



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127561** (13) **C2**
(51) МПК (2023.01)
H05B 3/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2019 07678	(72) Винахідник(и): Кочан Орест Володимирович (UA), Левків Мар'яна Орестівна (UA), Кочан Роман Володимирович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 08.07.2019	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 12.10.2023	
(41) Публікація відомостей про заявку: 27.01.2020, Бюл.№ 2	(73) Володілець (володільці): Кочан Орест Володимирович, вул. Наукова, 57/133, м. Львів, 79071 (UA), Левків Мар'яна Орестівна, вул. Ломоносова, 17, м. Тернопіль, 46027 (UA), Кочан Роман Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 46, м. Тернопіль, 46020 (UA), Кочан Володимир Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 3, м. Тернопіль, 46020 (UA)
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 11.10.2023, Бюл.№ 41	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 4975823A, 04.12.1990 JP 2018077265A, 17.05.2018 EP 2217034 A1, 11.08.2010

(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(57) Реферат:

Винахід належить до засобів нагрівання за допомогою електричного опору і може бути використаний для регулювання та стабілізації потужності електричних нагрівачів підвищеної потужності - паяльників, паяльних станцій, печей для паяння друкованих плат, печей термообробки різноманітних невеликих деталей, наукових досліджень. Спосіб регулювання потужності електричних нагрівачів, в якому ступінчасту зміну потужності виконують за допомогою широтно-імпульсного модулятора, де тривалість вихідного імпульсу змінюють симетрично до максимуму амплітуди вихідних імпульсів напруги живлення, а плавну зміну потужності реалізують за допомогою аналогової схеми шляхом плавної зміни амплітуди вихідних імпульсів, для формування яких вимірюють період синусоїди напруги живлення, визначають необхідну тривалість вихідних імпульсів як задану частку виміряного періоду, визначають необхідну затримку вихідного імпульсу відносно переходу синусоїди напруги живлення через нуль як половину різниці між виміряним періодом і тривалістю вихідного імпульсу, які визначає мікроконтролер. Пристрій регулювання потужності електричних нагрівачів містить послідовно з'єднані перший трансформатор (T2) напруги мережі живлення, перший випрямляч (DA2) та прохідні транзистори (V2-V5), причому до виходу другого прохідного транзистора (V2) підключено вхід схеми аналогового зворотного зв'язку, вихід якої підключено до керуючого входу третього прохідного транзистора (V3), у схему додатково введено другий трансформатор (T1), другий випрямляч (DA1), широтно-імпульсний модулятор, виконаний на мікроконтролері (DD1), вхід синхронізації якого підключено до виходу другого трансформатора (T1) через перший прохідний транзистор (V1), а вихід підключено до входу примусового запирання

UA 127561 C2

Винахід належить до засобів нагрівання за допомогою електричного опору і може бути використаний для регулювання та стабілізації потужності електричних нагрівачів підвищеної потужності - паяльників, паяльних станцій, печей для паяння друкованих плат, печей термообробки різноманітних невеликих деталей, наукових досліджень тощо.

Складність регулювання потужності таких електричних нагрівачів визначається їх специфічними особливостями. Такі нагрівачі вимагають доволі великої потужності (до одного кіловата). При цьому їх вигідно робити низькоомними. Нагрівач малого опору виконується із відносно товстого дроту або смужки. Це визначає його більшу механічну стійкість та більший строк експлуатації, а також кращі умови виконання правил електробезпеки (невисока напруга на нагрівачі). Ще одною особливістю всіх електричних нагрівачів є суттєва зміна їх опору при нагріванні. Навіть при відносно низькому температурному коефіцієнті опору $0,2\%/^{\circ}\text{C}$ при зростанні температури до 500°C опір нагрівача подвоюється. Перелічені особливості створюють проблеми при регулюванні потужності таких електричних нагрівачів. Невисока напруга на них вимагає, для створення відповідної потужності, великого струму. А регулювання великих струмів вимагає відповідного ускладнення обладнання. При цьому зміна опору нагрівача при нагріванні перешкоджає утриманню потрібного струму. Вирішити цю суперечність можна за рахунок збільшення початкового струму нагрівача (при його ввімкненні). А це погано як з точки зору регульовального обладнання (ускладнює його), так і з точки зору нагрівача та обладнання печі (збільшує термічні деформації при перехідному процесі нагріву).

