



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 131265

(13) C2

(51) МПК

H01F 29/14 (2006.01)

H02M 1/34 (2007.01)

H01F 27/42 (2006.01)

H02P 13/12 (2006.01)

H02H 9/04 (2006.01)

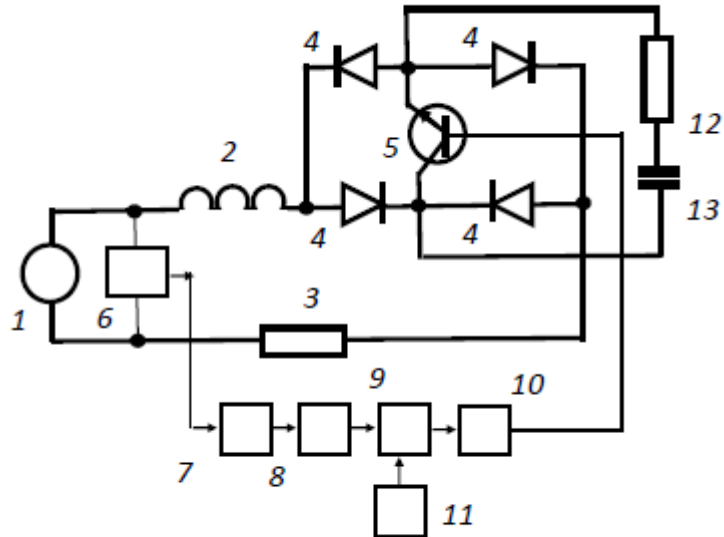
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**(21)** Номер заявки: **а 2024 00503****(22)** Дата подання заявки: **30.01.2024****(24)** Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **01.10.2026****(41)** Публікація відомостей
про заявку: **30.07.2025, Бюл.№ 31****(46)** Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **30.09.2026, Бюл.№ 39****(72)** Винахідник(и):**Хілов Віктор Сергійович (UA),
Рухлов Артем Володимирович (UA),
Койфман Олексій Олександрович (UA),
Кіншаков Василь Юрійович (UA)****(73)** Володілець (володільці):**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА",
шосе Південне, буд. 80, м. Запоріжжя,
69008 (UA)****(74)** Представник:**Кухар Володимир Валентинович****(56)** Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:**UA 151630 U, 25.08.2022
EP 1124315 A1, 16.08.2001
CN 105443297 A, 30.03.2016
CN 205017013 U, 03.02.2016
DE 10100890 A, 11.01.2001
JP 2016174471 A, 29.09.2016
CN 1295851 C, 17.01.2007
JP 2012239292 A, 06.12.2012
EP 3043473 A1, 13.07.2016
US 8045309 B2, 25.10.2011****(54) СПОСІБ ПЛАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ****(57) Реферат:**

Винахід належить до електротехніки, мехатроніки та електроенергетики і може бути використаний в установках, де потрібне плавне регулювання індуктивності, зокрема для розподілу навантаження між паралельними джерелами живлення, симетрування напруг, покращення пускових характеристик асинхронних двигунів та компенсації ємнісних струмів у кабельних лініях. Спосіб включає формування керуючого сигналу блоком задання сигналу, вимірювання миттєвого значення напруги мережі датчиком напруги, перетворення сигналу блоком синусоїдальних імпульсів та прецизійним випрямлячем, порівняння у блоці абсолютної величини миттєвого значення струму із заданим сигналом. За умови перевищення заданого значення блок прямокутних імпульсів формує сигнал керування транзистором, що замикає контур навантаження. При розмиканні ключа накопичена енергія магнітного поля котушки розсіюється на колі з послідовно з'єднаними активним опором та ємністю, увімкненими

UA 131265 C2

паралельно до ключа. Винахід складається з джерела напруги, індуктивної котушки, активного опору навантаження, діодного моста, транзисторного ключа, датчика напруги, блоків задання сигналу, прямокутних імпульсів, порівняння та керування, а також послідовно з'єднаних активного опору та ємності, паралельно під'єднаних до однополярного ключа. Технічним результатом винаходу є зниження викидів напруги на електронному ключі під час переривання магнітного потоку та підвищення надійності пристрою.



Фіг. 1

Винахід належить до електротехніки, мехатроніки та електроенергетики та може бути використаний в установках, де потрібне застосування індуктивності з плавною зміною її величини.

Відомий спосіб плавного регулювання індуктивності який здійснюється пристроєм за патентом РФ 2275673 (аналог, опубліковано 27.04.2006, дата подачі 2005-02-15). Пристрій реалізує широтно-імпульсний спосіб плавного регулювання індуктивності електричного кола, що включає генерування потоку енергії індуктивної котушкою, контроль параметра потоку з подальшим його керуванням, при цьому за рахунок зміни шпаруватості спрацювання ключа змінюється еквівалентне значення індуктивності контуру.

