



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **128047** (13) **C2**
(51) МПК (2024.01)
H05B 6/06 (2006.01)
A24F 47/00
A24F 40/53 (2020.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2021 05736	(72) Винахідник(и): Бейдельман Кіт Джордж (US)
(22) Дата подання заявки: 09.03.2020	(73) Володілець (володільці): НІКОВЕНЧЕРЗ ТРЕЙДІНГ ЛІМІТЕД, Globe House, 1 Water Street, London, Greater London WC2R 3LA, United Kingdom (GB)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 21.03.2024	(74) Представник: Михайлюк Ганна Валентинівна, реєстр. №184
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 62/816,287	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: CN 204205561 U, 11.03.2015 WO 2018/073376 A1, 26.04.2018 US 5530229 A, 25.06.1996 US 2017/251725 A1, 07.09.2017
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 11.03.2019	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 24.11.2021, Бюл.№ 47	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 20.03.2024, Бюл.№ 12	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/EP2020/056223, 09.03.2020	

(54) АПАРАТ ДЛЯ ПРИСТРОЮ, ЩО ГЕНЕРУЄ АЕРОЗОЛЬ

(57) Реферат:

Описано апарат для пристрою, що генерує аерозоль. Апарат містить: схему нагрівання для нагрівання пристрою нагрівання, при цьому пристрій нагрівання виконаний для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, з генеруванням таким чином аерозолі; пристрій для вимірювання температури для вимірювання температури пристрою; і контролер для керування подачею енергії на схему нагрівання. Контролер виконаний з можливістю: визначення характеристики, яка вказує, що енергія подається на схему нагрівання протягом заданого періоду часу, і визначення зміни в температурі, виміряній пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду часу, а також здійснення дії керування, якщо на основі визначеної характеристики і збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, контролер визначає, що задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, які вказують на несправність пристрою для вимірювання температури.

UA 128047 C2

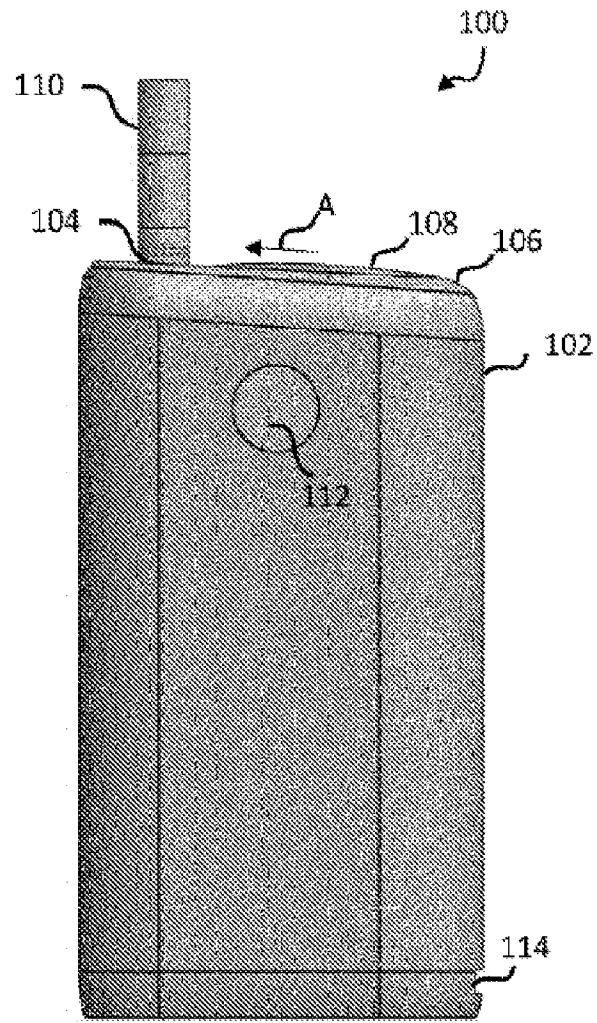


Fig. 1

Галузь техніки

Даний винахід стосується апарату для пристрою, що генерує аерозоль.

Передумови винаходу

У курільних виробках, таких як сигарети, сигари тощо, під час використання спалюється тютюн з утворенням тютюнового диму. Були зроблені спроби надати альтернативи цим виробам, що спалюють тютюн, шляхом створення продуктів, які вивільнюють сполуки без спалювання. Прикладами таких продуктів є нагрівальні пристрої, які вивільняють сполуки шляхом нагрівання, а не спалювання матеріалу. Матеріал може являти собою, наприклад, тютюн або інші нетютюнові продукти, які можуть містити нікотин або можуть не містити його.

Сутність винаходу

Згідно з першим аспектом даного винаходу наданий апарат для пристрою, що генерує аерозоль, при цьому апарат містить: схему нагрівання для нагрівання пристрою нагрівання, при цьому пристрій нагрівання виконаний для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, з генеруванням таким чином аерозолі; пристрій для вимірювання температури, призначений для вимірювання температури пристрою; і контролер для керування подачею енергії на схему нагрівання, при цьому контролер виконаний з можливістю: визначення характеристики, яка вказує, що енергія подається на схему нагрівання протягом заданого періоду часу, і визначення зміни в температурі, виміряній пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду часу, а також здійснення дії керування, якщо на основі визначеної характеристики і збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, контролер визначає, що задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, які вказують на несправність пристрою для вимірювання температури.

Пристрій для вимірювання температури може містити температурний датчик для прикріплення до нагрівального елемента для вимірювання температури нагрівального елемента, і при цьому один або більше попередньо визначених критеріїв вказують на відокремленість температурного датчика від нагрівального елемента.

Контролер може бути виконаний з можливістю: визначення відношення кількості енергії, яка подається на схему нагрівання протягом заданого періоду, до збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду; і здійснення дії керування за умови подачі енергії на схему нагрівання, якщо відношення дорівнює попередньо визначеному значенню або перевищує його.

Попередньо визначене значення для відношення може становити від 2000 мДж/°С до 6000 мДж/°С або приблизно 4000 мДж/°С.

Дія керування здійснена контролером, якщо задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, може передбачати регулювання подачі енергії на схему нагрівання. Наприклад, припинення подачі енергії на схему нагрівання або зменшення подачі енергії на схему нагрівання.

Контролер може бути виконаний з можливістю визначення попередньо визначених критеріїв протягом заданого періоду часу і визначення попередньо визначених критеріїв один раз протягом кожного з одного або більше додаткових попередньо визначених періодів у сеансі використання пристрою, при цьому кожний з попередньо визначених періодів може мати тривалість від 1/80 с до 1/20 с або тривалість приблизно 1/64 с.

Схема нагрівання може являти собою схему індукційного нагрівання, і при цьому нагрівальний елемент може являти собою пристрій струмоприймача для індукційного нагрівання схемою індукційного нагрівання, і пристрій для вимірювання температури може містити температурний датчик для вимірювання температури пристрою струмоприймача.

Температурний датчик може являти собою термодатчик для прикріплення до пристрою струмоприймача.

Пристрій для вимірювання температури може містити: перший температурний датчик для вимірювання першої температури у пристрої; і другий температурний датчик для вимірювання другої температури у пристрої; і збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, може являти собою збільшення першої температури або збільшення другої температури.

Перша температура може являти собою температуру першої нагрівальної зони у пристрої, і друга температура може являти собою температуру другої нагрівальної зони у пристрої.

Схема нагрівання може бути виконана з можливістю вибіркового нагрівання першої нагрівальної зони і другої нагрівальної зони, і при цьому контролер може бути виконаний з можливістю активації під час заданого періоду схеми нагрівання для нагрівання тільки однієї з першої нагрівальної зони і другої нагрівальної зони.

Контролер може бути виконаний з можливістю визначення попередньо визначених критеріїв протягом заданого періоду часу і визначення попередньо визначених критеріїв один раз протягом кожного з одного або більше додаткових попередньо визначених періодів у сеансі використання пристрою, і при цьому під час кожного періоду схема нагрівання може бути виконана з можливістю вибіркового нагрівання тільки однієї з першої нагрівальної зони і другої нагрівальної зони.

Збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури і використовуваної для визначення одного або більше критеріїв протягом кожного періоду під час сеансу використання, може являти собою: збільшення першої температури, якщо схема нагрівання є активною для нагрівання першої нагрівальної зони під час періоду; і збільшення другої температури, якщо схема нагрівання є активною для нагрівання другої нагрівальної зони під час періоду.

Схема нагрівання може являти собою схему індукційного нагрівання, яка містить першу індукційну котушку і другу індукційну котушку; і нагрівальний елемент може являти собою пристрій струмоприймача, і перша нагрівальна зона може являти собою першу зону пристрою струмоприймача, розташовану під час використання таким чином, щоб нагріватись першою індукційною котушкою, і друга нагрівальна зона може являти собою другу зону пристрою струмоприймача, розташовану під час використання таким чином, щоб нагріватись другою індукційною котушкою.

Перший температурний датчик може являти собою першу термопару для прикріплення до першої зони пристрою струмоприймача, і другий температурний датчик може являти собою другу термопару для прикріплення до другої зони пристрою струмоприймача.

Перша термопара і друга термопара можуть являти собою термопари типу J, кожна з яких містить константовий дріт і залізний дріт.

Перша термопара може містити перший константовий дріт, і друга термопара може містити другий константовий дріт, і при цьому перша термопара і друга термопара можуть використовувати один залізний дріт.

Згідно з другим аспектом даного винаходу наданий пристрій, що генерує аерозоль, який містить апарат згідно з першим аспектом даного винаходу, при цьому пристрій для надання аерозолю призначений для генерування аерозолю для вдихання користувачем.

Пристрій може являти собою пристрій для нагрівання тютюну, також відомий як пристрій, що нагріває без спалювання.

Згідно з третім аспектом даного винаходу надано систему, що генерує аерозоль, яка містить пристрій, що генерує аерозоль, згідно з другим аспектом і виріб, який містить матеріал, що генерує аерозоль, для нагрівання пристроєм під час використання з генеруванням таким чином аерозолю.

Необов'язково матеріал, що генерує аерозоль, може містити тютюновий матеріал.

Згідно з четвертим аспектом даного винаходу наданий спосіб для контролера апарата для пристрою, що генерує аерозоль, при цьому апарат містить: схему нагрівання для нагрівання пристрою нагрівання, при цьому пристрій нагрівання виконаний для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, з генеруванням таким чином аерозолю; пристрій для вимірювання температури для вимірювання температура пристрою; і контролер, при цьому контролер призначений для керування подачею енергії на схему нагрівання; при цьому спосіб включає: визначення характеристики, яка вказує, що енергія подається на схему нагрівання під час заданого періоду часу; визначення зміни в температурі, виміряній пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду часу; і здійснення дії керування, якщо на основі характеристики і збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, контролер визначає, що задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, які вказують на несправність пристрою для вимірювання температури.

Згідно з п'ятим аспектом даного винаходу наданий набір машинозчитуваних команд, який при виконанні забезпечує здійснення способу згідно з четвертим аспектом.

Згідно з шостим аспектом даного винаходу наданий машинозчитуваний носій, який містить набір команд згідно з п'ятим аспектом.

Додаткові ознаки та переваги даного винаходу стануть очевидними з наступного опису переважних варіантів здійснення даного винаходу, наданих лише як приклад, створений із посланням на супровідні графічні матеріали.

Стислий опис графічних матеріалів

На фігурі 1 показано вид спереду прикладу пристрою, що генерує аерозоль;

на фігурі 2 показано вид спереду пристрою, що генерує аерозоль, представленого на фігурі 1, із знятим зовнішнім кожухом;

на фігурі 3 показано вид у розрізі пристрою, що генерує аерозоль, представленого на фігурі 1;

5 на фігурі 4 показано покомпонентний вид пристрою, що генерує аерозоль, представленого на фігурі 2;

на фігурі 5A показано вид у розрізі вузла нагрівання всередині пристрою, що генерує аерозоль;

10 5A;

на фігурі 6 показано схематичне представлення наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання для пристрою, що генерує аерозоль, представленого на фігурах з 1 по 5B;

на фігурі 7A показано схематичне представлення струму, що проходить через індуктор наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання, представленій на фігурі 6;

15 на фігурі 7B показано схематичне представлення напруги на резисторі для вимірювання струму наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання, представленій на фігурі 6;

на фігурі 8 показано схематичне представлення напруги на перемикальному пристрої схеми, представленій на фігурі 6;

20 на фігурі 9 показано інше схематичне представлення наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання для пристрою, представленого на фігурах з 1 по 5B;

на фігурах з 10 по 13 показано різноманітні частини наведеного для прикладу пристрою керування для наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання, яку представлено на попередніх фігурах;

25 на фігурі 14 показано представлення у вигляді блок-схеми для наведеного для прикладу способу керування аспектами наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання;

на фігурі 15 показано представлення у вигляді блок-схеми для іншого наведеного для прикладу способу керування аспектами наведеної для прикладу схеми індукційного нагрівання;

30 на фігурі 16 показано схематичне представлення температури струмоприймача і цільову потужність, яку необхідно подавати для нагрівання струмоприймача, протягом всього наведеного для прикладу сеансу використання пристрою, що генерує аерозоль;

на фігурі 17 показаний вид у перспективі струмоприймача і наведеного для прикладу пристрою для вимірювання температури для вимірювання температури струмоприймача;

на фігурі 18 показаний вид у перспективі іншого струмоприймача і наведеного для прикладу пристрою для вимірювання температури для вимірювання температури струмоприймача;

35 на фігурі 19 показаний наведений для прикладу апарат для забезпечення функцій керування у пристрої, де функції керування, що забезпечуються наведеним для прикладу апаратом, представленим на фігурі 19, стосуються температур у пристрої;

на фігурі 20 показано представлення у вигляді блок-схеми способу керування потужністю, яка подається для нагрівання струмоприймача.

40 Докладний опис

Як використовується в даному документі, термін "матеріал, що генерує аерозоль", включає матеріали, які надають випарувані компоненти після нагрівання, як правило, в формі аерозолю. Матеріал, що генерує аерозоль, включає будь-який матеріал, що містить тютюн, і може, наприклад, включати одне або більше з тютюну, похідних тютюну, розширеного тютюну, відновленого тютюну або замінників тютюну. Матеріал, що генерує аерозоль, також може включати інші нетютюнові продукти, які, залежно від продукту, можуть містити або можуть не містити нікотин. Матеріал, що генерує аерозоль, може, наприклад, мати форму твердої речовини, рідини, гелю, воску тощо. Матеріал, що генерує аерозоль, може, наприклад, також являти собою комбінацію або суміш матеріалів. Матеріал, що генерує аерозоль, може також бути відомий як "курильний матеріал".

Відомим є апарат, який нагріває матеріал, що генерує аерозоль, для випаровування щонайменше одного компонента матеріалу, що генерує аерозоль, як правило, для утворення аерозолю, який можна вдихати, без спалювання або горіння матеріалу, що генерує аерозоль. Такий апарат іноді називають "пристрій, що генерує аерозоль", "пристрій для надання аерозолю", "пристрій, що нагріває без спалювання", "пристрій для продукту для нагрівання тютюну" або "пристрій для нагрівання тютюну", або в подібний спосіб. Так само існують так звані пристрої електронних сигарет, які, як правило, випаровують матеріал, що генерує аерозоль, який має форму рідини, яка може містити або не містити нікотин. Матеріал, що генерує аерозоль, може мати форму стрижня, картриджа або касети тощо, які можна вставляти

в апарат, або бути наданий як їхня частина. Нагрівач для нагрівання і випаровування матеріалу, що генерує аерозоль, може бути передбачений як "постійна" частина апарату.

5 Пристрій для надання аерозолю може приймати в себе виріб, який містить матеріал, що генерує аерозоль, для нагрівання. "Виріб" в цьому контексті означає компонент, який включає або містить використовуваний матеріал, що генерує аерозоль, який нагрівають для випаровування матеріалу, що генерує аерозоль, і необов'язково інших використовуваних компонентів. Користувач може вставляти виріб в пристрій для надання аерозолю до того, як він нагрівається, щоб утворювати аерозоль, який користувач потім вдихає. Виріб може мати, наприклад, попередньо визначений або конкретний розмір, пристосований для розміщення всередині нагрівальної камери, яка має такий розмір, щоб вміщувати виріб.

10 На фігурі 1 показано один приклад пристрою 100 для надання аерозолю для генерування аерозолю з речовини/матеріалу, що генерує аерозоль. В широкому сенсі пристрій 100 може бути використаний для нагрівання змінного виробу 110, який містить речовину, що генерує аерозоль, щоб генерувати аерозоль або іншу вдихувану речовину, яку вдихає користувач пристрою 100.

15 Пристрій 100 містить корпус 102 (у формі зовнішнього кожуха), який оточує й вміщує різноманітні компоненти пристрою 100. Пристрій 100 на одному кінці має отвір 104, через який виріб 110 може бути вставлений для нагрівання вузлом нагрівання. Під час використання виріб 110 може бути повністю або частково вставлений у вузол нагрівання, де він може нагріватися одним або більше компонентами вузла нагрівання.

20 Пристрій 100 за цим прикладом містить перший торцевий елемент 106, який містить кришку 108, виконану з можливістю рухатися відносно першого торцевого елемента 106, щоб закрити отвір 104, коли виріб 110 відсутній на місці. На фігурі 1 кришка 108 показана у відкритій конфігурації, однак ковпачок 108 може перемішатися в закриту конфігурацію. Наприклад, користувач може пересувати кришку 108 в напрямку стрілки "А".

25 Пристрій 100 може також містити керований користувачем елемент керування 112, такий як кнопка або перемикач, який при натисканні приводить в дію пристрій 100. Наприклад, користувач може вмикати пристрій 100, застосовуючи перемикач 112.

30 Пристрій 100 може також містити електричний компонент, такий як гніздо/порт 114, який може приймати кабель для зарядки батареї пристрою 100. Наприклад, гніздо 114 може являти собою зарядний порт, такий як зарядний порт USB. В деяких прикладах гніздо 114 може використовуватись додатково або альтернативно для передачі даних між пристроєм 100 й іншим пристроєм, таким як обчислювальний пристрій.

35 На фігурі 2 зображено пристрій 100, представлений на фігурі 1, зі знятим зовнішнім кожухом 102. Пристрій 100 визначає поздовжню вісь 134.

40 Як показано на фігурі 2, перший торцевий елемент 106 розташований на одному кінці пристрою 100, а другий торцевий елемент 116 розташований на протилежному кінці пристрою 100. Перший і другий торцеві елементи 106, 116 разом щонайменше частково утворюють торцеві поверхні пристрою 100. Наприклад, нижня поверхня другого торцевого елемента 116 щонайменше частково утворює нижню поверхню пристрою 100. Краї зовнішнього кожуха 102 можуть також утворювати частину торцевих поверхонь. В цьому прикладі кришка 108 також утворює частину верхньої пристрою 100. На фігурі 2 також показано другу друковану плату 138, пов'язану з елементом 112 керування.

45 Кінець пристрою, найближчий до отвору 104, може бути відомий як ближній кінець (або кінець, який підносять до рота) пристрою 100, оскільки під час використання він є найближчим до рота користувача. Під час використання користувач вставляє виріб 110 в отвір 104, застосовує користувацький елемент 112 керування, щоб почати нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, і втягує аерозоль, який генерується в пристрої. Це призводить до того, що аерозоль протікає через пристрій 100 вздовж шляху потоку до дальнього кінця пристрою 100.

50 Інший кінець пристрою, найдальший від отвору 104, може бути відомий як дальній кінець пристрою 100, оскільки під час використання він є кінцем, найдальшим від рота користувача. В міру того як користувач втягує аерозоль, згенерований в пристрої, аерозоль витікає з дальнього кінця пристрою 100.

55 Пристрій 100 додатково містить джерело 118 живлення. Джерелом 118 живлення може бути, наприклад, батарея, так як акумуляторна батарея або неперезаряджувана батарея. Приклади відповідних батарей включають, наприклад, літєву батарею (таку як літій-іонна батарея), нікелеву батарею (таку як нікель-кадмієва батарея) і лужну батарею. Батарея електрично з'єднана з вузлом нагрівання, щоб подавати електроживлення, коли потрібно, і під керуванням контролера (не показаний на фігурі 2) нагрівати матеріал, що генерує аерозоль. В цьому прикладі батарея з'єднана з центральною опорою 120, яка утримує батарею 118 на місці.

Пристрій додатково містить щонайменше один модуль 122 електроніки. Модуль 122 електроніки може містити, наприклад, друковану плату (PCB). PCB 122 може підтримувати щонайменше один контролер, такий як процесор, і пам'ять. PCB 122 може також містити одну або більше електричних доріжок для електричного з'єднання разом різноманітних електронних компонентів пристрою 100. Наприклад, виводи батареї можуть бути електрично з'єднані із PCB 122 так, щоб живлення можна було розподіляти по всьому пристрою 100. Гніздо 114 може також бути електрично з'єднаним із батареєю за допомогою електричних доріжок.

В наведеному для прикладу пристрої 100 вузол нагрівання являє собою індукційний вузол нагрівання й містить різноманітні компоненти для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, виробу 110 за допомогою процесу індукційного нагрівання. Індукційне нагрівання являє собою процес нагрівання електропровідного об'єкта (такого як струмоприймач) за допомогою електромагнітної індукції. Блок індукційного нагрівання може містити індукційний елемент, наприклад одну або більше індукційних котушок, і пристрій для пропускання змінного електричного струму, такого як періодичний електричний струм, через індукційний елемент. Змінний електричний струм в індукційному елементі створює змінне магнітне поле. Змінне магнітне поле проникає через струмоприймач, належно розташований стосовно індукційного елемента, і генерує вихрові струми всередині струмоприймача. Струмоприймач характеризується електричним опором вихровим струмам, і отже потік вихрових струмів, що долає цей опір, зумовлює нагрівання струмоприймача за допомогою джоулевого нагрівання. У випадках, коли струмоприймач містить феромагнітний матеріал, такий як залізо, нікель або кобальт, тепло також може генеруватися за допомогою втрат на магнітний гістерезис у струмоприймачі, тобто за допомогою зміни орієнтації магнітних диполів в магнітному матеріалі в результаті їх вирівнювання за лініями змінного магнітного поля. Під час індукційного нагрівання порівняно, наприклад, з нагріванням за допомогою теплопровідності, тепло генерується всередині струмоприймача, забезпечуючи можливість швидкого нагрівання. Крім того, не існує потреби ні в якому фізичному контакті між індукційним нагрівачем і струмоприймачем, що забезпечує більшу свободу під час конструювання і застосування.

Блок індукційного нагрівання наведеного для прикладу пристрою 100 містить пристрій 132 струмоприймача (тут названий як "струмоприймач"), першу індукційну котушку 124 і другу індукційну котушку 126. Перша і друга індукційні котушки 124, 126 виконані з електропровідного матеріалу. В цьому прикладі перша і друга індукційні котушки 124, 126 виконані з літцендрату/літцендратного кабелю, навитого спіралью для забезпечення спіральних індукційних котушок 124, 126. Літцендрат містить набір індивідуальних дротів, які є окремо ізольованими й скрученими разом з утворенням єдиного дроту. Літцендрати призначені для зменшення у провіднику втрат, спричинених скін-ефектом. В наведеному для прикладу пристрої 100 перша і друга індукційні котушки 124, 126 виконані з мідного літцендрату, який має по суті круглий поперечний переріз. В інших прикладах літцендрат може мати поперечні перерізи іншої форми, наприклад прямокутної.

Перша індукційна котушка 124 виконана з можливістю генерування першого змінного магнітного поля для нагрівання першої секції струмоприймача 132, а друга індукційна котушка 126 виконана з можливістю генерування другого змінного магнітного поля для нагрівання другої секції струмоприймача 132. В даному документі перша секція струмоприймача 132 називається першою зоною 132а струмоприймача, а друга секція струмоприймача 132 називається другою зоною 132b струмоприймача. В цьому прикладі перша індукційна котушка 124 є суміжною із другою індукційною котушкою 126 у напрямку вздовж поздовжньої осі 134 пристрою 100 (тобто перша і друга індукційні котушки 124, 126 не перекриваються). В цьому прикладі пристрій 132 струмоприймача містить єдиний струмоприймач, який містить дві зони, однак в інших прикладах пристрій 132 струмоприймача може містити два або більше окремих струмоприймачів. В деяких прикладах може бути більш ніж дві нагрівальні зони. Кожна зона може бути утворена відповідними частинами єдиного струмоприймача пристрою струмоприймача або окремими струмоприймачами пристрою струмоприймача. Кінці 130 першої і другої індукційних котушок 124, 126 приєднані до PCB 122.

Буде зрозуміло, що перша і друга індукційні котушки 124, 126 в деяких прикладах можуть мати щонайменше одну характеристику, яка у них є відмінною. Наприклад, перша індукційна котушка 124 може мати щонайменше одну характеристику, відмінну від характеристики другої індукційної котушки 126. Більш конкретно, в одному прикладі перша індукційна котушка 124 може мати інше значення індуктивності, ніж друга індукційна котушка 126. На фігурі 2 перша і друга індукційні котушки 124, 126 мають різну довжину так, що перша індукційна котушка 124 є навитою поверх меншої секції струмоприймача 132, ніж друга індукційна котушка 126. Таким чином, перша індукційна котушка 124 може містити іншу кількість витків, ніж друга індукційна

катушка 126 (в припущенні, що відстань між окремими витками є по суті однаковою). В ще іншому прикладі перша індукційна катушка 124 може бути виконана з іншого матеріалу, ніж друга індукційна катушка 126. В деяких прикладах перша і друга індукційні катушки 124, 126 можуть бути по суті ідентичними.

5 В цьому прикладі індукційні катушки 124, 126 навиті в однаковому напрямку. Тобто як перша індукційна катушка 124, так і друга індукційна катушка 126 являють собою спіралі з лівою навивкою. В іншому прикладі обидві індукційні катушки 124, 126 можуть являти собою спіралі з правою навивкою. В ще іншому прикладі (не показаний) перша індукційна катушка 124 і друга індукційна катушка 126 навиті в протилежних напрямках. Це може бути корисним, коли індукційні катушки є активними і різний час. Наприклад, спочатку перша індукційна катушка 124 може працювати для нагрівання першої секції виробу 110, а пізніше друга індукційна катушка 126 може працювати для нагрівання другої секції виробу 110. Навивання катушок у протилежних напрямках допомагає зменшити струм, що індукується в неактивній катушці під час використання в сполученні з конкретним типом схеми керування. В одному прикладі, в 10 15 якому катушки 124, 126 навиті в різних напрямках (не показано), перша індукційна катушка 124 може являти собою спіраль з правою навивкою, а друга індукційна катушка 126 може являти собою спіраль з лівою навивкою. В іншому такому варіанті здійснення перша індукційна катушка 124 може являти собою спіраль з лівою навивкою, а друга індукційна катушка 126 може являти собою спіраль з правою навивкою.

20 Струмоприймач 132 за цим прикладом є порожнистим, а отже утворює вмістище, в якому розміщують матеріал, що генерує аерозоль. Наприклад, виріб 110 може бути вставлений у струмоприймач 132. В цьому прикладі струмоприймач 132 є трубчастим із круглим поперечним перерізом.

25 Пристрій 100, представлений на фігурі 2, додатково містить ізоляційний елемент 128, який може бути в цілому трубчастим і щонайменше частково оточувати струмоприймач 132. Ізоляційний елемент 128 може бути сконструйований з будь-якого ізоляційного матеріалу, такого як пластмасовий матеріал, наприклад. В цьому конкретному прикладі ізоляційний елемент сконструйовано з поліетеретеркетону (PEEK). Ізоляційний елемент 128 може допомагати ізолювати різноманітні компоненти пристрою 100 від тепла, що генерується в 30 струмоприймачі 132.

Ізоляційний елемент 128 може також повністю або частково підтримувати першу і другу індукційні катушки 124, 126. Наприклад, як показано на фігурі 2, перша і друга індукційні катушки 124, 126 розташовані навколо ізоляційного елемента 128 і перебувають в контакт з радіально зовнішньою поверхнею ізоляційного елемента 128. В деяких прикладах ізоляційний елемент 35 128 не прилягає до першої і другої індукційних катушок 124, 126. Наприклад, може існувати малий зазор між зовнішньою поверхнею ізоляційного елемента 128 і внутрішньою поверхнею першої і другої індукційних катушок 124, 126.

