продуктивністю.

Джерелом випарювання зазвичай є високоенергетична електронно-променева гармата, яка є сфокусованою і растрованою по поверхні матеріалу джерела. Електронні промені являють собою термокатодні або розжарювальні термоіонні гармати, у яких електрони генеруються волоском розжарювання з високотемпературного сплаву, такого, як вольфрамовий. Електрони променя генеруються через подачу на катод незмінної напруги, зазвичай від 20 000 до 120 000 В. Електронна емісія від катода збільшується шляхом бомбардування його електронами від електрично нагрітого волоска, зазвичай при 1000 В.

Аксіальну електронно-променеву гармату як засіб випарювання показано на Фіг. 1. Під час роботи гармати катод 101 електрично нагрівають шляхом пропущення струму через волосок 103, доки він не почне випускати електрони 105 через термоіонну емісію. Електрони бомбардують катод 101, нагріваючи його і викликаючи його власну електронну емісію. Відразу після того, як катод 101 розпочав випускати електрони, електронне бомбардування від катода у комбінації з прямим електронагріванням підвищує температуру катода, збільшує густину його струму електронної емісії, в результаті чого збільшується поверхня емісії, порівняно з тією, яка досягалася б через застосування лише катода.

У гарматних системах застосовують електромагніти, розташовані у корпусі гармати для фокусування 107 та сканування 109 променя. Сканування променя є невід'ємною особливістю,

оскільки воно забезпечує швидке, рівномірне, контрольоване атомістичне випарювання з максимально можливої поверхні мішені 111.

Фіг. 2 є схемою типового процесу. Заготовку 201 тримають при певній температурі для забезпечення належного прилипання випареного матеріалу. Дві 203, 205 з шести електронно-променевих гармат є спрямованими на лотки, які містять подрібнений керамічний матеріал або графіт, розташований поблизу від заготовки 201, для непрямого нагрівання. Для випарювання застосовують до чотирьох гармат 207, 209, 211, 213. На Фіг. 2 також показана система відхилення електронного променя 221 та контролер руху 223.

Визначення й регулювання максимальної потужності електронно-променевої гармати для систем високого або низького вакуумного випарювання є проблематичним через непевність, пов'язану з визначенням величини різних втрат енергії електронного променя між утворенням променя та утворенням пари. Кількість енергії електронного променя, фактично доступна для випарювання матеріалу, залежить від втрат енергії, які відбуваються, наприклад, всередині гармати через те, що певна частина променя ударяється об різні частини гармати, у газовій та паровій хмарі 225 через зіштовхування з розсіюванням від поверхні випарюваного матеріалу в результаті зворотного розсіювання електронів, через спрямування у тигель, який містить розплавлений матеріал, від випромінюючої поверхні розплавленої випарюваної речовини і через конвекцію, викликану газовим струменем, який проходить через поверхню випарюваної речовини. При описаних вище втратах енергії та робочих умовах проблеми, пов'язані з електричними розрядами, виявляють себе у високій напрузі у присутності високої пари. Пара може стати іонізованою, що в результаті веде до взаємодії з волоском розжарювання. Типовим порогом для пристроїв для нанесення покриття є прискорювальна напруга приблизно 16 кВ; при нижчій напрузі промені не проникають у пару належним чином. При робочій напрузі може відбуватися дуговий розряд. Дуговий розряд викликає швидкий неконтрольований струм розжарювання. Дуги, викликані іонізованими парами, виникають між корпусом пристрою для нанесення покриття та ланцюгами високої напруги. Найчастіше дуги виникають у гарматах та високовольтних вхідних ланцюгах.

Між електронно-променевими гарматами може відбуватися переддугова або бездугова взаємодія. Про це свідчать коливання струму розжарювання, які можуть відбуватися спонтанно або тоді, коли струм променя на будь-якій одній або кількох гарматах спеціально змінюється. Контроль термічного процесу під час цих явищ може бути втрачений, при різкому підвищенні температури субстрату, що може негативно впливати на характеристики (мікроструктуру) нанесеного покриття.

Завдання полягає у забезпеченні незмінних умов виробництва при забезпеченні захисту для систем забезпечення електронно-променевої гармати. Таким чином, бажаною є розробка системи та способу захисту підсистем гармати у разі виникнення дуги у межах гармати або у межах виробничого середовища.

Короткий опис винаходу

Хоча існують різні системи та способи, які дозволяють контролювати струм розжарювання та променя для електронно-променевих гармат, які застосовують для осадження з парової фази, такі системи та способи не є повністю задовільними. Існує потреба у системах та способах, які дозволяють контролювати струм та напругу електронного променя і реагують на умови несправності, такі, як дуговий розряд, який відбувається під час процесів випарювання та осадження, для вимкнення та захисту відповідного енергетичного обладнання.

Хоча системи захисту через зниження дугового розряду та відновлення після дугового розряду можуть бути елементами систем для вкривання з багатьма електронно-променевими гарматами, і ці функції можуть забезпечуватись як допоміжний продукт представленого способу та пристрою, даний винахід може забезпечувати поліпшену термостійкість, яка виявляється у процесі через контроль струму розжарювання електронно-променевої гармати. Термічна стійкість деталей у процесі залежить від вхідних параметрів процесу, таких, як час температура, тиск, співвідношення введеного кисню. Ці параметри впливають на характеристики, які визначають довговічність покриття. Таким чином спроби контролювання цих параметрів для поліпшення стійкості обмежуються потрібними характеристиками покриття.

Винахід забезпечує оперативний контроль струму променя для забезпечення стійкої роботи електронно-променевих гармат під час здійснення режимів нагрівання та розплавлення операції осадження з парової фази. Контролюється струм променя, який подається на кожну гармату, яку застосовують у процесі. Виміряне значення струму використовують у засобі контролю з застосуванням замкненого зворотного зв'язку для непрямого регулювання струму променя через регулювання струму розжарювання. Захист електроживлення може забезпечуватися для

однієї або кількох електронно-променевих гармат, які мають спільне високовольтне джерело живлення для променя.

В одному аспекті винаходу забезпечуються способи контролю електроживлення для електронного променя. Способи згідно з цим аспектом можуть розпочинатися з визначення заданого рівня високої напруги для вихідного високовольтного електроживлення для променя, визначення заданого струму променя, визначення заданого струму розжарювання для вихідного електроживлення для розжарювання, контролювання вихідної напруги високовольтного електроживлення для променя, контролювання струму, який подається на катод електронного променя, та визначення наявності або відсутності несправного стану на основі вихідної напруги високовольтного електроживлення для променя та струму розжарювання.

Інший аспект передбачає виведення значення струму променя на основі струму розжарювання та напруги високовольтного електроживлення для променя.

Ще один аспект винаходу стосується система електроживлення для електронного променя. Системи згідно з цим аспектом винаходу включають джерело високовольтного електроживлення для променя, вихід якого з'єднується з катодом електронної гармати, джерело електроживлення для розжарювання, вихід якого з'єднується з волоском електронної гармати, та процесор, який контролює напругу, яка подається на катод, та струм, який подається на волосок, процесор, який виводить сигнали керування на джерело високовольтного електроживлення для променя та джерело електроживлення для розжарювання, причому сигнали керування реагують на напругу катода та струм розжарювання і вказують на несправні стани електронного променя.

В іншому аспекті система включає задане значення вихідної високої напруги для попереднього визначення високого рівня напруги, задане значення струму електроживлення для розжарювання для попереднього визначення рівня струму для розжарювання та заданий струм променя для попереднього визначення рівня струму променя, причому струм променя залежить від рівня високої напруги та рівня струму розжарювання.

Інші цілі та переваги способів та систем стануть зрозумілими спеціалістам у даній галузі по ознайомленню з детальним описом.

Короткий опис фігур.