Відомі різні види стабілізаторів напруги [1, 2] з аналоговим (неперервним) регулюванням. При великих струмах навантаження у них на сьогодні виникають дві проблеми:

1. Необхідна велика ємність конденсатора фільтра. Наприклад, при виконанні нагрівача з ніхромового дроту (питомий опір приблизно $1\text{ Ом}\cdot\text{мм кв./м}$) довжиною 4 м отримаємо опір 4 Ом. Для створення потужності 400 Вт необхідно пропустити через нагрівач струм 10 А, з врахуванням зміни опору нагрівача - 20 А. Тоді для отримання пульсацій 1 В при усталеному режимі (потужність нагрівача 400 Вт) потрібно конденсатор ємністю 100000 мкФ при допустимій нарузі 50 В. Збільшення допустимого рівня пульсацій збільшує розсіювання потужності на прохідному транзисторі регулятора.

2. Необхідність розсіювання великої потужності на прохідному транзисторі. Під час початкового нагріву нагрівача, що відповідає прикладу, розглянутому у п. 1, його опір близький до 2 Ом, а струм через нагрівач повинен сягати 20 А. Тоді вихідна напруга стабілізатора повинна становити приблизно 40 В (практично безпечна напруга). При необхідності усунути вплив допустимих змін напруги мережі живлення $\pm 10\%$, з врахуванням можливої необхідності регулювання напруги у неширокому діапазоні $\pm 10\%$, а також з врахуванням мінімального спаду напруги на прохідному транзисторі 2 В, отримаємо максимальний спад напруги на прохідному транзисторі 10 В. При струмі через нагрівач 20 А розсіювана на прохідному транзисторі максимальна потужність (навіть без врахування необхідності усунення впливу пульсацій фільтра) буде сягати приблизно 200 Вт, що вимагає примусового охолодження.

Як видно із викладеного, великі струми нагрівача створюють проблеми для аналогового регулятора напруги.

Відомі також схеми стабілізаторів струму [3] з аналоговим регулюванням. Всі вони практично повторюють схеми стабілізаторів напруги, лише керування прохідним транзистором відбувається не за вихідною напругою, а за вихідним струмом (тобто за спадом напруги на послідовно ввімкненому резисторі). Тому їх недоліки такі ж як і у стабілізаторів напруги [1, 2]. Лише додається нова проблема - згаданий послідовно ввімкнений резистор повинен витримувати великі струми та мати високу стабільність.

Значно більш досконалими щодо коефіцієнта корисної дії при стабілізації та регулюванні великих струмів є імпульсні стабілізатори напруги та струму [4, 5]. Через те, що їх прохідний транзистор може знаходитися лише у двох станах - замкнутому та насиченому, розсіювана ним потужність зменшується, порівняно з потужністю роботи у аналоговому режимі, у десятки разів. Недоліком імпульсних схем є створюваний ними високий рівень імпульсних завад. Але такі завади не погіршують роботи нагрівача. Вони впливають лише на кола вимірювання температури нагрівача. Однак використання інтегруючих вимірювальних засобів може зменшити вплив імпульсних завад на результат вимірювання температури. Але необхідність використання конденсатора фільтра великої ємності притаманна також відомим схемам імпульсних стабілізаторів напруги та струму [4, 5].

Відомі також схеми широтно-імпульсних модуляторів (ШИМ) [6, 7], які регулюють потужність нагрівача шляхом подачі на нього імпульсів струму, аналогічно до імпульсних стабілізаторів напруги та струму. Такі ШИМ теоретично не вимагають використання конденсатора фільтра великої ємності. Але на практиці найчастіше вихідні імпульси ШИМ формуються з постійної

напруги. Якщо використовувати для їх формування змінну або пульсуючу напругу, то виникають значні проблеми забезпечення їх стійкості при плавному регулюванні потужності нагрівача. Справа у тому, що вихідні імпульси формуються із синусоїдальної напруги, тому мають різну амплітуду. Тобто кожен імпульс створює різний приріст енергії нагрівача. Таким чином система регулювання потужності постійно розхитується. Тому часто виникають перехідні процеси, які змінюють потужність нагрівача непередбачуваним чином.