В конкретному прикладі струмоприймач 132, ізоляційний елемент 128 і перша й друга індукційні катушки 124, 126 є співвісними навколо центральної поздовжньої осі струмоприймача 40 132.

На фігурі 3 показано вид збоку пристрою 100 в частковому розрізі. Зовнішній кожух 102 знову не представлено в цьому прикладі. Круглу форму поперечного перерізу першої і другої індукційних катушок 124, 126 більш ясно видно на фігурі 3.

45 Пристрій 100 додатково містить опору 136, яка зчеплена з одним кінцем струмоприймача 132, щоб утримувати струмоприймач 132 на місці. Опора 136 з'єднана із другим торцевим елементом 116.

50 Пристрій 100 додатково містить другу кришку/ковпачок 140 і пружину 142, розміщені поблизу дальнього кінця пристрою 100. Пружина 142 дозволяє відкривати другу кришку 140, щоб надавати доступ до струмоприймача 132. Користувач може, наприклад, відкрити другу кришку 140, щоб очистити струмоприймач 132 і/або опору 136.

Пристрій 100 додатково містить розширювальну камеру 144, яка проходить від дальнього кінця струмоприймача 132 до отвору 104 пристрою. В середині розширювальної камери 144 щонайменше частково розташований утримувальний затискач 146, щоб прилягати до виробу 110 і утримувати його, коли він розміщений в пристрої 100. Розширювальна камера 144 55 з'єднана з торцевим елементом 106.

Фігура 4 являє собою покомпонентний вид пристрою 100, представленого на фігурі 1, зі знову відсутнім зовнішнім кожухом 102.

60 На фігурі 5А зображено розріз частини пристрою 100, представленого на фігурі 1. На фігурі 5В зображено наближений вид області, представленої на фігурі 5А. На фігурах 5А і 5В показано виріб 110, розміщений всередині струмоприймача 132, де виріб 110 має такі розміри, що

зовнішня поверхня виробу 110 прилягає до внутрішньої поверхні струмоприймача 132. Це забезпечує найбільшу ефективність нагрівання. Виріб 110 за цим прикладом містить матеріал 110а, що генерує аерозоль. Матеріал 110а, що генерує аерозоль, розташований всередині струмоприймача 132. Виріб 110 може також містити інші компоненти, такі як фільтр, обгорткові матеріали й/або охолоджувальну конструкцію.

На фігурі 5В показано, що зовнішня поверхня струмоприймача 132 перебуває від внутрішньої поверхні індукційних котушок 124, 126 на відстані 150, виміряній у напрямку, перпендикулярному поздовжній осі 158 струмоприймача 132. В одному конкретному прикладі відстань 150 становить приблизно від 3 мм до 4 мм, приблизно від 3 мм до 3,5 мм, або приблизно 3,25 мм.

На фігурі 5В додатково показано, що зовнішня поверхня ізоляційного елемента 128 перебуває від внутрішньої поверхні індукційних котушок 124, 126 на відстані 152, виміряній в напрямку, перпендикулярному поздовжній осі 158 струмоприймача 132. В одному конкретному прикладі відстань 152 становить приблизно 0,05 мм. В іншому прикладі відстань 152 становить по суті 0 мм, так що індукційні котушки 124, 126 прилягають до і торкаються ізоляційного елемента 128.

В одному прикладі струмоприймач 132 має товщину 154 стінки приблизно від 0,025 мм до 1 мм, або приблизно 0,05 мм.

В одному прикладі струмоприймач 132 має довжину приблизно від 40 мм до 60 мм, приблизно від 40 мм до 45 мм, або приблизно 44,5 мм.

В одному прикладі ізоляційний елемент 128 має товщину 156 стінки приблизно від 0,25 мм до 2 мм, від 0,25 мм до 1 мм, або приблизно 0,5 мм.

Як було описано вище, вузол нагрівання наведеного для прикладу пристрою 100 являє собою індукційний вузол нагрівання, який містить різноманітні компоненти для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, виробу 110 за допомогою процесу індукційного нагрівання. Зокрема, перша індукційна котушка 124 і друга індукційна котушка 126 використовуються для нагрівання відповідних першої 132a і другої 132b зон струмоприймача 132, щоб нагрівати матеріал, що генерує аерозоль, і генерувати аерозоль. Нижче, з посиланням на фігури 6-12, буде докладно описано роботу пристрою 100 при використанні першої і другої індукційних котушок 124, 126 для індукційного нагрівання пристрою струмоприймача 132.

Індукційний блок нагрівання пристрою 100 містить LC-контур. LC-контур має індуктивність L, забезпечувану індуктивним елементом, і ємність C, забезпечувану конденсатором. В пристрої 100 індуктивність L забезпечується першою і другою індукційними котушками 124, 126, а ємність C забезпечується множиною конденсаторів, як буде пояснено нижче. Схема індукційного нагрівача, яка містить індуктивність L і ємність C, може в деяких випадках бути представлена як RLC-контур, що містить опір R, забезпечуваний резистором. У деяких випадках опір забезпечується за допомогою омичного опору частин схеми, що з'єднують індуктор і конденсатор, і, таким чином, схема не потребує обов'язкового включення резистора як такого. Такі схеми можуть демонструвати електричний резонанс, який проявляється на певній резонансній частоті, коли уявні частини повних опорів або повних провідностей елементів схеми анулюють одна одну.

Одним прикладом LC-контур є послідовна схема, де індуктор і конденсатори з'єднані послідовно. Іншим прикладом LC-контур є паралельний LC-контур, де індуктор і конденсатори з'єднані паралельно. Резонанс виникає в LC-контурі, оскільки магнітне поле, що зникає, індуктора генерує електричний струм у його обмотці, що заряджає конденсатор, в той час як розрядження конденсатора забезпечує електричний струм, який створює магнітне поле в індукторі. Коли паралельний LC-контур збуджується на резонансній частоті, динамічний повний опір схеми є максимальним (оскільки реактивний опір індуктора дорівнює реактивному опору конденсатора), і струм контуру є мінімальним. Однак для паралельного LC-контур паралельний замкнений контур індуктора та конденсатора діє як помножувач струму (що ефективно помножує струм в замкненому контурі і, таким чином, струм, який проходить через індуктор). Через це надання можливості роботи RLC або LC-контур на резонансній частоті протягом принаймні деякого часу, коли схема працює для нагрівання струмоприймача, може забезпечувати ефективне і/або дієве індукційне нагрівання шляхом забезпечення найбільшої величини магнітного поля, яке проникає в струмоприймач.

LC-контур, використовуваний пристроєм 100 для нагрівання струмоприймача 132, може використовувати один або більше транзисторів, які діють як перемикальний пристрій, як буде описано нижче. Транзистор є напівпровідниковим пристроєм для перетворення електронних сигналів. Транзистор зазвичай містить щонайменше три електроди для приєднання до електронної схеми. Польовий транзистор (FET) є транзистором, в якому дія прикладеного

електричного поля може використовуватися для зміни ефективної електропровідності транзистора. Польовий транзистор може містити основну частину, електрод витоку S, електрод стоку D і затворний електрод G. Польовий транзистор містить активний канал, що містить напівпровідник, через який носії заряду, електрони або дірки, можуть протікати між витоком S і стоком D. Електропровідність каналу, тобто електропровідність між електродами стоку D та витоку S, залежить від різниці потенціалів між затворним електродом G та електродом витоку S, наприклад, генерується потенціалом, прикладеним до затворного електрода G. У режимі збагачення FET, FET може бути вимкнений (тобто по суті запобігати проходженню струму через нього), коли існує по суті нульова напруга затвор G - витік S, і може бути ввімкнений (тобто по суті дозволяти проходження струму через нього), коли існує по суті ненульова напруга затвор G - витік S.

Одним типом транзистора, який може бути використаний в електричних схемах пристрою 100, є n-канальний (або n-типу) польовий транзистор (n-FET). n-FET являє собою польовий транзистор, канал якого містить напівпровідник n-типу, де електрони становлять більшу частину носіїв і дірки становлять меншу частину носіїв. Наприклад, напівпровідники n-типу можуть містити власний напівпровідник (наприклад, такий як кремній), легований донорами (наприклад, такими як фосфор). У n-канальних FET електрод стоку D розміщений з більш високим потенціалом, ніж електрод витоку S (тобто існує позитивна напруга стік-витік, або іншими словами негативна напруга витік-стік). Щоб "ввімкнути" n-канальний FET (тобто дозволити струму проходити через нього), до затворного електрода G прикладається потенціал перемикачання, який вище, ніж потенціал на електроді витоку S.

Іншим типом транзистора, який може бути використаний в пристрої 100, є p-канальний (або p-типу) польовий транзистор (p-FET). p-FET являє собою польовий транзистор, канал якого містить напівпровідник p-типу, де дірки становлять більшу частину носіїв і електрони становлять меншу частину носіїв. Наприклад, напівпровідники p-типу можуть містити власний напівпровідник (наприклад, такий як кремній), легований акцепторами (наприклад, такими як бор). У p-канальних FET електрод витоку S розміщений з більш високим потенціалом, ніж електрод стоку D (тобто існує негативна напруга стік-витік, або іншими словами позитивна напруга витік-стік). Щоб "ввімкнути" p-канальний FET (тобто дозволити струму проходити через нього), до затворного електрода G прикладається потенціал перемикачання, який нижче, ніж потенціал на електроді витоку S (і який може, наприклад, бути вище, ніж потенціал на електроді стоку D).

В прикладах один або більше FET, використовуваних в пристрої 100, можуть являти собою польовий транзистор структури "метал-оксид-напівпровідник" (MOSFET). MOSFET являє собою польовий транзистор, затворний електрод G якого електрично ізолювано від каналу напівпровідника шаром ізоляції. У деяких прикладах затворний електрод G може бути металевим, а шар ізоляції може бути оксидом (наприклад, таким як діоксид кремнію), звідси "метал-оксид-напівпровідник". Однак в інших прикладах затвор може бути виконаний з інших матеріалів, ніж метал, таких як полікристалічний кремній, та/або шар ізоляції може бути виконаний з інших матеріалів, ніж оксид, таких як інші діелектричні матеріали. Такі пристрої все одно зазвичай називають польовими транзисторами структури метал-оксид-напівпровідник (MOSFET), і слід розуміти, що, як це вживається у даному документі, термін "польові транзистори структури метал-оксид-напівпровідник або MOSFET" слід інтерпретувати як такий, що включає такі пристрої.

MOSFET може бути n-канальним (або n-типу) MOSFET, де напівпровідник належить до n-типу. n-канальний MOSFET (n-MOSFET) може діяти у той самий спосіб, що й n-канальний FET, як описано вище. Як інший приклад, MOSFET може бути p-канальним (або p-типу) MOSFET, де напівпровідник належить до p-типу. p-канальний MOSFET (p-MOSFET) може діяти у той самий спосіб, що й p-канальний FET, як описано вище. n-MOSFET зазвичай має більш низький опір витік-стік, ніж у p-MOSFET. Отже у "ввімкненому" стані (тобто де струм проходить через нього) n-MOSFET генерують менше тепла порівняно з p-MOSFET, і отже можуть втрачати менше енергії під час роботи, ніж p-MOSFET. Додатково n-MOSFET зазвичай мають більш короткий час перемикачання (тобто характеристичний час відгуку від зміни потенціалу перемикачання, наданого на затворному електроді G, до зміни стану MOSFET, незалежно від того, проходить струм через нього чи ні), порівняно з p-MOSFET. Це може забезпечити більш високі швидкості перемикачання і удосконалене керування перемикачанням.

Тепер з посиланням на фігуру 6 будуть описані електричні схеми для індукційного нагрівання пристроєм 100. На фігурі 6 показано схематичне представлення частини схеми 600 індукційного нагрівання пристрою 100, що генерує аерозоль. На фігурі 6 показано частину схеми 600 індукційного нагрівання, яка містить першу індукційну котушку 124 для нагрівання першої

зони 132а струмоприймача, коли змінний струм протікає через першу індукційну котушку 124. Перша зона 132а струмоприймача представлена на фігурі 6 як така, що має індукційний елемент і резистивний елемент, щоб показати, як струмоприймач 132 індукційно зв'язується з першим індуктором 124 і нагрівається завдяки генерації вихрових струмів. Варто відзначити, що пристрій 100 додатково містить другу індукційну котушку 126, яку не показано на фігурі 6. Друга індукційна котушка 126 також є частиною схеми 600 індукційного нагрівання і перебуває під контролем для нагрівання другої зони 132b струмоприймача, як буде описано нижче. Проте для ясності схему 600 спочатку буде описано з посиланням на ті елементи, які показані на фігурі 6.

Схема 600 містить першу резонаторну секцію 601, джерело 118 напруги постійного струму для подачі напруги постійного струму в першу резонаторну секцію 601, а також пристрій керування для керування схемою 600. Перша резонаторна секція 601 містить перший індуктор 124 і перемикальний пристрій, який містить перший FET 608, а пристрій керування виконаний з можливістю перемикати FET 608 між першим станом і другим станом у відповідь на умови напруги, виявлені в схемі 600, як більш докладно буде описано нижче, щоб приводити в дію перший індуктор 124. Схема 600, за винятком струмоприймача 132, розташована на PCB 122 пристрою 100, при цьому індукційна котушка 124 з'єднується з PCB 122 на першому кінці 130a і другому кінці 130b.

Перша резонаторна секція 601 містить перший конденсатор 606 і другий конденсатор 610, обидва розташовані паралельно з першим індуктором 124 так, що коли перший резонаторний секції 601 дозволено резонувати, змінний струм протікає між першим конденсатором 606 і другим конденсатором 610 і через індуктор 124. Як згадано вище, перший FET 608, в цьому прикладі n-канальний MOSFET, розташований так, щоб працювати як перемикальний пристрій в першій резонаторній секції 601.

Слід відзначити, що в інших прикладах резонаторна секція 601 може містити тільки один конденсатор, наприклад в положенні першого конденсатора 606 або в положенні другого конденсатора 610. В інших прикладах резонаторна секція 601 може містити будь-яку іншу кількість конденсаторів, наприклад три або більше конденсаторів. Наприклад, будь-який або обидва з першого конденсатора 606 і другого конденсатора 610 можуть бути замінені двома або більше конденсаторами, розташованими паралельно один з одним. Як буде добре зрозуміло, резонаторна секція 601 має резонансну частоту, яка залежить від індуктивності L і ємності C резонаторної секції 601. Кількість, тип і розташування конденсаторів в резонансній секції 601 можуть бути вибрані на основі урахування рівнів потужності, які необхідно використовувати в схемі 600, і бажаної частоти роботи схеми 600. Наприклад, буде зрозуміло, що можна вважати, що окремі конденсатори і розташування вказаних конденсаторів мають еквівалентний послідовний опір (ESR), а також ліміт на здатність вказаних конденсаторів обробляти струм. Такі ознаки можна враховувати, визначаючи розташування конденсаторів для забезпечення ємності в резонаторній секції 601. Наприклад, залежно від бажаних рівнів потужності і частоти роботи, може існувати перевага, якщо надавати множину конденсаторів, підключених паралельно, щоб забезпечувати вищу ємність або нижчий ESR. В цьому прикладі перший і другий конденсатори 606, 610 обидва являють собою керамічні COG конденсатори, кожний з яких має ємність приблизно 100 нФ. В інших прикладах можуть бути використані конденсатор i/або конденсатори інших типів з іншими значеннями ємності, відповідно до підстав, означених в цьому абзаці.

Перша резонаторна секція 601 забезпечується напругою постійного струму джерелом 118 напруги постійного струму, яка, наприклад, як описано вище, є напругою, що надається батареєю. Як показано на фігурі 6, джерело 118 напруги постійного струму містить позитивний вивід 118a і негативний вивід 118b. В одному прикладі джерело 118 напруги постійного струму подає напругу постійного струму приблизно 4,2 В в першу резонаторну секцію 601. В інших прикладах джерело 118 напруги постійного струму може подавати напругу від 2 до 10 В, або приблизно від 3 до 5 В, наприклад.

Контролер 1001 виконаний з можливістю керувати роботою схеми 600. Контролер 1001 може містити мікроконтролер, наприклад мікропроцесорний пристрій (MPU), який містить множину ввідів і виводів. В одному прикладі контролер 1001 являє собою MPU моделі STM32L051C8T6. В деяких прикладах джерело 118 напруги постійного струму, забезпечене для схеми 600, забезпечується виводом з контролера 1001, що сам отримує живлення від батареї або іншого джерела живлення.

Позитивний вивід 118a джерела 118 напруги постійного струму електрично підключений до першого вузла 600A. В одному прикладі джерело 118 напруги постійного струму підключено до вузла 600A через контролер 1001, який отримує живлення від джерела 118 напруги постійного струму і подає напругу, яка подається джерелом напруги постійного струму, на компоненти

пристрою, включаючи схему 600. Перший вузол 600A електрично підключений до першого кінця 606a першого конденсатора 606 і до першого кінця 130a першого індуктора 124. Другий кінець 130b першого індуктора 124 електрично підключений до другого вузла 600B, який на фігурі 6 представлено в двох електрично еквівалентних точках на принциповій схемі. Другий вузол 600B електрично підключений до електрода стоку 608D FET 608. В цьому прикладі другий вузол 600B також електрично підключений до першого кінця 610a другого конденсатора 610. Продовжуючи йти за схемою, електрод витоку 608S першого FET 608 електрично підключений до третього вузла 600C. Третій вузол 600C електрично підключений до землі 616 і в цьому прикладі до другого кінця 610b другого конденсатора 610. Третій вузол 600C електрично підключений через резистор 615 для визначення струму до четвертого вузла 600D, і четвертий вузол 600D електрично підключений до негативного виводу 118b джерела 118 напруги постійного струму, який, як і у випадку позитивного виводу, в одному прикладі отримує живлення через контролер 1001.

Слід відзначити, що в прикладах, в яких другий конденсатор 610 відсутній, третій вузол 600C може мати тільки три електричні підключення: до електрода витоку 608S першого FET, до землі 616 і до резистора 615 для вимірювання струму.

Як згадано вище, перший FET 608 діє як перемикальний пристрій в першій резонаторній секції 601. Перший FET 608 може змінювати конфігурацію між першим станом, тобто "увімкненим" станом, і другим станом, тобто "вимкненим" станом. Як буде добре зрозуміло спеціалістам в даній галузі техніки, коли n-канальний FET перебуває у вимкненому стані (тобто коли відповідну керувальну напругу не прикладено до його затвору), він фактично діє як діод. На фігурі 6 функціональна можливість діода, яку перший FET 608 демонструє, коли перебуває в своєму вимкненому стані, представлена першим діодом 608a. Тобто коли FET 608 перебуває у вимкненому стані, перший діод 608a діє так, щоб значною мірою не допускати протікання струму з електрода стоку 608D на електрод витоку 608S, але дозволяє протікання струму від електрода витоку 608S на електрод стоку 608D, якщо діод 608a має належне пряме зміщення. n-канальний FET перебуває у ввімкненому стані, коли належну керувальну напругу прикладено до його затвору так, що між його стоком D і витоком S існує струмопровідна доріжка. По суті, коли перший FET 608 перебуває у ввімкненому стані, він діє як замкнений перемикач в першій резонаторній секції 601.

Як згадано вище, можна вважати, що схема 600 містить першу резонаторну секцію 601 і додатковий пристрій керування. Пристрій керування містить компаратор 618, детектор 621 нульової напруги і бістабільний тригер 622 і виконаний з можливістю виявляти умови напруги в першій резонаторній секції 601 і керувати першим FET 608 у відповідь на виявлені умови напруги. Це керування для першого FET 608 пристроєм керування тепер буде описано більш докладно.

На другому вузлі 600B електрично підключений детектор 621 нульової напруги, який виконаний з можливістю виявляти умови напруги, тобто напругу, яка дорівнює або є близькою до 0 В стосовно напруги землі, в тій точці в схемі 600, в якій підключено детектор 621 нульової напруги. Детектор 621 нульової напруги виконаний з можливістю видавати сигнал для керування перемиканням стану FET 608. Тобто детектор 621 нульової напруги виконаний з можливістю видавати сигнал на бістабільний тригер 622. Бістабільний тригер 622 являє собою електричну схему, яка може змінювати конфігурацію між двома стабільними станами. Бістабільний тригер 622 електрично підключений до першого драйвера 623 керування затвором, який виконаний з можливістю надавати напругу на затворний електрод 608G першого FET залежно від стану бістабільного тригера. Тобто перший драйвер 623 керування затвором виконаний так, щоб надавати належну напругу на затворний електрод 608G першого FET, щоб перемикаєти FET 608 у ввімкнений стан, коли бістабільний тригер перебуває в одному стані, але виконаний так, щоб не надавати напругу, належну для підтримування FET 608 у ввімкненому стані, коли бістабільний тригер 622 перебуває в іншому стані. Наприклад, перший драйвер 623 керування затвором може бути виконаний з можливістю надавати належну напругу затвор-витік на затвор 608G першого FET, щоб вмикати FET 608, коли бістабільний тригер 622 перебуває у стані "1", і перший драйвер 623 керування затвором може бути виконаний з можливістю не надавати напругу затвор-витік, коли бістабільний тригер 622 перебуває у стані "0". Отже стан пристосування 622 бістабільного тригера визначає, увімкнено чи вимкнено перший FET 608.

В цьому прикладі детектор 621 нульової напруги і перший драйвер 623 керування затвором пристрою керування виконані з можливістю приймати відповідні сигнали 1011, 1021 з контролера 1001, де за допомогою цих сигналів контролер 1001 може ініціювати роботу схеми 600 і керувати нею, як більш докладно буде обговорено нижче.

В четвертому вузлі 600D електрично підключена лінія 619 керувальної напруги. Лінія 619 керувальної напруги електрично підключена до п'ятого вузла 600E через резистор 617a, і п'ятий вузол 600E електрично підключений до компаратора 618 напруги - тут і далі компаратор 618. П'ятий вузол 600E електрично підключений до позитивного виводу компаратора 618.
 5 Негативний вивід компаратора 618 підключений до землі 616. В цьому прикладі компаратор 618 виконаний з можливістю видавати сигнал на основі порівняння напруги на п'ятому вузлі 600E з напругою землі. Вихідний сигнал компаратора 618 відправляється на бістабільний тригер 622. Керувальна напруга 1031 подається, в цьому прикладі з контролера 1001, на лінію 619 керувальної напруги через другий резистор 617b.

10 Як згадано вище, компаратор 618 електрично підключений для надання вихідного сигналу на бістабільний тригер 622. Бістабільний тригер 622 виконаний так, що вихідний сигнал з компаратора 618 може змінювати стан бістабільного тригера 622 і таким чином призводити до того, що перший драйвер 623 змінює стан першого FET 608.

15 Функціонування наведеної для прикладу схеми 600 тепер буде описано більш докладно в контексті першої резонаторної секції 601, яка активується контролером 1001 так, що перша індукційна котушка 124 приводиться в дію для нагрівання першої зони 132a струмоприймача.

20 Спочатку перший FET 608 сконфігурований у вимкненому стані, а отже діє як діод 608a, не допускаючи протікання струму через індуктор 124. Контролер 1001 ініціює роботу схеми 600 для нагрівання першої зони 132a струмоприймача, викликаючи перемикання FET 608 з вимкненого стану у ввімкнений стан. В цьому прикладі контролер ініціює роботу схеми 600, надаючи сигнал СТАРТ 1011 на детектор 621 нульової напруги. У такий спосіб бістабільний тригер 622 змушують змінювати стан і він викликає надання сигналу першим драйвером 623 керування затвором на затворний електрод 608G FET, щоб таким чином перемикати FET у ввімкнений стан.

25 Коли FET 608 перемикається у ввімкнений стан, починається те, що можна назвати автоколивальним нагрівальним циклом схеми 600. FET 608, який тепер перебуває у ввімкненому стані, діє як замкнений перемикач, дозволяючи постійному струму починати протікати від позитивного виводу 118a джерела напруги постійного струму через перший індуктор 124 і повертатись на негативний вивід 118b джерела напруги постійного струму через резистор 615 для вимірювання струму. Перший індуктор 124 протидіє цьому початковому зростанню струму, як добре відомо, генеруючи зворотну електрорушійну силу згідно з законами Фарадея і Ленца. У ввімкненому стані напруга між електродами стоку 608D і електродом витоку 608S по суті дорівнює нулю.

30 На фігурі 7A показано схематичне графічне представлення протікання струму через перший індуктор 124 залежно від t , починаючи з ввімкнення FET 608 в момент t_0 . Від моменту t_0 постійний струм починає наростати в індукторі 124 від нуля зі швидкістю, яка залежить від індуктивності L_1 індуктора 124, опору по постійному струму схеми 600 і напруги джерела постійного струму. В одному прикладі резистор 615 для вимірювання струму має опір приблизно 2 мОм, тоді як індуктор 124 має опір по постійному струму від 2 до 15 мОм, або від 4 до 10 мОм, або в цьому прикладі приблизно 5,2 мОм. Це наростання струму в індукторі відповідає накопиченню магнітної енергії індуктором 124, і кількість магнітної енергії, яку може накопичити індуктор 124, залежить від його індуктивності L_1 , як буде добре зрозуміло.

40 На фігурі 7B показано спрощене представлення напруги на резисторі 615 для вимірювання струму залежно від часу t , знову з моменту t_0 , коли включається FET 608. Невдовзі після включення FET 608 на індукторі 124 з'являється напруга, яка являє собою зворотну електрорушійну силу, яку генерує індуктор 124, оскільки індуктор протидіє нарощуванню струму. Тому в цей час напруга на резисторі 615 для вимірювання струму, як показано на фігурі 7B, є малою, оскільки майже вся різниця напруги, яка надається джерелом 118 постійного струму, падає на індукторі 124. Потім, по мірі того як струм через індуктор 124 збільшується і зворотна електрорушійна сила індуктора 124 спадає, напруга на резисторі 615 для вимірювання струму збільшується. Це розглядають як зростання негативної напруги на резисторі 615 для вимірювання струму, як показано на фігурі 7B. Тобто напруга на резисторі 615 для вимірювання струму стає все більше негативною з плином часу, протягом якого FET 608 є увімкнутим.

50 Оскільки все більш негативна напруга на резисторі 615 для вимірювання струму відповідає зростаючому струму через індуктор 124, величина напруги на резисторі 615 для вимірювання струму характеризує струм, який протікає через індуктор 124. Поки FET 608 залишається увімкнутим, струм через індуктор 124 і напруга на резисторі 615 для вимірювання струму зростають по суті лінійно до відповідних максимальних значень I_{\max} , V_{\max} (які залежать від напруги постійного струму, яка подається джерелом 118 постійного струму, і опору по постійному струму схеми 600) із сталою швидкістю, залежною від індуктивності L_1 і опору по постійному струму схеми 600. Слід відзначити, що оскільки струм через індуктор 124 змінюється
 60

після моменту t_0 , певне індукційне нагрівання струмоприймача 132 може відбуватися, поки постійний струм через перший індуктор 124 наростає.

5 Схеми 600 виконана так, що кількість енергії, яка накопичується в першому індукторі 124 за час, протягом якого FET 608 є увімкненим, визначається пристроєм керування і може перебувати під керуванням контролера 1001. Тобто контролер 1001 керує величиною постійного струму (а отже і кількістю магнітної енергії), якій дозволяється наростати в індукторі 124, як буде тепер описано.

10 Як описано вище, керувальна напруга 1031 прикладається до лінії 619 керувальної напруги. В цьому прикладі керувальна напруга 1031 є позитивною напругою і вхідна напруга в позитивний вивід компаратора 618 (тобто напруга на п'ятому вузлі 600E) в будь-який момент часу залежить від значення керувальної напруги 1031 і напруги на четвертому вузлі 600D. Коли негативна напруга на резисторі 615 для вимірювання струму досягає конкретної величини, вона нівелює на п'ятому вузлі 600E позитивну керувальну напругу 1031 і дає напругу 0 В (тобто напругу землі) на п'ятому вузлі 600E. В цьому прикладі резистор 617a має опір 2 кОм. Резистор 15 617b представляє ефективний опір 70 кОм контролеру 1001. Напруга на п'ятому вузлі 600E досягає 0 В, коли негативна напруга на резисторі 615 для вимірювання струму має ту саму величину, що і керувальна напруга 1031.

