



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 131060

(13) C2

(51) МПК

G05F 1/20 (2006.01)

G05F 1/70 (2006.01)

H01F 27/42 (2006.01)

H02J 3/18 (2026.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2021 05458

(22) Дата подання заявки: 27.09.2021

(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: 30.07.2026

(41) Публікація відомостей
про заявку: 29.03.2023, Бюл.№ 13

(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: 29.07.2026, Бюл.№ 30

(72) Винахідник(и):

Хілов Віктор Сергійович (UA),
Ропало Віктор Миколайович (UA)

(73) Володілець (володільці):

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ "ДНІПРОВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА",

просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро,
49005 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

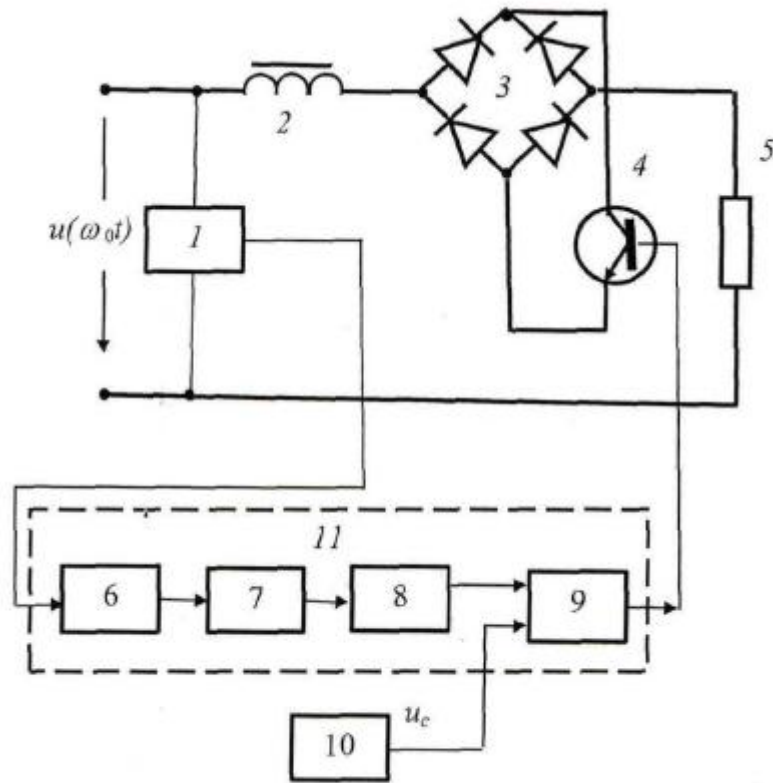
CN 203982240 U, 03.12.2014
US 2010097829 A1, 22.04.2010
US 7250742 B2, 31.07.2007
US 2007103949 A1, 10.05.2007
JP H11206130 A, 30.07.1999
RU 2275673 C1, 27.04.2006
US 6215287 B, 10.04.2001
US 10652960 B2, 12.05.2020

(54) СПОСІБ ПЛАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до електротехніки та електроенергетики і може бути використаний в установках, що потребують плавного регулювання індуктивності електричного кола. Спосіб передбачає формування керуючого сигналу на величину струму магнітного потоку індуктивної котушки, вимірювання миттєвого значення напруги мережі, виділення сигналу миттєвого значення змінного струму, порівняння керуючого сигналу з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму, переривання потоку магнітної енергії шляхом формування безструмових ділянок на початку і в кінці кожної півхвилі змінного струму. Пристрій містить індуктивну котушку з однополярним керованим ключем, датчик миттєвого значення напруги мережі та систему управління, що включає послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів, синусоїдальних імпульсів, прецизійного випрямляча та блок порівняння, вихід якого приєднано до керуючого входу однополярного ключа. Технічним результатом винаходу є забезпечення плавного регулювання індуктивності для рівномірного розподілу навантаження між паралельними джерелами живлення, симетрування багатофазних напруг, покращення пускових характеристик асинхронних двигунів та компенсації ємнісних струмів у кабельних лініях електропостачання.

UA 131060 C2



Фиг. 1

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

Відомий спосіб плавного регулювання індуктивності шляхом насичення магнітопроводу постійним магнітним потоком, який широко застосовується в магнітних підсилювачах (прототип, див. Розенблат М.А. Магнитные усилители. Изд. "Советское радио", 1960, стр. 148-180).