Фіг. 1 показує типову електронно-променеву гармату.

Фіг. 2 показує типовий вигляд у розрізі камери осадження з парової фази.

Фіг. 3 показує типову схему системи керування.

Фіг. 4 є типовим графіком, який показує струм променя та струм розжарювання при різних значеннях високої прискорювальної напруги.

Фіг. 5 є блок-схемою типового способу згідно з винаходом.

Фіг. 6 є типовим графіком, який показує функціонування системи під час несправного стану.

Фіг. 7 показує типову схему регулятору струму променя.

Фіг. 8 є типовим графіком вихідного сигналу регулятора 317 струму променя для керування струмом розжарювання.

Варіанти втілення описуються з посиланням на супровідні фігури, на яких однакові номери позначають однакові елементи, і слід розуміти, що вжиті авторами формулювання та термінологія застосовуються з метою опису і не повинні розглядатись як обмежувальні. Застосування авторами понять "включає", "охоплює" або "має" та їх варіантів означає включення перелічених нижче елементів та їх еквівалентів, а також додаткових елементів. Терміни "закріплений", "зв'язаний" та "з'єднаний" вжито у широкому сенсі, і вони охоплюють як пряме, так і непряме закріплення, зв'язування та з'єднання. Крім того, "зв'язаний" і "з'єднаний" не обмежуються фізичним або механічним зв'язуванням або з'єднанням.

Винахід не обмежується якимось конкретним програмним забезпеченням, описаним або непрямо вказаним на фігурах. Для його втілення можуть застосовуватися різні альтернативні програми. Компоненти та елементи програмного забезпечення пояснюються й описуються так, якби вони були елементами апаратних засобів, що є поширеною практикою у даній галузі. Однак різні компоненти способу та системи можуть бути втілені у програмах або апаратних засобах.

Варіанти втілення забезпечують системи та способи регулювання струму розжарювання для електронно-променевих гармат, які застосовують при осадженні з парової фази.

Фіг. 3 є схемою контролю осадження системи 301. У типовій системі застосовують шість електронно-променевих гармат. Однак може застосовуватись і інша кількість гармат. Нижній індекс  $x$  означає компоненти та шляхи сигналу, пов'язані з однією гарматою ( $x = 1, 2, 3, \dots 6$ ).

Система контролю 301 регулює струм променя ( $I_{\text{BEAM}}$ ), який подається на всі гармати 303<sub>x</sub> ( $I_{\text{BEAM}_x}$ ), які застосовують у робочій камері 305 для фізичного осадження з парової фази. Величина струму променя ( $I_{\text{BEAM}_x}$ ), який подається на кожну гармату 303<sub>x</sub>, залежить від величини прискорювальної напруги та струму розжарювання ( $I_{\text{FILAMENT}_x}$ ).

5 Під час осадження з парової фази, вакуум у камері 305, властивості матеріалу 307, який піддається випарюванню, електричний дуговий розряд та інші явища, які відбуваються всередині камери 305 під час процесу, можуть впливати на струм розжарювання гармати 303<sub>x</sub> ( $I_{\text{FILAMENT}_x}$ ). Одночасна робота кількох гармат 303<sub>x</sub>, які живляться від спільного високовольтного (HV) джерела електроживлення, впливає на стійкість гармати 303<sub>x</sub>.

10 Спільна HV-система електроживлення променя 308 включає регулятор 309 високовольтного замкненого контуру, тиристорний контролер 311, високовольтне джерело електроживлення 313 та високовольтний випрямляч 315. Високовольтний випрямляч подає HVDC (високовольтний постійний струм) на катоди гармати ( $I_{\text{BEAM}}$ ).

У системі 301 застосовують тиристорний регулятор 317<sub>x</sub> на шляху струму розжарювання для кожної гармати 303<sub>x</sub> у взаємодії з замкненим зворотним зв'язком як частину загального контролю. Кожна гармата 303<sub>x</sub> має спеціально призначену систему регуляції розжарювання 321<sub>x</sub>, яка включає регулятор струму променя 317<sub>x</sub>, тиристорний контролер 323<sub>x</sub>, живлення розжарювання 325<sub>x</sub> та випрямляч розжарювання 327<sub>x</sub>.

20 Регулятор струму променя 317<sub>x</sub> враховує робочі характеристики контролерів SCR від ENERPRO Corporation серії FCOG 6100 (трифазна пускова панель) або FCRO 2100 (однофазна пускова/регулююча панель). Рівень вхідної команди пускової панелі FCRO 2100 становить від 0 до +5 В постійного струму; водночас кут затримки коливається від 180 до 0 градусів. Можуть застосовуватися й інші пристрої з відповідними характеристиками.

25 Система регулює струм променя ( $I_{\text{BEAM}}$ ) залежно від струму розжарювання окремої гармати ( $I_{\text{FILAMENT}_x}$ ). Зворотна інформація про струм кожного окремого променя ( $I_{\text{BEAM}_x}$ ) ( $V_{\text{FB}_I_{\text{BEAM}_G\text{UN}_x}}$ ) забезпечує незалежний оперативний контроль для кожної гармати 303<sub>x</sub>, яка застосовується і забезпечує стійке функціонування для різних режимів роботи. Попереднє встановлення струму розжарювання ( $I_{\text{FILAMENT}_x}$ ) знижує значення відхилення струму променя, якщо система припиняє роботу у разі несправності або високовольтної дуги, що може трапитися у камері під час процесу.

30 Процесор 329 приймає зворотну інформацію про вихідні дані спільного високовольтного джерела електроживлення 339 ( $HV_{\text{FB}}$ ), струм променя окремої гармати 303<sub>x</sub> ( $V_{\text{FB}_I_{\text{BEAM}_G\text{UN}_x}}$ ) і на основі логіки керування дає вихідний сигнал у відповідь на сигнали зворотного зв'язку, які контролюють спільну систему високовольтного джерела електроживлення 308 та систему регулювання розжарювання 321<sub>x</sub> кожної гармати. Подільник високовольтної напруги 343 забезпечує низьковольтне відображення вихідних даних високовольтного джерела електроживлення 339 як зворотну інформацію ( $HV_{\text{FB}}$ ).

35 Кожна гармата 303<sub>x</sub> включає катод 331<sub>x</sub>, прискорювальний електрод 333<sub>x</sub> та відхиляючу котушку 335<sub>x</sub>. Постійний струм розжарювання 319<sub>x</sub> ( $I_{\text{FILAMENT}_x}$ ) нагріває катод 331<sub>x</sub>, вивільнюючи електрони з його поверхні через термоіонну емісію.

40 Катод 331<sub>x</sub> з'єднується з негативним виходом високовольтного випрямляча 315. Відповідний позитивний вихід високовольтного випрямляча 315 з'єднується з затискачем заземлення камери 305 та затискачем заземлення прискорювального електрода 333<sub>x</sub> для кожної гармати 303<sub>x</sub>. Коли висока напруга подається на кожен катод 331<sub>x</sub>, електрони випускаються й прискорюються через прискорювальний електрод 333<sub>x</sub>, утворюючи електронний промінь 337<sub>xx</sub>.

Відхиляюча котушка 335<sub>x</sub> раstra є електронний промінь 337<sub>x</sub> по об'єкту 307 для випарювання або лоток (не показано) для нагрівання всередині камери 305. Обговорення контролю раstra не охоплюється обсягом цього винаходу.

50 Параметри процесу, такі, як нагрівання і температура та витрата випарюваної речовини, залежать від катодного струму та струму розжарювання. Два графіки залежності високовольтного струму променя від струму розжарювання, які відповідають двом різним заданим значенням високої напруги, показано на Фіг. 6. Вісь Y показує значення контрольованого показника у довільних одиницях. Вісь X показує час. Одиниця вимірювання визначається назвою контрольованого показника. Різні контрольовані показники показано на одній осі Y для кращого розуміння їх залежності від часу: рівень високої напруги 920; пороговий рівень високої напруги детектора компаратора 922; рівень струму детектора компаратора дуги 924; струм променя 926; струм розжарювання 928.