20 Компаратор 618 виконаний з можливістю порівнювати напругу на своєму позитивному виводі з напругою землі 616, підключеної до його негативного виводу, і видавати сигнал як результат. В одному прикладі компаратор являє собою стандартний компонент FAN156, який можна отримати від "ON Semiconductor". Відповідно, коли напруга на п'ятому вузлі 600E досягає 0 В, компаратор 618 приймає сигнал 0 В на своєму позитивному виводі і результатом порівняння, проведеного компаратором 618, є те, що напруга на позитивному виводі дорівнює 25 напрузі на негативному виводі. Отже, компаратор 618 видає сигнал на бістабільний тригер 622 і викликає вимикання FET 608. По суті, вимикання FET 608 залежить від умов напруги, виявлених в схемі 600. А саме, в цьому прикладі, коли компаратор 618 виявляє шляхом порівняння напруги на своїх виводах, що негативна напруга на резисторі 615 для вимірювання струму досягла тієї самої величини, що й керувальна напруга 1031, що відбувається в момент t_1 , FET 30 608 вимикається. На фігурі 7A постійний струм, який протікає через індуктор 124 в момент t_1 , коли FET 608 вимикається, позначено I_1 .

35 Коли FET 608 виключається, в момент t_1 , FET 608 перемикається з роботи на зразок замкненого перемикача до роботи на зразок діода 608a в резонаторній секції 601 і з метою живлення від джерела 118 постійного струму фактично діє як розімкнутий перемикач. В момент t_1 шлях постійного струму через індуктор 124 до землі 616 переривається FET 608. Це змушує струм, який протікає в першому індукторі 124, перериватись (це не показано на фігурі 7A), і індуктор 124 протидіє цій зміні струму, генеруючи наведену напругу. Відповідно, струм починає коливатись вперед й назад між індуктором 124 і конденсаторами 606, 608 на резонансній частоті першої резонаторної секції 601.

40 Так само напруга на індукторі 124, а отже між електродами стоку 608D і витоку 608S першого FET починає коливатись на резонансній частоті першої резонаторної секції 601. Коли струм через індуктор 124 і напруга на ньому починають коливатись, струмоприймач 132 індукційно нагрівається. Тому перемикання FET 608 у вимкнений стан призводить до вивільнення магнітної енергії, накопиченої в індукторі 124, в момент t_1 , щоб нагрівати струмоприймач 132.

45 На фігурі 8 показано криву 800 напруги на першому FET 608, починаючи з перебування FET 608 у увімкненому стані з моменту t_0 до моменту t_1 . Протягом часу, представленого на фігурі 8, перший FET 608 вимикається і вмикається двічі.

50 Крива 800 напруги містить першу секцію 800a між моментами t_0 і t_1 , коли перший FET 608 увімкнений, і другу секцію 800b-800d, коли перший FET 608 вимкнений. На 800e FET 608 знову вмикається і починається третя секція 800f, яка є еквівалентною першій секції 800a, в той час як перший FET 608 залишається увімкненим і вищеописаний процес наростання постійного струму через індуктор 124 повторюється. На фігурі 8 також показано четверту секцію 800g, коли перший FET 608 знову виключається, дозволяючи коливання напруги на FET 608, і п'яту секцію 800h, коли перший FET 608 потім знову вмикається.

55 Напруга на першому FET 608 є нульовою, коли перший FET 608 увімкнений в секціях 800a, 800f і 800h. Коли перший FET 608 вимкнений, як вказано секціями 800b-800d, а також секцією 800g, перший індуктор 124 використовує енергію, накопичену в його магнітному полі (це магнітне поле було результатом наростання постійного струму, коли перший FET 608 був увімкнений), щоб наводити напругу, яка протидіє падінню струму, що протікає через перший 60 індуктор 124, в результаті вимикання першого FET 608. Напруга, наведена в першому індукторі

124, викликає відповідні зміни напруги на першому FET 608. Під час цієї зміни напруги перший індуктор 124 і конденсатори 606, 610 починають резонувати один з одним із синусоїдною формою сигналу. Напруга, представлена кривою 800 напруги, спочатку збільшується (див., наприклад, 800b), коли наведена напруга в першому індукторі 124 збільшується, щоб
 5 протидіяти падінню струму через вимкання першого FET 608, досягає піку (див., наприклад, 800c) і потім, коли енергія, накопичена в магнітному полі першого індуктора 124, вичерпується, зменшується назад до нуля (див., наприклад, 800d).

Змінна напруга 800b-800d і 800g створює відповідний змінний струм (не показано) і, оскільки протягом часу вимкнення першого FET 608 конденсатори 606, 610 і перший індуктор 124 діють як резонансний LC-контур, повний імпеданс комбінації першого індуктора 124 і конденсаторів 606, 610 перебуває на мінімумі протягом цього часу. Тому буде зрозуміло, що максимальна величина змінного струму, що протікає через перший індуктор 124, буде відносно великою. Цей відносно великий змінний струм відповідно призводить до відносно сильного змінного магнітного поля в першому індукторі 124, яке призводить до того, що струмоприймач 132
 15 генерує тепло. Період часу, протягом якого напруга на першому FET 608 змінюється, як показано секціями 800b-800d і секцією 800g, в цьому прикладі залежить від резонансної частоти першої резонаторної секції 601.

Тепер з посиланням на фігуру 6 і фігуру 8, схема 600 виконана так, що коли перший FET 608 вимкнений і напруга на першому FET 608 зменшується назад до 0 В, детектор 621 нульової напруги виявляє ці умови напруги і видає сигнал на бістабільний тригер 622, який викликає перемикавання першого FET 608 назад у ввімкнений стан. Тобто у відповідь на ці умови напруги, виявлені в першій резонаторній секції 601, FET 608 перемикається з вимкненого стану у ввімкнений стан. Можна вважати, що детектор 621 нульової напруги виявляє умови напруги, які вказують на те, що задану частину циклу коливань струму між індукційним елементом і ємнісним елементом було завершено, відтоді як FET 608 було вимкнено. Тобто детектор 621 нульової напруги виявляє, що напівцикл коливань струму (і напруги) на резонансній частоті першої резонаторної секції 601 було завершено, коли детектор 621 нульової напруги виявляє, що напруга на FET 608 повернулася до 0 В або майже 0 В.

В деяких прикладах детектор 621 нульової напруги може виявляти, коли напруга на першому FET 608 повернулася до рівня 801 напруги або нижче, і по суті може видавати сигнал, щоб викликати перемикавання стану FET 608 до того, як напруга на FET 608 досягає точно 0 В. Як представлено фігурою 8, робота детектора 621 нульової напруги перериває коливання напруги в резонаторній секції 601 після одного напівциклу, а отже призводить до по суті напівсинусного профілю сигналу напруги на першому FET 608. Додаткові подробиці роботи детектора 621 нульової напруги будуть описані нижче з посиланням на фігуру 9.

Коли перший FET 608 знову вмикається, в точці 800e, постійний струм, який живиться джерелом 118 постійного струму, знову наростає через перший індуктор 124. Перший індуктор 124 тоді може знову накопичувати енергію в формі магнітного поля, щоб випускати, коли перший FET 608 наступного разу вимикається, щоб ініціювати резонанс в першій резонаторній секції 601. Коли перший FET 608 повторно вмикається і вимикається в такий спосіб, вищеописаний процес безперервно повторюється, щоб нагрівати струмоприймач 132.

Слід відзначити, що вищеописане наростання струму через індуктор 124, описане з посиланням на фігури 7A і 7B, виникає як тоді, коли FET 608 включається початково у відповідь на сигнал СТАРТ 1011 з контролера 1001, так і коли FET 608 вмикається після того за умов нульової напруги, виявлених детектором 621 нульової напруги. В першому випадку, у відповідь на сигнал СТАРТ 1011, струм в індукторі 124 наростає по суті лінійно від 0. В другому випадку, коли FET 608 знову включається у відповідь на виявлені умови нульової напруги в точці 800e, деякий надлишковий струм циркулює в схемі 600 (наприклад, з попередніх циклів вмикання і вимкання FET 608). Коли FET 608 знову включається після виявлення умов нульової напруги, рециркуляційний струм створює початковий негативний струм через FET 608. Тоді, поки FET 608 залишається увімкненим, струм через FET 608 і індуктор 124 наростає, по суті лінійно, від значення початкового негативного струму, створюваного рециркуляційним струмом. Коли струм через індуктор 124 наростає, напруга на резисторі 615 для вимірювання струму відповідно стає все більш негативною в спосіб, описаний вище.

В прикладах вмикання і вимкання FET 608 може відбуватись з частотою приблизно від 100 кГц до 2М Гц, або приблизно від 500 кГц до 1М Гц, або приблизно 300 кГц. Частота, з якою відбувається вмикання і вимкання FET 608, залежить від індуктивності L, ємності C, напруги джерела постійного струму, яка подається джерелом 618, і додатково від ступеню, до якого струм продовжує рециркулювати через резонаторну секцію 601, і ефекту навантаження струмоприймача 132. Наприклад, коли напруга джерела постійного струму дорівнює 3,6 В,

індуктивність індуктора 124 становить 140 нГн, а ємність резонаторної секції 601 становить 100 нФ, час, протягом якого FET 608 залишається ввімкнутим, може становити приблизно 2700 нс, а час для завершення напівциклу коливань, коли FET 608 вимкнений, може становити приблизно 675 нс. Ці значення відповідають подачі потужності приблизно 20 Вт від джерела 118 напруги постійного струму в резонаторну секцію 601. На вказану вище тривалість часу, протягом якого FET 608 залишається ввімкненим, впливає величина струму, який рециркулює в схемі, оскільки, як описано вище, цей рециркуляційний струм спричиняє початковий негативний струм через індуктор після включення FET 608. Слід також відзначити, що час, протягом якого струм має наростати до величини, яка спричиняє вимикання FET 608, також щонайменше частково залежить від опору індуктора 124, який, однак, має порівняно незначний вплив на цей час, якщо порівнювати із впливом індуктивності резонаторної секції 601. Час для завершення напівциклу коливань (в цьому прикладі 675 нс) залежить від резонансної частоти резонаторної секції 601, на яку впливають не тільки значення індуктивності і ємності індуктора 124 і конденсаторів 606, 610 відповідно, але також ефективний опір, який забезпечується навантаженням на індуктор 124 з боку струмоприймача 132.

До цього схему 600 було описано стосовно її роботи для нагрівання струмоприймача 132 одним індуктором, першим індуктором 124, а отже було описано тільки частину схеми 600, використовуваної пристроєм 100. Однак, як описано вище, пристрій 100 також містить другий індуктор 126 для нагрівання другої зони 132b струмоприймача 132. На фігурі 9 показано схему 600, яка містить другий індуктор 126 в доповнення до першого індуктора 124.

Як показано на фігурі 9, в доповнення до елементів, описаних з посиланням на фігури з 6 по 8, схема 600 містить другу резонаторну секцію 701, яка містить другу індукційну котушку 126, третій конденсатор 706, четвертий конденсатор 710 і другий FET 708, який має електрод стоку 708D, електрод витоку 708S і затворний електрод 708G. Додатково схема 600 містить другий драйвер 723 керування затвором, виконаний з можливістю надавати напругу затвор-витік на затворний електрод 708G другого FET. Контролер 1001 не показаний на фігурі 9, але контролер 1001 керує схемою 600 в спосіб, описаний з посиланням на фігури з 6 по 8, і додатково виконаний з можливістю надавати керувальний сигнал 1012 на другий драйвер 723 керування затвором. Деякі номери посилань елементів схеми 600, вже описаних з посиланням на фігуру 6, були прибрані з фігури 9 для ясності.

Як описано вище, перший індуктор 124 розташований так, щоб нагрівати першу зону 132a струмоприймача 132, а другий індуктор 126 розташований так, щоб нагрівати другу зону 132b струмоприймача 132. Другий індуктор 126, третій і четвертий конденсатори 706, 710 і другий FET 708 розташовані з утворенням другої резонаторної секції 701, в той самий спосіб, як перший індуктор 124, перший і другий конденсатори 606, 610 і перший FET 608 розташовані з утворенням першої резонаторної секції 601. В одному прикладі третій і четвертий конденсатори 706, 710 також являють собою C0G конденсатори і можуть мати ємність приблизно 100 нФ. Другий індуктор 126 в одному прикладі має опір постійному струму приблизно 8 мОм. Друга резонаторна секція 701, коли є активною, працює для нагрівання струмоприймача 132 в спосіб, еквівалентний описаному вище для першої резонаторної секції 601, і опис цього тут повторюватись не буде.

Буде зрозуміло, що значення опору по постійному струму індукторів 124, 126 буде впливати на ефективність схеми 600, оскільки вищий опір по постійному струму буде призводити до вищих втрат на опір в індукторі 124, 126, і фактично може бути бажано мінімізувати опір по постійному струму індуктора, наприклад шляхом зміни кількості витків або поперечного перерізу індукторів 124, 126. Крім того, буде зрозуміло, що опір по змінному струму індуктора 124 збільшується порівняно з опором по постійному струму через скін-ефект. По суті, використання літцендрату в прикладах забезпечує зменшення скін-ефекту, а отже зменшення опору по змінному струму і пов'язаних втрат на опір з боку індукторів 124, 126. Для прикладу, коли перший індуктор 124 має опір по постійному струму приблизно 5 мОм і другий індуктор 126 має опір по постійному струму приблизно 8 мОм, а схема працює при приблизно 300 кГц, особливе компонування літцендрату, який формує котушки, дає в результаті значення ефективного опору для індукторів 124, 126, які в приблизно 1,14 рази більші їхніх значень опору по постійному струму.

Вузол 700A в другій резонаторній секції 701 є еквівалентним першому вузлу 600A першої резонаторної секції 601 і електрично підключений до першого вузла 600A і таким чином до позитивного виводу 118a джерела 118 постійного струму. Вузол 700C перебуває в еквівалентному положенні в другій резонаторній секції 701 стосовно третього вузла 600C першої резонаторної секції 601, і вузол 700C подібно підключений до землі 616.

Важливо відзначити, що схема 600 виконана з можливістю застосування контролером 1001 так, що тільки одна з резонаторних секцій 601, 701 є активною в будь-який один момент часу. Приклади цього застосування будуть більш докладно описані нижче.

5 Під час активації однієї з резонаторних секцій 601, 701 детектор 621 нульової напруги пристосований виявляти умови нульової напруги в активній резонаторній секції 601, 701, а отже керувати перемиканням відповідного FET 608, 708 активної резонаторної секції 601, 701. Детектор 621 нульової напруги керує тим, коли відповідний FET 608, 708 активної резонаторної секції 601, 701 вмикається знову (наприклад, в точці 800e), як буде тепер описано більш докладно, з посиланням на фігури з 8 по 10.

10 В схемі 600 детектор 621 нульової напруги виконаний з можливістю виявляти умови нульової напруги на другому вузлі 600В першої резонаторної секції 601 або на еквівалентному вузлі 700В другої резонаторної секції 701. Коли одна з першої резонаторної секції 601 і другої резонаторної секції 701 є активною, детектор 621 нульової напруги виявляє кожний раз, коли відповідний FET 608, 708 було вимкнено, що напруга на цьому FET 608, 708 повернулася до нуля (наприклад, точка 800e на фігурі 8) або є близькою до нуля, наприклад нижче рівня 801. У відповідь на виконання цього виявлення детектором 621 нульової напруги видається сигнал, щоб змінювати стан бістабільного тригера 622. Відповідний драйвер 623 керування затвором, який перебуває в роботі, тоді видає напругу затвор-витік, щоб перемикати відповідний FET назад у ввімкнений стан.

20 Перший діод 725 слабких сигналів підключає детектор 621 нульової напруги до другого вузла 600В першої резонаторної секції, а другий діод 726 слабких сигналів підключає детектор 621 нульової напруги до еквівалентного вузла 700В другої резонаторної секції 701. Більш конкретно, аноди першого діода 725 слабких сигналів і других діодів слабких сигналів підключені до вводу детектора 621 нульової напруги через спільний вузол 701В, тоді як катоди діодів 725, 726 підключені відповідно до вузлів 600В, 700В.

25 Роботу детектора 621 нульової напруги в конкретному прикладі тепер буде описано з посиланням на фігуру 10, на якій показано детектор 621 нульової напруги і бістабільний тригер 622. На фігурі 10 компоненти, з яких складається детектор 621 нульової напруги, оточені прямокутником із штрихової лінії. Показано вузол 701В, підключений до анодів першого і другого діодів 725, 726 слабких сигналів. Стартовий сигнал 1011 з контролера 1001 на детектор 621 нульової напруги також можна побачити на фігурі 13.

30 Детектор 621 нульової напруги в цьому прикладі містить інверторний вентиль U103, який має вхід 2 з вузла 701В і вихід 4, підключений до входу бістабільного тригера 622. Інверторний вентиль U103 живиться через підключення 5 і 3, а конденсатор C108 ізолює підключення 5 від землі. Подача 621a логічного живлення, в цьому прикладі 2,5 В, подається на вхід 5 і через підтягуючий резистор R111 на вхід 2 інверторного вентиля U103. Подача 621a логічного живлення в цьому прикладі подається з контролера 1001. Інверторний вентиль U103 виконаний з можливістю діяти як вентиль АБО для сигналу СТАРТ 1011 і сигналу виявлення нульової напруги з вузла 701В. Тобто інверторний вентиль U103 виконаний з можливістю приймати логічний низький сигнал в формі сигналу СТАРТ 1011 з контролера 1001 для ініціювання роботи схеми 600a. Сигнал СТАРТ 1011 може бути наданий сигнальним контактом "відкрити стік" контролера 1001. Інверторний вентиль U103 також виконаний з можливістю приймати логічний низький сигнал з вузла 701В, коли один з першого і другого сигнальних діодів 725, 726 зміщений прямо через те, що один з вузлів 600В, 700В перебуває при нулі або біля нуля вольт, як буде пояснено нижче. Коли будь-який або обидва з цих логічних низьких сигналів приймається на вході 2 інверторного вентиля, інверторний вентиль U103 обертає прийнятий сигнал і видає логічний високий сигнал на бістабільний тригер 622.

40 Коли перший індуктор 124 застосовується для нагрівання струмоприймача 132, другий FET 708 залишається вимкненим. Коли другий FET 708 залишається вимкненим, другий діод 726 слабких сигналів або не має ніякого зміщення, або зміщений зворотно, залежно від значень напруги на логічному джерелі живлення і джерелі 118 постійного струму, тобто напруга на катодному кінці (найближче до вузла 700В) другого діода 726 слабких сигналів є або по суті такою самою як, або ж вищою ніж, напруга на анодному кінці (найближче до детектора 621 нульової напруги) другого діода 726 слабких сигналів.

55 Під час роботи першої резонаторної секції 601, коли перший FET 608 вимкнений і напруга на ньому змінюється так, як вказано секціями 800b-d на фігурі 8, перший діод 725 слабких сигналів зміщений зворотно. В кінці цієї зміни напруги, коли напруга досягає 0 В, як вказано на 800e, або є близькою до 0 В (наприклад, на рівні 801 або нижче), перший діод 725 слабких сигналів стає зміщеним прямо. Відповідно, коли перший діод 725 слабких сигналів зміщений прямо на 800e, сигнал, який подається на вхід 2 інверторного вентиля U103, стає логічним низьким сигналом,

60

оскільки падіння напруги створюється з логічного сигналу 621a на резисторі R111. По суті, коли цей логічний низький сигнал обертається інверторним вентилям U103, логічний високий сигнал надається на виході 4 інверторного вентиля U103.

5 Хоча в наведеному вищій описі функціонування детектора 621 нульової напруги описано стосовно керування перемиканням першого FET 608, буде зрозуміло, що детектор 621 нульової напруги функціонує в той самий спосіб, використовуючи другий діод 726 слабких сигналів замість першого діода 725 слабких сигналів, щоб керувати другим FET 708.

10 Все ще з посиланням на фігуру 10, бістабільний тригер 622 містить тактовий вхід CLK, вхід скидання/RST і вихід Q. Бістабільний тригер 622 також містить додаткові входи D і VCC для подачі живлення, в цьому прикладі бістабільний тригер приймає ту саму подачу 621a логічного живлення 2,5 В з контролера 1001, яку отримує й інверторний вентиль U103. Тактовий вхід CLK підключений до виходу 4 інверторного вентиля U103 і виконаний з можливістю приймати сигнал з нього. Коли вихід 4 інверторного вентиля U103 перемикається з логічного низького на логічний високий (через те, що вхід 2 інверторного вентиля U103 приймає сигнал про виявленні умови нульової напруги або сигнал СТАРТ 1011, як описано вище), тактовий вхід CLK бістабільного тригера 622 приймає логічний високий сигнал зі зростаючим фронтом, який "задає такт" бістабільного тригера 622 і робить стан виходу Q бістабільного тригера високим. Бістабільний тригер 622 містить додатковий вхід /RST, виконаний з можливістю приймати сигнал з виходу компаратора 618, за допомогою якого компаратор 618 може змінювати стан бістабільного тригера 621, призводячи до того, щоб вихід Q бістабільного тригера ставав низьким. Вихід Q бістабільного тригера підключений до першого і другого драйверів 623, 723 керування затвором, і після прийому високого вихідного сигналу з виходу Q бістабільного тригера будь-який з драйверів 623, 723 керування затвором, який є активним, (внаслідок прийому сигналу 1021, 1022, як описано вище) надає сигнал драйвера керування затвором на відповідний йому FET 608, 708.

20 В одному конкретному прикладі бістабільний тригер 622 може перемикатись при половині напруги логічного джерела 621a живлення, тобто при 1,25 В в цьому прикладі. Це означає, що напруга прямого зміщення першого діода 725 слабких сигналів і напруга на стоці 608D першого FET мають в сумі складати 1,25 В, щоб перший FET 608 був увімкненим. Тому в цьому прикладі перший FET 608 вмикається, коли його стік 608D перебуває під 0,55 В, а не під точно 0 В. Слід відзначити, що в ідеалі, для максимальної ефективності, перемикання може відбуватись при 0 В на FET 608. Це перемикання при нульовій напрузі вигідно не дозволяє першому FET 608 розряджати конденсатори 606, 610 і таким чином втрачати енергію, накопичену у вказаних конденсаторах 606, 610.

35 На фігурі 11 показано більш докладно перший і другий драйвери 623, 723 керування затвором та їхнє підключення до затворів 608G, 708G відповідних їм FET 608, 708. Кожний з драйверів 623, 723 керування затвором має вхід IN, який виконаний з можливістю приймати сигнал, залежний від сигналів 1021, 1022 активації нагрівача, які подаються з контролера 1001. Додатково сигнали, отримувані входами IN драйверів 623, 723 керування затвором, залежать від того, чи є високим сигнал, який видає вихід Q бістабільного тригера. Входи IN підключені до виходу Q бістабільного тригера 622 через відповідні резистори R125, R128, кожен з яких в цьому прикладі має величину 2 кОм.

40 Кожен з драйверів 623, 723 керування затвором має два додаткових входи VDD і XREF, при цьому кожен вхід VDD приймає подачу живлення 6 В з контролера 1001, а XREF приймає логічну напругу 2,5 В, яка в цьому прикладі є тією самою логічною напругою, яка подається контролером 1001 на бістабільний тригер 622 і інверторний вентиль U103. Входи VDD кожного з першого і другого драйверів 623, 723 керування затвором підключені до напруги живлення 6 В, а входи VDD підключені до землі через два буферних конденсатора C120, C121. Кожен з драйверів 623, 723 керування затвором також має вивід GND, підключений до землі, при цьому виводи VDD і GND діють так, щоб подавати живлення на драйвери 623, 723 керування затвором. В цьому прикладі кожен з конденсаторів C120, C121 має ємність 1 мкФ. Драйвери 623, 723 керування затвором виконані з можливістю видавати напруги керування затвором з відповідних виходів OUT. Виходи OUT драйверів 623, 723 керування затвором підключені відповідно до затворів 608G, 708G FET через резистори R114, R115, кожен з яких в цьому прикладі має опір 4,99 Ом.

55 Кожний драйвер 623, 723 керування затвором виконаний з можливістю приймати сигнал на своєму вході IN, щоб викликати активацію драйвера керування затвором тільки поки логічний високий сигнал надається з виходу Q бістабільного тригера і сигнал 1021, 1022 активації нагрівача приймається з контролера 1001. Сигнальний контакт "відкрити стік" може бути наданий на контролері 1001, який виконаний з можливістю надавати сигнали 1021, 1022.

В прикладах запуск схеми 600 для нагрівання однією з резонаторних секцій 601, 701 направляється контролером 1001, який спочатку ініціює необхідний один з драйверів 623, 723 керування затвором за допомогою відповідного одного з сигналів 1021, 1022 запуску нагрівача. Контролер 1001 потім подає сигнал СТАРТ 1011 на детектор 621 нульової напруги. Тривалість сигналу СТАРТ 1011 має бути коротшою, ніж період напівциклу коливачів в активній резонаторній секції 601, 701 (цей період може називатися "резонансним періодом зворотного ходу"). Це дозволяє схемі належно розпочинати автоколивання у відповідь на визначені умови нульової напруги. В іншому прикладі порядок сигналу СТАРТ 1011 і відповідного сигналу 1021, 1022 вмикання нагрівача може бути зворотним, так що сигнал СТАРТ 1011 спочатку застосовується, щоб встановити вихід бістабільного тригера Q у високий, а один з сигналів 1021, 1022 запуску нагрівача потім застосовується, щоб розпочинати автоколивання резонаторної секції 601, 701, яка відповідає нагрівачу, на який подається сигнал 1021, 1022.

Щоб продовжити опис пристрою керування для керування схемою 600 більш докладно, на фігурі 12 показано частину пристрою керування, яка містить компаратор 618 і пов'язані компоненти. На фігурі 12 позитивний вивід 118а джерела 118 живлення постійного струму показано як такий, що підключений до вузла 1500А, який підключений до вузлів 600А, 700А першої і другої резонаторних секцій 601, 701 відповідно. Негативний вивід 118b джерела живлення постійного струму підключений до вузла 1500В, який є еквівалентним вузлу 600D, показаному на фігурі 6. Вузол 1500В підключається до землі 616 через резистор 615 для вимірювання струму. Між вузлами 1500А і 1500В розташовано сукупність конденсаторів С111, С112, С115 і С116, які в цьому прикладі мають ємність 100 мкФ і підключені паралельно, забезпечуючи буферизацію між вузлами 1500А і 1500В.

На фігурі 12 більш докладно показані компоненти, пов'язані з функціонуванням компаратора 618, для виявлення того, що струм через активний індуктор 124 або 126 досяг заданого рівня. Як описано з посиланням на представлені раніше фігури, компаратор 618 виконує порівняння напруги, яка характеризує величину постійного струму, що протікає в активному індукторі (124 або 126), з керувальною напругою 1031, яка надходить з контролера 1001. Компаратор 618 приймає живлення через вхід 6, підключений через резистор R116 100 Ом до логічного сигналу живлення 2,5 В, який в цьому прикладі подається контролером 1001 і є тим самим логічним сигналом, що й сигнал 621а, який приймає бістабільний тригер 622. Вхід 6 живлення компаратора підключений до землі через конденсатор С119 10 нФ. Ще один вивід 2 компаратора 618 підключений безпосередньо до землі.

В деяких прикладах контролер 1001 являє собою мікропроцесорний пристрій, який містить таймер (не показаний) для генерування сигналу, який створює керувальну напругу 1031. В цьому прикладі керувальна напруга 1031 створюється сигналом PWM_DAC широтно-імпульсної модуляції, який генерується контролером 1001. Таймер контролера 1001 генерує квадрантний сигнал широтно-імпульсної модуляції величиною, наприклад, приблизно 2,5 В і частотою приблизно 20 кГц і який має конкретний коефіцієнт заповнення. Сигнал PWM_DAC широтно-імпульсної модуляції фільтрується 10 нФ конденсаторами С127 і С128, двома 49,9 кОм резисторами R121, R123 і 10 кОм резистором R124, щоб надавати по суті сталу керувальну напругу 1031 з частотою, з якою контролер 1001 керує керувальною напругою 1031 (наприклад, приблизно 64 Гц в прикладах). Щоб регулювати керувальну напругу 1031, контролер 1001 в прикладах виконаний з можливістю регулювати коефіцієнт заповнення сигналу PWM_DAC широтно-імпульсної модуляції, який прикладається до схеми 600. По суті, компоненти, розташовані між входом PWM_DAC і позитивним виводом компаратора 618, фактично забезпечують створення керувальної напруги 1031 за допомогою сигналу широтно-імпульсної модуляції і регулювання величини керувальної напруги 1031 шляхом регулювання коефіцієнта заповнення цього сигналу широтно-імпульсної модуляції. Отже, лінія 619 керувальної напруги, показана на фігурах 6 і 9, може бути замінена цими компонентами. Однак в інших прикладах керувальна напруга 1031 може створюватись по суті сталою напругою, яка подається, наприклад, контролером 1001. В таких прикладах деякі або всі компоненти для фільтрування сигналу PWM_DAC, показані на фігурі 12, можуть бути відсутніми.