Цьому способу плавного регулювання індуктивності властиві технічні недоліки: необхідність мати два ідентичних за своїми магнітними характеристиками феромагнітних осердя (що веде до незадовільних масо-габаритних показників), низька швидкодія через велике значення індуктивності, нелінійні спотворення кривої струму контуру навантаження. Причиною появи нелінійних спотворень в магнітному підсилювачі є нелінійність характеристик намагнічування феромагнітного осердя. В результаті нелінійних спотворень на виході магнітного підсилювача, крім основної гармоніки підсилювального сигналу, з'являються вищі гармоніки, яких нема на вході. Нелінійні спотворення залежать від рівня сигналу, що подається на вхід магнітного підсилювача. Крива струму симетрична відносно осі часу і тому містить парні і непарні гармоніки ряду Фур'є (див. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники в 3 ч. Ч I: Линейные электрические цепи. М.: Энергия, 1978, стр. 406-412).

Найбільш близьким технічним рішенням і отриманими результатами є пристрій плавного регулювання індуктивності за патентом РФ 2275673 (аналог, опубліковано 27.04.2006, дата подачі 2005-02-15), який реалізує широтно-імпульсний спосіб плавного регулювання індуктивності електричного кола, що включає генерування потоку енергії індуктивної котушкою, контроль параметра потоку з подальшим його управлінням при цьому за рахунок зміни шпаруватості спрацювання ключа змінюється еквівалентне значення індуктивності контуру.

Такий спосіб управління плавного регулювання індуктивності здійснюється шляхом управління середнім значенням струму індуктивної котушки шляхом регулювання шпаруватості імпульсів. При такому способі суттєво знижуються масо-габаритні показники, підвищується швидкодія по відношенню до магнітних підсилювачів.

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

Більш того такий спосіб управління є ефективним, якщо частота комутації ключа в багато разів (на кілька порядків) перевищує частоту напруги живлення. Однак збільшення частоти комутації веде до зростання динамічних втрат в електронних ключах.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення відомого способу плавного регулювання індуктивності, в якому введенням нових технологічних операцій досягається можливість значного зменшення як гармонійних складових в струмі навантаження, так і динамічних втрат при компенсації ємнісних струмів в системах електропостачання, 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 управлінням, згідно з винаходом, 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, потім, 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 в кінці кожної додатної та від'ємної півхвилі змінного струму.

Найбільш близьким за технічною суттю до технічного рішення, що заявляється, і отриманими результатами є пристрій плавного регулювання індуктивності за патентом РФ 2275673 (аналог, опубліковано 27.04.2006, дата подачі 2005-02-15), що включає індуктивну котушку з керованим ключем, датчик контролю параметра магнітної енергії з'єднаний з першим входом системи управління, другий вхід якої приєднаний до блока задання сигналу, вихід системи управління під'єднаний до керуючого входу ключа.

Недоліком такого технічного рішення є використання широтно-імпульсного способу з великою швидкістю комутації ключа, що призводить до появи 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

5 пробою та пошкодженню напівпровідникових приладів ключа, що суттєво знижає експлуатаційну надійність всього пристрою.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення відомого пристрою плавного регулювання індуктивності, в якому введенням нових конструктивних елементів та їх зав'язків досягається можливість усунення комутаційних перенапруг і значного зменшення гармонійних складових в струмі навантаження та динамічних втрат при компенсації ємнісних струмів в мережах електропостачання, 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 управління, другий вхід якої приєднаний до блока задання сигналу, вихід системи управління під'єднаний до керуючого входу ключа, згідно з винаходом, використовується однополярний ключ, як датчик контролю параметра магнітної енергії вибраний датчик миттєвого значення напруги мережі, індуктивна котушка і однополярний ключ ввімкнені послідовно, при цьому система управління включає

20 послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів, синусоїдальних імпульсів, прецизійного випрямляча, вихід якого приєднаний до першого входу блока порівняння, до другого входу - вихід блока управління, крім того вихід блока порівняння приєднаний до керуючого входу однополярного ключа.

На кресленнях, що пояснюють суть способу і пристрою плавної зміни індуктивності, надано:

25 на фіг. 1 - схема пристрою, що реалізує спосіб плавної зміни індуктивності; на фіг. 2 - часові діаграми сигналів, що діють в схемі пристрою фіг. 2.

На фіг. 1 позначено: 1 - датчик напруги; 2 - індуктивна котушка; 3 - напівпровідниковий діодний міст; 4 - транзистор (напівпровідниковий уніполярний ключ); 5 - навантаження; 6 - блок прямокутних імпульсів; 7 - блок синусоїдальних імпульсів; 8 - прецизійний випрямляч; 9 - блок порівняння (компаратор); 10 - блок задання; 11 - система керування.