Такий спосіб плавного регулювання індуктивності здійснюється шляхом керування середнім значенням струму індуктивної котушки шляхом регулювання шпаруватості імпульсів.

Проте широтно-імпульсний спосіб має недолік - крива струму суттєво несинусоїдальна і тому містить синусні, косинусні парні й непарні гармоніки ряду Фур'є. Несинусоїдальність струму пояснюється впливом високочастотної складовою за рахунок спрацювання широтно-імпульсного модулятора. Поява вищих гармонік струму в мережі живлення негативно впливає на інші споживачі, що живляться від загальної мережі, оскільки погіршуються техніко-економічні показники, а саме коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії.

Більш того, такий спосіб керування є ефективним, якщо частота комутації ключа у багато разів (на кілька порядків) перевищує частоту напруги живлення. Однак збільшення частоти комутації призводить до зростання динамічних втрат в електронних ключах. Потік магнітної енергії може змінюватись тільки плавно та безперервно без стрибків. Тому при комутації ключа з великою частотою виникають швидкі зміни потоку магнітної енергії, що призводять до викидів напруги як при замиканні, так і при розмиканні ключа. Викиди напруги суттєво перевищують значення напруги живлячої мережі, що у результаті призводить до теплового пробою електронного ключа.

Найбільш близьким технічним рішенням і отриманими результатами є пристрій плавного регулювання індуктивності за патентом на корисну модель UA 151630 (аналог, опубліковано 25.08.2022, дата подачі 2021-10-11), який включає генерування потоку енергії індуктивною котушкою, контроль параметра потоку з подальшим його керуванням, коли попередньо формують керуючий сигнал на величину струму магнітного потоку індуктивної котушки, вимірюють миттєве значення сигналу напруги мережі, виділяють сигнал миттєвого значення змінного струму мережі, порівнюють значення сигналів керуючого з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму, та якщо величина сигналу абсолютної величини миттєвого значення змінного струму менше заданого сигналу, то переривають потік магнітної енергії від індуктивної котушки до навантаження шляхом формування безструмових ділянок на початку та наприкінці кожної додатної та від'ємної півхвилі змінного струму.

Такий спосіб плавного регулювання індуктивності здійснюється шляхом керування середнім значенням струму індуктивної котушки за допомогою формування безструмових пауз. За такого способу відсутні викиди напруги при замиканні електронного ключа. Однак при розмиканні ключа викиди напруги зберігаються, тому що в контурі є індуктивність, у якій електрорушійна сила самоіндукції протидіє зміні струму. Такі викиди напруги зменшують термін працездатності ключа.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення відомого способу плавного регулювання індуктивності, за яким введенням нових технологічних операцій досягається суттєве зменшення викидів напруги на електронному ключі до припустимих рівнів, що підвищить енергетичні характеристики в процесі плавного регулювання потоком індуктивної енергії при вирішенні прикладних задач електротехніки, мехатроніки та електроенергетики.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі плавного регулювання індуктивності електричного кола, що включає генерування потоку енергії індуктивною котушкою, контроль параметра потоку з подальшим його керуванням, попередньо формують керуючий сигнал на величину струму магнітного потоку індуктивної котушки, вимірюють миттєве значення сигналу напруги мережі, виділяють сигнал миттєвого значення змінного струму мережі, порівнюють значення сигналів керуючого з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму, якщо величина сигналу абсолютної величини миттєвого значення змінного струму менше заданого сигналу, то переривають потік магнітної енергії від індуктивної котушки до навантаження шляхом формування безструмових ділянок на початку і кінці кожної додатної та від'ємної півхвилі змінного струму, згідно з винаходом накопичена енергія магнітного поля котушки, в моменти переривання потоку магнітної енергії, спрямовується на пристрій поглинання енергії.

Найбільш близьким за технічною суттю до технічного рішення, що заявляється, і отриманими результатами, є пристрій плавного регулювання індуктивності за патентом на корисну модель UA 151630 (аналог, опубліковано 25.08.2022, дата подачі 2021-10-11), що включає індуктивну котушку з керованим ключем, датчик контролю параметра магнітної енергії, з'єднаний з першим входом системи керування, другий вхід якої приєднаний до блока задання сигналу, вихід системи керування під'єднаний до керуючого входу однополярного ключа, як датчик контролю параметра магнітної енергії вибраний датчик миттєвого значення напруги мережі, індуктивна котушка і однополярний ключ ввімкнені послідовно, при цьому система керування включає послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів, синусоїдальних імпульсів, прецизійного випрямляча, вихід якого приєднаний до першого входу блока порівняння, до другого входу - вихід блока керування, крім того вихід блока порівняння приєднаний до керуючого входу однополярного ключа.