Вузол 1500В, який надає вхідний сигнал у позитивний вхід компаратора 618, як згадано вище, є еквівалентним вузлу 600D схеми 600. З фігури 12 можна побачити, що, як описано з посиланням на фігуру 6, вузол 1500В підключений через резистор 617а до позитивного входу компаратора 618. По суті, робота компаратора 618 є такою, як описано вище: приймати вхідний сигнал на своєму позитивному виводі, залежний від керувальної напруги 1031 і напруги на резисторі 615 для вимірювання струму. Коли напруга на позитивному виводі компаратора 618 досягає напруги землі, сигнал /FF RST видається через резистор R118 на вхід /RST

бістабільного тригера 622, щоб змінювати стан бістабільного тригера 622 і таким чином вимикати активний FET 608/708.

На фігурі 13 показані додаткові компоненти для конкретного прикладу пристрою керування для схеми 600. Компоненти, показані на фігурі 13, утворюють апарат 1300 для вимірювання струму для надання сигналу I_SENSE, що характеризує величину струму, отриманого від джерела 118 напруги постійного струму під час роботи схеми 600. З цього сигналу контролер 1001 може визначати струм, отримуваний від джерела 118 напруги, і може використовувати його разом із значенням напруги, яка подається джерелом 118 напруги постійного струму, щоб визначати значення потужності, яка подається в схему 600. В деяких прикладах, як буде описано нижче, визначене значення потужності може бути використане контролером 1001 для керування схемою 600.

Вхідний сигнал 1301 в апарат 1300 для вимірювання струму надається через резистор R120, показаний на фігурі 12. Вхід, таким чином, підключений до вузла 1500В через резистор R120 і приймає напругу, яка характеризує напругу на резисторі 615 для вимірювання струму. Апарат 1300 для вимірювання струму працює як апарат для вимірювання струму нижньої сторони для схеми 600. Щодо цього, апарат 1300 для вимірювання струму містить операційний підсилювач U110, який працює на напрузі 3,8 В, що подається на вхід 5 операційного підсилювача U110 (тип компонента TS507), встановлений для вимірювання струму нижньої сторони з використанням резистора 615 для вимірювання струму, як буде добре зрозуміло. Транзистор U109 із вбудованим резистором зміщення (тип компонента RN4986) діє так, щоб перемикає 2,5 В, які подаються контролером 1001, на подачу 3,8 В для операційного підсилювача U110. Лінія подачі живлення від транзисторного компонента U109 підключена до землі через 10 нФ конденсатор C132. Крім того, 1 кОм резистор R130 підключений між позитивним входом операційного підсилювача U110 і землею, а 412 кОм резистор R129 підключений між 2,5 В входом з контролера 1001 і позитивним входом компаратора U110. Негативний вивід операційного підсилювача U110 приймає напругу, залежну від напруги на резисторі 615 для вимірювання струму. Резистор R131 і конденсатор C133, підключені послідовно, забезпечують фільтрування сигналу напруги, отриманого через вхід 1301. Додатковий резистор R133 (який в цьому прикладі має опір 97,6 кОм) і 10 нФ конденсатор C134 підключені паралельно між входом в негативний вивід операційного підсилювача U110 і виходом операційного підсилювача U110 так, що операційний підсилювач працює в режимі зі зворотним зв'язком.

Положення резистора 615 для вимірювання струму, який, як згадано вище, в одному прикладі являє собою резистор 2 мОм, в схемі дозволяє вимірювати декілька параметрів за допомогою одного резистора для вимірювання струму, що може забезпечувати хорошу ефективність. Тобто положення резистора 615 для вимірювання струму в схемі дозволяє вимірювати: піковий струм FET, який може використовуватись, наприклад, при керуванні потужністю індукційного нагрівання схеми; середнє значення струму від батареї, яке може використовуватись при відстеженні розрядження батареї і встановленні індукційної потужності; і середнє значення струму в батарею, яке може використовуватись, наприклад, при відстеженні зарядження батареї.

Операційний підсилювач U110 працює так, щоб видавати на контролер 1001 сигнал напруги I_SENSE, який характеризує струм через резистор 615 для вимірювання струму і таким чином дозволяє контролеру 1001 визначати струм, отримуваний від джерела 118 напруги постійного струму через схему 600.

Слід відзначити, стосовно першого і другого FET 608 і 708 і топології схеми 600, що синхронізація першої і другої індукційних котушок 124 і 126 відносно одна одної може бути вибрана так, що коли застосовується перша індукційна котушка 124, струм, достатній для спричинення значного нагрівання струмоприймача 132, не має можливості протікати в другій індукційній котушці 126, а коли застосовується друга індукційна котушка 126, струм, достатній для спричинення значного нагрівання струмоприймача 132, не має можливості протікати в першій індукційній котушці 124.

Як описано вище, перший 608 і другий 708 FET фактично діють як діоди 608а, 708а, коли є вимкненими, а отже можуть проводити струм, якщо вони зміщені прямо (тобто FET не є ідеальними перемикачами). Відповідно, в прикладах схема 600 може бути виконана так, що коли одна з першої 124 і 126 індукційних котушок є активною для нагрівання струмоприймача 132, наведена напруга на іншій, неактивній, індукційній котушці не реалізує прямого зміщення внутрішнього діода FET, пов'язаного з цією неактивною індукційною котушкою, а натомість реалізує її зворотне зміщення.

Наслідок виконання описаного вище пристрою керування для керування перемикальними пристроями 608, 708 схеми 600 у відповідь на визначені умови напруги полягає в тому, що коли одна з першої резонаторної секції 601 і другої резонаторної секції 701 є активною (тобто її драйвер 623, 723 керування затвором активовано контролером 1001), ця резонаторна секція "реалізує автоколивання", в той час як інша секція залишається неактивною. Тобто перемикання відповідних FET 608, 708 в резонаторній секції 601, 701 повторюється з високою частотою, оскільки перші умови напруги (виявлені компаратором 618) викликають перехід FET із увімкненого стану у вимкнений, а другі умови напруги (виявлені детектором нульової напруги 621) викликають перехід FET із вимкненого стану у увімкнений.

Контролер 1001 виконаний з можливістю керувати схемою 600 індукційного нагрівання пристрою 100 так, що тільки один з першого індуктора 124 і другого індуктора 126 є активним в будь-який момент часу. Контролер 1001 виконаний з можливістю визначати з попередньо визначеною частотою, який з першого індуктора 124 і другого індуктора 126 активувати.

В прикладах, під час використання пристрою 100, контролер 1001 визначає з попередньо визначеною частотою, тобто один раз для кожного з множини попередньо визначених інтервалів часу, яку з першої резонаторної секції 601 і другої резонаторної секції 701 активувати. В одному прикладі кожний раз, коли контролер 1001 визначає, яку з першої резонаторної секції 601 і другої резонаторної секції 701 активувати, контролер 1001 може приймати рішення активувати цю резонаторну секцію для нагрівання струмоприймача 132 впродовж наступного попередньо визначеного інтервалу. Тобто, коли попередньо визначена частота (яка може бути названа "частотою переривання") становить 64 Гц, наприклад, контролер 1001 може визначати в попередньо визначені інтервали тривалістю 1/64 с, яку резонаторну секцію 601, 701 активувати на наступний термін 1/64 с, поки контролер не виконає інше визначення, яку резонаторну секцію 601, 701 активувати, в кінці наступного інтервалу тривалістю 1/64 с. В інших прикладах частота переривання може становити, наприклад, від 20 Гц до 80 Гц або, відповідно, попередньо визначені інтервали можуть мати тривалість від 1/80 с до 1/20 с. Для того, щоб визначати, який індуктор 124, 126 необхідно активувати на попередньо визначений інтервал, контролер 1001 визначає, яку зону 132a, 132b струмоприймача слід нагрівати в цей попередньо визначений інтервал. В прикладах контролер 1001 визначає, яку зону 132a, 132b струмоприймача слід нагрівати, з урахуванням вимірної температури зон 132a, 132b струмоприймача, як буде описано нижче.

На фігурі 14 показано представлення у вигляді блок схеми наведеного для прикладу способу визначення того, яку з двох резонаторних секцій 601, 701 слід активувати для конкретного попередньо визначеного інтервалу. В цьому прикладі контролер 1001 визначає, яку з першої 601 і другої 701 резонаторних секцій активувати для попередньо визначеного інтервалу, на основі поточної температури T1 першої зони 132a струмоприймача, яка нагрівається першим індуктором 124, і поточної температури T2 другої зони 132b струмоприймача, яка нагрівається другим індуктором 126. В одному прикладі поточні температури T1 і T2 першої 132a і другої 132b зон струмоприймача можуть бути виміряні відповідними термopарами (приклади який не показані нижче), приєднаними до кожної зони струмоприймача 132. Термopари надають на контролер 1001 вхідний сигнал, що дозволяє контролеру 1001 визначати температури T1, T2. В інших прикладах інші придатні засоби можуть бути використані для визначення відповідних температур зон 132a, 132b струмоприймача.

В блоці 1051 контролер 1001 визначає поточне значення температури T1 і порівнює його з цільовою температурою target1 для першої зони 132a, пристосованої для нагрівання першим індуктором 124. Цільова температура target1 першої зони 132a має значення, яке може змінюватись протягом всього сеансу використання пристрою, який використовує схему 600. Наприклад, для першої зони може бути визначений температурний профіль, який визначає значення для target1 протягом всього сеансу використання пристрою 100.

В блоці 1052 контролер 1001 виконує таку саму операцію, яку було виконано для першого індуктора 124 в блоці 1051, і визначає, чи поточна температура T2 другої зони 132b нижче цільової температури target2 для другої зони 132b в цей час. І знову, цільова температура другої зони 132b може бути визначена температурним профілем, який визначає значення target2 протягом всього сеансу використання. Температура другої зони 132b може, подібно до першої зони 132a, бути виміряна будь-яким придатним засобом, наприклад термopарою.

Якщо обидві відповіді в блоці 1051 і блоці 1052 являють собою "ні", тобто обидві зони 132a, 132b струмоприймача в поточний час мають температури, які дорівнюють або перевищують їхні відповідні цільові температури target1, target2, то контролер 1001 визначає, що ані першу, ані другу резонаторні секції 601, 701 не слід активувати на наступний попередньо визначений інтервал.

Якщо відповідь у блоці 1051 є "ні" і відповідь у блоці 1052 є "так", тобто перша зона 132a має температуру, яка дорівнює або перевищує її цільову температуру target1, але друга зона 132b має температуру нижче її цільової температури target2, то контролер 1001 визначає, що другу резонаторну секцію 701 слід активувати, щоб нагрівати другу зону 132b в наступний попередньо визначений інтервал.

Якщо відповідь у блоці 1051 є "так" і відповідь у блоці 1052 є "ні", тобто перша зона 132a має температуру нижче її цільової температури target1, і друга зона 132b має температуру, яка дорівнює або перевищує її цільову температуру target2, то контролер 1001 визначає, що першу резонаторну секцію 601 слід активувати, щоб нагрівати першу зону 132a в наступний попередньо визначений інтервал.

Якщо відповідь у блоці 1051 є "так" і відповідь у блоці 1052 є "так", тобто як перша 132a, так і друга 132b зони мають температуру нижче їхніх відповідних цільових температур target1, target2, то контролер 1001 переходить до блоку 1053. В блоці 1053 контролер 1001 фактично діє так, щоб чергувати активацію першої резонаторної секції 601 і другої резонаторної секції 701 для кожного попередньо визначеного інтервалу, в якому температури обох зон 132a, 132b залишаються нижче їхніх відповідних цільових температур.

В одному прикладі для того, щоб по чергово активувати першу 601 і другу 701 резонаторні секції, в блоці 1053 контролер 1001, в деяких прикладах, визначає, чи парна кількість попередньо визначених інтервалів пройшла з початку сеансу. Якщо парна кількість попередньо визначених інтервалів пройшла з початку сеансу, то контролер 1001 визначає, що першу резонаторну секцію 601 слід активувати на наступний інтервал. Якщо непарна кількість попередньо визначених інтервалів пройшла з початку сеансу, то контролер 1001 визначає, що другу резонаторну секцію 701 слід активувати на наступний інтервал. Слід розуміти, що в інших прикладах контролер 1001 може натомість активувати другу резонаторну секцію 701, коли пройшла парна кількість інтервалів, і першу резонаторну секцію 601, коли пройшла непарна кількість інтервалів.

В певних прикладах схема 600 виконана так, що коли одна з резонаторних секцій 601, 701 активується прийманням сигналу 1021 або 1022 на одному з драйверів 623, 624 керування затвором, ця резонаторна секція 601/701 продовжує працювати, тобто реалізовувати автоколивання, поки не буде деактивована контролером 1001, наприклад шляхом надання відмінного сигналу на драйвер керування затвором цієї резонаторної секції 601/701. По суті, після визначення того, яку з резонаторних секцій 601, 701 активувати на заданий інтервал, контролер 1001, щоб ініціювати цю активацію, може деактивувати одну з резонаторних секцій 601, 701, яка була активною протягом попереднього інтервалу.

Щоб проілюструвати приклад блоку 1053, в якому спосіб 1050, показаний на фігурі 14, виконується з інтервалами 1/64 с, якщо контролер 1001 визначає, що обидві зони 132a, 132b мають температури, які нижчі їхніх відповідних цільових температур target1, target2, і парна кількість інтервалів 1/64 с пройшла від початку сеансу використання пристрою 100, то контролер 1001 активує першу резонаторну секцію 601 на наступний інтервал 1/64 с, в той час як другу резонаторну секцію 701 роблять неактивною, що в прикладах вимагає, щоб контролер 1001 деактивував другу резонаторну секцію 701. Якщо після цього наступного інтервалу 1/64 с температура обох зон 132a, 132b залишається нижче їхніх відповідних цільових температур target1, target2, то на наступний інтервал 1/64 с контролер 1001 активує другу резонаторну секцію 701, в той час як першу резонаторну секцію 601 роблять неактивною, що в прикладах вимагає, щоб контролер 1001 деактивував другу резонаторну секцію 701. Для кожного інтервалу, в якому температура обох зон 132a, 132b залишається нижче їхніх відповідних цільових температур, це чергування між активацією першої 601 і другої 701 резонаторних секцій продовжується.

Загалом, спосіб 1050 має той наслідок, що два індуктори 124, 126 ніколи не активуються одночасно. Коли визначають, що обидва індуктора 124, 126 вимагають активації, щоб доводити їхні відповідні зони 132a, 132b до цільової температури, контролер 1001 чергує подачу живлення на індуктори 124, 126 з попередньо визначеною частотою, щоб доводити обидві зони 132a, 132b до їхніх відповідних цільових температур. Тому під час конкретного моменту у сеансі використання активація індукційних котушок 124, 126 для нагрівання їхніх відповідних зон 132a, 132b струмоприймача може бути по черговою з конкретною частотою, наприклад 64 Гц. Можна побачити, що, наприклад, протягом періоду сеансу використання, який містить множини інтервалів, якщо перша зона 132a має температуру суттєво нижче її цільової температури, а друга зона 132b має температуру, яка дорівнює або перевищує її цільову температуру, спосіб 1050 має той наслідок, що живлення можна подавати в першу резонаторну секцію 601 протягом майже 100 % цього періоду. Однак для періоду сеансу використання, який містить множини

інтервалів, в яких обидві зони 132a, 132b мають температуру нижче їхніх цільових температур, кожний індуктор може отримувати живлення протягом приблизно 50 % цього періоду.

В прикладах контролер 1001 також виконаний з можливістю в попередньо визначені інтервали, які в прикладах збігаються з попередньо визначеними інтервалами, в які виконується спосіб 1050, визначати потужність, яка подається в одну з резонаторних секцій 601, 701 від джерела 118 постійного струму.

Як описано вище, з посиланням на фігури з 9 по 11 зокрема, для того щоб керувати тим, яку з першої резонаторної секції 601 і другої резонаторної секції 701 активувати в будь-який момент, контролер 1001, додатково до передавання сигналу СТАРТ 1001 для ініціювання роботи схеми 600, виконаний з можливістю вибірково передавати перший сигнал 1011 для роботи нагрівача на перший драйвер 623 керування затвором, щоб активувати першу резонаторну секцію 601, або другий сигнал 1012 для роботи нагрівача на другий драйвер 723 керування затвором, щоб активувати другу резонаторну секцію 701.

Наприклад, коли контролер 1001 ініціює роботу схеми 600 і контролер 1001 передає перший сигнал 1011 для роботи нагрівача, схема 600 спрацьовує, як описано вище, щоб активувати перший індуктор 124 для нагрівання першої зони 132a струмоприймача. Коли контролер 1001 передає другий сигнал 1012 для роботи нагрівача, схема 600 спрацьовує так, щоб активувати другий індуктор 126 для нагрівання другої зони 132b струмоприймача. Якщо контролер 1001 не передає ані перший сигнал 1011 нагрівача, ані другий сигнал 1012 нагрівача, то не активується жоден із нагрівачів 124, 126 і струмоприймач 132 не нагрівається.

Контролер 1001 виконаний з можливістю керувати потужністю, яка подається від джерела 118 напруги постійного струму в схему 600 для індукційного нагрівання струмоприймача 132, на основі порівняння виміру потужності, яка подається в схему 600, і цільової потужності. Контролер 1001 виконаний з можливістю керувати потужністю, яка подається в схему 600, шляхом керування перемикальним пристроєм схеми 600, тобто шляхом керування перемиканням FET 608, 708. Контролер 1001 може керувати перемиканням FET 608, 708 шляхом встановлення керувальної напруги 1031, яка визначає постійний струм, якому дозволено наростати в індукторі 124, 126, який відповідає цьому FET 608, 708, до того як FET 608, 708 вимикається.

На фігурі 15 показано наведений для прикладу спосіб 1100, який виконується контролером 1001, для керування потужністю, яка подається в схему 600. В блоці 1101 контролер 1001 визначає потужність P , яка подається від джерела 118 постійного струму в схему 600. Наприклад, контролер 1001 може визначати середню потужність, подану в схему 600 протягом попереднього наперед визначеного інтервалу. В прикладах потужність P , яка подається в схему 600 протягом інтервалу, може бути визначена шляхом вимірювання напруги на заданій одній з резонаторних секцій 601, 701 і постійного струму, що проходить через неї. Контролер 1001 може тоді визначати добуток напруги на заданій одній з резонаторних секцій 601, 701 і постійного струму через неї, щоб визначати потужність P , яка подається в цю резонаторну секцію 601, 701.

В прикладах визначена потужність P являє собою середню потужність, яка подається від джерела 118 постійного струму за попередньо визначений інтервал, яку можна визначити шляхом визначення добутку середньої напруги постійного струму на джерелі 118 постійного струму і середнього значення постійного струму, отриманого від джерела 118 постійного струму за попередній інтервал.

В наведеному для прикладу пристрої 100 джерело 118 постійного струму являє собою батарею, яка підключена до контролера 1001, і контролер 1001 тоді видає напругу джерела 118 постійного струму в схему 600. Контролер 1001 виконаний з можливістю визначати напругу постійного струму, яка подається батареєю 118. Струм, отримуваний від батареї 118, визначають із застосуванням апарату 1300 для вимірювання струму. Контролер 1001 визначає напругу постійного струму і постійний струм один раз на інтервал $1/64$ с. Напругу постійного струму можна вважати по суті сталою в цьому короткому періоді часу. Проте струм змінюється з частотою, яка залежить від високої частоти вмикання і вимикання схеми. Як описано вище, в деяких прикладах вона становить приблизно 300 кГц. Апарат 1300 для вимірювання струму, як описано вище з посиланням на фігуру 13, видає сигнал I_SENSE , який фільтрують, щоб прибрати цей приблизно 300 кГц сигнал. Тому середнє значення постійного струму для інтервалу $1/64$ с отримують, беручи вимір цього фільтрованого сигналу I_SENSE , і при цьому вимір I_SENSE беруть безпосередньо перед завершенням інтервалу $1/64$ с, для того щоб дозволити сигналу з фільтра встановитись. В такий спосіб контролер 1001 отримує вимір напруги постійного струму і вимір постійного струму для інтервалу $1/64$ с і може розрахувати добуток цих значень, щоб отримати визначену потужність P . Цю визначену потужність P можна

вважати середнім значенням потужності, яка подається джерелом 118 постійного струму протягом інтервалу $1/64$ с.

В блоці 1102 потужність P , яка подається, визначену в блоці 1101, порівнюють з цільовою потужністю. Там, де визначена потужність P є середньою потужністю за попередньо визначений інтервал, цільова потужність є цільовою середньою потужністю за той самий інтервал. В одному прикладі цільова потужність являє собою ціль для середньої потужності, яка подається за попередньо визначений інтервал, і може мати значення між 10 і 25 Вт, або між 15 і 23 Вт, або приблизно 20 Вт. В цьому прикладі цільова потужність є діапазоном, наприклад 20-21 Вт або 15-25 Вт. Контролер 1001 може відповідно в блоці 1102 порівнювати значення P потужності, яка подається, визначене в блоці 1101, з цільовим діапазоном і визначати, чи потужність, яка подається, перебуває нижче діапазону, в межах цільового діапазону або вище цільового діапазону. Наприклад, коли цільовий діапазон становить 20-21 Вт, в блоці 1102 контролер 1001 визначає, чи $P < 20$ Вт, або 20 Вт $\leq P \leq 21$ Вт, або $P > 21$ Вт.

На основі порівняння потужності P , яка подається, з цільовим діапазоном контролер 1001 визначає, чи потрібно і як регулювати потужність на наступний попередньо визначений інтервал з метою приведення фактичної потужності, яка буде подаватись в активний індуктор 124 або 126 протягом наступного попередньо визначеного інтервалу, до діапазону цільової потужності. Тобто, якщо потужність P , яка подається, перебуває нижче цільового діапазону, то контролер 1001 приймає рішення збільшити потужність, яка подається в схему 600 під час наступного попередньо визначеного інтервалу. Якщо потужність P , яка подається, перебуває вище цільового діапазону, то контролер 1001 приймає рішення зменшити потужність, яка подається в схему 600 під час наступного попередньо визначеного інтервалу. Якщо потужність P , яка подається, перебуває нижче цільового діапазону, то контролер 1001 приймає рішення не регулювати потужність, яка подається в схему 600 під час наступного попередньо визначеного інтервалу.

Через конфігурацію схеми 600, описану вище, потужність P , яка подається, для заданого попередньо визначеного інтервалу залежить від значення керувальної напруги 1031 для цього інтервалу. Беручи приклад одного $1/64$ с інтервалу, для якого перша резонаторна секція 601 є активною, цей $1/64$ с інтервал містить багато повторюваних циклів, які містять секції з 800a по 800e кривої 800 напруги і їх повторення. Для кожного циклу протягом періоду часу з t_1 по t_0 резонаторна секція 601 отримує можливість резонувати, і оскільки на цей період FET 608 є вимкненим, ніяка потужність не отримується від джерела 118 постійного струму через першу резонаторну секцію 601. Отже по суті вся потужність, яка отримується від джерела 118 постійного струму протягом заданого інтервалу $1/64$ с для живлення резонаторної секції 601, отримується протягом періоду між t_0 і t_1 , поки індуктор 124 "живиться" струмом, тобто поки FET 608 увімкнений. Час між t_1 і t_0 визначається резонансною частотою першої резонаторної секції 601. Ця резонансна частота може злишатись по суті сталою, принаймні протягом всього заданого інтервалу $1/64$ с (хоча може змінюватись протягом періоду роботи схеми 600 через залежність від температури котушки і струмоприймача і напруги батареї). Тривалість часу з t_0 по t_1 визначається значенням керувальної напруги 1031, а також напругою постійного струму, яка подається джерелом 118 постійного струму, й опором і індуктивністю першої резонаторної секції 601 (те саме стосується другої резонаторної секції 701). Тобто для заданої напруги джерела постійного струму керувальна напруга 1031 встановлює струм I_1 , якому дозволено наростати в індукторі 124 між t_0 і t_1 , але коли напруга джерела постійного струму зменшується, час, необхідний для наростання до заданого значення I_1 , збільшується. По суті середня потужність, яка подається протягом інтервалу $1/64$ с, залежить від значення керувальної напруги 1031.

Тому в прикладах, щоб керувати потужністю, яка буде подаватись в схему 600 протягом наступного інтервалу, контролер 1001 встановлює значення керувальної напруги 1031 для наступного інтервалу. В прикладах для заданого джерела 118 постійного струму під час попередньо визначеного інтервалу, протягом якого одна з резонаторних секцій 601, 701 є активною, більше позитивне значення керувальної напруги 1031 призводить до постачання більшої величини потужності P в схему 600. Тому в таких прикладах, в яких контролер 1001 визначає, що потужність P , яка подається, під час останнього інтервалу була вище цільового діапазону, контролер 1001 зменшує керувальну напругу 1031 на наступний інтервал. Якщо контролер 1001 визначає, що потужність P , яка подається, під час останнього інтервалу була нижче цільового діапазону, контролер 1001 збільшує керувальну напругу 1031 на наступний інтервал. І якщо контролер 1001 визначає, що потужність P , яка подається, під час останнього інтервалу була вище цільового діапазону, контролер 1001 залишає керувальну напругу 1031 без змін на наступний інтервал.

Слід відзначити, що в одному прикладі представленого вище способу 1100 потужність P , яка подається і яка визначається в блоці 1101, являє собою потужність, яка подається в конкретну одну з резонаторних секцій 601, 701. Наприклад, потужність P можна визначити вимірюванням напруги на першій резонаторній секції 601 і постійного струму через першу резонаторну секцію 601. У такому прикладі саме потужність P , яка подається в першу резонаторну секцію 601, використовується для керування керувальною напругою 1031. Слід також відзначити, що для заданої керувальної напруги 1031 в деяких прикладах потужність, яка подається в кожний з індукторів 124, 126, коли відповідні резонаторні секції 601, 701 є активними, може бути різною. Це може, наприклад, пояснюватись тим, що індуктори 124, 126 мають різні значення індуктивності або опору по постійному струму, або тим, що ємність двох резонаторних секцій 601, 701 не є рівною. Тому в цьому прикладі протягом заданого попередньо визначеного інтервалу цільова потужність, яка виходить за межі діапазону цільової потужності, може подаватись в другу резонаторну секцію 701, але оскільки керувальною напругою 1031 керують на основі потужності P , яка подається в першу резонаторну секцію 601, в цьому прикладі контролер 1001 може не регулювати керувальну напругу 1031.

Наприклад, для заданого значення керувальної напруги 1031 контролер 1001 може визначити в блоці 1101, що середню потужність 20 Вт подавали в першу резонаторну секцію 601 під час заданого інтервалу, при цьому цільова напруга в цьому прикладі становить 20-21 Вт. В блоці 1102 контролер 1001 визначає, що напруга, яка подається, перебувала в межах цільового діапазону і відповідно контролер 1001 приймає рішення не регулювати керувальну напругу 1031. Припустимо, що на наступний попередньо визначений інтервал контролер 1001 визначає (за допомогою наведеного для прикладу способу 1050), що необхідно активувати другу резонаторну секцію 701, а не першу резонаторну секцію 601. Для заданого значення керувальної напруги 1031 в цьому прикладі 22,5 Вт подається через відмінності в електричних властивостях першої 601 і другої 701 резонаторних секцій. Однак в цьому прикладі в блоці 1102 контролер 1001 порівнює останнє вимірне значення потужності P , поданої в першу резонаторну секцію 601, і тому в блоці 1103 приймає рішення не регулювати керувальну напругу 1031. По суті в прикладі способу 1100 фактична потужність, яка подається в схему 600, може бути за межами цільового діапазону. Однак це може дозволяти керувати потужністю, яка подається в індуктори 124, 126, шляхом вимірювання тільки потужності P , яка подається на одну з резонаторних секцій 601, 701. Це може надати просте і корисне рішення для підтримування потужності, яка подається в схему 600, в межах прийнятного діапазону, якщо, наприклад, резонаторні секції 601, 701 і їхні компоненти мають приблизно подібні електричні властивості.

