



УКРАЇНА

(19) UA (11) 47111 (13) A

(51) B H02P3/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ГАЛЬМУВАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

1

2

(21) 2001075382

(22) 27 07 2001

(24) 17 06 2002

(46) 17 06 2002, Бюл. № 6, 2002 р.

(72) Дрючин Олександр Олександрович

(73) ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) 1 Спосіб гальмування двигуна постійного струму, при якому величину струму гальмування встановлюють зміною часу замикання якоря двигуна, а частину енергії двигуна передають до мережі, який відрізняється тим, що на інтервалах між замиканнями до якоря підключають реактивний накопичувач, в якому здійснюють попереднє накопичення енергії двигуна і вихідну напругу якого порівнюють з верхньою і нижньою межами і рівнем мережі, при перевищенні рівня мережі вихід накопичувача підключають до мережі, при досягненні верхньої межі до виходу

накопичувача підключають баластний опір, який відключають при досягненні нижньої межі

2 Пристрій гальмування двигуна постійного струму, який містить двигун постійного струму, індуктивність, яка підключена до якоря двигуна послідовно, керований ключ, який підключений паралельно до якоря двигуна і індуктивності, діод, один вивід якого підключено до керованого ключа і індуктивності, фільтр, підключений до мережі, який відрізняється тим, що до нього введений реактивний накопичувач, баластний опір, другий керований ключ, блок керування другим керованим ключем, другий діод, причому другий вивід діода підключений до входу реактивного накопичувача, до виходу якого підключені послідовно баластний опір і другий керований ключ, вхід керування якого є виходом блока керування другим керованим ключем, вхід якого з'єднано з виходом реактивного накопичувача і через другий діод із фільтром

Вінахід відноситься до галузі електротехніки і призначений для використання в електроприладах постійного струму, наприклад на електротранспорті

Відомий спосіб та пристрій для його реалізації - спосіб і пристрій для електродинамічного гальмування (Брускин Д. Э. и др. Электрические машины и микромашины учебн для электротехн спец вузов М. Высш шк., 1990, С.473-474) спосіб полягає в тому, що гальмування двигуна постійного струму здійснюють за рахунок того, що обмотку двигуна відмикають від мережі, а до неї приєднують реостат, за рахунок зміни опору якого регулюють струм гальмування

Недоліком такого способу є великі втрати енергії, яка повністю витрачається на обмотках двигуна і реостату і розігріває їх

Пристрій, який містить двигун постійного струму до обмоток якого паралельно підключений реостат

Недоліком цього пристрою є великі втрати енергії, яка повністю витрачається на обмотках двигуна і реостату і розігріває їх

Найбільш близьким по технічній суті є спосіб

імпульсивного рекуперативного гальмування (Брускин Д. Э. и др. Электрические машины и микромашины учебн для электротехн спец вузов М. Высш шк., 1990, С.481-482), при якому струм гальмування регулюють часом замикання якоря, а в паузах між замиканнями якоря підключають до мережі і частину енергії двигуна передають в мережу

Недоліком способу є його низька енергетична ефективність, яка обумовлена безпосередньою передачею енергії двигуна до мережі. Так для того, щоб струм гальмування I_2 залишався постійним під час пауз між замиканням необхідно, щоб внутрішній опір мережі живлення r_n був значно менше ніж опір обмоток двигуна r_d , на періоді регулювання T_p

$$I_2 = E / r_d \approx E / (r_d + r_n), \quad (1)$$

при умові $\tau_d = L_d / r_d \gg T_p$,

де E - е.р.с. двигуна,

L_d - еквівалентна індуктивність двигуна,

τ_d - електрична стала часу двигуна

Така ситуація можлива лише при живленні від первинного джерела живлення акумулятор,

(13) A

(11) 47111

(19) UA

гальванічне джерело, генератор постійного струму, або щоб при живленні від випрямляча до мережі був підключений ще один споживач з аналогічними характеристиками. Але і в цьому випадку одночасна передача енергії в мережу (рекуперація) від обох споживачів, тобто їх одночасне рекуперативне гальмування стає неможливим і веде до появи перенапруг в мережі.