Недоліком такого пристрою є те, що розмикання електронного ключа за наявності струму у контурі з індуктивністю призводить до появи значних комутаційних перенапруг як на самому ключі, так і на котушці індуктивності у момент спрацювання ключа. Такі кидки напруги з високою швидкістю зміни прискорюють старіння ізоляції індуктивної котушки, і, як наслідок, її пробую та пошкодженню напівпровідникових приладів ключа, що суттєво знижує експлуатаційну надійність всього пристрою.

При розмиканні ключа за наявності струму в котушці індуктивності накопичена енергія магнітного поля котушки генерує електрорушійну силу самоіндукції, яка підтримує струм і поточкозчеплення котушки, що були безпосередньо перед розмиканням ключа. Це призводить до появи зворотного струму через електронний ключ. Опір зворотному струму розімкненого ключа значний, тому добуток струму безпосередньо перед розмиканням ключа на значний опір зворотному струму розімкненого ключа складає значну величину, яка перебільшує напругу живлення у декілька десятків раз, що призводить до теплового пробую напівпровідникового переходу розімкненого ключа.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення відомого пристрою плавного регулювання індуктивності, за яким введенням нових конструктивних елементів та їх зв'язків досягається можливість усунення комутаційних перенапруг, що є основою підвищення надійності роботи пристроїв електротехніки, мехатроніки та електроенергетики.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрої плавного регулювання індуктивності електричного кола, що включає індуктивну котушку з керованим ключем, датчик контролю параметра магнітної енергії з'єднаний з першим входом системи керування, другий вхід якої приєднаний до блока задання сигналу, вихід системи керування під'єднаний до керуючого входу однополярного ключа, як датчик контролю параметра магнітної енергії вибраний датчик миттєвого значення напруги мережі, індуктивна котушка і однополярний ключ ввімкнені послідовно, при цьому система керування включає послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів, синусоїдальних імпульсів, прецизійного випрямляча, вихід якого приєднаний до першого входу блока порівняння, до другого входу - вихід блока керування, крім того вихід блока порівняння приєднаний до керуючого входу однополярного ключа, згідно з винаходом паралельно до однополярного ключа ввімкнено коло з послідовним з'єднанням активного опору та ємністю.

На кресленнях, що пояснюють суть способу і пристрою плавної зміни індуктивності, надано: на фіг. 1 - схема пристрою, що реалізує спосіб плавної зміни індуктивності; на фіг. 2 - часові діаграми сигналів, що діють в схемі пристрою фіг. 1.

На фіг. 1 позначено: 1 - джерело напруги; 2 - індуктивна котушка; 3 - активний опір навантаження; 4 - напівпровідниковий діодний міст; 5 - транзистор (напівпровідниковий уніполярний електронний ключ); 6 - датчик напруги; 7 - блок синусоїдальних імпульсів; 8 - прецензійний випрямляч; 9 - блок порівняння (компаратор); 10 - блок прямокутних імпульсів; 11 - блок задання; 12 - активний опір; 13 - ємність.

На фіг. 2 позначено: а - викиди напруги на електронному ключі за патентом на корисну модель UA 151630; б - викиди напруги на електронному ключі за пропонованим способом і пристроєм регулювання індуктивності; с - струм контуру навантаження.

Індуктивна котушка 2, чотириплечий міст 4, напівпровідниковий уніполярний ключ 5, навантаження 6 вмикаються послідовно на напругу джерела живлення 1 та утворюють контур навантаження. В діагональ постійного струму чотириплечого мосту 4 вмикається однополярний напівпровідниковий ключ 5, виконаний на транзисторі 5. Мережеві виводи датчика напруги 6 приєднані до джерела живлячої мережі 1. Сигнальний вихід датчика напруги 6 з'єднаний з першим входом блока порівняння 9 через блок синусоїдальних імпульсів 7 і прецензійного випрямляча 8. Другий вхід блок порівняння 9 з'єднаний з виходом блока задання 11. Вихідний

сигнал з блока порівняння 9 через блок прямокутних імпульсів 10 під'єднано до керуючого входу електронного ключа 5. Послідовно з'єднанні активний опір 12 і ємність 13 під'єднанні паралельно до електронного ключа 5.