Як згадано вище, в деяких прикладах джерело 118 постійного струму являє собою батарею з напругою приблизно від 2 до 10 В, або від 3 до 5 В, або в одному прикладі приблизно 4,2 В. В деяких прикладах напруга постійного струму, створювана джерелом 118 постійного струму, може змінюватись, наприклад зменшуватись, під час роботи схеми 600. Наприклад, коли джерело 118 напруги постійного струму являє собою батарею, батарея може спочатку подавати напругу 4,2 В, але напруга, яка подається батареєю, може зменшуватись, в міру того як батарея вичерпується. Тому після заданого періоду джерело 118 напруги постійного струму може подавати, наприклад, 3,5 В замість початкових 4,2 В.

Як описано вище, при заданій напрузі живлення значення керувальної напруги 1031 визначає величину струму, якому дозволено наростати в активному індукторі 124/126 до того, як відповідний FET 608/708 вимкнеться. Потужність подається від джерела 118 напруги постійного струму, щоб "живити енергією" активний індуктор 124/126, дозволяючи наростати постійному струму, коли FET 608, 708 увімкнено. Як також було описано вище, час t_1 для наростання струму до величини, яка призводить до перемикання FET 608/708, залежить від джерела напруги постійного струму. Тому, наприклад, якщо напруга, яка подається джерелом 118 постійного струму, зменшується, швидкість, з якою наростає струм в індукційній котушці 124, зменшується, що призводить до постачання зменшеної потужності P в схему 600.

Наведений для прикладу спосіб 1100 може забезпечувати підтримку цільової потужності навіть у випадку, коли напруга, яка подається від джерела постійного струму 118, змінюється. Тобто, оскільки фактична потужність P , яка подається, визначається і використовується для керування керувальною напругою 1031, контролер 1001 може діяти так, щоб підтримувати цільову потужність шляхом регулювання керувальної напруги 1031. Наприклад, коли заряд батареї вичерпується, контролер 1001 вимірює, що потужність P , яка подається в схему 600 при заданій керувальній напрузі 1031, зменшилась, і діє так, щоб збільшувати потужність P , яка подається в схему, збільшуючи керувальну напругу 1031. По суті, рівень цільової потужності може підтримуватись, поки батарея, яка використовується для живлення схеми 600, не вичерпається.

Це надає перевагу, оскільки підтримування рівня цільової потужності може забезпечувати оптимальну ефективність роботи схеми 600 індукційного нагрівання. Наприклад, підтримування по суті сталої потужності, яка подається, забезпечує стійке нагрівання матеріалу 110а, здатного утворювати аерозоль, незалежно від напруги живлення. Так само наведений для прикладу спосіб 1100 забезпечує надання по суті сталої потужності незалежно від інших змінних факторів в схемі, які можуть впливати на величину потужності, яка доставляється, таких як надання різного навантаження на схему 600 струмоприймачем 132, коли температура струмоприймача 132 збільшується. Це забезпечує стабільно гарне враження для споживача, наприклад завдяки забезпеченню стабільного часу до першої зтяжки, тобто стабільного часу між активацією пристрою 100 і його готовністю надавати аерозоль для вдихання користувачем.

В іншому прикладі виміряне значення потужності P , на якому засновано керування керувальною напругою 1031, змінюється протягом всього сеансу використання. Наприклад, протягом конкретного сеансу використання для першої частини сеансу використання (наприклад, перших ~ 60 с сеансу використання), температурний профіль може бути таким, що перший індуктор 124 є здебільшого активним, тоді як другий індуктор 126 є неактивним. Для цієї першої частини сеансу використання може бути доречно засновувати керування керувальною напругою 1031 на вимірах потужності, яка постачається в першу резонаторну секцію 601. Однак пізніше в цьому сеансі, знову наприклад через температурний профіль для цього сеансу, може бути так, що другий індуктор 126 є здебільшого активним, тоді як перший індуктор 124 є активним протягом меншої частини цього часу. Отже, для другої частини сеансу використання (наприклад після ~ 60 с), може бути переважним керувати керувальною напругою 1031 на основі вимірів потужності, яка постачається в другу резонаторну секцію 701. Контролер 1001 може відповідно перемикається з керування керувальною напругою 1031 на основі вимірів потужності, яка подається в першу резонаторну секцію 601, на керування керувальною напругою 1031 на основі вимірів потужності, яка подається в другу резонаторну секцію 701. У такий спосіб цільової потужності можна більш щільно дотримуватись протягом всього сеансу використання, оскільки, наприклад, керувальну напругу 1031 встановлюють на основі порівняння фактичної потужності, яка постачається на активний індуктор 124, 126, з діапазоном цільової потужності.

У деяких прикладах, коли контролер 1001 визначає в блоці 1103, що потужність слід регулювати, контролер 1001 може регулювати керувальну напругу 1031 на попередньо визначених етапах. Наприклад, контролер 1001 може бути виконаний з можливістю регулювати керувальну напругу 1031 на попередньо визначену величину на кожний попередньо визначений інтервал часу. Коли в блоці 1102 контролер 1001 визначає, що потужність P , яка подається, була нижче діапазону цільової потужності, контролер 1001 може збільшувати керувальну напругу 1031 на попередньо визначену кількість вольт для наступного попередньо визначеного інтервалу. Навпаки, коли в блоці 1102 контролер 1001 визначає, що потужність, яка подається, була вище діапазону цільової потужності, контролер 1001 може збільшувати керувальну напругу 1031 на попередньо визначену кількість для наступного попередньо визначеного інтервалу.

У прикладі, описаному вище, з посиланням зокрема на фігуру 12, керувальна напруга 1031 створюється з використанням сигналу PWM_DAC широтно-імпульсної модуляції. Сигнал PWM_DAC, як описано вище, має прямокутну форму при 2,5 В. Коефіцієнт заповнення сигналу PWM_DAC перебуває під керуванням контролера 1001, який встановлює значення від 0 до 800 для коефіцієнта заповнення PWM_DAC, де це значення відповідає коефіцієнту заповнення 0 % при 0 і 100 % при 800. Сигнал PWM_DAC, коли фільтрований, надає по суті сталу керувальну напругу 1031, і тому встановлення коефіцієнту заповнення від 0 до 800 сигналу PWM_DAC забезпечує величину керувальної напруги 1031 від 0 до 2,5 В. В цьому прикладі контролер 1031 може регулювати встановлення коефіцієнту заповнення сигналу PWM_DAC на задану величину, наприклад на 8 з 800, або залишати встановлення незмінним, для кожного попередньо визначеного інтервалу. В іншому прикладі контролер 1001 може забезпечувати регулювання керувальної напруги 1031 якимись іншими засобами, і якщо контролер 1001 визначає, що керувальну напругу 1031 слід регулювати, контролер 1001 може регулювати керувальну напругу 1031 на, наприклад, 1 %, або 2 %, або 5 % максимального значення керувальної напруги 1031 для наступного попередньо визначеного інтервалу.

В деяких прикладах, коли робота схеми 600 ініціюється контролером 1001, наприклад для запуску сеансу використання пристрою 100, який містить схему 600, керувальну напругу 1031 встановлюють в попередньо визначене початкове значення. В одному прикладі значення керувальної напруги 1031 (наприклад, встановлення коефіцієнту заповнення сигналу PWM_DAC, який створює це значення керувальної напруги 1031), яке відповідає рівню цільової потужності, визначають під час налаштування схеми 600. Тобто потужність, яка постачається в

схему 600, може бути визначена (наприклад, виміряна або визначена теоретично) для певної кількості значень керувальної напруги 1031, наприклад для отримання кривої калібрування. Тоді можна визначити значення керувальної напруги 1031, яке відповідає цільовій потужності. В одному прикладі джерело 118 постійного струму може подавати 4,2 В і, щоб досягати цільової потужності 20 Вт, контролер 1001 може визначати в одному прикладі калібрування значення для коефіцієнту заповнення сигналу PWM_DAC, яке установлюється в приблизно 344 з 800.

В одному прикладі контролер 1001 виконаний з можливістю встановлювати керувальну напругу 1031 в початкове значення, яке засноване на цьому визначеному значенні керувальної напруги 1031. Наприклад, початкове значення коефіцієнту заповнення PWM_DAC, який визначає керувальну напругу 1031, може бути встановлено як половину визначеного значення, яке відповідає цільовій потужності. Наприклад, коли установка коефіцієнту заповнення для керувальної напруги 1031, яку знайдено відповідно цільовій потужності, становить 344 з 800, контролер 1001 може починати сеанс із установкою, встановленою на 152 з 800, і збільшувати установку на попередньо визначену величину з кожним попередньо визначеним інтервалом, поки виміряна потужність P не потрапить в цільовий діапазон. Це може мати наслідок, який полягає в тому, що на старті сеансу використання потужність, яка постачається, є суттєво нижчою цільовій потужності і потужність, яка постачається, може потім збільшуватись (за допомогою збільшення контролером 1001 керувальної напруги 1031) доти, доки не досягає діапазону цільовій потужності. Це початкове збільшення потужності, яка постачається, може забезпечувати покращену безпеку роботи схеми 600, не допускаючи перегрівання струмоприймача на старті сеансу і дозволяючи схемі 600 відповідати фактичній потужності, яка подається і яка визначається контролером 1001.

В одному прикладі попередньо визначений інтервал є тим самим попередньо визначеним інтервалом, який використовується контролером 1001 в способі 1050 визначення того, який з першого 124 і другого 126 індукторів активувати. В одному такому прикладі, як згадано вище, попередньо визначені інтервали мають тривалість 1/64 с. Тривалість попередньо визначеного інтервалу (або, еквівалентно, частота переривання) може бути вибрана так, щоб забезпечувати переважний інтервал часу, в який контролер може відстежувати схему і належно регулювати параметри. Наприклад, може бути використана частота переривання 64 Гц або в межах діапазону приблизно 10-100 Гц. З цими наведеними для прикладу частотами переривання контролер 1001 може вимірювати збільшення температури зон струмоприймача із досить високою частотою так, що він може приймати рішення зупинити нагрівання конкретним індуктором 124, 126 до того, як температура зони 132a, 132b струмоприймача 132 може збільшитись надто вище її цільової температури. Так само приклади, надані для цієї частоти переривання, можуть забезпечити переважну частоту, з якою можна регулювати керувальну напругу 1031 із забезпеченням можливості належного керування потужністю, яка подається на індуктори 124, 126, у відповідності до меж безпечного цільового діапазону.

В одному наведеному для прикладу способі роботи схеми 600 цільову потужність для використання контролером 1001 в керуванні потужністю, яка постачається в схему 600, попередньо визначають на основі характеристик запланованого сеансу використання. Наприклад, діапазон цільової потужності можна регулювати протягом всього сеансу використання.

На фігурі 16 показано схематичний приклад температурного профілю target1 для частини сеансу використання, який в цьому прикладі являє собою цільову температуру для однієї зони 132a струмоприймача. У цьому прикладі спочатку в першій частині 1201 інтервалу сеансу використання перша зона 132a перебуває при температурі, суттєво нижчій її цільовій температурі target1. У цій першій частині 1201 схема 600 працює так, щоб довести першу зону 132a до цільової температури target1. У такій наведеній для прикладу частині сеансу використання цільова потужність P1 може мати діапазон значень, наприклад, 20-21 Вт. Цільова потужність протягом першої частини 1201 сеансу може бути відносно високою, щоб швидко піднімати температуру струмоприймача 132, а отже і матеріалу 110a, здатного утворювати аерозоль, до температури, придатної для створення аерозолю для вдихання користувачем.

В міру того, як сеанс використання просувається, перша зона 132a фактично досягає своєї цільової температури target1. Друга частина 1202 сеансу використання може бути визначена як така, що починається невдовзі після того, як перша зона 132a досягає своєї цільової температури target1. Наприклад, для цієї частини 1202 сеансу використання перша зона 132a може мати по суті її цільову температуру target1, наприклад 250 °C, і може підтримуватись при цільовій температурі target1 згідно зі способом 1050. Так само, хоча це і не показано на фігурі 16, друга зона 132b може підтримуватись з її власною цільовою температурою target2 за

допомогою способу 1050 (і цільова температура target2 другої зони 132b може визначати відмінний температурний профіль від того, який визначений температурою target1).

5 Частина 1202 в сеансі використання після першої зони 132a, яка по суті досягає температури target1, може бути охарактеризована тим, що контролер 1001 працює так, щоб підтримувати температуру першої зони 132a (або обох зон 132a, 132b), а не доводити температуру першої зони 132a до її цільового значення target1, як в першій частині 1201. По суті протягом частини 1202 сеансу використання відносно мало потужності може бути потрібно подавати в зону 132a струмоприймача, щоб підтримувати цільову температуру target1, порівняно з потужністю, яка вимагається, щоб довести зону 132a струмоприймача до цільової температури target1. У другій частині 1202 сеансу використання може бути переважним зменшити значення цільової потужності P1 порівняно з його значенням в частині 1201. В одному прикладі рівень цільової потужності P1 можна зменшити від 20-21 Вт в частині 1201 до приблизно 15 Вт протягом частини 1202 сеансу використання. Зменшення цільової потужності P1 в такий спосіб може бути вигідним в деяких прикладах, оскільки, використовуючи нижчий рівень потужності, можна зменшити втрати енергії в схемі, а отже можна підвищити ефективність.

20 Для третьої частини 1203 сеансу використання значення цільової температури target1 дорівнює 0, тобто перший індуктор 124 активувати не потрібно. В цей момент цільова потужність P1 також може бути зменшена до 0, якщо сеанс використання завершився, або, якщо другий індуктор 126 все ще активовано, то цільова потужність P1 може залишатись на ненульовій величині, поки активовано другий індуктор 126. Відповідно, цільова потужність може враховувати температурний профіль обох зон 132a, 132b в будь-який момент в сеансі використання. Якщо частина сеансу використання, наприклад, потребує значного підвищення температури однієї з зон, то відповідною може бути відносно висока цільова потужність. Навпаки, для частин сеансу використання, в яких жодна зона 132a, 132b не потребує суттєвого нагрівання, може бути використана відносно низька цільова потужність.

30 Як згадано вище, використання нижчих рівнів потужності протягом певних періодів сеансу використання може забезпечувати переваги, які полягають в тому, що під час сеансу можна досягти економії енергії. Наприклад, коли рівень цільової потужності зменшується з 20-21 Вт в першому періоді до приблизно 15 Вт в другому періоді, в деяких прикладах можна досягти економії енергії приблизно 5-10 % завдяки зменшенню втрат енергії в схемі 600 при роботі з нижчою потужністю. В одному прикладі під час типового сеансу, що має тривалість приблизно 260 с, зберігання цільової потужності на рівні приблизно 20 Вт протягом всього перебігу сеансу може призвести до споживання енергії приблизно 1000 Дж. Однак зменшення цільової потужності до приблизно 15 Вт після того, як перша зона 132a вперше досягає її встановленої температури, і підтримування рівня цільової потужності на величині 15 Вт протягом решти сеансу по суті такої ж тривалості може призвести до споживання енергії від 900 до 950 Дж. В прикладах майже вся потужність, використовувана пристроєм, пов'язана з енергією, яка подається для нагрівання струмоприймача 132. Використання потужності електричними компонентами, відмінними від електричних схем нагрівання, наприклад LED індикаторами і мікроконтролером, може становити менш ніж приблизно 0,1 Вт і в деяких прикладах може становити менш ніж приблизно 0,01 Вт.

45 Наведений для прикладу пристрій 100 містить пристрій для вимірювання температури, призначений для вимірювання температури струмоприймача 132. Наприклад, пристрій для вимірювання температури може містити один або більше температурних датчиків, і в одному прикладі містити один температурний датчик для кожної зони струмоприймача 132. В одному прикладі, як описано вище, струмоприймач містить першу зону 132a і другу зону 132b, і контролер 1001 спрацьовує так, щоб схема 600 індукційного нагрівання пристрою 100, як описано вище з посиланням на попередні фігури, нагрівала кожну зону за допомогою відповідного індуктора 124, 126.

50 У прикладах контролер 1001 виконаний з можливістю визначення, чи задовольняється один або більше критеріїв, які вказують на несправність пристрою для вимірювання температури. Якщо контролер визначає, що задовольняється вказаний один або більше попередньо визначених критеріїв, то контролер 1001 здійснює дію керування, наприклад, припинення або зменшення подачі енергії для нагрівання струмоприймача 132 або видачу попереджувального сигналу, який вказує, що виникла несправність. Приклади вказаних попередньо визначених критеріїв описані нижче. Отже, може бути забезпечена функція безпеки, яка дає контролеру 1001 можливість здійснювати дію керування, якщо була ідентифікована несправність пристрою для вимірювання температури.

На фігурі 17 показані додаткові деталі струмоприймача 132. Струмоприймач 132, як описано вище, містить першу зону 132a і другу зону 132b. Перша термопара 133a виконана для вимірювання температури першої зони 132a струмоприймача, і друга термопара 133b виконана для вимірювання температури другої зони 132b струмоприймача. Як буде добре зрозуміло, термопара являє собою пристрій, використовуваний для вимірювання температури, який містить два відмінні електричні провідники. Два провідники підтримуються при однаковому електричному потенціалі на першому кінці вимірювання, тоді як другий кінець провідників підтримується при відомій температурі з утворенням другого опорного кінця. У деяких прикладах кінці двох дротів можуть бути з'єднані на кінці вимірювання, або в інших прикладах два дроти можуть бути з'єднані з однією провідною поверхнею, такою як у струмоприймача 132. Напруга генерується між провідниками, які залежать від різниці температур між кінцем вимірювання і опорним кінцем, згідно з термоелектричним ефектом. Якщо температура опорного кінця є відомою, наприклад завдяки вимірюванню за допомогою температурного датчика і в одному прикладі в даному документі шляхом використання термістора 10 кОм, то температура на кінці вимірювання може бути визначена на основі напруги, згенерованої між провідниками.

У прикладі за фігурою 17 перша термопара 133a містить першу пару дротів 1704, 1705, і друга термопара 133b містить другу пару дротів 1708, 1709. В одному прикладі обидві термопари являють собою термопари J типу, тобто перший дріт 1704, 1708 кожної пари утворений із константану, тоді як другий дріт 1705, 1709 кожної пари утворений із заліза. В інших прикладах можуть використовуватися різні типи термопар, які містять різні пари відмінних провідників, такі як термопари типів E, K, M, наприклад, або може використовуватися інший тип термопари для кожної зони 132a, 132b струмоприймача.

Перша термопара 133a містить перший спай 1706 вимірювання, в якому константановий дріт 1704 і залізний дріт 1705 першої термопари 133a з'єднуються разом і який прикріплений до першої зони 132a струмоприймача. У цьому прикладі перший спай 1706 вимірювання прикріплений до першої зони 132a струмоприймача шляхом точкової зварки з поверхнею струмоприймача 132. Подібним чином друга термопара 133b містить другий спай 1310 вимірювання, в якому константановий дріт 1708 і залізний дріт 1709 першої термопари 133a з'єднуються разом і який поєднаний шляхом точкової зварки зі струмоприймачем 132 у другій зоні 132b струмоприймача. Ізоляційні покриття 1707, 1711 покривають кожний дріт першої термопари 133a і другої термопари 133b. Перша термопара 133a закінчується в парі виводів 1704a, 1705b для забезпечення напруг опорного кінця для дротів 1704, 1705 відповідно для контролера 1001, дозволяючи визначення температури в першому спаї 1706 вимірювання за допомогою контролера 1001. Подібний чином друга термопара 133b закінчується в парі виводів 1708a, 1709a для забезпечення напруг опорного кінця для контролера 1001 для дротів 1708, 1709 відповідно і забезпечення можливості визначення температури в другому спаї 1710 вимірювання за допомогою контролера 1001. Кожний з виводів 1704a, 1705a, 1708a, 1708a може бути з'єднаний з відповідними вхідними штирковими виводами контролера 1001 або може бути прикріплений до РСВ 122 і таким чином до контролера 1001. Наприклад, кожний з виводів 1704a, 1705a, 1708a, 1708a може бути припаяний до РСВ 122 для забезпечення входу в контролер 1001.

Інший приклад пристрою для вимірювання температури для струмоприймача 132 показаний на фігурі 18. У цьому прикладі пристрій для вимірювання температури знову містить дві термопари, кожна з яких містить константановий дріт. Однак у цьому прикладі дві термопари мають спільний залізний дріт. Тобто перша термопара 183a призначена для того, щоб дозволити контролеру 1001 визначати температуру першої зони 132a струмоприймача і містить перший константановий дріт 1804, прикріплений до першої зони 132a струмоприймача на кінці 1806 вимірювання. Залізний дріт 1805 утворює другий дріт першої термопари 183a і прикріплений до другої зони 132b струмоприймача у цьому прикладі. Друга термопара 183b для вимірювання температури другої зони 132b струмоприймача містить перший константановий дріт 1808, прикріплений до другої зони 132b струмоприймача в точці 1810. Залізний дріт 1805 також утворює другий дріт другої термопари 132b. Перший константановий дріт 1804 першої термопари 132a містить опорний кінець 1804a, перший константановий дріт 1808 другої термопари 132b містить опорний кінець 1808a, а залізний дріт 1805, що утворює другий дріт як першої, так і другої термопар 183a, 183b, містить опорний кінець 1805a. Опорні кінці 1804a, 1805a, 1808a забезпечують відповідні напруги опорного кінця для кожного з дротів 1804, 1805, 1808 до контролера 1001, щоб дозволити контролеру 1001 визначати температури першої та другої зон 132a, 132b струмоприймача. Тобто опорні напруги, що забезпечуються опорним кінцем 1804a константанового дроту першої термопари 183a, і опорна напруга, що

забезпечується опорним кінцем 1805а залізного дроту, дозволяють контролеру 1001 визначати температуру першої зони 132а струмоприймача. Подібним чином опорні напруги, що забезпечуються опорним кінцем 1808а константанового дроту другої термопари 183b, і опорна напруга, що забезпечується опорним кінцем 1805а залізного дроту, дозволяють контролеру 1001 визначати температуру другої зони 132b струмоприймача. Як описано з посиланням на приклад, показаний на фігурі 17, кінці 1804а, 1805а, 1808а спаю дротів можуть бути прикріплені до РСВ 122 для забезпечення опорних напруг до контролера 1001. У схемі, зображеній на фігурі 18, струмоприймача 132 являє собою залізо. Це дозволяє використовувати загальний залізний опорний дріт 1805, оскільки, через те, що залізний дріт 1805 і струмоприймач 132 виготовлені з одного матеріалу, точка, в якій залізний дріт 1805 приєднується до струмоприймача 132, не є спаєм термопари. Забезпечення трьох дротів, як у схемі, показаній на фігурі 18, може бути вигідним у порівнянні з наданням чотирьох дротів, як у схемі на фігурі 17, оскільки воно вимагає меншої кількості дротів, для прикріплення, наприклад паяння, до РСВ 122.

На фігурі 19 показано схематичне зображення апарату 1900 для забезпечення функцій керування, що стосуються температур в пристрої 100. Як можна побачити з фігури 19, апарат 1900 виконаний для прийому опорних напруг, що забезпечуються опорними кінцями 1804а, 1805а, 1808а дротів 1804, 1805, 1808 термопари, показаних у прикладі для вимірювання температури на фігурі 18. Описуючи спочатку вхід від константанового дроту 1804 першої термопари 183а, опорний кінець 1804а константанового дроту першої термопари 183а прикріплений до апарату 1300 у точці Р8. Звідти сигнал опорної напруги на 1804а призначений для подачі на позитивні та негативні вхідні виводи операційного підсилювача U4A першої термопари (тип компонента ОРА2376). Точка Р8 з'єднана з позитивним виводом операційного підсилювача U4A через резистор R26 2,49 кОм і конденсатор С20 2,2 нФ. Точка Р8 з'єднана з негативним виводом операційного підсилювача U4A через резистор R26 та другий резистор R27 2,49 кОм. Операційний підсилювач U4A з'єднаний у конфігурації із замкнутим контуром з резистором R23 536 кОм та конденсатором С19 2,2 нФ, розташованим паралельно між виходом та негативним виводом операційного підсилювача U4A. Позитивний вивід операційного підсилювача U4A також підключений до землі. Операційний підсилювач U4A живиться від джерела живлення 3,8 В, який забезпечується контролером 1001 і який підключений до входу живлення операційного підсилювача через резистор R17 100 Ом. Вхідна потужність операційного підсилювача U4A підключається до землі через конденсатор С14 10 нФ.

Перший операційний підсилювач U4A термопари виконаний з можливістю прийому сигналу від першого константанового дроту 1804 термопари в точці Р8 і забезпечує посилення цього сигналу для виведення на контролер 1001. У цьому прикладі операційний підсилювач U4A забезпечує коефіцієнт посилення 107,63 на вхідний сигнал від опорного кінця 1804а термопари. Цей коефіцієнт посилення можна забезпечити, наприклад, шляхом вибору відповідних значень для резисторів R26, R27 і R23. Вибираючи коефіцієнт посилення для операційного підсилювача U4A, діапазон температур, що вимірюється термопарою 183а, опорна напруга, що створюється типом J у цьому діапазоні температур, і придатний діапазон напруги, який має бути поданий до контролера 1001, можуть прийматися до уваги. В одному прикладі опорна напруга термопари 23,228 мВ відповідає показнику температури 425 °С. Для посилення цієї опорної напруги до значення 2,5 В для подання до контролера 1001 потрібен коефіцієнт посилення 107,63, як це передбачено наведеними для прикладу значеннями компонентів, показаними на фігурі 19. Підсилена перша напруга TC1 термопари подається на контролер 1001 в точці 1901, яка з'єднана з виходом операційного підсилювача U4A через резистор R22 1 кОм. Точка 1901 підключена до землі через конденсатор С21 100 нФ. На основі сигналу напруги TC1, поданого в точці 1901, контролер 1001 виконаний з можливістю визначення значення температури, виміряного першою термопарою 183а, що відповідає температурі першої зони 132а струмоприймача.

Друга термопара 183b, як описано вище, також є термопарою типу J і подає другу опорну напругу TC2 термопари на контролер 1001 в точці 1902 так само, як перша опорна напруга TC1 термопари подається на контролер 1001. Це дозволяє контролеру 1001 визначати температуру для другої зони 132b струмоприймача так само, як описано для першої термопари 183b. Слід розуміти, що безліч резисторів R37, R38, R39, R40 та конденсаторів С30, С31, С32, підключених до другого операційного підсилювача U4B, забезпечують еквівалентну функцію, як резистори R22, R23, R26, R27 та конденсатори С19, С20, С21, описані вище у зв'язку з першою термопарою операційного підсилювача U4A.

На додаток до забезпечення контролеру 1001, який посилює напруги TC1, TC2 термопари, апарат 1900 також виконаний з можливістю забезпечення функції безпеки у випадку, якщо

температура, виміряна будь-якою з термопар 183a, 183b, перевищує задане порогове значення. Тобто вихід першого операційного підсилювача U4A термопари підключений до входу негативного виводу першого прецизійного компаратора U3A (тип компонента AS393). Позитивний вхід прецизійного компаратора U3A підключається до сигналу 2,5 В через резистор R42 3,3 кОм і до землі через резистор R43 10 кОм. Прецизійний компаратор U3A виконаний таким чином, що якщо посиленна напруга термопари, отримана від операційного підсилювача U4A, вказує на температуру, що перевищує конкретне значення, перший прецизійний компаратор U3A видає сигнал припинення/FF RST для припинення нагрівання струмоприймача 132 за допомогою схеми 600 індукційного нагрівання. У прикладах сигнал/FF RST відправляється на вхід RST тригера 622 для скидання вихідного значення Q тригера 622 способом, описаним вище з посиланням на попередні фігури, щоб тим самим припинити нагрівання схемою 600 В одному прикладі порогове значення температури, при якому апарат 1900 виконаний з можливістю відправлення сигналу для припинення нагрівання схемою 600, становить 280 °С.

Другий прецизійний компаратор U3B виконує еквівалентну функцію для другої термопари 183b, приймаючи вхід на своєму негативному виводі від другого операційного підсилювача U4B термопари, і виконаний з можливістю відправлення сигналу/FF RST, якщо прийнятий сигнал від операційного підсилювача U4B вказує, що друга термопара 183b вимірює температуру, що перевищує порогове значення.

