



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142895** (13) **U**
(51) МПК (2020.01)
H05B 3/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 07681</p> <p>(22) Дата подання заявки: 08.07.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2020, Бюл.№ 13</p>	<p>(72) Винахідник(и): Кочан Орест Володимирович (UA), Левків Мар'яна Орестівна (UA), Кочан Роман Володимирович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): 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)</p>
--	--

(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ

(57) Реферат:

Спосіб регулювання потужності електричних нагрівачів включає її ступінчасту та плавну зміни. Ступінчасту зміну потужності реалізують широтно-імпульсним модулятором шляхом ступінчатої зміни тривалості вихідних імпульсів, розміщених симетрично відносно максимуму амплітуди синусоїди напруги мережі живлення. Плавну зміну потужності реалізують аналоговою схемою шляхом плавної зміни амплітуди вихідних імпульсів.

UA 142895 U

Корисна модель належить до засобів нагрівання за допомогою електричного опору і може бути використана 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.

5 Складність регулювання потужності таких електричних нагрівачів визначається їх специфічними особливостями. Такі нагрівання 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 однією 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 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).

20 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 урахуванням 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 напрузі 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 урахуванням мінімального спаду напруги на прохідному транзисторі 2 В, отримаємо максимальний спад напруги на прохідному транзисторі 10 В. При струмі через нагрівач 20 А розсіювача на прохідному транзисторі максимальна потужність (навіть без урахування необхідності усунення впливу пульсацій фільтра) буде сягати приблизно 200 Вт, що вимагає примусового охолодження.

40 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).

45 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 до допустимого рівня. Але необхідність використання конденсатора фільтра великої ємності притаманна також відомим схемам імпульсних стабілізаторів напруги та струму [4, 5].

60 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 ШІМ формуються з постійної напруги. У цьому випадку конденсатор великої ємності необхідний. Якщо використовувати для формування імпульсів змінну або пульсуючу напругу, то виникають значні проблеми забезпечення стійкості регулятора при плавному регулюванні потужності нагрівача. Справа у тому, що коли вихідні імпульси формуються, наприклад, із синусоїдальної напруги, вони 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 нагріванні 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 корисної моделі 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.

В основу корисної моделі поставлена задача різкого 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, що надходить на нагрівач 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 тривалість цих імпульсів буде пропорційно зменшуватися. А сумарна тривалість пропускання струму на нагрівач за одиницю часу, наприклад, за одну секунду, залишиться сталою, незважаючи на зміну частоти мережі.

Функціонування корисної моделі пояснюють креслення (Фіг. 1 і 2).

Як видно з Фіг. 1, у напругу живлення $u=U\sin(\omega t)$, випрямлену випрямлячем (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 надходити максимальна потужність при формуванні прямокутних імпульсів. ШІМ змінює потужність нагрівача, змінюючи тривалість вихідного імпульсу симетрично до максимуму синусоїди. Цей процес позначено горизонтальними стрілками 1. Аналогова схема може регулювати амплітуду вихідних імпульсів, як це показано вертикальними стрілками 2. Як видно з Фіг. 1, прямокутні імпульси напруги на нагрівачі ніяк не пов'язані з параметрами синусоїди та її спотвореннями. Потужність, 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 третій половині синусоїди, наведеної на Фіг. 1, показано область 3, яка відповідає потужності, що розсіює прохідний транзистор, та область 4, яка відповідає потужності, що надходить на нагрівач. Як видно з Фіг. 1, площа області 3, пропорційна потужності транзистора, суттєво менша за площу області 4, пропорційну потужності, що надходить на нагрівач. Площа області 3 також суттєво менша за площу, яку прохідний транзистор розсіює при аналоговому способі регулювання (ця площа за висотою відповідає 3, а за тривалістю - повному періоду синусоїди).

На Фіг. 2 наведено структурну схему пристрою, що реалізує пропонований спосіб. У цю структурну схему входять послідовно з'єднані трансформатор 5, випрямляч 6, прохідний транзистор 7 та схема аналогового зворотного зв'язку 8. Схема 8, аналогічна до тієї, як це зроблено у стабілізаторах напруги з аналоговим (неперервним) регулюванням [1, 2], порівнює амплітуду напруги вихідного імпульсу з опорною стабільною напругою та формує керуючу дію для прохідного транзистора 7. Ця керуюча дія повертає вихідну напругу до заданого рівня.

Однак вихід схеми аналогового зворотного зв'язку 8 підключено до входу прохідного транзистора 7 лише на час тривання формованих ШІМ 9 імпульсів. Увесь інший час вихід схеми аналогового зворотного зв'язку 8 заблоковано ШІМ 9 за допомогою транзисторного ключа 10. 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 ШІМ 9.

Для формування імпульсів, тривалість яких визначається частотою мережі, вхід синхронізації ШІМ 9 підключено до виходу трансформатора 5. Операції визначення періоду мережі проводяться ШІМ 9 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. Впливає лише її нестабільність у межах одного періоду мережі живлення. Прийнятну нестабільність за 20 мілісекунд мають навіть прості RC генератори.