Спосіб плавної зміни індуктивності реалізується пристроєм таким чином. Попередньо формують блоком задання 11 керуючий сигнал на величину струму магнітного потоку індуктивної котушки. Вимірюють миттєве значення сигналу напруги мережі шляхом подачі синусоїдальної напруги мережі живлення 1 на вхід датчика напруги 6, яке масштабується датчиком. Масштабований сигнал 6 в блоці синусоїдальних імпульсів 7 перетворюється у сигнал, який збігається за фазою з синусоїдальним струмом кола навантаження.

Синусоїдальний вихідний сигнал з виходу 7 надходить на вхід прецизійного випрямляча 8. Вихідний сигнал блока 8 являє собою пульсуючий знакопостійний сигнал. Цей низькочастотний сигнал подається на перший вхід блока порівняння 9. На другий вхід 9 подається модулюючий сигнал, пропорційний заданому значенню струму контуру навантаження u_c із блока задання 11. У блоці 9 порівнюють значення сигналів керуючого (модулюючого u_c) з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму (низькочастотного пульсуючого знакопостійного сигналу).

У блоці 9 реалізується наступна логіка роботи: якщо значення сигналу абсолютної величини миттєвого значення змінного струму менше заданого сигналу, то на виході блока 9 сигнал дорівнює нулю, в іншому випадку, якщо сигнал на першому вході блока 9 перевищує сигнал на другому вході - на виході 9 формується додатний імпульс, який в блоці прямокутних імпульсів 10 перетворюється у сигнал керування ключем 5. Прямокутні імпульси з виходу блока 9 синхронізовані з напругою мережі і струмом контуру навантаження. Додатні імпульси із зміщенням в часі, яке визначається сигналом u_c , замикають однополярний ключ 5, а нульові значення сигналу на виході блока 9 призводять до розмикання ключа 5.

При протіканні струму електронний ключ 5 замкнений - він шунтує коло з послідовним з'єднанням активного опору 12 та ємністю 13. Ємність 13 розряджена.

При розмиканні ключа 5 за наявності струму в котушці індуктивності накопичена енергія магнітного поля котушки генерує електрорушійну силу самоіндукції, яка підтримує струм і потік козачеплення котушки, які були безпосередньо перед розмиканням ключа. Це призводить до появи зворотного струму вже не через розімкнений електронний ключ 5, а через коло з послідовним з'єднанням активного опору 12 та ємністю 13. В момент розмикання ключа 5 опір розрядженої ємності дорівнює нулю, тому спад напруги визначається добутком струму безпосередньо перед розмиканням ключа на незначний опір 12 ввімкненого паралельно ключу 5, який складає незначну величину від напруги живлення (фіг. 2, b), що призводить до збільшення часу напрацювання на відмову електронного ключа.

Осцилограми спадів напруг на електронному ключі 5 в способі та пристрої, що заявляються (фіг. 2, b - ввімкнено коло з послідовним з'єднанням активного опору 12 та ємністю 13) і за патентом на корисну модель UA 151630 (Фіг. 2, a - без кола з послідовним з'єднанням активного опору 12 та ємністю 13) демонструють отримання ефекту значного зниження перенапруг від 6 кВ до 150 В.

Плавне регулювання індуктивності широко застосовується для практичного вирішення багатьох важливих прикладних задач електротехніки, мехатроніки та електроенергетики. Наприклад, при потребі забезпечити рівномірний розподіл навантаження у паралельно працюючих електромашинних джерелах живлення або для симетрування напруг багатозазних джерел живлення в автономній електроенергетиці, а також для забезпечення рівномірного завантаження нерегульованих електродвигунів, працюючих на загальний вал; з метою покращити пускові характеристики асинхронних двигунів; забезпечити компенсацію ємнісних струмів у кабельних лініях електропостачання тощо.

ФОРМУЛА ВНАХОДУ

1. Спосіб плавного регулювання індуктивності електричного кола, за яким генерують потік енергії індуктивною котушкою, контролюють параметр потоку та керують ним, попередньо формують керуючий сигнал на величину струму магнітного потоку індуктивної котушки, вимірюють миттєве значення сигналу напруги мережі, виділяють сигнал миттєвого значення змінного струму мережі, порівнюють значення сигналів керуючого з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму, якщо величина сигналу абсолютної величини миттєвого значення змінного струму менше заданого сигналу, то переривають потік магнітної енергії від індуктивної котушки до навантаження шляхом формування безструмових ділянок на початку та наприкінці кожної додатної та від'ємної півхвилі змінного струму, який **відрізняється** тим, що спрямовують накопичену енергію магнітного поля котушки в моменти переривання потоку

магнітної енергії на пристрій поглинання енергії, що містить послідовно з'єднані активний опір та ємність.