Цього недоліку не мають фазові системи регулювання потужності, які формують потужність нагрівача шляхом ввімкнення нагрівача із відповідною затримкою відносно переходу синусоїди напруги мережі через нуль (вони "відрізають" необхідну частину від кожного періоду або півперіоду синусоїди). Їх недоліки полягають у створенні у нагрівачі значних перепадів напруги (до 300 В, небезпечних для життя) та струму (що викликає значні термічні напруження). Ці перепади напруги створюють імпульсні завади великої амплітуди та інтенсивності, з якими важко боротися. Зменшити недоліки таких регуляторів можна шляхом зменшення напруги на вході за допомогою трансформатора. Але тоді струм навантаження трансформатора не синусоїдальний (через "відрізання" частини синусоїди). Це спотворює магнітні потоки у трансформаторі, що викликає значні динамічні навантаження на металеве осердя і його перегрів. Тому стає необхідним використання трансформатора у декілька разів більшої габаритної потужності.

Найближчим аналогом до пропонованого способу регулювання потужності електричних нагрівачів є стабілізатори напруги з аналоговим регулюванням [1, 2]. Шляхом їх вдосконалення є поєднання аналогового та імпульсного способів регулювання потужності навантаження (нагрівача). Таким чином можна зменшити недоліки кожного способу. Основною задачею, яка вирішується запропонованим винаходом, є різке зменшення необхідної ємності конденсатора фільтра та потужності, що виділяється на прохідному транзисторі.

Поставлена задача вирішується шляхом реалізації ступінчатої зміни потужності широтно-імпульсним модулятором за рахунок ступінчатої зміни тривалості вихідних імпульсів. При цьому вихідні імпульси розміщуються симетрично відносно максимуму амплітуди синусоїди напруги живлення. А плавну зміну потужності реалізує схема з аналоговим регулюванням шляхом плавної зміни амплітуди вихідних імпульсів. Однак при фіксованій для заданого значення вихідної потужності тривалості формованих імпульсів виникає методична похибка. Вона викликана допустимою зміною частоти мережі живлення у межах 49-51 Гц. При формуванні імпульсів заданої тривалості для кожної половини синусоїди, їх кількість за секунду буде визначатися частотою мережі. Тобто потужність нагрівача буде мінятися відповідно до частоти мережі. Для усунення впливу частоти мережі на вихідну потужність слід перейти від фіксованої тривалості імпульсів до формування тривалості як частки періоду мережі. Для цього спочатку вимірюють період синусоїди напруги живлення, після цього визначають необхідну тривалість вихідних імпульсів як задану частку виміряного періоду, а далі обчислюють необхідну затримку вихідного імпульсу відносно переходу синусоїди напруги живлення через нуль як половину різниці між виміряним періодом і тривалістю вихідного імпульсу. Таким чином, при зміні частоти мережі кількість формованих імпульсів змінюється, але змінюється також їх тривалість. При цьому при зростанні частоти напруги мережі (більшій кількості формованих імпульсів) пропорційно зменшується період напруги мережі. Через те, що пропонується тривалість вихідних імпульсів прив'язати до періоду мережі, при зростанні частоти мережі їх тривалість буде пропорційно зменшуватися. А сумарна тривалість пропускання струму на нагрівач за одиницю часу, наприклад за одну секунду, залишиться сталою, незважаючи на зміни частоти мережі.