Індуктивна котушка 2, чотириплечий міст 3, напівпровідниковий уніполярний ключ 4, навантаження 5 вмикаються послідовно на напругу $u(\omega_0 t)$ джерела живлення та утворюють контур навантаження. В діагональ постійного струму чотириплечого мосту вмикається однополярний напівпровідниковий ключ 4, виконаний на транзисторі. Мережеві виводи датчика напруги 1 приєднані до напруги живлячої мережі $u(\omega_0 t)$. Сигнальний вихід датчика напруги 1 з'єднаний з першим входом системи керування 11. Другий вхід системи керування 11 з'єднаний з виходом блока задання 10. Останній генерує модулюючу напругу на задання величини струму в контурі навантаження u_c . В системі керування 11 послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів 6, синусоїдальних імпульсів 7, прецизійного випрямляча 8, порівняння 9 (перший вхід компаратора). Другий вхід блока порівняння 9 (компаратор) з'єднаний через другий вхід системи керування 11 з виходом блока задання 10.

Спосіб плавної зміни індуктивності реалізується пристроєм таким чином. Попередньо формують блоком задання 10 керуючий сигнал на величину струму магнітного потоку індуктивної котушки (фіг. 3, е). Вимірюють миттєве значення сигналу напруги мережі шляхом подачі синусоїдальної напруги мережі живлення на вхід датчика напруги 1 (фіг. 2, а), яке масштабується датчиком 1. Масштабований сигнал з виходу датчика напруги надходить на вхід блока прямокутних імпульсів 6, який синусоїдальний масштабований сигнал перетворює в знакозмінні прямокутні імпульси, що збігаються по фазі з синусоїдальною напругою мережі (фіг. 3, б).

Прямокутні імпульси (фіг. 3, б) надходять на вхід блока синусоїдальних імпульсів 7. Останній блок формує синусоїдальну криву з частотою напруги мережі живлення ω_0 з одночасним зсувом по фазі в сторону відставання (фіг. 3, с). Вихідний сигнал 7 по фазі збігається зі струмом контуру навантаження.

Синусоїдальний вихідний сигнал з виходу 7 надходить на вхід прецизійного випрямляча 8. Вихідний сигнал блока 8 являє собою пульсуючий знакопостійний сигнал (фіг. 3, d). 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 10 (фіг. 3, е). У блоці 9 порівнюють значення сигналів керуючого (модулюючого u_c) з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму (низькочастотного пульсуючого знакопостійного сигналу) (фіг. 3, f).

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 (фіг. 3, g), в іншому випадку, якщо сигнал на першому вході блока 9 перевищує сигнал на другому вході - на виході 9 формується додатний прямокутний імпульс (фіг. 3, g).

5 Прямокутні імпульси з виходу блока 9 синхронізовані з напругою мережі і струмом контуру навантаження. Ці імпульси подаються на керуючий вхід однополярного ключа 4 (виконаний на напівпровідниковому транзисторі), який ввімкнений в діагональ постійної напруги моста 3. Додатні імпульси із зміщенням в часі, яке визначається сигналом u_c , замикають однополярний ключ 4, а нульові значення сигналу на виході блока 9 призводять до розмикання ключа 4. Ключ замикається - струм протікає в контурі навантаження, ключ розмикається - струм в контурі навантаження переривається (фіг. 3, h). Тобто переривають потік магнітної енергії від індуктивної котушки до навантаження шляхом формування безструмових ділянок на початку і в кінці кожної додатної та від'ємної півхвиль змінного струму

10 Пропонований спосіб плавної зміни індуктивності відрізняється відсутністю великої швидкості зміни струму. Це призводить до відсутності в пропонованому способі як стрибкоподібної зміни спаду напруги на індуктивній котушці, так і великої швидкості зміни напруги. Ця обставина сприяє підвищенню експлуатаційної надійності роботи пристрою, тому що ізоляція обмоток індуктивної котушки і р-п переходи транзисторів і діодів не потрапляють під вплив великих кидків напруг з великими швидкостями їх зміни.

20 Крива струму в контурі навантаження при запропонованому способі та пристрої його реалізації (фіг. 3, h) симетрична осі часу і осі ординат, тому крива струму містить тільки непарні косинусні гармоніки ряду Фур'є (див. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники в 3 ч. Ч I: Линейные электрические цепи. М.: Энергия, 1978, стр. 406-412), тобто кількість гармонік за відсутності парних косинусних і всіх синусних гармонік ряду Фур'є істотно нижче (в чотири рази), ніж в кривій струму навантаження в відомому способі плавної зміни індуктивності. Зменшення вищих гармонік струму в мережі живлення позитивно впливає на інші споживачі, що живляться від загальної мережі, так як покращуються техніко-економічні показники, такі як коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії.

30 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 багатофазних джерел живлення в автономній електроенергетиці, а також для забезпечення рівномірного завантаження нерегульованих електродвигунів, працюючих на загальний вал, покращувати пускові характеристики асинхронних двигунів, забезпечувати компенсацію ємнісних струмів у кабельних лініях електропостачання і т.ін.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

40 1. Спосіб плавного регулювання індуктивності електричного кола, що включає генерування потоку енергії індуктивною котушкою, контроль параметра потоку з подальшим його управлінням, який **відрізняється** тим, що 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 45 сигналів керуючого з абсолютною величиною миттєвого значення змінного струму, потім, 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 в кінці кожної додатної та від'ємної півхвиль змінного струму.