Третій компаратор U6 також включений на фігурі 19 і передбачає інший механізм, за допомогою якого сигнал/FF RST може бути відправлений для припинення нагрівання струмоприймача 132. Компаратор U6 приймає сигнал COIL TEMP (температура біля котушок) від термістора (не показаний), розташованого на ізоляційному елементі 128, який вказує температуру на зовнішній стороні ізоляційного елемента 128, що знаходиться поруч із котушками 124, 126. Компаратор U6 виконаний з можливістю порівняння цього сигналу COIL TEMP з пороговим значенням і подачі сигналу, у цьому прикладі сигналу/FF RST до тригера 622 для припинення роботи схеми 600 для нагрівання струмоприймача 132, якщо компаратор U6 визначає, що значення температури, представленої за допомогою COIL TEMP, занадто високе.

Слід розуміти, що для точного вимірювання температур зон 132a, 132b струмоприймача кожний кінець (1706, 1710 у прикладі фігури 17 або 1806, 1810, 1805 у прикладі фігури 18) вимірювання має являти собою температуру, яка по суті є такою ж, як і відповідна температура зони 132a, 132b, для якої вимірюється температура. Таким чином, слід підтримувати хорошу теплопровідність між струмоприймачем 132 і термопарами 183a, 183b.

Щоб описати це з посиланням на приклад, слід розуміти, що якщо, наприклад, точка 1806 прикріплення першого константанового дроту 1804 відокремилась від першої зони 132a струмоприймача, то теплопровідність між цією зоною 132a струмоприймача та першою термопарою 183a буде втрачена або щонайменше значно зменшена. За таких обставин перша термопара 183a може, наприклад, залишатися відокремленою, але в безпосередній близькості від струмоприймача 132 (і може продовжувати нагріватися струмоприймачем 132 певною мірою, наприклад, випромінюючими або конвективними процесами). Однак, оскільки тепло більше не буде належним чином проходити між струмоприймачем 132 та відокремленою першою термопарою 183a, температура першої зони 132a струмоприймача (яку призначена вимірювати перша термопара 183a) та відокремленого дроту 1804 термопари може відхилитися від норми, коли перша зона 132a струмоприймача нагрівається. За цих обставин перша термопара 183a не дозволить, наприклад, контролеру 1001 точно визначити збільшення температури її відповідної першої зони 132a струмоприймача, коли вказана зона 132a нагрівається. Якщо нагрівання першої зони 132a струмоприймача продовжуватиметься таким чином без належного вимірювання її температури за допомогою використання першої термопари 183a, може виникнути небезпека перегріву струмоприймача 132. Слід розуміти, що той самий принцип, описаний вище, також застосовується до другої зони 132b струмоприймача за умови, що друга термопара 183b повинна була відокремитися від неї.

В одному прикладі пристрій 100 виконаний з можливістю відключення нагрівання струмоприймача 132 у разі вказівки, що будь-яка з термопар 183a, 183b струмоприймача неправильно вимірює температуру струмоприймача 132. Це може бути переважним у тому, що передбачена функція безпеки, яка дозволяє відключати подачу потужності для нагрівання струмоприймача 132, коли контролер 1001 визначає, що температура струмоприймача 132 не вимірюється належним чином.

В одному прикладі, як описано вище стосовно схеми 600 індукційного нагрівання пристрою 100, потужність, що подається до схеми індукційного нагрівання для нагрівання струмоприймача 132, можна визначити шляхом вимірювання напруги постійного струму, що

подається від джерела постійного струму, та постійного струму, що подається джерелом постійного струму, і обчислення добутку цих значень для отримання значення потужності. На основі цього вимірювання потужності контролер 1001 може бути виконаний з можливістю визначення кількості енергії, що подається до схеми протягом заданого періоду часу. Як
5 вказано вище, контролер 1001 також виконаний з можливістю прийому вимірювань температури від термопар 183а, 183b. Контролер 1001 виконаний з можливістю визначення зміни температури, вимірюваної термопарами 183а, 183b протягом заданого періоду часу. В одному прикладі тоді контролер 1001 може визначити кількість енергії, що подається при підвищенні температури на 1 °С, вимірюваному однією з термопар 183а, 183b струмоприймача. Наприклад,
10 контролер 1001 може визначити відношення кількості енергії, що подається до першої зони 132а струмоприймача протягом заданого періоду часу, до збільшення температури, вимірюваної першою термопарою 183а за цей період часу. Подібний чином контролер 1001 може визначити кількість енергії, що подається до другої зони 132b струмоприймача при підвищенні температури на 1 °С, вимірюваному другою термопарою 183b, у прикладах вимірюється ця
15 кількість енергії при підвищенні температури на один градус Цельсія, температура може відрізнятися від такої для першої зони через різні властивості першого та другого індукторів 124, 126.

В одному прикладі, наприклад, під час налаштування пристрою 100 може бути визначена кількість енергії, що подається до даного одного з індукторів 124, 126 для нагрівання відповідної
20 зони 132а, 132b струмоприймача цього індуктора, що призводить до вимірюваного підвищення температури певної величини відповідною термопарою 183а, 183b. Тобто шляхом тестування або іншим чином можна визначити те, що при нормальній роботі, коли, наприклад, перша термопара 183а належним чином прикріплена до першої зони 132а струмоприймача, в середньому подача 400-1000 мДж або приблизно 500 мДж до першого індуктора 124
25 призводить до підвищення температури, вимірюваної першою термопарою 183а, на 1 °С. Тобто відношення енергії, що подається до вимірюваного підвищення температури, може становити 400-1000 мДж/°С або приблизно 500 мДж/°С. В іншому прикладі можна визначити, що в будь-який момент під час нормальній роботі пристрою максимальне значення відношення енергії, що подається до першого індуктора 124, до підвищення температури, вимірюваної першою
30 термопарою 183а, становить 500 мДж/°С.

Однак, як описано вище, перша термопара 183а термічно відокремлюється від першої зони 132а струмоприймача, тоді кількість енергії, що подається до першого індуктора 124, що призводить до підвищення температури на 1 °С, вимірюваної першою термопарою 183а, може значно збільшитись. Наприклад, шляхом тестування можна виявити, що якщо перша термопара
35 183а від'єднана від першої зони 132а струмоприймача, то відношення енергії, вимірюваної в мДж, що подається до першого індуктора 124, до збільшення температури, вимірюваної першою термопарою 183а, може наблизитися до дуже великого числа, наприклад, від 40000 до 100000 Дж/°С. Тобто, якщо перша термопара 183а відокремлюється від зони 132а струмоприймача і більше не вимірює належним чином свою температуру, то термопара може фіксувати лише
40 невеликі збільшення температури, незважаючи на те, що струмоприймач 132а нагрівається індуктором 124. Таким чином, контролер 1001 може визначити, що якщо відношення енергії, що подається для нагрівання першої зони 132а струмоприймача, до підвищення температури, вимірюваної першою термопарою 183а, більше заданої величини, то перша термопара 183а може більше не вимірювати температуру першої зони 132а струмоприймача належним чином,
45 наприклад перша термопара 183а могла відокремитися від струмоприймача 132. Подібним чином контролер 1001 може визначити, що якщо відношення енергії, що подається для нагрівання другої зони 132b струмоприймача, до підвищення температури, вимірюваної другою термопарою 183b, більше заданої величини, то друга термопара 183b більше не може належним чином вимірювати температуру другої зони 132b струмоприймача.

У цьому прикладі контролер 1001 виконаний з можливістю припинення подачі потужності для нагрівання струмоприймача 132, якщо відношення енергії, що подається для нагрівання
50 струмоприймача 132, до підвищення температури, вимірюваної однією з першої та другої термопар 183а, 183b, більше, ніж попередньо визначена величина. Відключення подачі потужності для нагрівання струмоприймача 132 таким чином може діяти як функція безпеки, яка
55 допомагає запобігти перегріву струмоприймача 132, коли одна термопара 183а, 183b (або обидві з них) відокремилась від струмоприймача 132 або в іншому випадку більше не забезпечує точних вимірювань температури струмоприймача. Контролер 1001 може, наприклад, припинити подачу енергії для нагрівання струмоприймача 132, вимкнувши схему
60 600 з використанням сигналу, що відправляється в пристрій керування схеми 600 індукційного нагрівання. В іншому прикладі контролер 1001 може здійснити іншу дію керування у відповідь на

визначення того, що відношення є більшим, ніж попередньо визначена величина. Наприклад, контролер 1001 може зменшити потужність, що подається на схему 600, щоб нагріти струмоприймач 132. Наприклад, контролер 1001 може зменшити керувальну напругу 1031, щоб зменшити потужність, що подається для нагрівання струмоприймача 132.

5 В одному прикладі очікуване вимірне значення відношення енергії для нагрівання однієї з зон 132a, 132b струмоприймача до підвищення температури, виміряного відповідною термopарою 183a, 183b, при нормальній роботі може становити приблизно 500 мДж/°С, і контролер 1001 може бути виконаним з можливістю припинення подачі потужності для нагрівання струмоприймача 132, якщо він визначить, що відношення стало більшим або рівним
10 наведеному для прикладу значенню від 2000 мДж/°С до 4000 мДж/°С. Таким чином, у цьому прикладі забезпечується гранична величина, у цьому випадку приблизно від 1500 мДж/°С до 3500 мДж/°С вище очікуваного значення, що може дозволити незначним чином збільшити відношення вище очікуваного рівня без того, щоб контролер 1001 здійснив такі дії, як відключення подачі потужності.

15 У прикладах під час роботи пристрою 100 можна визначати значення для відношення між енергією, що подається для нагрівання струмоприймача 132, до виміряного збільшення температури, що вимірюється однією з термopар 183a, 183b, з попередньо визначеними інтервалами. Попередньо визначені інтервали можуть бути, наприклад, такими ж, як і ті, що використовуються для керування схемою 600 індукційного нагрівання, такі як описані вище, і в
20 одному прикладі можуть мати довжину 1/64 с. Якщо одна з термopар 183a, 183b відокремилась від струмоприймача 132, було виявлено, що в одному прикладі відношення 4000 мДж/°С для цієї термopари перевищується протягом приблизно 0,5 с. Таким чином, у цьому прикладі, де відношення відключення встановлене як 4000 мДж/°С, подача потужності може бути відключена протягом приблизно 0,5 с, і таким чином можна уникнути значного перегріву струмоприймача
25 132.

На фігурі 20 показано представлення блок-схеми наведеного для прикладу способу 1400 керування пристроєм 100. У прикладі спосіб 1400 виконується контролером 1001. У блоці 1402 потужність подається від джерела живлення для нагрівання струмоприймача 132. У блоці 1404 визначається енергія ΔE , що подається до схеми нагрівання для нагрівання струмоприймача
30 132 протягом заданого періоду часу. Як описано вище, в будь-який момент часу живлення подається лише на той чи інший з першого індуктора 124 та другого індуктора 126 протягом заданого періоду часу. Таким чином, потужність, виміряна в блоці 1404, є потужністю, що подається на один з першого індуктора 124 та другого індуктора 126, який є активним протягом заданого періоду часу. Це можна визначити, як описано вище, шляхом вимірювання
35 напруги постійного струму та постійного струму, що подаються до схеми нагрівання від джерела постійного струму, та обчислення добутку цих значень. Наприклад, енергію, що використовується протягом періоду часу, можна визначити шляхом визначення середньої потужності за період часу і множення її на тривалість періоду часу, наприклад 1/64 с.

У блоці 1406 визначається зміна температури ΔT , виміряна однією з термopар 183a, 183b струмоприймача протягом періоду часу. Зміна температури ΔT у прикладах відповідатиме зміні температури, виміряній термopарою, що відповідає індуктору, на який подавалася потужність протягом заданого періоду. Тобто, наприклад, якщо протягом заданого періоду часу до першого індуктора 124 подається потужність, то енергія ΔE являє собою енергію, що подається до першого індуктора 124 протягом заданого періоду часу, а зміна температури ΔT являє собою
45 зміну температури, зафіксовану першою термopарою 183a протягом заданого періоду часу. У блоці 1408 визначається відношення $\Delta E/\Delta T$ енергії ΔE , що подається протягом періоду часу, до зміни температури ΔT , виміряної відповідною термopарою 133a, 133b струмоприймача протягом заданого періоду часу. У блоці 1410 відношення $\Delta E/\Delta T$ порівнюється з пороговим значенням. Порогове значення являє собою порогове значення для $\Delta E/\Delta T$, яке може бути попередньо
50 визначено під час налаштування пристрою 100, як обговорювалося вище. Порогове значення може бути більшим, ніж очікуване значення для відношення $\Delta E/\Delta T$, коли пристрій 100 працює нормально. Порогове значення може бути більшим, ніж очікуване значення, на певну граничну величину, наприклад граничну величину, що становить приблизно 500 мДж/°С або приблизно 1000 мДж/°С.

55 Якщо в блоці 1410 контролер 1001 визначає, що визначене значення для відношення $\Delta E/\Delta T$ менше, ніж порогове значення, то в способі здійснюється повернення до блоку 1402, і контролер 1001 продовжує дозволити подавати потужність для нагрівання струмоприймача 132 в іншому випадку протягом заданого періоду часу. Однак, якщо в блоці 1410 контролер 1001 визначає, що відношення $\Delta E/\Delta T$ протягом заданого періоду часу більше або дорівнює
60 пороговому значенню, то в способі здійснюється перехід до блоку 1412.

У блоці 1412 контролер 1001 визначає, чи був індуктор 124, 126 активним для нагрівання струмоприймача 132 протягом попередньо визначеної тривалості часу, наприклад 0,2-1 с або приблизно 0,5 с. Попередньо визначена тривалість часу може, наприклад, містити ряд, який являє собою послідовний попередньо визначений ряд періодів часу. Наприклад, у блоці 1412 контролер 1001 може визначити, чи була активна схема 600 для нагрівання струмоприймача 132 протягом 32 послідовних періодів часу $1/64$ с, при цьому загальний період часу становить 0,5 с. Якщо відповідь "ні", то, незважаючи на те, що визначене співвідношення $\Delta E/\Delta T$ в блоці 1410 вище граничного значення, у способі здійснюється повернення до блоку 1402, і контролер 1001 продовжує дозволяти нагрівання струмоприймача 132. Етап, виконаний у блоці 1412, дозволяє способу 1400 враховувати, що коли контролер 1001 працює для підтримки температури, наприклад, першої зони 132а струмоприймача, замість того, щоб здійснювати збільшення температури вказаної зони 132а, може подаватися енергія для нагрівання зони 132а, тоді як відносно невеликі збільшення температури фіксуються першою термопарою 183а. Тому може бути отримано значення для $\Delta E/\Delta T$, яке вище граничного значення, яке необов'язково вказує на несправність роботи термопари 183а для вимірювання температури першої зони 132а струмоприймача.

В іншому прикладі попередньо визначений період, протягом якого обчислюються ΔT та ΔE , може бути таким самим, як тривалість часу, що використовується в блоці 1412. Тобто в одному прикладі ΔT являє собою зміну вимірної температури за період 0,5 с, а ΔE - енергію, що подається за цей період в 0,5 с. У цьому прикладі, таким чином, у блоці 1412 контролер 1001 визначає, чи була активна схема 600 для нагрівання струмоприймача 132 протягом усього попереднього інтервалу часу 0,5 с, і якщо відповідь "так", контролер 1001 переходить до блоку 1414. У цьому прикладі слід розуміти, що протягом періоду 0,5 с контролер 1001 може визначати один раз кожні $1/64$ с, який з індукторів 124, 126 має бути активним для нагрівання струмоприймача 132, і таким чином блок 1412 може здійснюватися контролером 1001, визначаючи, що один з індукторів 124, 126 був активним для кожного з 32 попередніх інтервалів $1/64$ с.

У блоці 1414 контролер 1001 припиняє подачу потужності для нагрівання струмоприймача 132. Це діє як механізм безпеки, який може запобігти перегріву струмоприймача 132 у випадку, якщо одна або обидві термопари 183а, 183b не належним чином вимірюють зміни температури струмоприймача 132 протягом заданої тривалості часу.

У прикладах, описаний вище, контролер 1001 виконаний з можливістю здійснення описаної функції безпеки шляхом визначення, чи задовольняється попередньо визначений критерій на основі температури струмоприймача 132 і енергії, яка подається на схему 600. Однак слід розуміти, що в інших прикладах контролер 1001 може визначати, чи здійснюється дія керування, така як припинення подачі енергії на схему нагрівання, на основі одного або більше попередньо визначених критеріїв із використанням різної температури, вимірної у пристрої 100. Наприклад, описаний вище спосіб визначення на основі порівняння між вимірним збільшенням температури і кількістю енергії, яка подається на схему нагрівання, чи задовольняється критерій, який вказує на несправність у визначенні температури у пристрої 100, може використовуватися де-небудь ще у пристрої 100.

Наведені вище приклади описали приклади, в яких контролер 1001 наведеного для прикладу пристрою 100 індукційного нагрівання виконаний з можливістю виконання способу припинення подачі енергії для нагрівання струмоприймача, якщо задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, які вказують на несправність вимірювання температури струмоприймача. Однак в інших прикладах описаний вище спосіб може застосовуватися контролером в пристрою, що генерує аерозоль, який відрізняється від пристрою, який містить схему індукційного нагрівання. Наприклад, описаний вище наведений для прикладу спосіб може застосовуватися у пристрої, що генерує аерозоль, який містить схему нагрівання, яка не являє собою схему індукційного нагрівання. У такому прикладі схема нагрівання може містити один або більше резистивних нагрівальних елементів для генерування тепла з метою нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, коли струм пропускається через вказані резистивні нагрівальні елементи. У прикладі пристрій для вимірювання температури може містити температурні датчики для вимірювання температур одного або більше таких резистивних нагрівальних елементів, і дані температурні датчики можуть бути прикріплені до вказаних нагрівальних елементів або знаходитися в безпосередній близькості до них під час звичайного використання. Контролер такого пристрою може бути виконаний з можливістю визначенні несправності розташування, такого як відокремлення одного з температурних датчиків від нагрівального елемента, за допомогою способів, описаних вище з посиланням на фігуру 20.

Наведені вище приклади описали контролер 1001, який визначає попередньо визначені критерії, що залежать від вимірюваного збільшення температури термопар 183a, 183b. В інших прикладах контролер 1001 може, наприклад, визначати, що несправність виникла у випадку вимірювання температури струмоприймача 132 за допомогою термопар 183a, 183b, якщо

5

контролер визначає, що енергія подавалась для нагрівання струмоприймача 132 протягом заданого періоду з одночасним вимірюванням зменшення температури за допомогою термопар 183a, 183b протягом того самого періоду.

Певні способи, описані в даному документі, можуть бути реалізовані за допомогою енергонезалежного комп'ютерного програмного коду, який може зберігатися на енергонезалежному запам'ятовувальному носії. Наприклад, в певних прикладах контролер 1001 може містити енергонезалежний запам'ятовувальний носій, придатний для зчитування комп'ютером, який містить набір команд, придатних для зчитування комп'ютером, що зберігаються на ньому, і процесор для здійснення способу, описаного в даному документі, при виконанні контролером 1001. Контролер 1001 може містити один або більше процесорів.

10

15

Наприклад, в деяких прикладах, як описано вище, контролер 1001 являє собою програмовний мікропроцесорний пристрій. Контролер 1001 може містити запам'ятовувальний носій, який містить набір машиночитних команд, наприклад в формі комп'ютерного коду, який при виконанні контролером 1001 призводить до здійснення способу, описаного в даному документі.

Хоча в деяких наведених для прикладу схемах, описаних в даному документі, використовуються кремнієві FET, для певних перемикальних функцій замість таких FET можуть бути використані інші придатні компоненти. Наприклад, можуть бути використані компоненти, які містять матеріали з широкою забороненою зоною, такі як карбід кремнію, SiC, або нітрид галію, GaN. Такі компоненти можуть в деяких прикладах являти собою FET, але в інших прикладах можуть являти собою транзистори з високою рухливістю електронів (HEMT). Такі компоненти

20

25

можуть бути швидшими і мати вищі напруги пробою, ніж кремнієві FET, що може бути переважним в деяких прикладах.

Наведені вище варіанти здійснення необхідно розуміти як ілюстративні приклади даного винаходу. Передбачені додаткові варіанти здійснення даного винаходу. Необхідно розуміти, що будь-яка ознака, описана стосовно будь-якого одного варіанту здійснення, може бути використана окремо або в комбінації з іншими описаними ознаками, а також може бути використана в комбінації з однією або більше ознаками будь-якого іншого з варіантів здійснення або будь-якою комбінацією будь-яких інших варіантів здійснення. Крім того, еквіваленти і модифікації, не описані вище, також можуть бути застосовані без відхилення від обсягу даного винаходу, який визначено в супутніх пунктах формули винаходу.

35

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Апарат для пристрою, що генерує аерозоль, причому апарат містить: схему нагрівання, що містить нагрівальний елемент для нагрівання пристрою нагрівання, при цьому пристрій нагрівання виконаний для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, з генеруванням таким чином аерозолі;

40

пристрій для вимірювання температури, призначений для вимірювання температури пристрою; і контролер для керування подачею енергії на схему нагрівання, при цьому контролер виконаний з можливістю:

45

визначення характеристики, яка вказує, що енергія подається на схему нагрівання протягом заданого періоду часу, і визначення зміни в температурі, виміряній пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду часу, а також

50

здійснення дії керування, якщо на основі визначеної характеристики і збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, контролер визначає, що задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, які вказують на несправність пристрою для вимірювання температури.

2. Апарат за п. 1, який **відрізняється** тим, що пристрій для вимірювання температури містить температурний датчик для прикріплення до нагрівального елемента для вимірювання температури нагрівального елемента.

55

3. Апарат за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що контролер виконаний з можливістю:

визначення відношення кількості енергії, яка подається на схему нагрівання протягом заданого періоду, до збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду; і

здійснення дії керування за умови подачі енергії на схему нагрівання, якщо відношення дорівнює попередньо визначеному значенню або перевищує його.

4. Апарат за п. 3, який **відрізняється** тим, що попередньо визначене значення для відношення становить від 2000 до 6000 мДж/°С або приблизно 4000 мДж/°С.

5 5. Апарат за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що дія керування, здійснена контролером, якщо задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, передбачає регулювання подачі енергії на схему нагрівання.

6. Апарат за п. 5, який **відрізняється** тим, що дія керування, здійснена контролером, якщо задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, передбачає припинення подачі енергії на схему нагрівання.

7. Апарат за п. 5, який **відрізняється** тим, що дія керування, здійснена контролером, якщо задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, передбачає зменшення подачі енергії на схему нагрівання.

8. Апарат за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що контролер виконаний з можливістю визначення попередньо визначених критеріїв протягом заданого періоду часу і визначення попередньо визначених критеріїв один раз протягом кожного з одного або більше додаткових попередньо визначених періодів у сеансі використання пристрою, при цьому необов'язково кожний з попередньо визначених періодів має тривалість від 1/80 до 1/20 с або приблизно 1/64 с.

9. Апарат за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що схема нагрівання являє собою схему індукційного нагрівання, і при цьому нагрівальний елемент являє собою пристрій струмоприймача для індукційного нагрівання схемою індукційного нагрівання, і пристрій для вимірювання температури містить температурний датчик для вимірювання температури пристрою струмоприймача.

10. Апарат за п. 9, який **відрізняється** тим, що температурний датчик являє собою термопару для прикріплення до пристрою струмоприймача.

11. Апарат за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що пристрій для вимірювання температури містить:

перший температурний датчик для вимірювання першої температури у пристрої; і
 30 другий температурний датчик для вимірювання другої температури у пристрої; і при цьому збільшення температури, вимірюваної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, являє собою збільшення першої температури або збільшення другої температури.

12. Апарат за п. 11, який **відрізняється** тим, що перша температура являє собою температуру першої нагрівальної зони у пристрої, і друга температура являє собою температуру другої нагрівальної зони у пристрої.

13. Апарат за п. 12, який **відрізняється** тим, що схема нагрівання виконана з можливістю вибіркового нагрівання першої нагрівальної зони і другої нагрівальної зони, і при цьому контролер виконаний з можливістю активації під час заданого періоду схеми нагрівання для нагрівання тільки однієї з першої нагрівальної зони і другої нагрівальної зони.

14. Апарат за п. 13, який **відрізняється** тим, що контролер виконаний з можливістю визначення попередньо визначених критеріїв протягом заданого періоду часу і визначення попередньо визначених критеріїв один раз протягом кожного з одного або більше додаткових попередньо визначених періодів у сеансі використання пристрою, і при цьому під час кожного періоду схема нагрівання виконана з можливістю вибіркового нагрівання тільки однієї з першої нагрівальної зони і другої нагрівальної зони.

15. Апарат за п. 14, який **відрізняється** тим, що збільшення температури, вимірюваної пристроєм для вимірювання температури і використовуваної для визначення одного або більше критеріїв протягом кожного періоду під час сеансу використання, являє собою:

збільшення першої температури, якщо схема нагрівання є активною для нагрівання першої нагрівальної зони під час періоду; і

збільшення другої температури, якщо схема нагрівання є активною для нагрівання другої нагрівальної зони під час періоду.

16. Апарат за будь-яким із пп. 12-15, який **відрізняється** тим, що:

55 схема нагрівання являє собою схему індукційного нагрівання, яка містить першу індукційну котушку і другу індукційну котушку;

при цьому нагрівальний елемент являє собою пристрій струмоприймача, і перша нагрівальна зона являє собою першу зону пристрою струмоприймача, розташовану під час використання таким чином, щоб нагріватись першою індукційною котушкою, і друга нагрівальна зона являє

собою другу зону пристрою струмоприймача, розташовану під час використання таким чином, щоб нагріватись другою індукційною котушкою.

5 17. Апарат за п. 16, який **відрізняється** тим, що перший температурний датчик являє собою першу термопару для прикріплення до першої зони пристрою струмоприймача, і другий температурний датчик являє собою другу термопару для прикріплення до другої зони пристрою струмоприймача.

18. Апарат за п. 17, який **відрізняється** тим, що перша термопара і друга термопара являють собою термопари типу J, кожна з яких містить константановий дріт і залізний дріт.

10 19. Апарат за п. 18, який **відрізняється** тим, що перша термопара містить перший константановий дріт, і друга термопара містить другий константановий дріт, і при цьому перша термопара і друга термопара використовують один залізний дріт.

20. Пристрій, що генерує аерозоль, який містить апарат за будь-яким із попередніх пунктів, при цьому пристрій для надання аерозолю призначений для генерування аерозолю для вдихання користувачем.

15 21. Пристрій, що генерує аерозоль, за п. 20, який **відрізняється** тим, що пристрій являє собою пристрій для нагрівання тютюну, також відомий як пристрій, що нагріває без спалювання.

22. Система, що генерує аерозоль, яка містить пристрій, що генерує аерозоль, за п. 20 або 21 і виріб, що містить матеріал, що генерує аерозоль, для нагрівання пристроєм під час використання з генеруванням таким чином аерозолю.

20 23. Система, що генерує аерозоль, за п. 22, коли залежить від п. 21, яка **відрізняється** тим, що пристрій являє собою пристрій, що генерує аерозоль, за п. 21, і при цьому матеріал, що генерує аерозоль, містить тютюновий матеріал для нагрівання пристроєм під час використання.

24. Спосіб для контролера апарата для пристрою, що генерує аерозоль, при цьому апарат містить:

25 схему нагрівання, що містить нагрівальний елемент для нагрівання пристрою нагрівання, при цьому пристрій нагрівання виконаний для нагрівання матеріалу, що генерує аерозоль, з генеруванням таким чином аерозолю;

пристрій для вимірювання температури, призначений для вимірювання температури пристрою; і контролер, при цьому контролер призначений для керування подачею енергії на схему нагрівання;

30 причому спосіб включає:

визначення характеристики, яка вказує, що енергія подається на схему нагрівання під час заданого періоду часу;

35 визначення зміни в температурі, виміряній пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду часу; і

здійснення дії керування, якщо на основі характеристики і збільшення температури, виміряної пристроєм для вимірювання температури протягом заданого періоду, контролер визначає, що задовольняється один або більше попередньо визначених критеріїв, які вказують на несправність пристрою для вимірювання температури.

40 25. Придатний для зчитування комп'ютером носій, який містить набір машинозчитуваних команд, який при виконанні забезпечує здійснення способу за п. 24.