60 Високовольтний пристрій зворотного зв'язку ( $HV_{\text{FB}}$ ) з'єднується з регулятором високої напруги 309 та входом компаратора рівня високої напруги 345, який є частиною процесора 329.

Датчики струму променя 347<sub>x</sub> повідомляють показники струму променя (V\_FB\_I\_BEAM\_GUN<sub>x</sub>), які відповідають кожній гарматі 303<sub>x</sub>.

Детектор дуги 349, який є частиною логіки процесора 329, контролює рівень високої напруги. Система дозволяє запускати регулятори струму променя п'яти гармат відразу по тому, як рівень високої напруги досягає потрібного значення (наприклад, 90 % високої робочої напруги). Детектор дуги 349 застосовують для виявлення умов надструму, які вказують на замикання або високовольтний дуговий розряд. Струм променя (V\_FB\_I\_BEAM\_GUN<sub>x</sub>) також використовують як зворотну інформацію для регулятора струму променя 317<sub>x</sub>. Система компенсує порушення електронного променя 337<sub>x</sub>, які трапляються при контролюванні змін у струмі та напрузі променя кожної гармати.

Джерелом живлення для тиристорного контролера 311 та високої напруги 313 є трифазний змінний струм. Однофазний змінний струм подають на тиристорний контролер 323<sub>x</sub> та живлення розжарювання 325<sub>x</sub>.

Процесор 329 аналізує зворотну інформацію про промінь (IBEAM) (HVFB) та струм (V\_FB\_I\_BEAM\_GUN<sub>x</sub>). Логіка процесора 329 аналізує, чи існують умови надструму. Процесор 329 регулює спільну систему високовольтного джерела електроживлення 308 та систему регуляції розжарювання 321<sub>x</sub> кожної гармати.

Процесор 329 видає команди керування на увімкнення/вимкнення на спільну систему високовольтного джерела електроживлення 308, тиристорний контролер 311 (HV ON/OFF) та регулятор високої напруги 309 (REGHVON/OFF) і регулятор струму променя 317<sub>x</sub> (REG\_I\_ON/OFF<sub>x</sub>) та тиристорний контролер 323<sub>x</sub> (FILAMENT\_ON/OFF<sub>x</sub>) системи регуляції розжарювання контролю 321<sub>x</sub> кожної гармати, таким чином, вмикаючи спільне електроживлення 308 та системи регулювання розжарювання 321<sub>x</sub> гармати для подачі або повторної подачі живлення на гармату.

Спосіб експлуатації показано на Фіг. 5. Після подачі живлення на систему (етап 505) користувач регулює значення заданого рівня високої напруги 341, заданих параметрів променя 353 та заданого значення розжарювання 351 (етап 510).

Процесор 329 перевіряє список допустимих значень, які стосуються можливих електричних несправних станів, для визначення доступності системи (етап 515). Якщо несправні стани не виявляються (етап 520), система гармати є готовою до роботи (етап 525). Винахід дозволяє вмикати регулятор високої напруги 309 (REG\_HV\_ON) та тиристорний контролер 311 (HV ON) (етап 530) і поступово збільшувати (RAMPING\_HV) вихідні дані високовольтного джерела електроживлення 339 через регулятор 309 до заданого значення рівня високої напруги 341 (етап 535).

Задане значення рівня високої напруги 341 використовують для визначення потрібного рівня високої напруги. Регулятор струму променя 317<sub>x</sub> (REG\_I\_ON<sub>x</sub>) та тиристорний контролер 323<sub>x</sub> (FILAMENT\_I\_ON<sub>x</sub>) після цього вмикаються (етап 540).

Відразу по досягненні заданого рівня високої напруги вихідний показник регулятора струму променя 317<sub>x</sub> зростає (RAMPING\_I\_BEAM<sub>x</sub>) до заданого значення 351 (етап 545). Система перебуває у робочому стані (етап 550).

При виникненні несправного стану (етап 555) детектор дуги 349 перемикає контрольні вихідні показники процесора 329 для регулятора SCR 311 (HV\_OFF), регулятора високої напруги 309 (REG\_HV\_OFF), регулятора струму променя 317<sub>x</sub> (REGIOFF<sub>x</sub>) у положення OFF (етапи 560, 565), таким чином, знеструмлюючи джерело енергії променя 308 і вимикаючи засоби випарювання на певний період часу.

Якщо в одній гарматі спостерігається дуговий розряд, усі гармати можуть бути вимкнені. Потрібний період часу залежить від властивостей випарюваних матеріалів і може коливатися у межах 0,2-5 секунд. Тривалість такого часу регулюють шляхом регулювання тривалості блокуючого імпульсу (t паузи 940 після дугового розряду 942 на Фіг. 6), який видається детектором дуги 349 відразу по виявленню дугового розряду.

Фіг. 6 є графіком залежності короткого дугового розряду та реакції системи від часу. Струм променя відстає від струму розжарювання через теплову інерцію катода. Лінії струму розжарювання та струму променя показано у довільних одиницях, оскільки значення струму променя залежить від конструкції гармати, матеріалу катода, робочого значення прискорювальної напруги. Задане значення розжарювання 351 також залежить від цих чинників. Лінія 924 рівня ДУГОВОГО РОЗРЯДУ показує порогові значення детектора 349 струму дуги для кожної гармати. Підвищення струму променя до заданого значення рівня дуги змушує детектор 349 струму дуги видавати контрольний імпульс (t паузи після ДУГОВОГО РОЗРЯДУ), який вимикає джерело високої напруги та регулятори струму променя всіх гармат. Лінії струму променя 926 та струму розжарювання 928 показують значення струму променя та

розжарювання гармати. Відразу по тому, як детектор 349 струму дуги виявляє дуговий розряд, він вимикає джерело високої напруги та регулятори струму променя всіх гармат. Водночас струм променя швидко надає до 0, і струм розжарювання знижується до заданого значення Fil Preset (див. Фіг. 4). Доступний струм розжарювання дозволяє підтримувати нагрітий стан катода і захищає катод від різкої зміни його довжини при увімкненні/вимкненні струму променя. Щойно рівень високої напруги досягає 90 % робочої напруги, Детектор граничної високої напруги 345 дозволяє увімкнути регулятори струму променя. Така логіка керування забезпечує встановлення променя у первісну позицію. Струм розжарювання збільшується з заданою лінійною зміною і відновлює зазначене робоче значення струму променя.

Коли логіка процесора 329 визначає, що несправність усунуто і подію завершено (етап 515), і робота може бути відновлена (етап 520), регулятор високої напруги 309 та тиристорний контролер 311 встановлюються у вихідну позицію і вмикаються ((REG\_HV\_ON), (HV ON)) (етап 525). Водночас процесор 329 дає сигнал про лінійне збільшення електроживлення (RAMPING\_HV), який збільшує вихідний показник регулятора 309 до заданого рівня 341 високої напруги (етап 530).

Сигнал увімкнення розжарювання (FILAMENT\_ON) видається процесором 329 на тиристорний контролер 323<sub>x</sub> та регулятор променя 317<sub>x</sub> додатково до сигналу увімкнення регулятора струму променя 317<sub>x</sub> (REG\_I\_ON<sub>x</sub>) (етап 535).

Процесор 329 видає на регулятор струму променя сигнал підвищення (RAMPINGJ\_BEAM<sub>x</sub>), коли напруга променя (HVFB) досягає 80 %-90 % заданого значення високої напруги 341 (етап 540). Система відновлює роботу (етап 545).