Таким чином, блоки 5-8 по суті є стабілізатором напруги з аналоговим (неперервним) регулюванням [1, 2]. Від традиційних схема Фіг. 2 відрізняється відсутністю фільтра, а також наявністю ШІМ 9 та ключа 10. ШІМ 9 за допомогою ключа 10, дає змогу працювати аналоговому зворотному зв'язку 8 лише під час тривання вихідного імпульсу. В інший час прохідний транзистор запертий. Тому ніякі перехідні процеси у схемі не впливають на нагрівач.

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 надійніший - у ньому неможливі перехідні процеси, викликані різною потужністю окремих імпульсів вихідної напруги.

Тому корисна модель може знайти застосування у промисловості та наукових дослідженнях.

Джерела інформації:

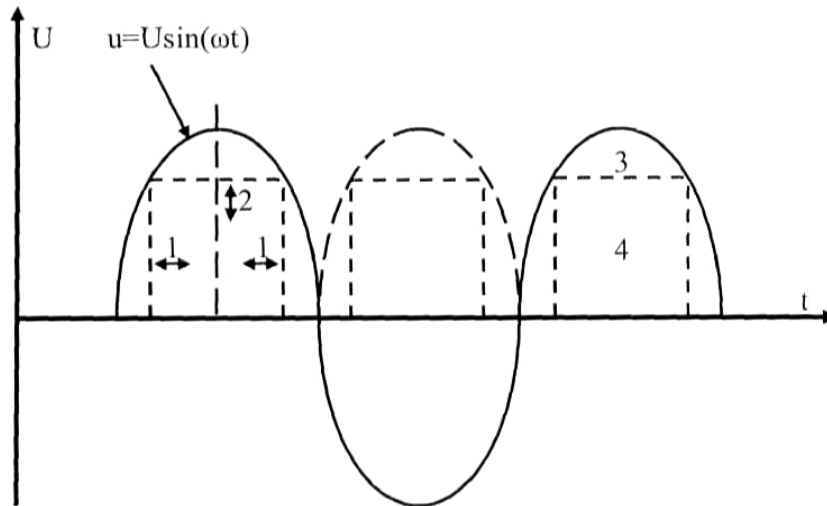
1. Стабілізатори напруги постійного струму. Принцип стабілізації, види стабілізаторів. <https://electric-in-home.com/dc-voltage-stabilizers-are-uscd-ror-the-principle-of-stabilization/>
2. Титце У., & Шенк К. (2008). Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. - Москва: ДМК Пресс.
3. ADJUSTABLE VOLTAGE AND CURRENT REGULATOR. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/1200.pdf>
4. Хоровиц П., & Хилл У. (1998). Искусство схемотехники. М.: Мир.
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-widthmodulation>
7. Peddapelli S.K. (2016). Pulse width modulation: analysis and performance in multilevel inverters. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

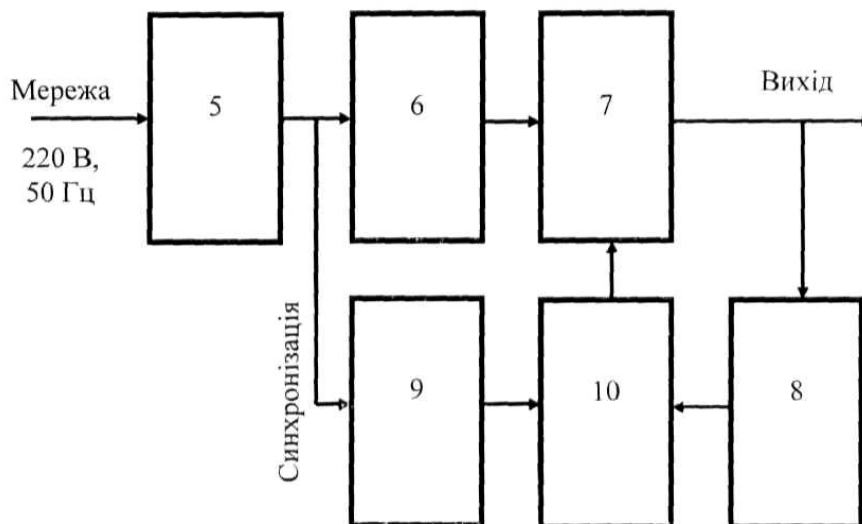
1. Спосіб регулювання потужності електричних нагрівачів, що включає її ступінчасту та плавну зміни, який **відрізняється** тим, що ступінчасту зміну потужності реалізують широтно-імпульсним модулятором шляхом ступінчастої зміни тривалості вихідних імпульсів, розміщених симетрично

відносно максимуму амплітуди синусоїди напруги мережі живлення, а плавну зміну потужності реалізують аналоговою схемою шляхом плавної зміни амплітуди вихідних імпульсів.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування вихідних імпульсів спочатку вимірюють період синусоїди напруги живлення, визначають необхідну тривалість вихідних імпульсів як задану частку виміряного періоду, далі визначають необхідну затримку вихідного імпульсу відносно переходу синусоїди напруги живлення через нуль як половину різниці між вимірним періодом і тривалістю вихідного імпульсу.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка М. Шамо́ніна

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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