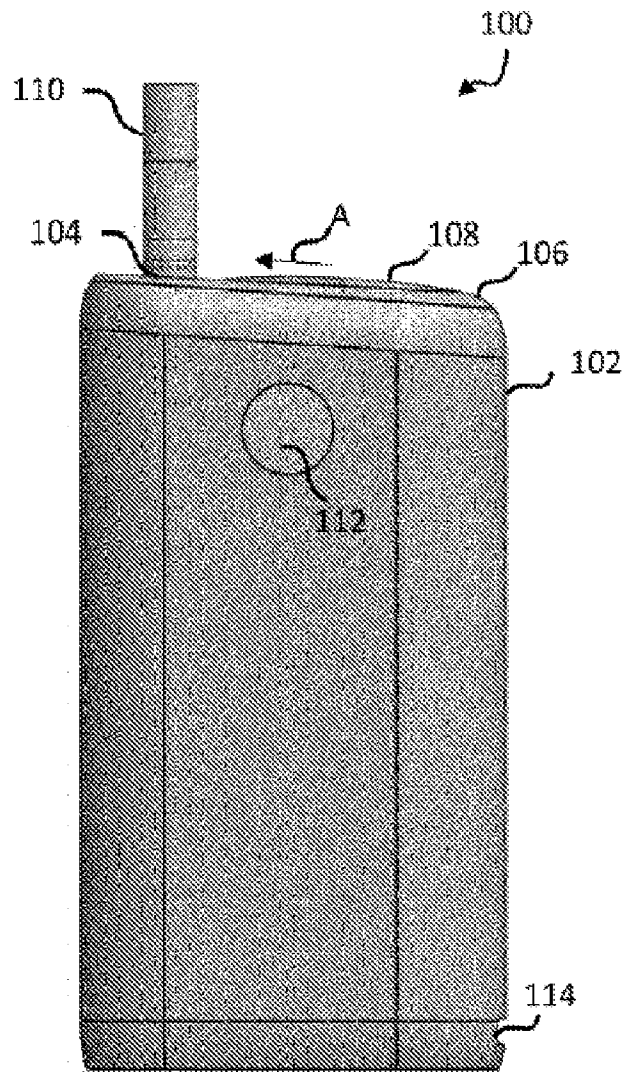


FIG. 1

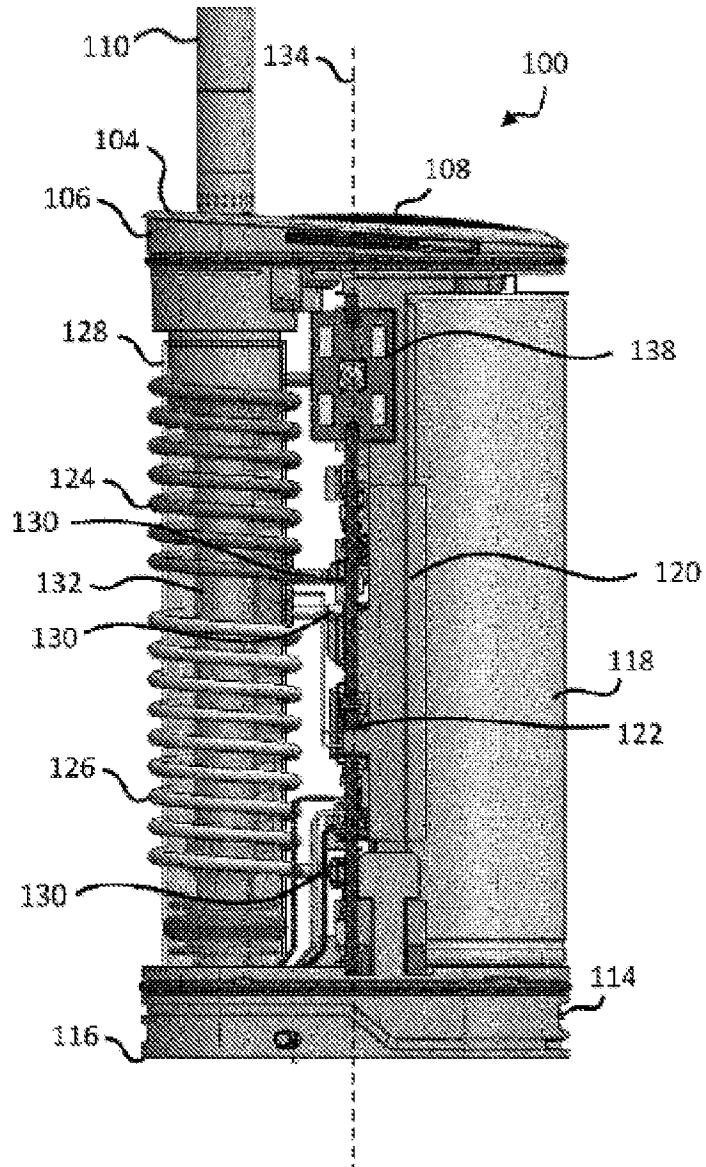


Fig. 2

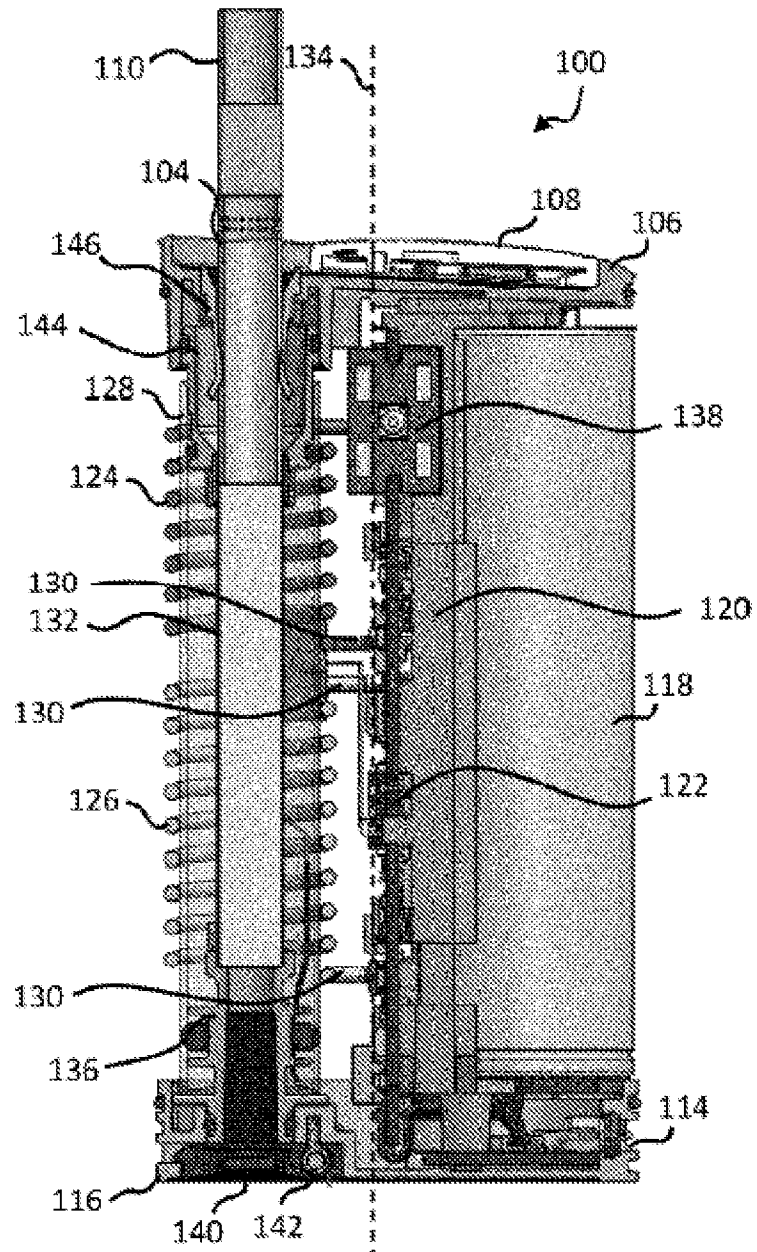


Fig. 3

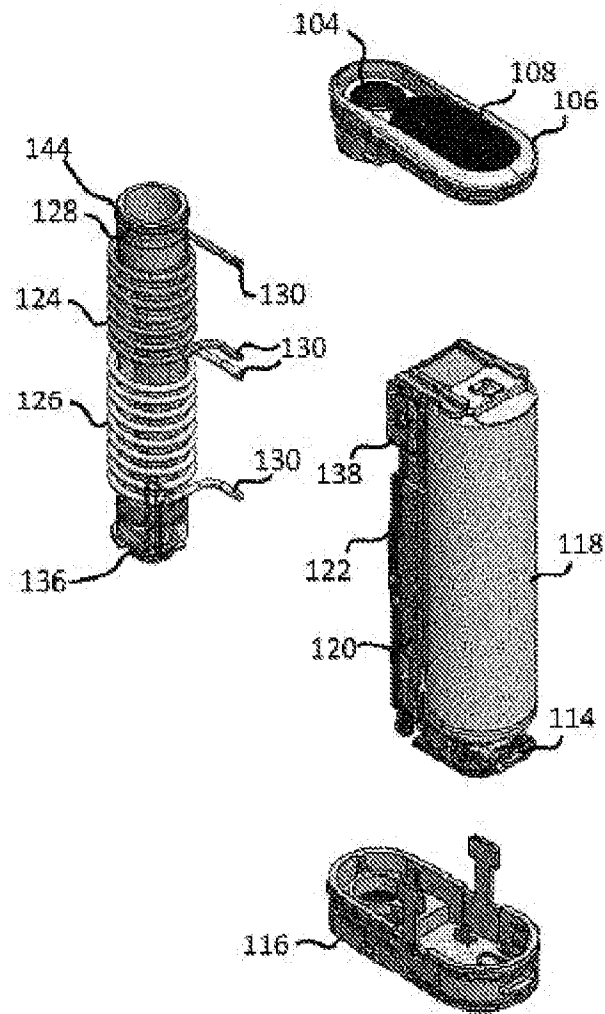


Fig. 4

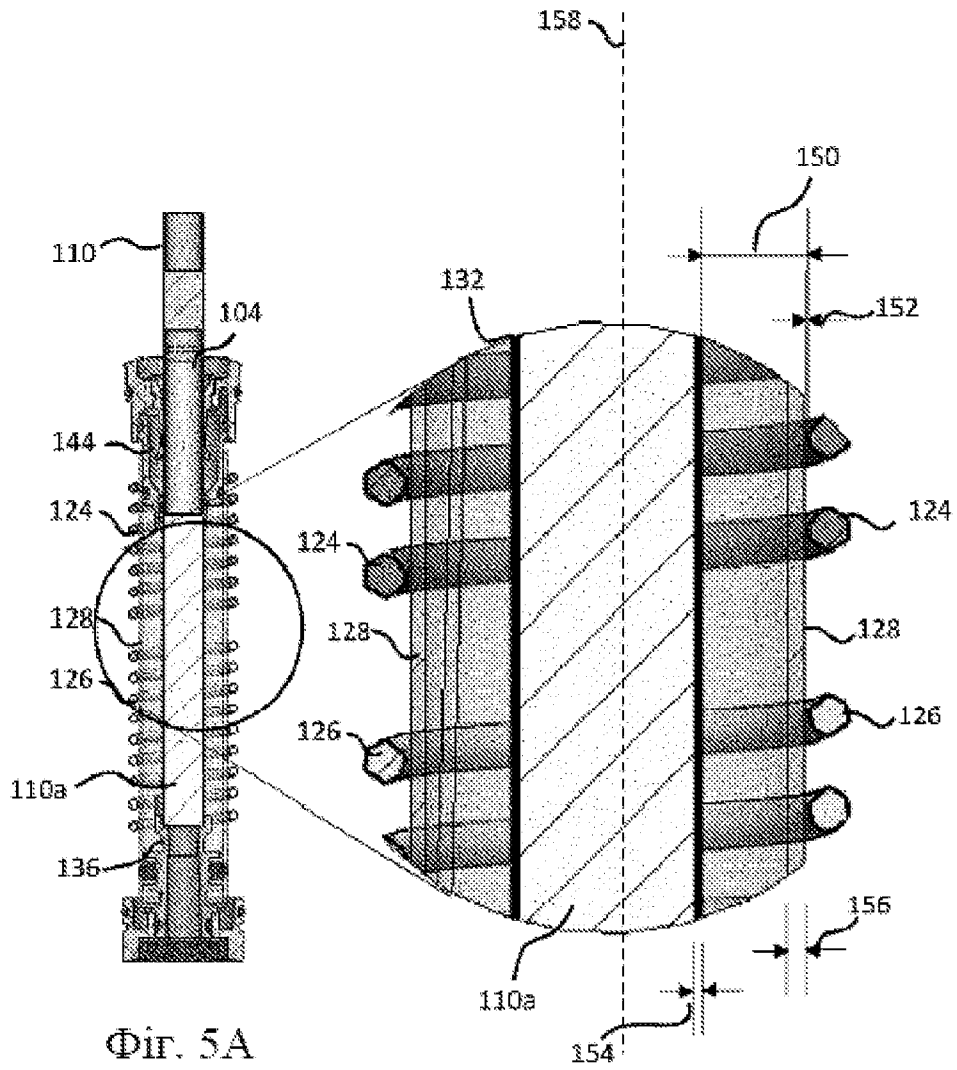
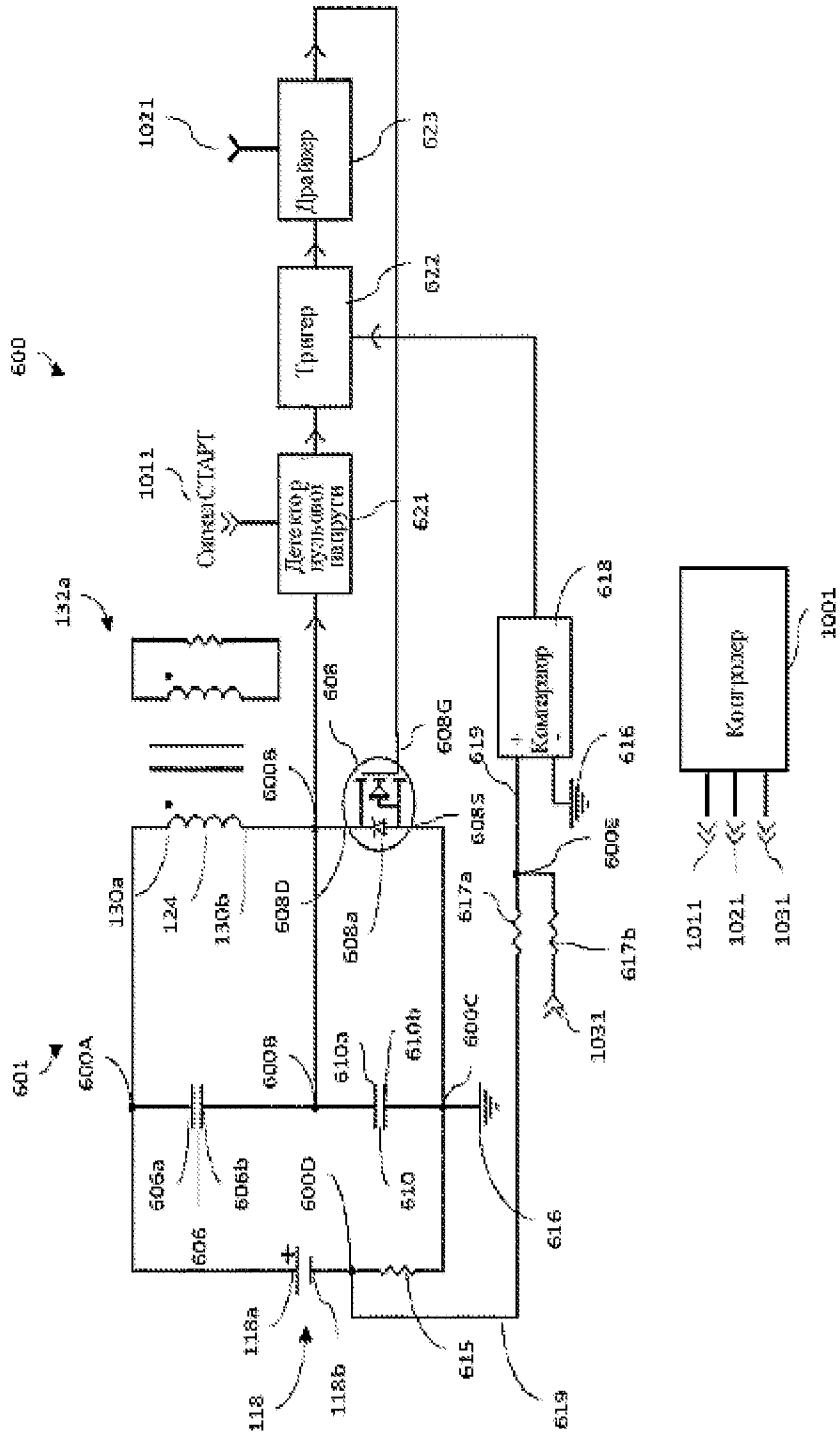
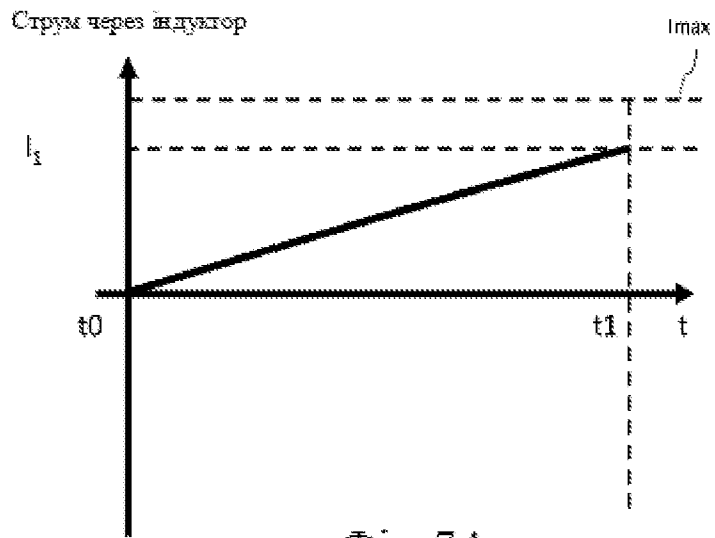


Fig. 5A

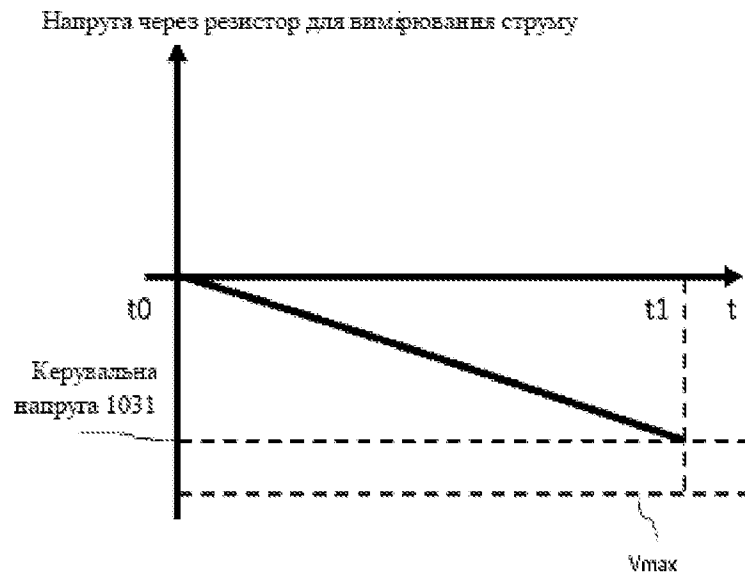
Fig. 5B



Фиг. 6



Фіг. 7А



Фіг. 7В

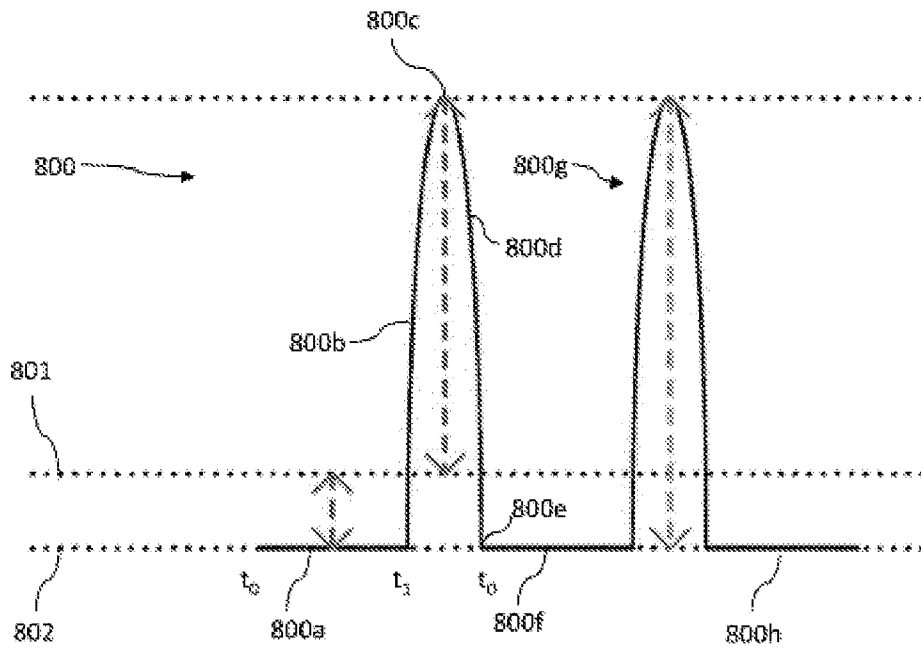
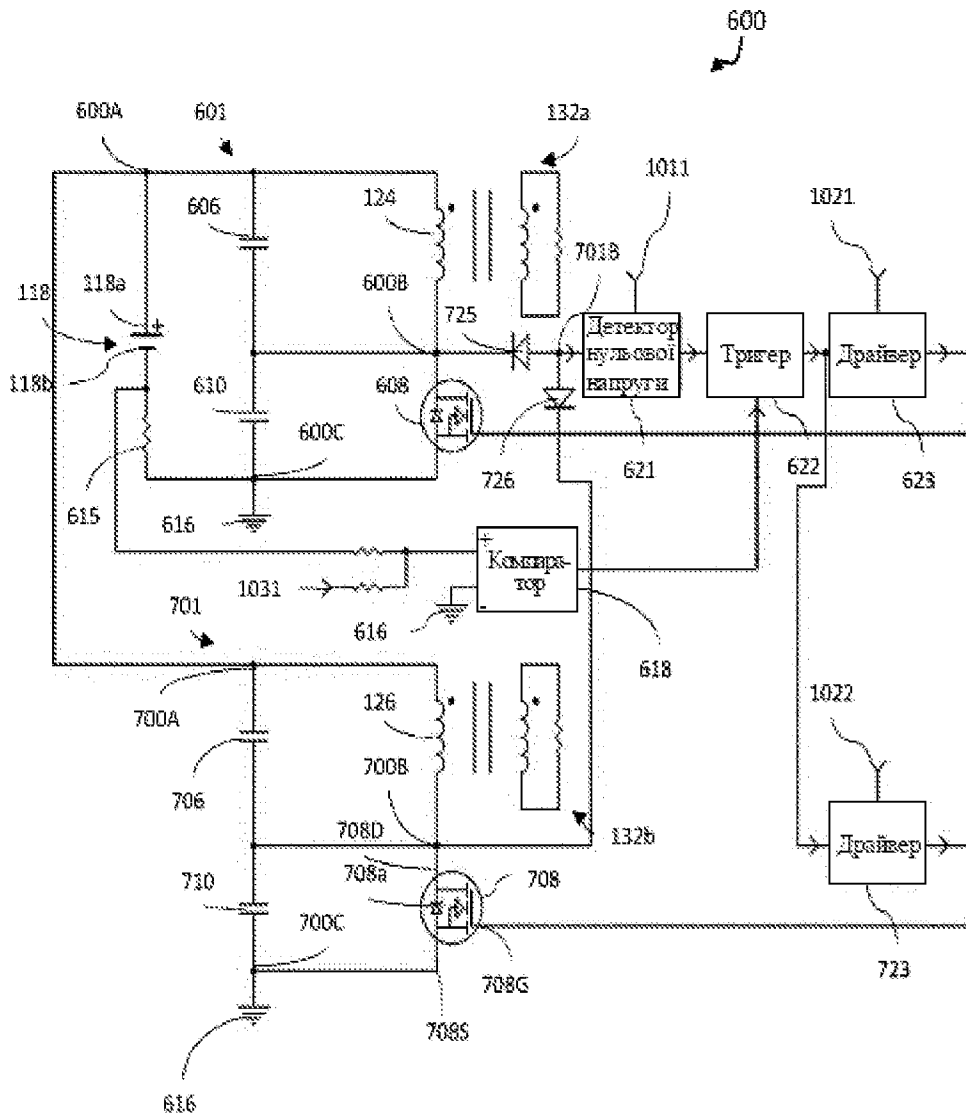