Фіг. 7 показує регулятор струму променя 317<sub>x</sub> для кожної системи регуляції розжарювання 321<sub>x</sub>. Задане значення струму розжарювання 351 дозволяє плавно підвищувати струм розжарювання відразу після увімкнення тиристорного контролера 323<sub>x</sub> (FILAMENT\_I\_ON<sub>x</sub>).

Заданий струм променя встановлюють через потенціометр 353 або за допомогою іншого аналогового пристрою. Компаратор 701 порівнює потрібний заданий струм променя 353 зі зворотною інформацією про фактичний струм променя (V\_FB\_I\_BEAM\_GUN<sub>x</sub>) і видає різницю або сигнал помилки. Сигнал помилки посилюється PI (пропорційно-інтегральним) посилювачем помилки 703. Аналоговий суматор 705 додає задане значення струму розжарювання 351 до вихідного показника посилювача 703.

Обмежувач 707 обмежує вихідний показник суматора 705, запобігаючи насиченню, з застосуванням заданого струму променя 353, який посилюється нелінійно 709, з додаванням заданого значення розжарювання 351, що змінює граничне значення 707. На ФІГ. 8 показаний вихідний сигнал 317 струму для керування струмом розжарювання.

Пристрій керування 711 (наприклад, електронний перемикач) видає сигнал у відповідь на сигнал регулятора променя (REG\_I\_ON/OFF<sub>x</sub>), який змінює характеристики посилювача помилки 703 під час дугового розряду. Відразу після виникнення дугового розряду пристрій керування 711 вимикає посилювач помилки 703. У цьому разі вихідний сигнал регулятора 317 відповідає попередній настройці I Fil (див. Фіг. 4).

Попередня настройка струм розжарювання 713 встановлює і рівень розжарювання через регулятор 317<sub>x</sub>, коли розжарювання гармати перебуває у позиції ON. Такий рівень розжарювання регулюють для кожної гармати окремо на основі заданого значення розжарювання 351. Процедура регулювання заданого значення 351: 1) встановлення заданого значення високої напруги 341 на робочий рівень HV; 2) попереднє встановлення заданого значення I променя 353 приблизно на 0 mA; 3) повільне підвищення заданого значення розжарювання 351, доки струм променя не досягає приблизно 5 mA. Фіксація отриманого в результаті показника заданого значення розжарювання 351.

Винахід полегшує режим функціонування регулятора 317<sub>x</sub> та катода 33 їх гармати при стабілізації струму променя. Застосування зворотної інформації про струм променя замкненого контуру у регуляторі 317<sub>x</sub> з регулюванням попередньо виготовленого тиристорного контролера 323 струму розжарювання кожної електронно-променевої гармати забезпечує стійке функціонування системи у різних режимах випарювання та осадження. Точки I розжарювання Задане значення A та B на Фіг. 4 можуть розглядатись як первісне значення розжарювання катода при робочій прискорювальній напрузі 25 кВ (точка A) або 18кВ (точка B).

Точки A, B показують приблизні значення струму розжарювання при прискорювальній напрузі 25 кВ та 18 кВ, коли струм променя починає виявлятися.

Контроль здійснюють в описаний нижче спосіб. Див. Фіг. 3B, Фіг. 4. Задане значення розжарювання 351 встановлює первісне значення струму розжарювання катода (попередня\_настройка\_I\_Fil), яке залежить від заданої робочої високовольтної напруги (див. точки A, B на Фіг. 4). Задане значення променя 353 встановлює рівень сигналу для регулятора



струму променя замкненого контуру 317, який передає команду на вхід тиристорного контролера 323, який забезпечує контроль над тріодними тиристорами живлення розжарювання 325. Від виходу волоска живлення розжарювання 325 напруга керування подається на випрямляч струму розжарювання 327, який забезпечує контроль над постійним струмом розжарювання 319 катода 331 гармати 303. Сигнал датчика струму променя 3А7 гармати 303 використовується як сигнал негативного зворотного зв'язку в регуляторі струму променя замкненого контуру 317. Відхилення значення струму променя від заданого значення змушує регулятор 317 видавати сигнал контролю розжарювання, який компенсує коливання струму променя.

Хоча винахід було описано авторами з посиланням на конкретні варіанти втілення, слід розуміти, що ці варіанти втілення лише пояснюють принципи та приклади застосування даного винаходу. Таким чином, слід розуміти, що існує можливість численних модифікацій наведених варіантів втілення, і що можуть бути розроблені інші пристрої без відхилення від суті та обсягу даного винаходу, які визначаються супровідною формулою винаходу.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб контролю за подачею струму для електронного променя електронно-променевої гармати, у якому:

встановлюють задане значення рівня високої напруги для виходу високовольтного джерела живлення електронного променя;

встановлюють задане значення струму електронного променя;

встановлюють задане значення струму для волоска розжарювання катода;

відстежують вихідну напругу високовольтного джерела живлення електронного променя;

відстежують струм, що надходить до катода електронного променя;

визначають, чи відбулася подія несправного стану, який зазнає електронний промінь електронно-променевої гармати, ґрунтуючись на вихідній напрузі високовольтного джерела живлення електронного променя та струмі для волоска розжарювання катода; та

блокують зазначені вихід високовольтного джерела живлення електронного променя та вихід джерела живлення волоска розжарювання катода за наявності події несправного стану, причому на шляху струму для волоска розжарювання катода для забезпечення замкненого контура зворотного зв'язку для електронно-променевої гармати застосовують тиристорний регулятор, а для забезпечення керуючих сигналів для високовольтного джерела живлення променя та джерела живлення волоска розжарювання катода застосовують логічний пристрій, причому керуючі сигнали залежать від напруги катода і струму розжарювання та вказують на несправні стани, які зазнає електронний промінь, при цьому час блокування залежить від властивостей випарюваних матеріалів і знаходиться у межах приблизно 1,5 секунд, і його регулюють шляхом регулювання тривалості блокуючого імпульсу.

2. Спосіб за п. 1, у якому несправний стан включає несправний стан, вибраний з групи, яка включає утворення дуги, коливання струму розжарювання.

3. Спосіб за п. 1 або 2, у якому додатково визначають значення струму променя на основі зазначеного струму розжарювання та зазначеної напруги високовольтного джерела живлення електронного променя.

4. Джерело живлення електронного променя електронно-променевої гармати, що включає:

високовольтне джерело живлення електронного променя, що має вихід для з'єднання з катодами електронно-променевих гармат;

джерело живлення волоска розжарювання катода електронно-променевої гармати;

тиристорний регулятор на шляху струму для волоска розжарювання катода для забезпечення замкненого контура зворотного зв'язку для електронно-променевої гармати;