Пропонований спосіб реалізується пристроєм, що містить послідовно з'єднані трансформатор напруги мережі живлення, випрямляч та прохідний транзистор, до виходу якого підключено нагрівач та вхід схеми аналогового зворотного зв'язку. Ця схема, аналогічно до того, як це зроблено у стабілізаторах напруги з аналоговим (неперервним) регулюванням, порівнює амплітуду напруги вихідного імпульсу з опорною стабільною напругою та формує керуючу дію для прохідного транзистора. Однак вихід схеми аналогового зворотного зв'язку підключений до входу прохідного транзистора лише на час тривання формованих імпульсів. Увесь інший час вихід схеми аналогового зворотного зв'язку заблокований широтно-імпульсним модулятором за допомогою транзисторного ключа. Тоді прохідний транзистор примусово запертий. Таким чином, схема аналогового зворотного зв'язку плавно керує амплітудою вихідного імпульсу. Але вона діє (прохідний транзистор розсіює потужність) лише на час дії вихідного імпульсу. Для формування імпульсів, тривалість яких визначається частотою мережі, вхід синхронізації широтно-імпульсного модулятора підключено до виходу трансформатора.

Функціонування пропонованого способу пояснюють фіг. 1 і 2, на фіг. 3 подано структурну схему пристрою, що реалізує пропонований спосіб.

Як видно з фіг. 1, у випрямлену напругу живлення (всі половини синусоїди знаходяться у додатній області) вписано штриховий прямокутник, який займає максимальну площу, але не виходить за межі синусоїди. Цей прямокутник визначає межі, при яких на нагрівач може надійти максимальна потужність при формуванні прямокутних імпульсів. ШІМ змінює потужність нагрівача, змінюючи тривалість вихідного імпульсу симетрично до максимуму синусоїди. Цей процес позначено горизонтальними стрілками. Аналогова схема може регулювати амплітуду вихідних імпульсів, як це показано вертикальними стрілками. Як видно з фіг. 1, прямокутні імпульси напруги на нагрівачі ніяк не пов'язані з параметрами синусоїди та її спотвореннями. Оцінку потужності, яка надходить на нагрівач, її регулювання та стабілізація не залежать від амплітуди, фази, частоти та інших параметрів синусоїди. Тому немає необхідності після випрямляча ставити конденсатор фільтра.

На другій половині синусоїди, показаної на фіг. 1, заштрихованою областю показано потужність, яку розсіює прохідний транзистор. Як видно з фіг. 1, заштрихована площа, пропорційна розсіюваній потужності, суттєво менша за потужність, яку прохідний транзистор розсіює при аналоговому способі регулювання.

На фіг. 2 показано структурну схему пристрою, що реалізує пропонований спосіб. Від традиційних стабілізаторів напруги [1, 2] з аналоговим (неперервним) регулюванням вона відрізняється відсутністю фільтра та наявністю ШІМ. Останній, за допомогою ключа перемикачання керування, дає змогу працювати аналоговому зворотному зв'язку, але лише під час тривання вихідного імпульсу. В інший час прохідний транзистор запертий. Тому ніякі перехідні процеси у схемі не впливають на нагрівач.

На фіг. 3 показано принципову схему пристрою, що реалізує пропонований спосіб. У схему входять силовий трансформатор T2, випрямляч DA2, прохідний транзистор V2-V5 (реалізований за схемою Дарлінгтона), ШІМ DD1 та коло аналогового зворотного зв'язку. Аналоговий зворотний зв'язок реалізовано традиційно. Операційний підсилювач DA4 порівнює опорну напругу +5 В із поділеною резисторами R8 і R9 вихідною напругою та, відповідно до відхилення, формує керуючу дію, яка надходить на вхід прохідного транзистора (база V22) через резистор R4. ШІМ виконано на мікроконтролері. Транзистор V1 змінює свій стан із насиченого у запертий та навпаки відповідно до полярності синусоїди напруги мережі живлення, що надходить з обмотки трансформатора T1. Трансформатор T1 малопотужний, він, через фільтр C1 та стабілізатор DA3, живить мікроконтролер DD1 та операційний підсилювач DA4. T1 виконано окремо для того, щоби як T2 можна було використовувати трансформатори різної потужності та з різною вихідною напругою (зокрема стандартні освітлювальні трансформатори).