Fig. 8



Фиг. 9

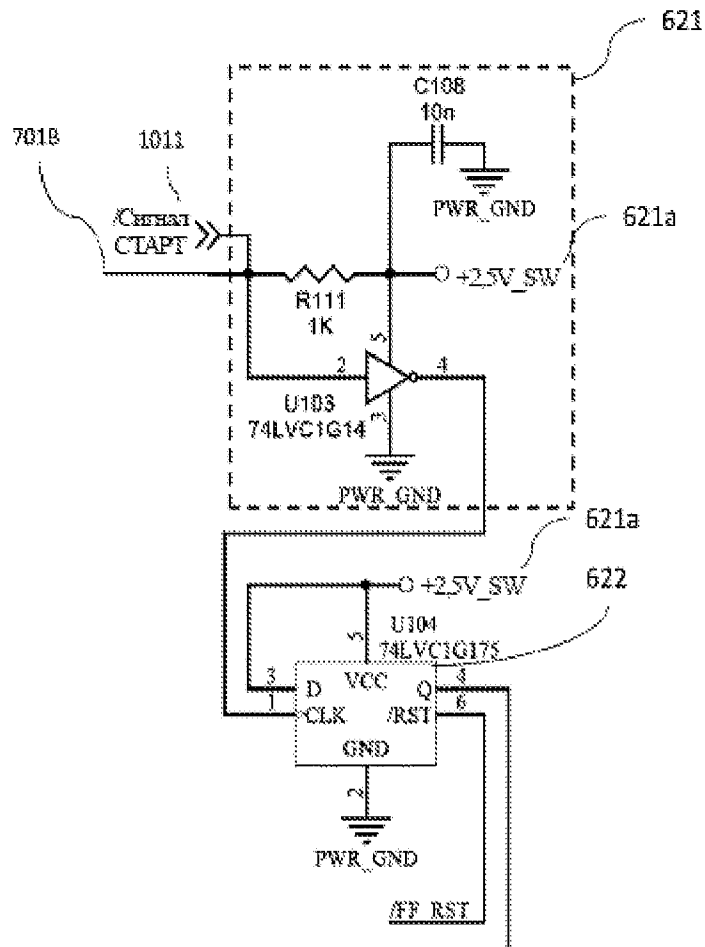


Fig. 10

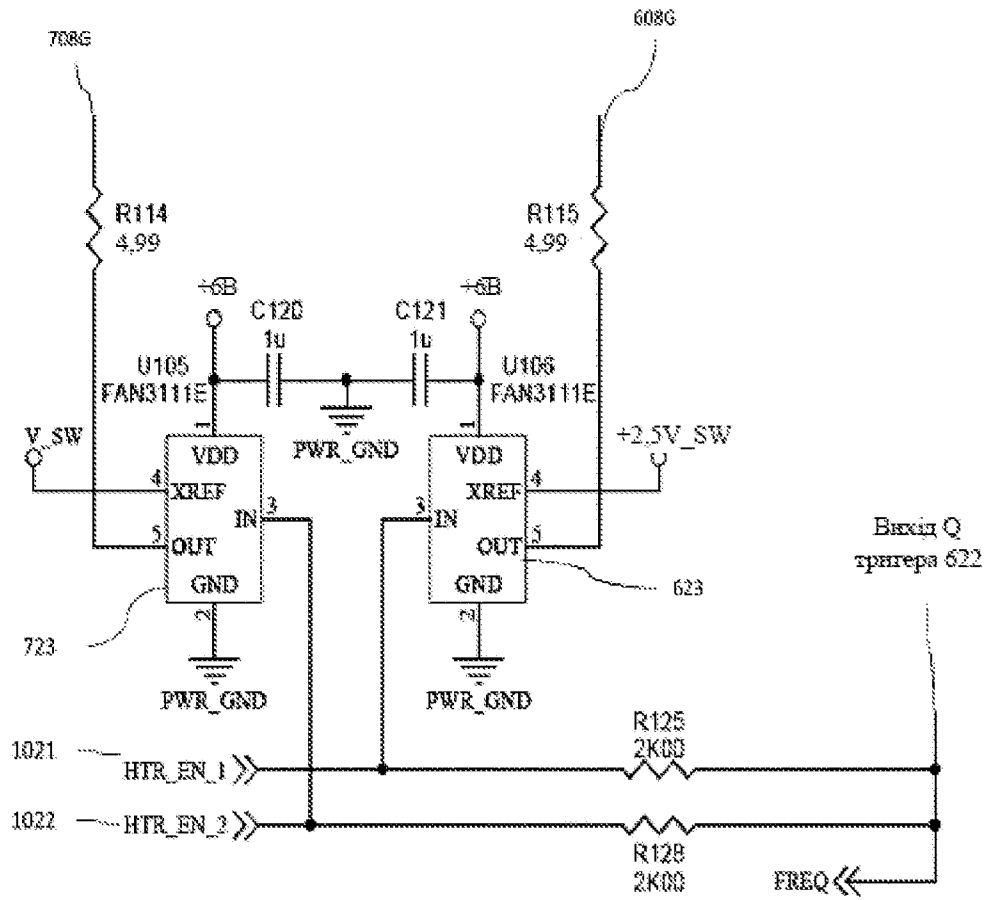
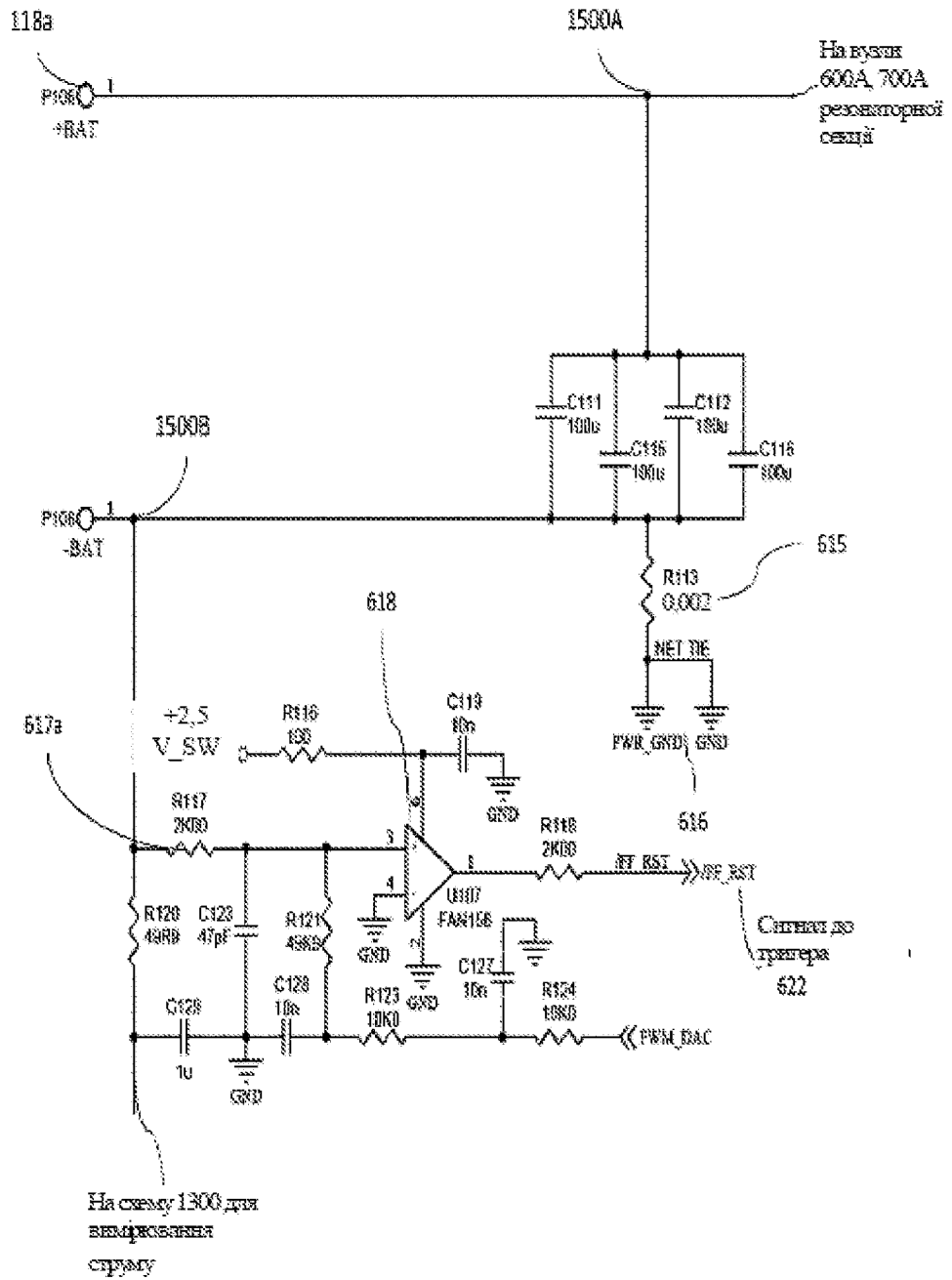


Fig. 11



Фіг. 12

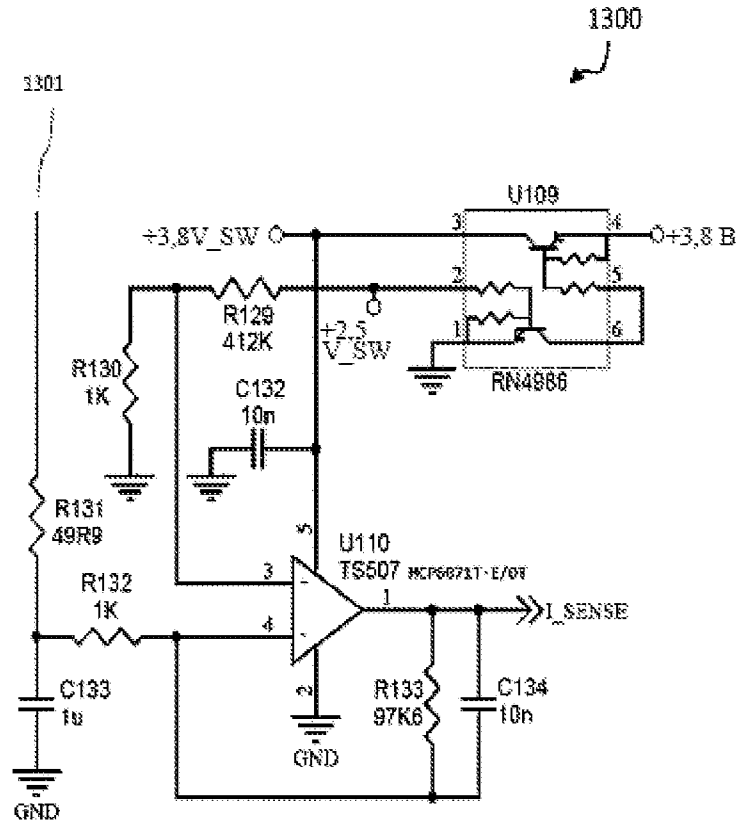
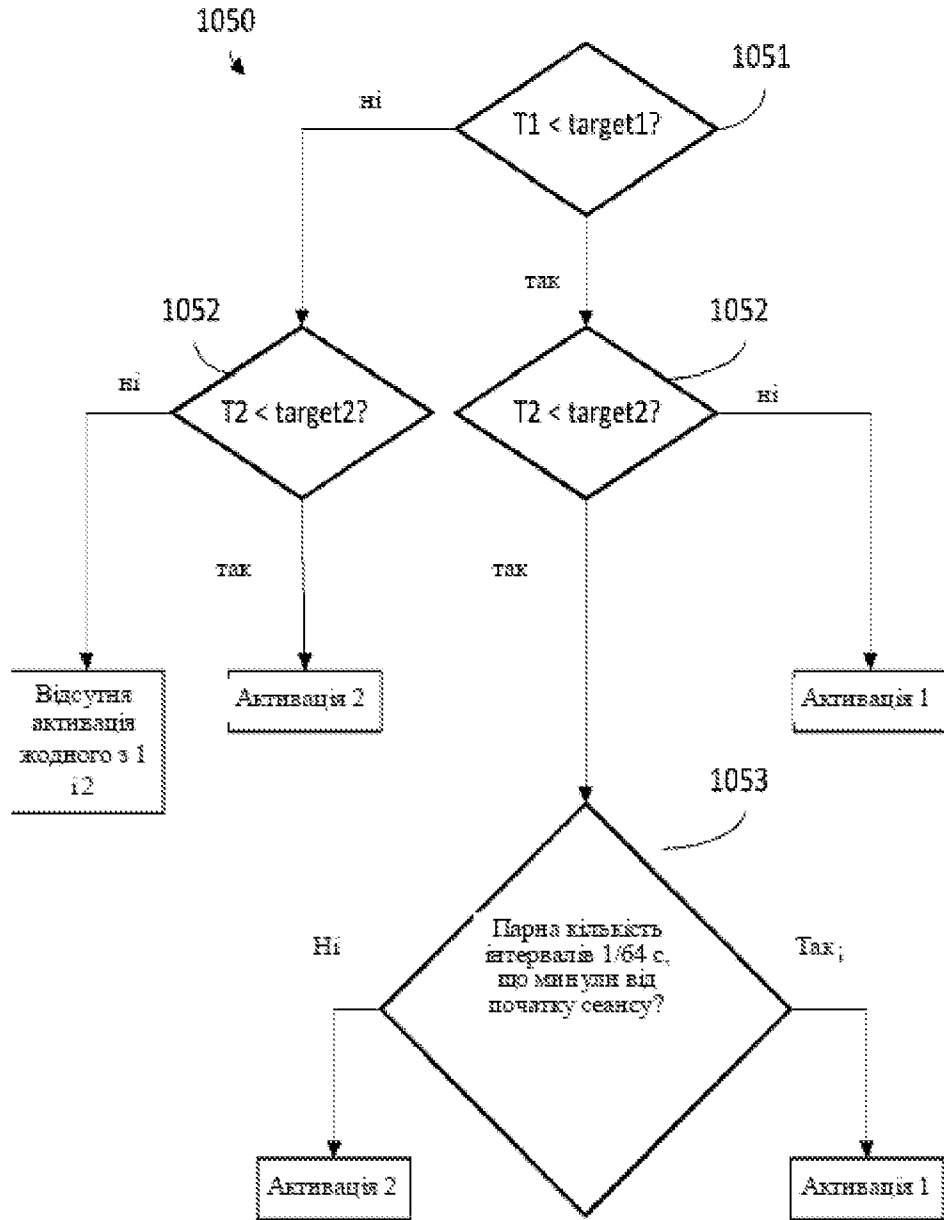
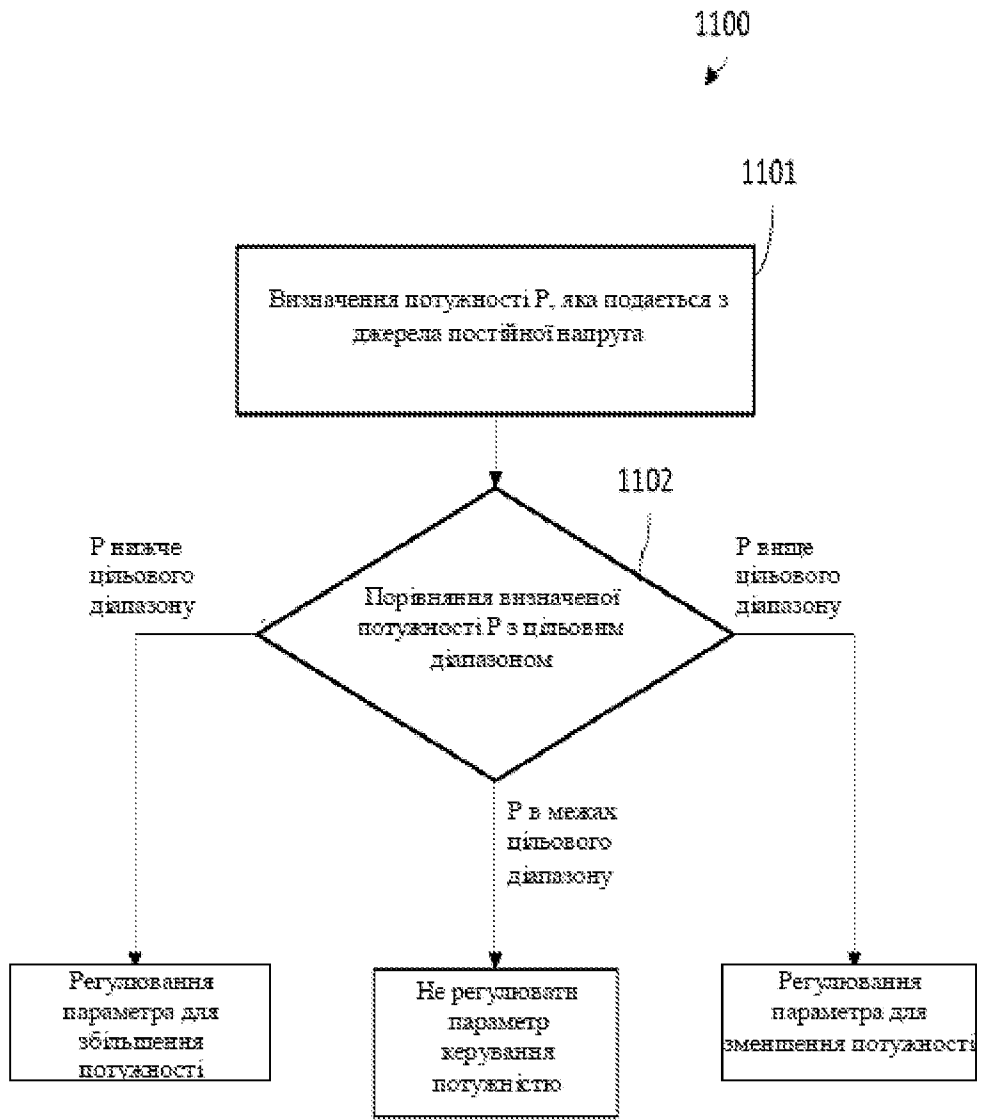


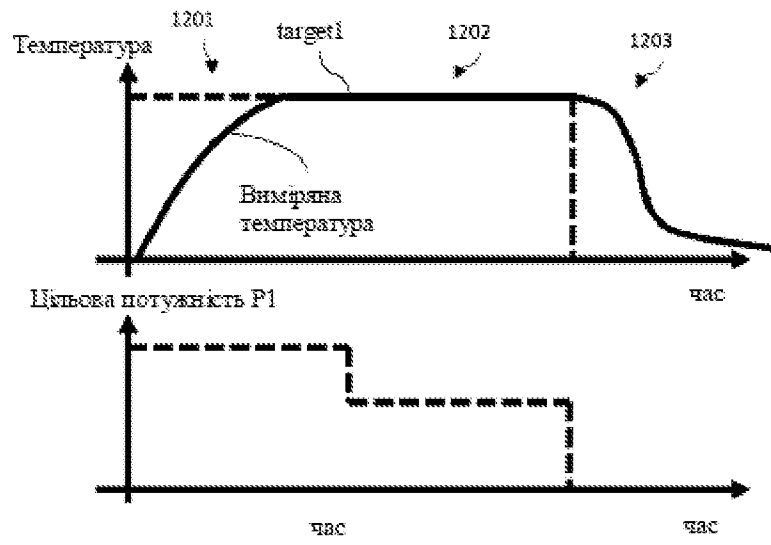
Fig. 13



Фіг. 14



Фіг. 15



Фіг. 16

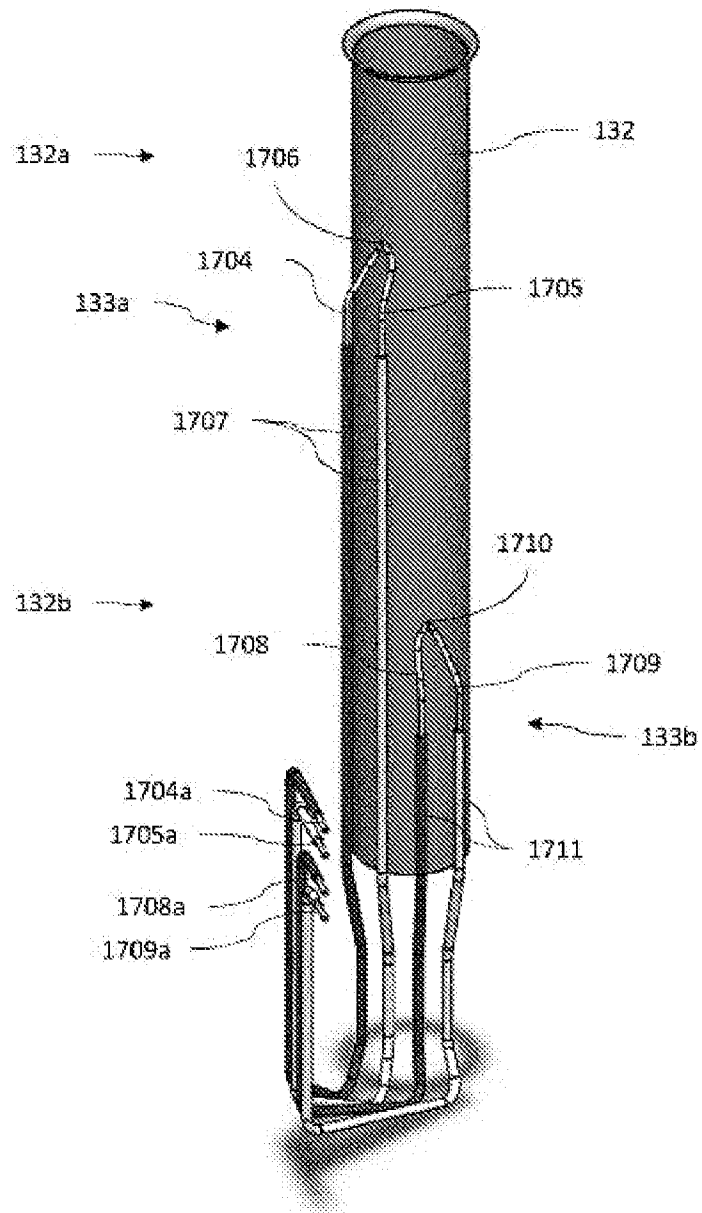


Fig. 17

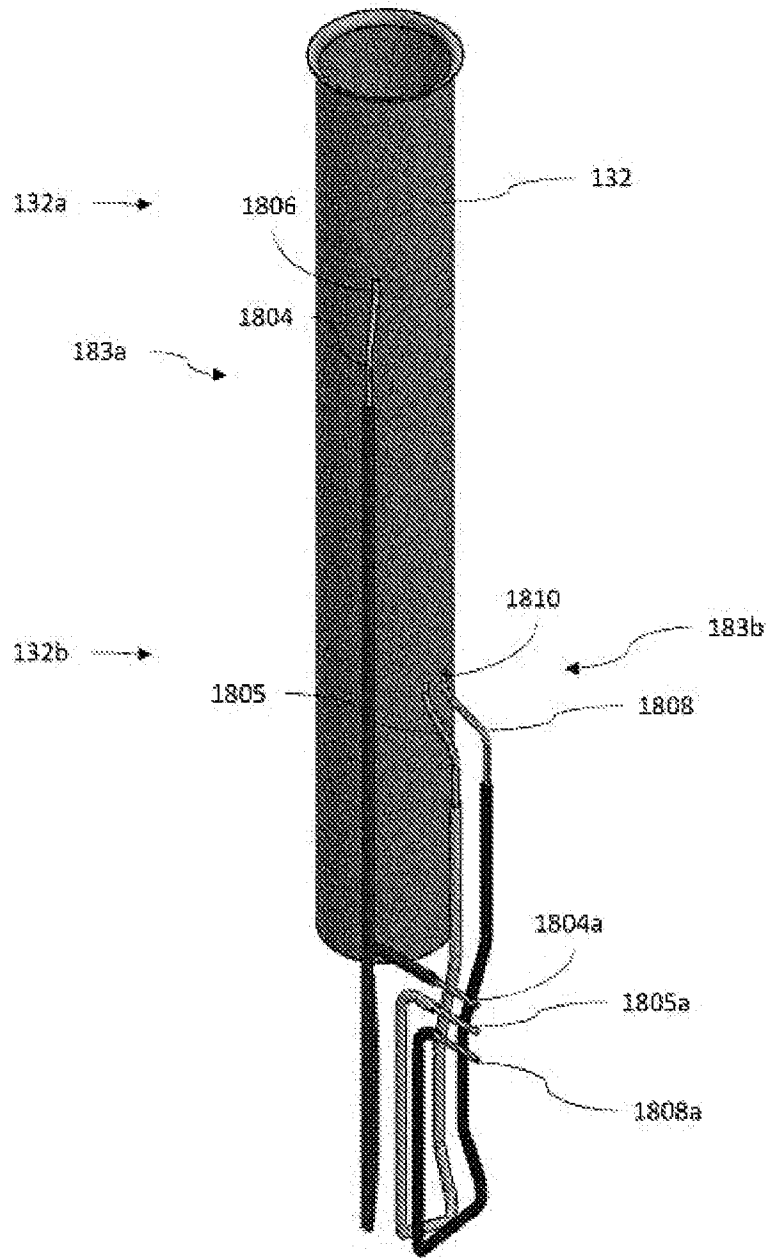
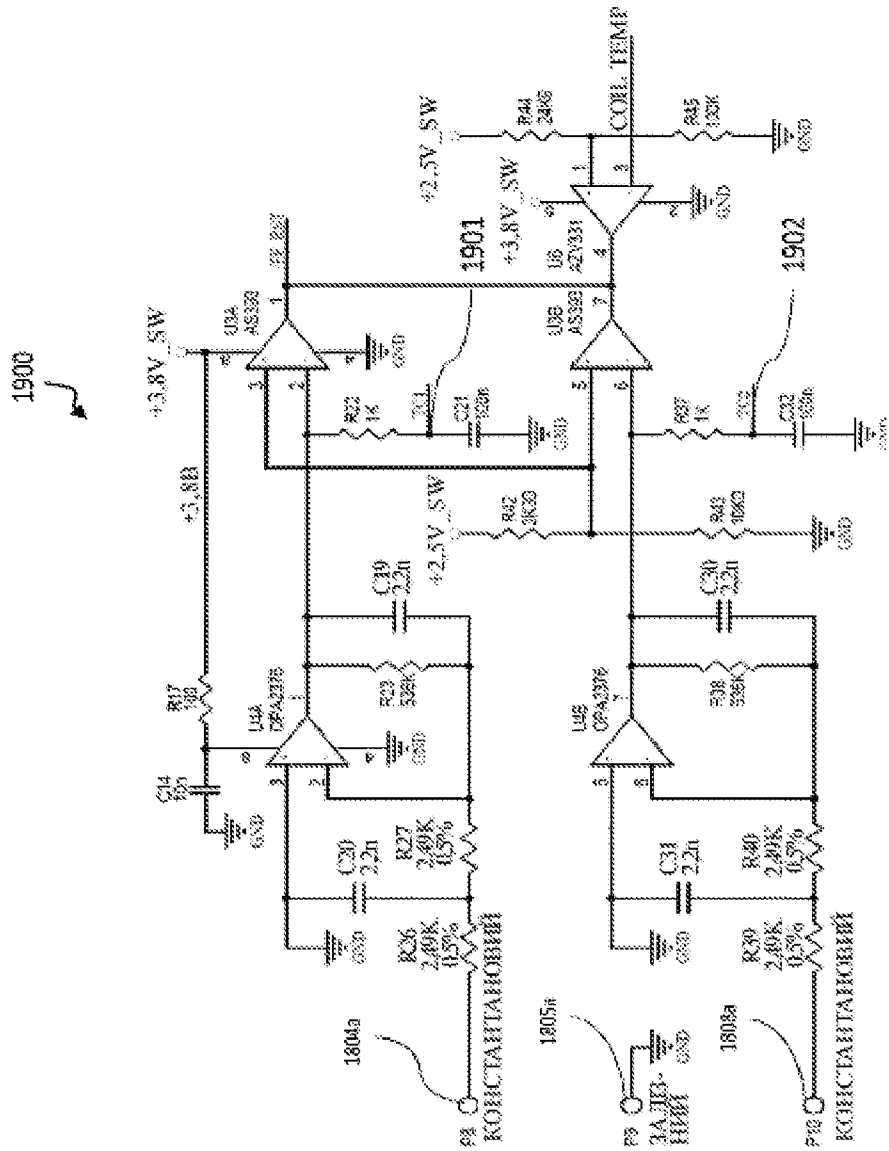
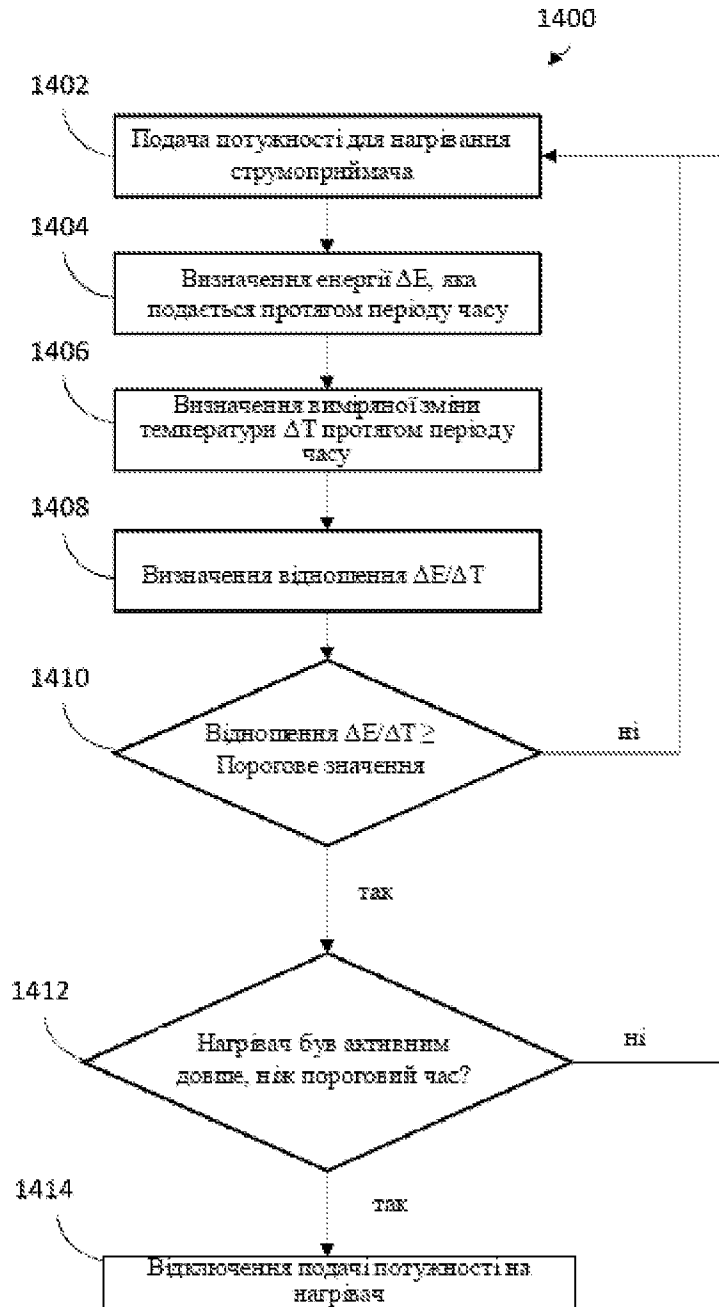


Fig. 18



Фиг. 19



Фіг. 20