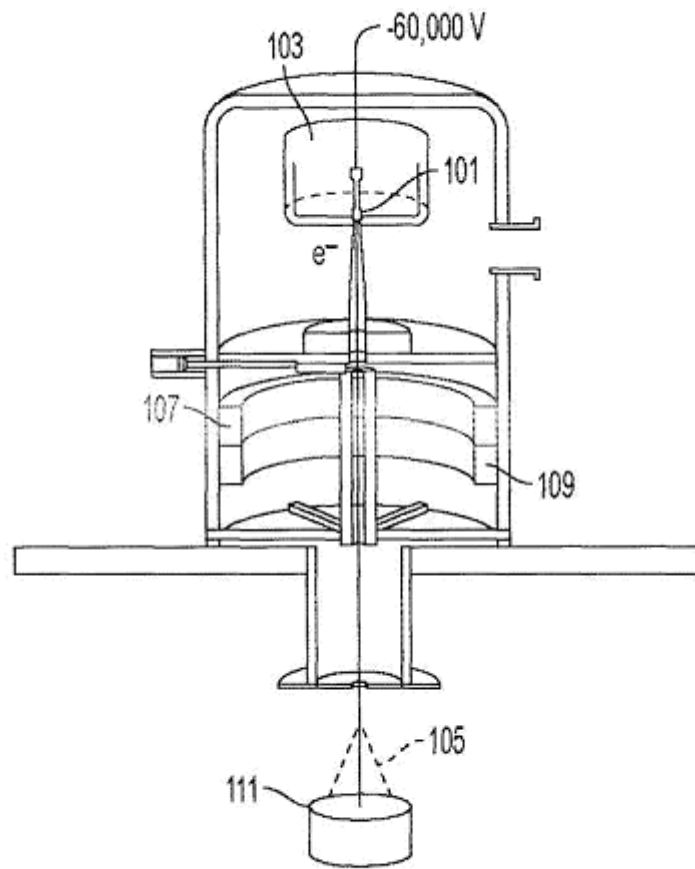
логічний пристрій, виконаний з можливістю відстеження електричної напруги, прикладеної до катода та струму катода, де логічний пристрій виконаний з можливістю забезпечення керуючих сигналів для високовольтного джерела живлення променя та джерела живлення волоска розжарювання катода, причому керуючі сигнали залежать від напруги катода і струму розжарювання, та вказують на несправні стани, які зазнає електронний промінь, ґрунтуючись на:

заданому значенні вихідного рівня високої напруги для попередньо визначеного рівня високої напруги;

заданому значенні струму джерела живлення волоска розжарювання катода для попередньо визначеного рівня струму розжарювання; та

- заданому значенні струму електронного променя для попередньо визначеного рівня струму електронного променя, де зазначений струм електронного променя залежить від рівня високої напруги та рівня струму для волоска розжарювання катода, де
- 5 джерело живлення виконане з можливістю блокування виходу високовольтного джерела живлення електронного променя та виходу джерела живлення волоска розжарювання катода за наявності події несправного стану, при цьому час блокування залежить від властивостей випарюваних матеріалів і знаходиться у межах приблизно 1,5 секунд, і його регулюють шляхом регулювання тривалості блокуючого імпульсу.
- 10 5. Джерело живлення за п. 4, де несправний стан включає несправний стан, вибраний з групи, яка включає утворення дуги, коливання струму розжарювання.
6. Пристрій для осадження, що має:
- камеру, яка має внутрішню частину;
- принаймні одну електронну гармату, розташовану та орієнтовану для спрямування відповідного електронного променя у камері для осадження; та
- 15 систему контролю, з'єднану з принаймні однією електронною гарматою, яка має джерело живлення електронного променя, вихід якого з'єднаний з катодом електронного променя;
- джерело живлення волоска розжарювання, вихід якого з'єднаний з волоском розжарювання електронного променя;
- 20 тиристорний регулятор на шляху струму для волоска розжарювання катода для забезпечення замкненого контура зворотного зв'язку для електронно-променевої гармати;
- логічний пристрій, виконаний з можливістю відстеження електричної напруги, прикладеної до катода, та струму, прикладеного до волоска розжарювання катода, де логічний пристрій виконаний з можливістю забезпечення керуючих сигналів для високовольтного джерела
- 25 живлення променя та джерела живлення волоска розжарювання катода, причому керуючі сигнали залежать від напруги катода і струму розжарювання та вказують на несправні стани, які зазнає електронний промінь, ґрунтуючись на:
- заданому значенні вихідного рівня високої напруги для попередньо визначеного рівня високої напруги;
- 30 заданому значенні струму джерела живлення волоска розжарювання катода для попередньо визначеного рівня струму розжарювання; та
- заданому значенні струму електронного променя для попередньо визначеного рівня струму електронного променя, де зазначений струм електронного променя залежить від рівня високої напруги та рівня струму розжарювання, де
- 35 зазначене джерело живлення виконане з можливістю блокування виходу високовольтного джерела живлення електронного променя та виходу джерела живлення волоска розжарювання катода за наявності події несправного стану, при цьому час блокування залежить від властивостей випарюваних матеріалів і знаходиться у межах приблизно 1,5 секунд, і його регулюють шляхом регулювання тривалості блокуючого імпульсу.
- 40 7. Пристрій за п. 6, де несправний стан включає несправний стан, вибраний з групи, яка включає утворення дуги, коливання струму розжарювання.
8. Пристрій за п. 7, який має множину електронних гармат.
9. Пристрій за п. 8, який включає:
- множину електронних гармат, розташованих та орієнтованих для спрямування об'єднаного
- 45 електронного променя у камері для осадження; та
- систему контролю, з'єднану з множиною електронних гармат, яка має принаймні перший тиристорний регулятор, що забезпечує замкнений контур зворотного зв'язку принаймні першої гармати з множини електронних гармат.
10. Пристрій за п. 9, який включає множину тиристорних регуляторів, що забезпечують
- 50 замкнений контур зворотного зв'язку відповідної множини електронних гармат.
11. Пристрій за будь-яким з пп. 9-10, де
- множина електронних гармат складається з 4-8 електронних гармат, кожна з яких керується принаймні одним з відповідних тиристорних регуляторів.