2. Пристрій плавного регулювання індуктивності електричного кола, що включає індуктивну котушку з керованим ключем, датчик контролю параметра магнітної енергії з'єднаний з першим входом системи керування, другий вхід якої приєднаний до блока задання сигналу, вихід системи керування під'єднаний до керуючого входу однополярного ключа, як датчик контролю параметра магнітної енергії вибраний датчик миттєвого значення напруги мережі, індуктивна котушка і однополярний ключ ввімкнені послідовно, при цьому система керування включає послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів, синусоїдальних імпульсів, прецизійного випрямляча, вихід якого приєднаний до першого входу блока порівняння, до другого входу - вихід блока керування, крім того вихід блока порівняння приєднаний до керуючого входу однополярного ключа, який **відрізняється** тим, що паралельно до однополярного ключа ввімкнено коло з послідовним з'єднанням активного опору та ємністю.

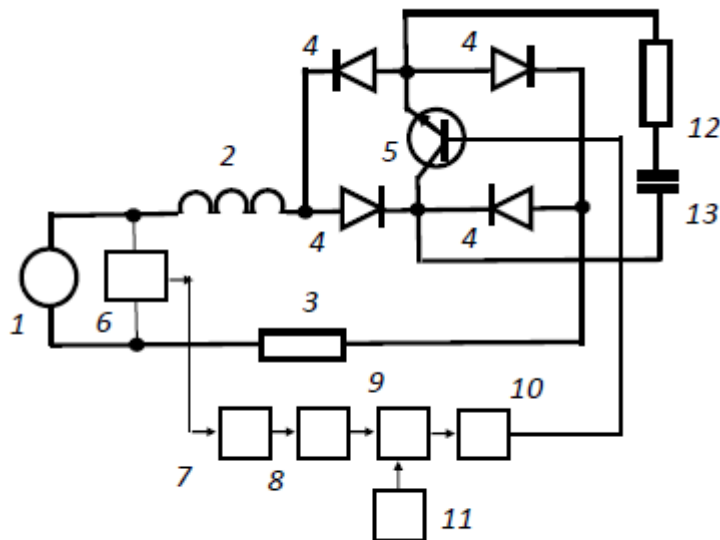
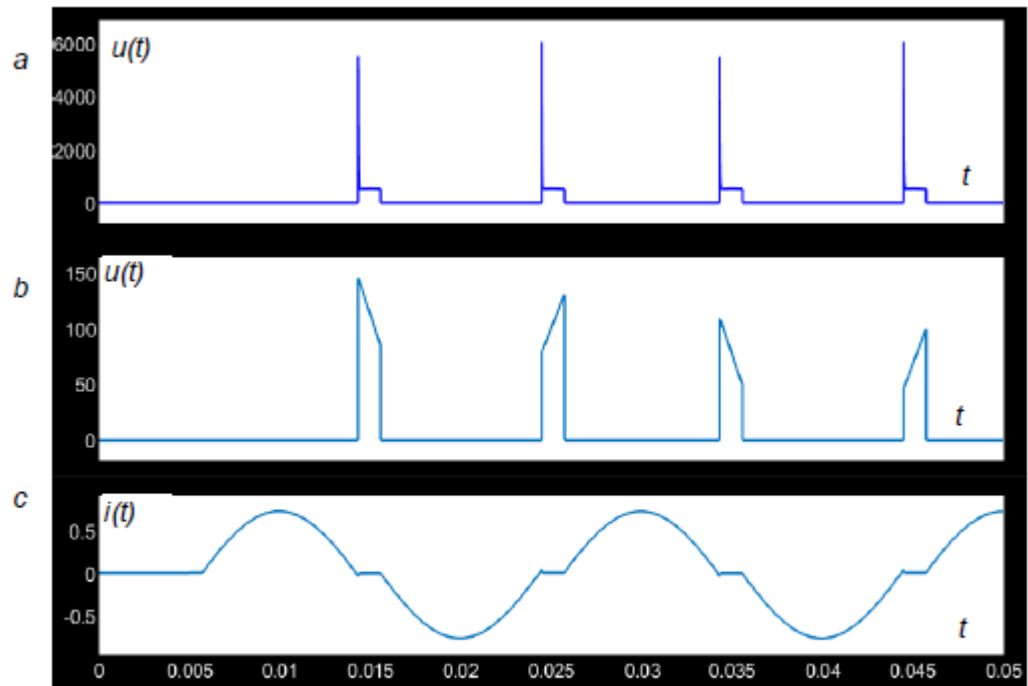


Fig. 1



Фиг. 2