50 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 управління, другий вхід якої приєднаний до блока задання сигналу, вихід системи управління під'єднаний до керуючого входу ключа, який **відрізняється** тим, що ключ є однополярним, як датчик контролю параметра магнітної енергії вибраний датчик миттєвого 55 значення напруги мережі, індуктивна котушка і однополярний ключ ввімкнені послідовно, при цьому система управління включає послідовно з'єднані блоки прямокутних імпульсів, синусоїдальних імпульсів, прецизійного випрямляча, вихід якого приєднаний до першого входу блока порівняння, до другого входу - вихід блока управління, крім того вихід блока порівняння приєднаний до керуючого входу однополярного ключа.

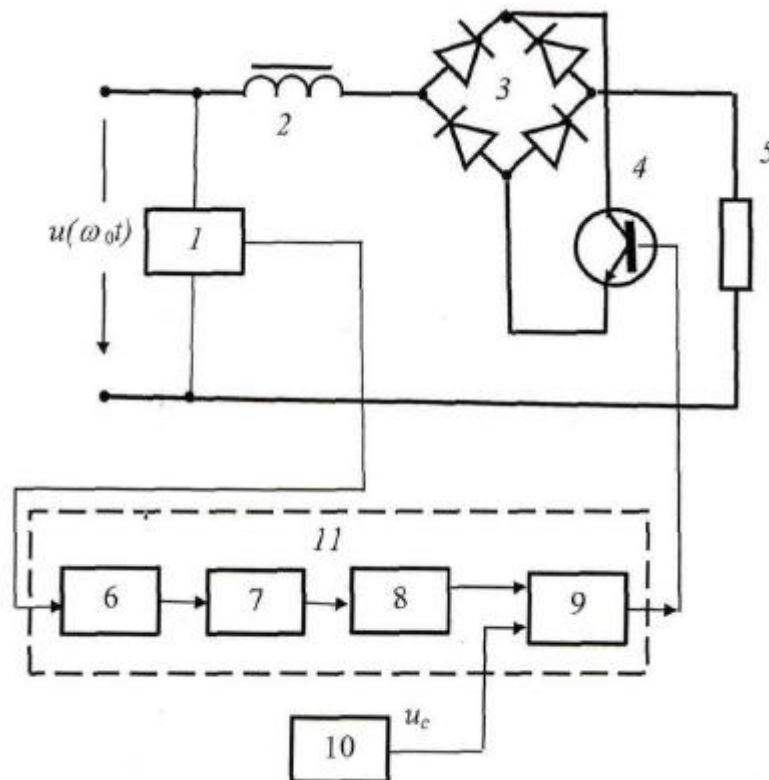


Fig. 1

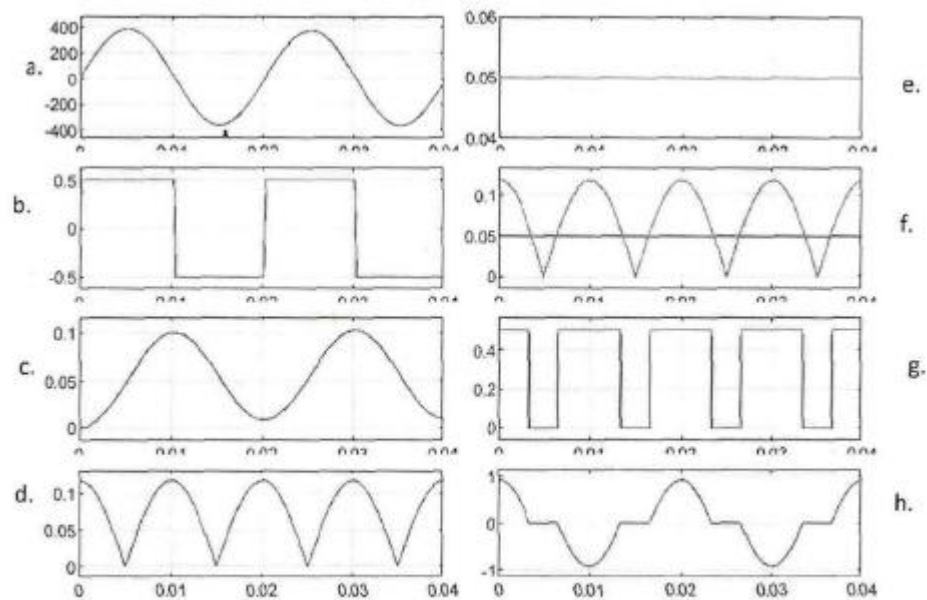


Fig. 2