**Регулювання струму електронного променя для осадження з парової фази**



**Fig. 1**

Регулювання струму електронного променя для осадження з парової фази

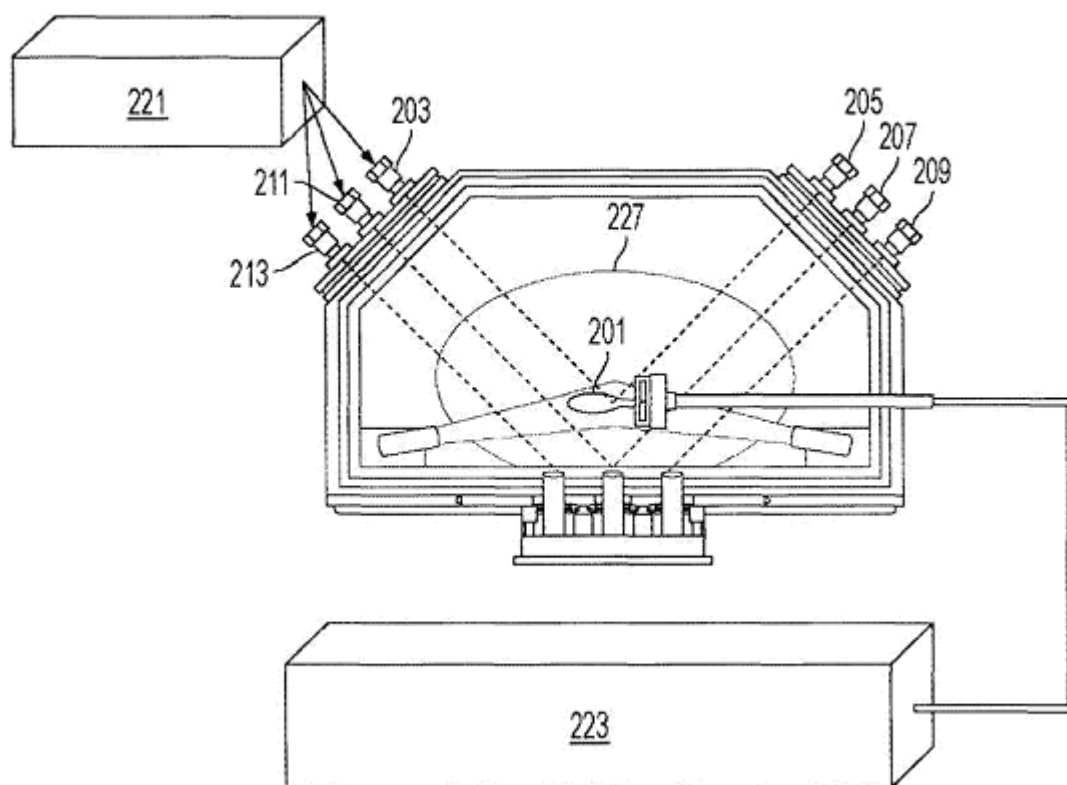


Fig. 2

## Регулювання струму електронного променя для осадження з парової фази

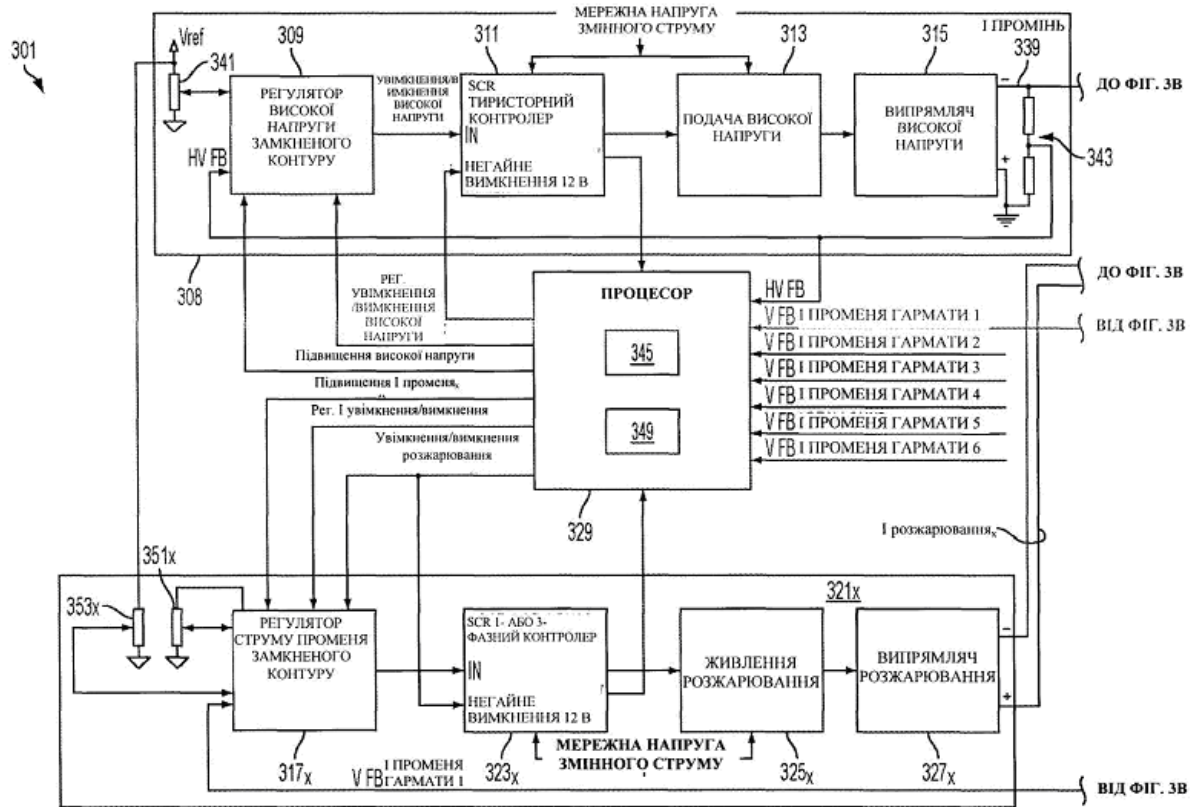


Fig. 3A