Крім того, як відомо з теорії електротехніки, для передачі максимальної потужності споживачу, в ролі якого тут виступає мережа живлення, від джерела, тобто двигуна, необхідним є узгодження їх опорів

$$r_d = r_m, \quad (2)$$

але це порушує умови постійності струму гальмування (1). Це веде до того, що тільки мала частина енергії передається до джерела, а основна її частина розсіюється на активному опорі обмоток якоря двигуна.

Таким чином, імпульсне регулювання струму гальмування двигуна постійного струму при використанні вказаного способу можливе лише при живленні від первинної мережі або при наявності інших споживачів у вторинної мережі, але супроводжується великими втратами енергії на обмотках якоря і можливістю небезпечних перенапруг при живленні від вторинних джерел (випрямлячів).

Найбільш близьким по технічній суті є пристрій, див. Брускин Д. Э и др. Электрические машины и микромашины учебн для электротехн спец вузов М. Высш шк, 1990, С 481, рис 10 71, який містить двигун постійного струму, один вивід якоря якого підключений до спільного з мережею проводу, а другий через індуктивність до паралельного керованого ключа і діоду, другий вивід якого через фільтр з'єднаний з мережею живлення.

Недоліками такого пристрою є можливість повернення енергії під час гальмування тільки до джерел живлення з малим внутрішнім опором, різка залежність струму гальмування в паузах між замиканнями обмоток двигуна від стану мережі живлення, внутрішній опір, наявність споживача та інше, виникнення небезпечних перенапруг в мережі і в пристрої при поверненні енергії до споживача з великим опором, великі втрати потужності на обмотках двигуна.

В основу винаходу поставлена задача створення способу гальмування двигуна постійного струму, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності досягається можливість підтримки постійним струмом гальмування в паузах регулювання, незалежно від виду і стану мережі живлення, виключення можливості небезпечних перенапруг під час повернення енергії, зменшення втрат на обмотках двигуна.

Поставлена задача досягається тим, що в способі гальмування двигуна постійного струму при якому величину струму гальмування встановлюють зміною часу замикання якоря двигуна, а частину енергії передають до мережі введені операції підключення якоря на інтервалах між замиканнями до реактивного накопичувача, в якому здійснюють попереднє накопичування

енергії двигуна і вихідну напругу якого порівнюють з верхньою і нижньою межами, а при перевищенні рівня мережі вихід накопичувача підключають до мережі, при досягненні верхньої межі до виходу накопичувача підключають баластний опір, який відключають при досягненні нижньої межі.

За рахунок попереднього накопичування енергії в реактивному накопичувачі і її перерозподілу між мережею і баластним опором, який здійснюється по результатам порівняння вихідних напруг реактивного накопичувача з верхньою і нижньою межами, струм якоря в паузах регулювання підтримується постійним, що в свою чергу забезпечує постійний механічний момент гальмування. Вихідна напруга реактивного накопичувача, з якого енергія передається до мережі не може різко зрости і перебільшити верхню межу, що дозволяє уникнути небезпечних перенапруг в мережі під час передачі енергії. Крім того, підтримка постійним струмом гальмування під час пауз дозволяє забезпечити постійний рівень втрат на його обмотках незалежно від виду і стану мережі.

В основу винаходу поставлена задача створення пристрою для гальмування двигуна постійного струму, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків досягається можливість підтримки постійним струмом гальмування в паузах регулювання, незалежно від виду і стану мережі живлення, виключення можливості небезпечних перенапруг під час повернення енергії, зменшення втрат на обмотках двигуна.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрої для гальмування двигуна постійного струму, який містить двигун постійного струму, індуктивність, яка підключена до якоря двигуна послідовно, керований ключ який підключений до якоря і індуктивності паралельно, діод, один вивід якого підключений до керованого ключа і індуктивності, фільтр, який підключений до мережі введений реактивний накопичувач, баластний опір, другий керований ключ, блок керування другим керованим ключем, другий діод, при цьому другий вивід діоду підключений до входу реактивного накопичувача, до виходу якого підключені послідовно з'єднані баластний опір і другий керований ключ, вхід керування якого є виходом блоку керування другим керованим ключем, вхід якого з'єднаний з виходом реактивного накопичувача і через другий діод з фільтром.