Визначення періоду синусоїди напруги мережі, тривалості формованого вихідного імпульсу та його затримки відносно переходів мережі через нуль виконує мікроконтролер DD1 обчислювальним шляхом. Як вхід синхронізації Syn доцільно використати вхід зовнішнього переривання. Тривалість формованого імпульсу задається комбінацією логічних нулів та одиниць на входах даних In1-In3 (при необхідності число цих входів може бути збільшене). Вихід даних Out при логічній одиниці на ньому насичує транзистор V3, який закорочує базу V2 на землю. Таким чином на базу V2 не надходить керуюча дія через резистор R4, прохідний транзистор запертий, вихідна напруга U_{вих} рівна нулю. При логічному нулі на виході Out мікроконтролера DD1 транзистор V3 запертий, керуюча дія через резистор R4 надходить на прохідний транзистор без спотворень, амплітуду вихідного імпульсу визначає операційний підсилювач DA4.

Слід відзначити, що операції визначення періоду мережі проводяться мікроконтролером шляхом заповнення лічильника імпульсами власного тактового генератора. Інший лічильник використовує ті ж самі імпульси власного тактового генератора для формування затримки та тривалості вихідного імпульсу. Тобто частота власного тактового генератора не впливає на похибку формування вихідного імпульсу. Її нестабільність впливає лише у межах одного періоду мережі живлення, тобто частота власного тактового генератора повинна змінюватися за 20 мілісекунд менше, ніж третина допустимої похибки задання потужності нагрівача. Ця похибка визначається, зокрема, нестабільністю напруги стабілізатора DA3, використаного як опорна напруга. Такі вимоги виконують навіть вбудовані тактові RC генератори мікроконтролерів.

Конденсатор C3 - відносно малої ємності (до 1000 мкФ), потрібен лише для гарантування динамічної стійкості аналогового зворотного зв'язку.

Пропонований спосіб регулювання потужності електричних нагрівачів при взаємодії з низькоомними нагрівачами є суттєво кращим за стабілізатори напруги з аналоговим регулюванням. Він взагалі не вимагає конденсаторів великої ємності та значно зменшує вимоги

до охолодження прохідного транзистора. Порівняно з імпульсними стабілізаторами напруги, що формують вихідну напругу із постійної напруги, пропонований спосіб значно простіший та не вимагає конденсаторів великої ємності. Порівняно з імпульсними стабілізаторами напруги, що формують вихідну напругу із змінної напруги, пропонований спосіб значно надійніший - у ньому

5 неможливі перехідні процеси, викликані різною потужністю окремих імпульсів вихідної напруги. Тому пропонований спосіб регулювання потужності електричних нагрівачів і пристрій для його реалізації можуть знайти застосування у промисловості та наукових дослідженнях.

Список посилань

1. Стабілізатори напруги постійного струму. Принцип стабілізації, види стабілізаторів.

10 <https://electric-in-home.com/dc-voltage-stabilizers-are-used-for-the-principle-of-stabilization/>

2. Титце, У., Шенк, К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. - М.: ДМК Пресс, 2008.

3. ADJUSTABLE VOLTAGE AND CURRENT REGULATOR.

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/1200.pdf>

4. Хоровиц, П., & Хилл, У. Искусство схемотехники. М: Мир, 1998.

15 5. Linear and Switching Voltage Regulator Fundamental Part 1.

<http://www.ti.com/lit/an/snva558/snva558.pdf>

6. Pulse width modulation. https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation

7. Peddapelli, S.K. (2016). Pulse width modulation: analysis and performance in multilevel inverters. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб регулювання потужності електричних нагрівачів, який **відрізняється** тим, що ступінчасту зміну потужності виконують за допомогою широтно-імпульсного модулятора, де