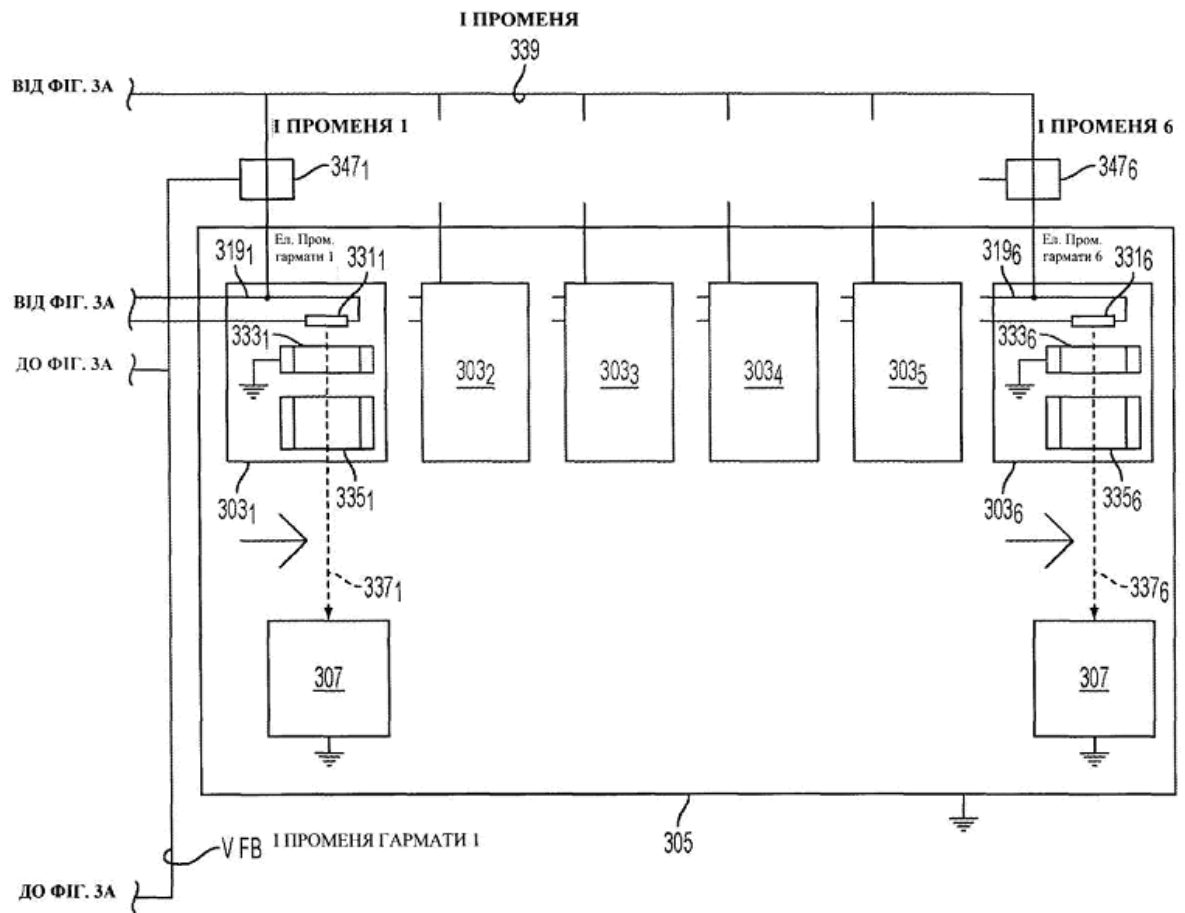
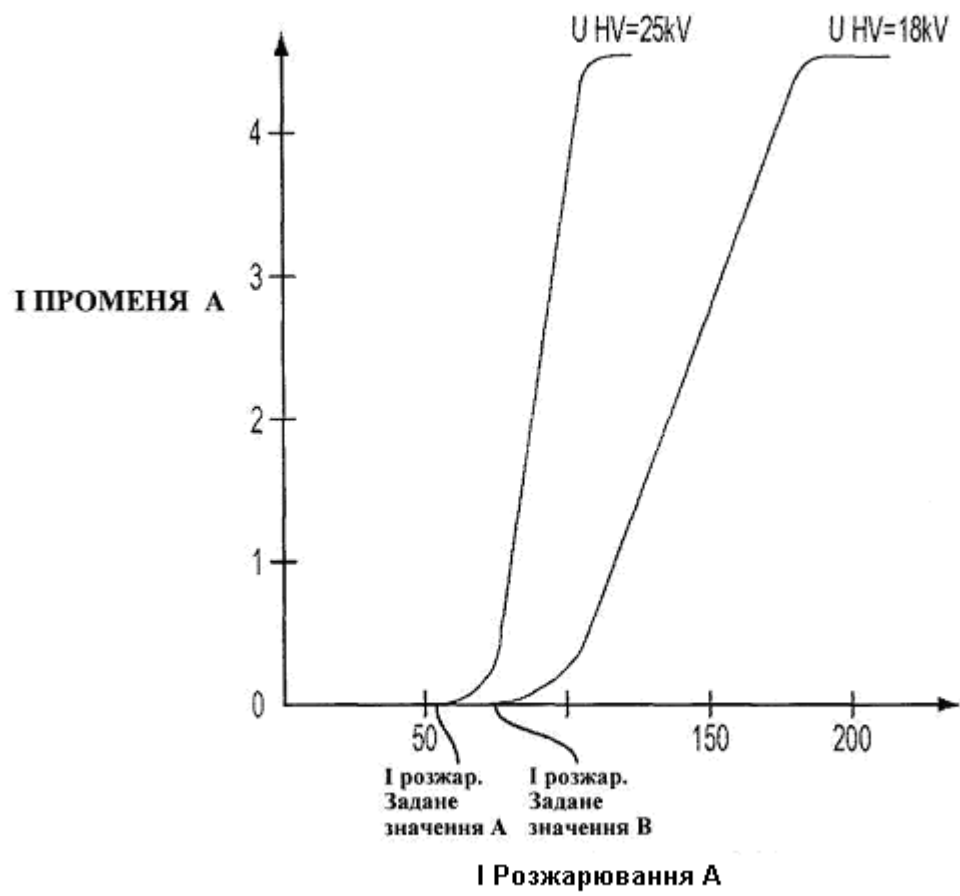
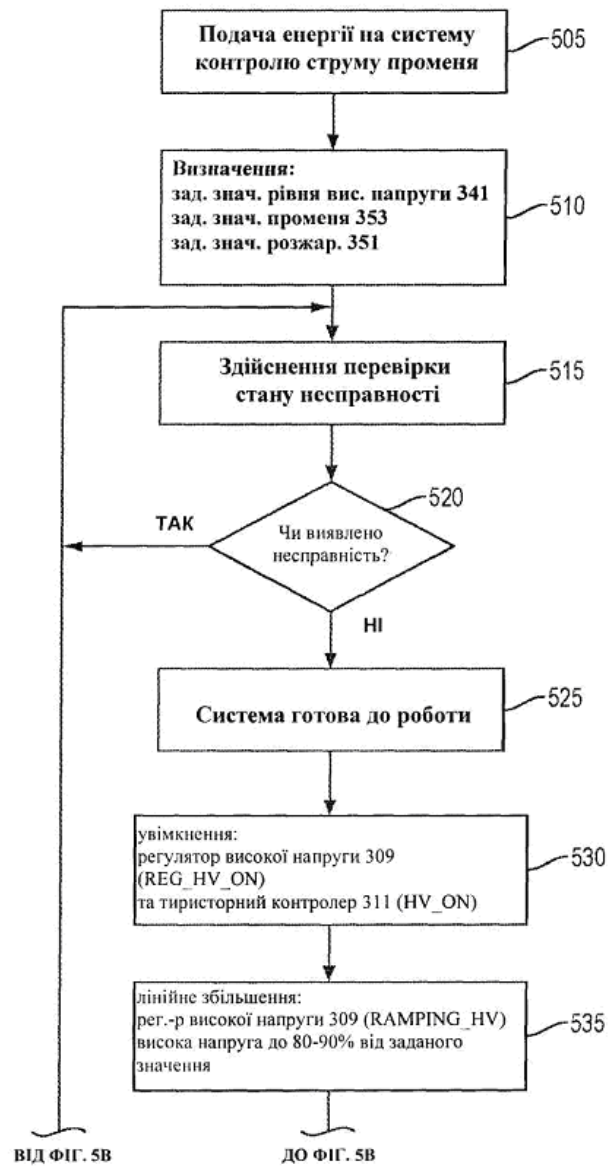


Fig. 3B



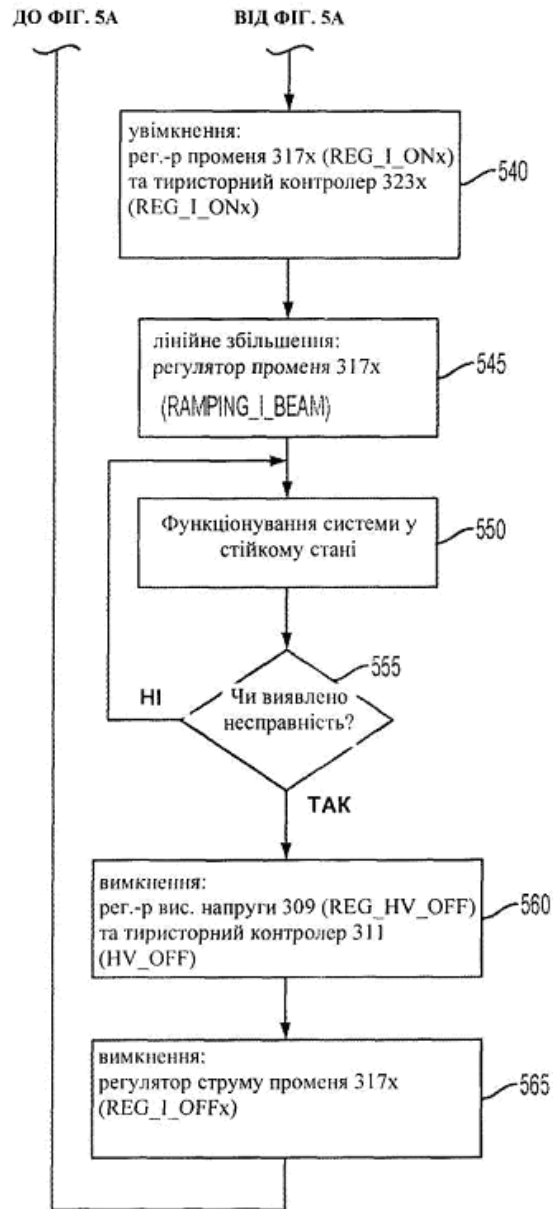
Фіг. 4

РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ ЕЛЕКТРОННОГО  
ПРОМЕНЯ ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ З ПАРОВОЇ ФАЗИ