На кресленні наведені пристрій для реалізації способу гальмування двигуна постійного струму, /див фіг 1/

Пристрій містить двигун постійного струму 1, індуктивність 2, яка підключена до якоря двигуна 1 послідовно, керований ключ 3, наприклад транзистор (блок керування не показаний), підключений паралельно до якоря двигуна 1 і індуктивності 2, діод 4, один вивід якого підключений до керованого ключа 3 і індуктивності 2, фільтр 5, підключений до мережі, реактивний накопичувач 6, наприклад ємність, вхід якого підключений до другого виводу діоду 4, а до виходу підключені послідовно з'єднані баластний

опір 7 і другий керований ключ 8, вхід керування якого є виходом блока керування 9 другим керованим ключем, вхід якого з'єднаний з виходом реактивного накопичувача 6 і через другий діод 10 з фільтром 5

Спосіб здійснюється таким чином під час замикання t_3 , якорю двигуна постійного струму 1 через керований ключ 3 в ньому встановлюється струм гальмування I_2 , величина якого визначається часом замикання t_3 , еквівалентною індуктивністю $2L_e$, активним опором в колі замкнутого якорю r_d , а також ер σ Е, яка залежить від швидкості обертання якорю п

$$I_2 = \frac{E}{r_d} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_3 \cdot r_d}{L_e}\right) \right] \quad (3)$$

У паузі регулювання коло якоря 7 розмикають розмиканням керованого ключа 3 і підключають за допомогою діода 4 до реактивного накопичувача 6, тобто такого накопичувача енергії, в якому практично немає втрат, наприклад ємнісного. За рахунок великої сталої часу двигуна постійного струму $\tau_d = L_d / r_d$ струм якого I_2 залишається постійним, тому здійснюється накопичення енергії, наприклад заряд ємності 6, постійним струмом. Зростання енергії в реактивному накопичувачі 6 веде до зростання його вихідної напруги $U_{вих}$, якщо ця напруга перевищує рівень межі U_m , то вихід реактивного накопичувача 6 через діод 10 і фільтр 5 підключають до мережі. При цьому здійснюється передача частини енергії двигуна 1 до мережі і з'являється так званий струм рекуперації I_p

$$I_p = (U_{вих} - U_m) / r_m \quad (4)$$

де r_m - еквівалентний активний опір мережі, який містить внутрішній опір джерела і опір споживачів

Якщо опір мережі малий, наприклад, при живленні від первинних джерел, або при наявності потужних споживачів, енергія, яка була накопичена, буде передана до мережі і вихідна напруга накопичувача 6 спадає до рівня мережі U_m , струм рекуперації I_p зменшиться і може впасти до нуля. Але за рахунок струму якорю I_2 і постійного накопичення енергії в реактивному накопичувачі 6 його вихідна напруга знову зростає і знову вихід накопичувача 6 підключають через діод 10 і фільтр 5 до мережі. Процес повторюється так, що встановлюється баланс енергії, яка передається від двигуна 1 до накопичувача 6 і від накопичувача 6 до мережі. У зв'язку з тим, що зміни струму рекуперації I_p будуть компенсуватись змінами струму I_n накопичувача 6 їх середні значення залишаться постійними і протилежними за знаком

$$I_{p\text{ ср}} = - I_{n\text{ ср}} \quad (5)$$

а струм I_2 якорю 1 залишиться постійним, протягом паузи регулювання

В способі прототипі в цієї ситуації також можлива рекуперація, але за рахунок безпосереднього підключення якоря до мережі на ньому під час паузи t_n розсіюється основна енергія W_d

$$W_d = I_2^2 \cdot r_d \cdot t_n \quad (6)$$

а в мережу передається тільки мала частина

W_M

$$W_M = I_2^2 \cdot r_m \cdot t_n \quad (7)$$

яка менше ніж енергія в стільки разів, в скільки опір мережі менше ніж опір двигуна r_d

$$\frac{W_M}{W_d} = \frac{I_2^2 \cdot r_m \cdot t_n}{I_2^2 \cdot r_d \cdot t_n} = \frac{r_m}{r_d} \quad (8)$$