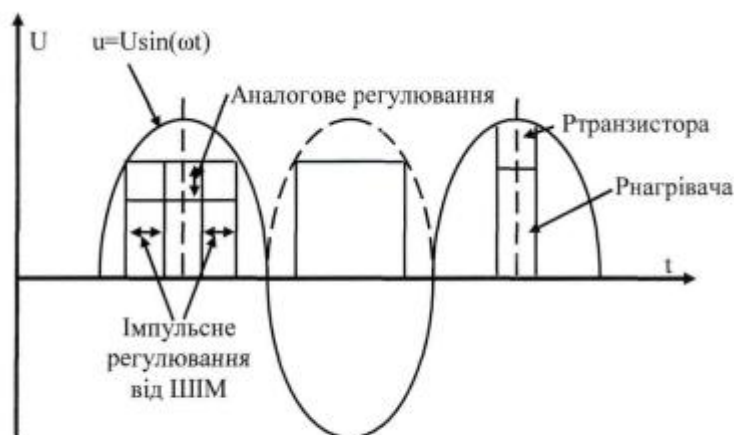
25 тривалість вихідного імпульсу змінюють симетрично до максимуму амплітуди вихідних імпульсів напруги живлення, а плавну зміну потужності реалізують за допомогою аналогової схеми шляхом плавної зміни амплітуди вихідних імпульсів, для формування яких вимірюють період синусоїди напруги живлення, визначають необхідну тривалість вихідних імпульсів як задану частку виміряного періоду, визначають необхідну затримку вихідного імпульсу відносно

30 переходу синусоїди напруги живлення через нуль як половину різниці між вимірним періодом і тривалістю вихідного імпульсу, які визначає мікроконтролер.

2. Пристрій регулювання потужності електричних нагрівачів, що містить послідовно з'єднані перший трансформатор (Т2) напруги мережі живлення, перший випрямляч (DA2) та прохідні транзистори (V2-V5), причому до виходу другого прохідного транзистора (V2) підключено вхід

35 схеми аналогового зворотного зв'язку, вихід якої підключено до керуючого входу третього прохідного транзистора (V3), який **відрізняється** тим, що у схему додатково введено другий трансформатор (Т1), другий випрямляч (DA1), широтно-імпульсний модулятор, виконаний на мікроконтролері (DD1), вхід синхронізації якого підключено до виходу другого трансформатора (Т1) через перший прохідний транзистор (V1), а вихід підключено до входу примусового

40 запирання третього прохідного транзистора (V3).



Фіг. 1



Fig. 2

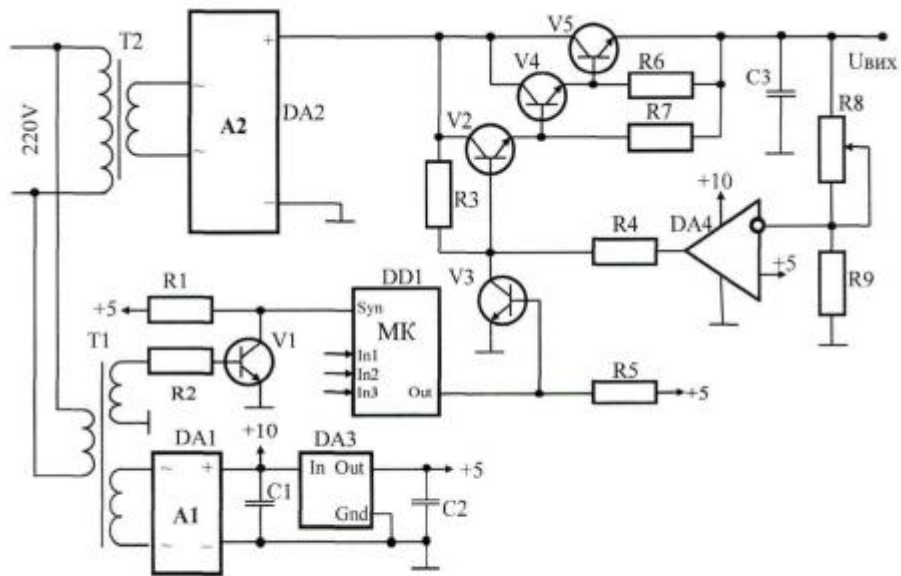


Fig. 3