Фіг. 5А





Фіг. 5В

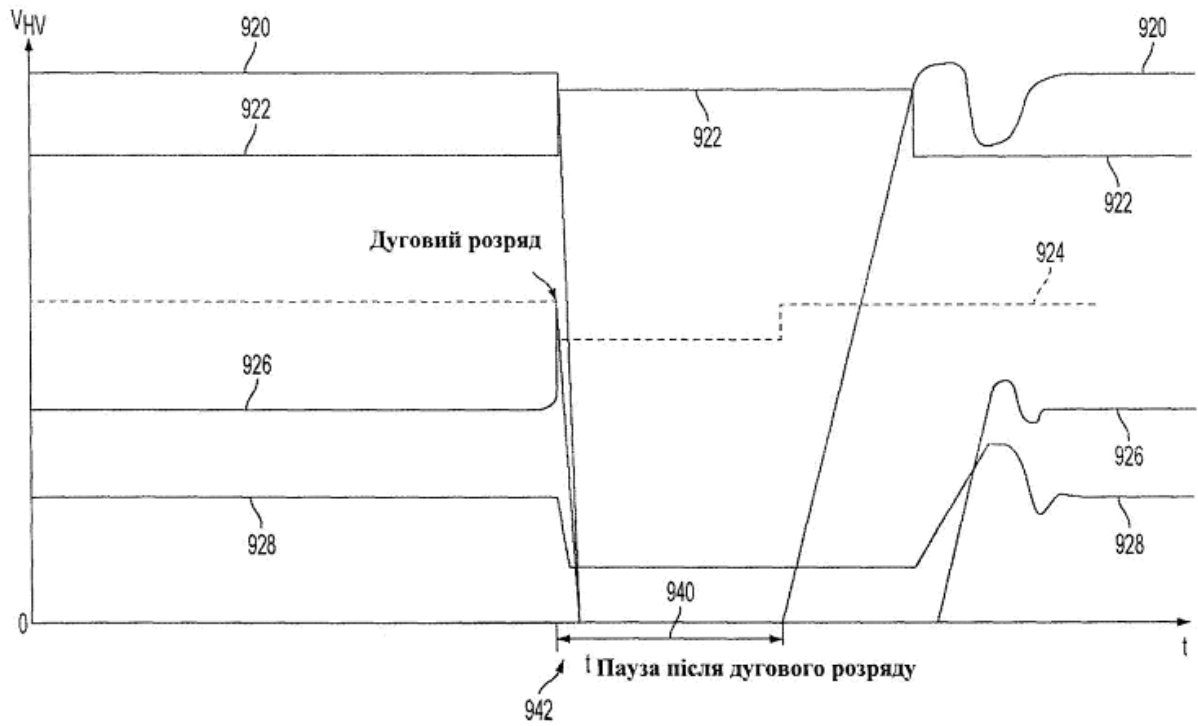


Fig. 6

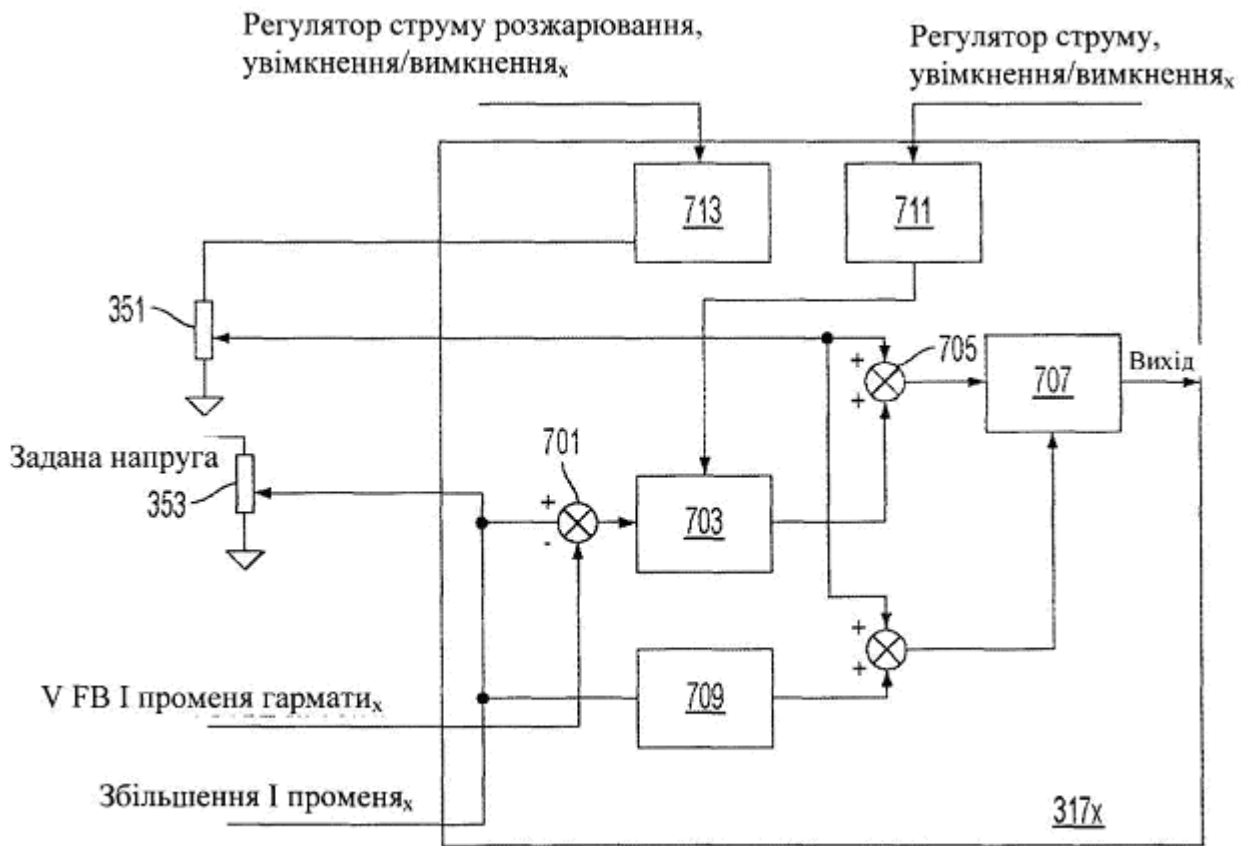
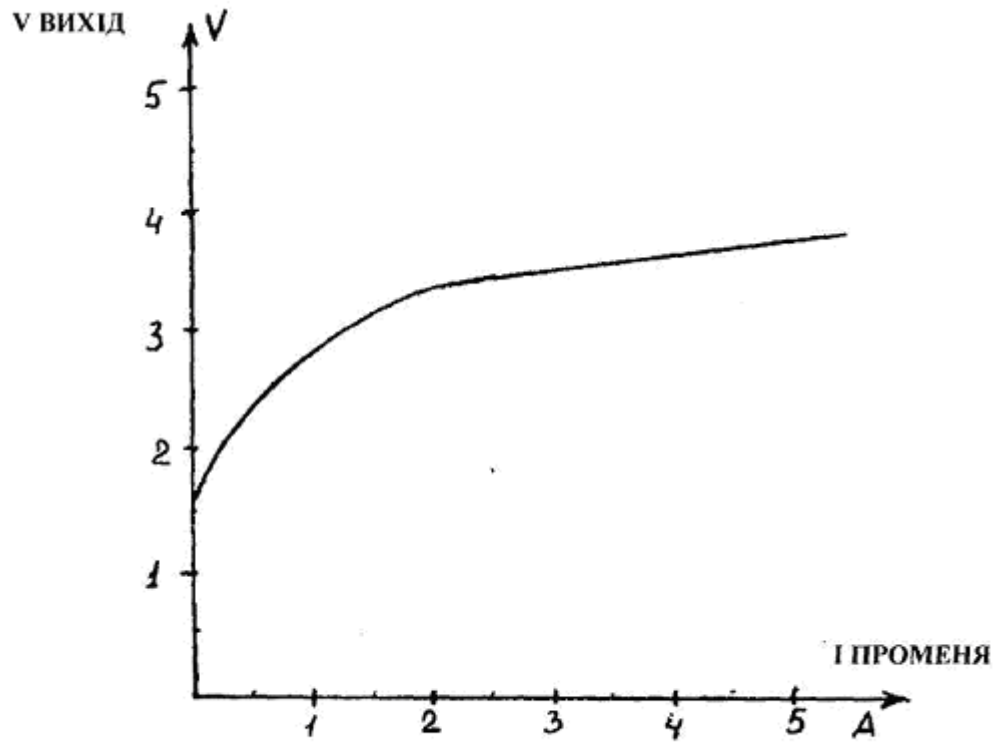


Fig. 7



Фіг. 8

---

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601