В способі, що пропонується, струм рекуперації не є струмом якорю, а є вихідним струмом реактивного накопичувача 6, його величина визначається рівнянням 4 і може бути значно більше ніж струм гальмування, тому і енергія, яка передається до мережі W_M

$$W_M = I_{p\text{ ср}}^2 \cdot r_m \cdot t_n \quad (9)$$

буде більше ніж згідно рівнянню 7

У випадку, коли опір мережі r_m сумірний з опором двигуна 1, і енергія двигуна 1 не може бути сприйнята мережею, вихідна напруга $U_{вих}$ реактивного накопичувача 6 постійно зростає. Згідно (4), зростає і струм рекуперації. При досягненні верхньої межі $U_{вс}$ блок керування 9 другим ключем 8 до виходу реактивного накопичувача 6 підключають через керований ключ 8 баластний опір 7, на якому втрачається "зайва" енергія W_B і вихідна напруга реактивного накопичувача 6 спадає

При досягненні нижньої межі $U_{но}$ баластний опір 7 відключають і частина енергії двигуна постійного струму під час гальмування накопичується в реактивному накопичувачі 6, вихідна напруга якого знову зростає і при досягненні рівня мережі U_m передається в мережу, а при досягненні верхньої межі на баластний опір 7. Процеси повторюються протягом паузи. При цьому, за рахунок перерозподілу енергії, яка накопичена в реактивному накопичувачі 6, між мережею з малим струмом споживання і баластним опором 7 з великим струмом споживання, струм гальмування залишається постійним, вихідна напруга реактивного накопичувача 6 не перевищує верхнього рівня, який вибирається на рівні допустимого для мережі, що надана. Тобто забезпечується постійна величина струму гальмування в паузі при безпечних режимах в мережі, що неможливе в способі прототипі

Енергія, яка розсіюється на обмотках двигуна, W_d визначається також рівнянням 6, але енергія, яка відбирається від нього складається з енергії, яка витрачається на опори мережі W_M (7), і енергії, яка витрачається на баластному опорі 7, W_B

$$W_B = I_{B\text{ ср}}^2 \cdot R_B \cdot t_n \quad (10)$$

де $I_{B\text{ ср}}$ - середнє значення струму баластного опору під час паузи регулювання, що веде до зменшення загальної енергії втрат на обмотках двигуна

Таким чином, незалежно від стану і виду мережі, струм гальмування двигуна постійного струму підтримується постійним, виключається можливість небезпечних перенапруг під час повернення енергії, зменшуються втрати на обмотках двигуна, що і відповідає вирішенню задачі, яка поставлена

Пристрій, який реалізує спосіб гальмування двигуна постійного струму працює наступним чином. При замиканні керованого ключа 3 скрізь

якір двигуна 1 і індуктивність 2 встановлюється струм, величина якого визначається співвідношенням (3) Змінюючи час замикання керованого ключа 3 встановлюють потрібну величину струму гальмування За рахунок протікання струму гальмування скрізь індуктивність 2 в ній накопичується енергія

$$W_L = \frac{LI_2^2}{2} \quad (11)$$

Коли керований ключ 3 розмикають, починається пауза регулювання, при якій напруга на першому виводі діода 4 зростає за рахунок е р с самоіндукції індуктивності 2 і діод 4 відкривається, при цьому до двигуна 1 підключають вхід реактивного накопичувача 6, наприклад ємності

Напруга на виході реактивного накопичувача 6 починає зростати за рахунок заряду ємності 6 постійним струмом заряду, тобто струмом гальмування I_2 , і буде змінюватись по лінійному закону Якщо вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ реактивного накопичувача 6 досягає рівня мережі, відкривається другий діод 10 і вихід реактивного накопичувача 6 через фільтр 5 підключається до мережі Частина енергії двигуна, яка була накопичена передається до мережі При виконанні реактивного накопичувача 6 у вигляді ємності струм якорю I_2 розподіляється на струм заряду ємності I_c і струм рекуперації I_p

$$I_2 = I_c + I_p \quad (12)$$

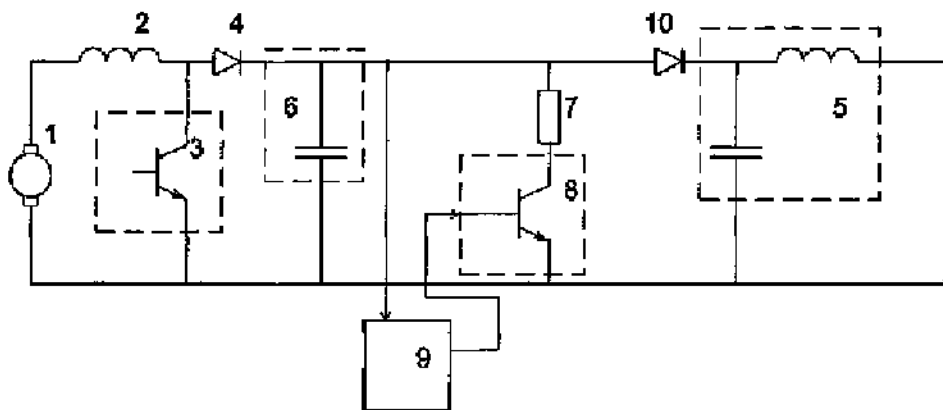
Якщо опір мережі малий, струм рекуперації I_p буде відносно великим і по величині міг би перевищувати струм якоря I_2 Але за рахунок витрачання енергії, що була накопичена, тобто одночасного розряду ємності, цей струм не буде впливати на величину струму гальмування При великому споживанні в мережі напруга реактивного накопичувача 6 спадає і другий діод 10 зачинається, вихід реактивного накопичувача 6 відключається від мережі і напруга на його виході починає знов зростати за рахунок струму двигуна 1, який забезпечує передачу енергії від двигуна 1 до реактивного накопичувача 6 Далі процеси повторюються

Якщо споживання енергії в мережі мало, то вихідна напруга реактивного накопичувача 6 буде зростати до рівня який встановлюється в блоці 9 керування другим керованим ключем 8, який може

бути виконаним у вигляді тригера Шмідта Вихідну напругу реактивного накопичувача 6 в блоці керування 9 другим керованим ключем 8 порівнюють з верхньою межею $U_{\text{во}}$, яку вибирають в межах напруг, допустимих для мережі Коли вихідна напруга реактивного накопичувача 6 досягає верхньої межі $U_{\text{во}}$ сигналом від блоку керування 9 другим керованим ключем 8 відкривається другий керований ключ 8, який до виходу реактивного накопичувача 6 підключає баластний опір 7 Напруга на виході реактивного накопичувача 6 буде спадати, але поки її рівень буде вище ніж напруга мережі другий діод 10 буде відкритим і одночасно з розсіюванням потужності на баластному опорі 7 частина енергії двигуна постійного струму 1 передаватиметься до малопотужного споживача який може бути підключеним до мережі Коли напруга на виході реактивного накопичувача 6 стає менше ніж напруга мережі, другий діод 10 зачинається і рекуперація завершується, а напруга на виході реактивного накопичувача 6 за рахунок струму скрізь баластний опір 7 буде спадати, і якщо вона досягне нижнього рівня $U_{\text{но}}$ блок керування 9 другим керованим ключем 8 закриває другий керований ключ 8, який відключає баластний опір 7 від виходу реактивного накопичувача 6 Після відключення баластного опору 7 енергія в реактивному накопичувачі 6, а відповідно і напруга на його виході будуть зростати, поки знов не досягне верхньої межі $U_{\text{во}}$ і процеси в паузі повторимось

Таким чином незалежно від виду мережі, пристрій забезпечує постійність струму гальмування в паузі, обмежує максимальний рівень напруг в мережі під час рекуперації і дозволяє звільнити частину енергії, яка відділяється від двигуна 1 під час гальмування, тобто зменшують втрати на його обмотках, що і відповідає поставленій задачі

Крім того, слід відмітити, що використання запропонованих способу і пристрою гальмування двигуна постійного струму дозволяє передавати частину енергії в мережу, навіть при малопотужному споживачі, а також використовувати будь який спосіб регулювання широтно-імпульсний, частотно-імпульсний, або двопозиційний



Фіг.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)
вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ "Міжнародний науковий компет"
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
(044) 216 – 32 – 71