



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94310 (13) C2
(51) МПК
G01R 33/02 (2011.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД(54) СПОСІБ КОМПЕНСАЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ, ЯКЕ СТВОРЮЮТЬ СТРУМИ СИЛОВОГО КОЛА ТРИ-
ФАЗНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

1

2

(21) а200908409

(22) 10.08.2009

(24) 26.04.2011

(46) 26.04.2011, Бюл.№ 8, 2011 р.

(72) ВАРШАМОВА ІРИНА СЕРГІЇВНА, ГЕЛЯРОВ-
СЬКА ОКСАНА АНАТОЛІЇВНА, ЛАТИНІН ЮРІЙ
МИХАЙЛОВИЧ, ЛУПІКОВ ВАЛЕРІЙ СЕРГІЙОВИЧ,
РОЗОВ ВОЛОДИМИР ЮРІЙОВИЧ(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ",
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКА-
ДЕМІЯ

(56) UA 78069 C2; 15.02.2007

SU 1059631 A; 07.12.1983

SU 828132; 07.05.1981

SU 483636; 05.09.1975

SU 822092; 15.04.1981

US 7525314 B1; 28.04.2009

JP 4259872 A; 16.09.1992

DE 4334708 A1; 13.04.1995

(57) Спосіб компенсації магнітного поля, яке створюють струми силового кола трифазного розподільного пристрою, електромагнітними компенсаторами, які орієнтовані уздовж трьох просторових осей, що включає вимірювання струмів незалежних контурів силового кола і формування струмів живлення котушок електромагнітних компенсаторів у залежності від результатів вимірювань, який **відрізняється** тим, що у вимірюваних струмах незалежних контурів силового кола виділяють фіксоване число складових гармонік, часто-

та яких є кратною частоті мережі, причому у кожній з них виділяють косинусну і синусну складові, а струми живлення кожного електромагнітного компенсатора формують як суму останніх, де амплітуди цих складових змінені в декілька разів на коефіцієнт α_{kncu} та α_{knsu} відповідно:

$$\alpha_{kncu} = \frac{I_{mknc} \cdot S_{ku}}{I_u \cdot W_u \cdot S_u};$$

$$\alpha_{knsu} = \frac{I_{mkns} \cdot S_{ku}}{I_u \cdot W_u \cdot S_u};$$

де I_{mknc} , I_{mkns} - амплітуди складових n -ї гармоніки струму k -го незалежного контуру силового кола, що змінюються у часі за законом косинуса і синуса;

S_{ku} - проекція вектора площі k -го контуру силового кола на просторовий напрям u ($u = x, y, z$ - канали регулювання відповідно до просторових осей розподільного пристрою);

I_u - номінальний струм підсилювача потужності електромагнітного компенсатора каналу u ;

W_u - число витків котушки електромагнітного компенсатора каналу u ;

S_u - площа витка котушки електромагнітного компенсатора каналу u .

Винахід належить до області електротехніки і стосується реалізації забезпечення вимог електромагнітної сумісності трифазного електроустаткування.

Відомий спосіб компенсації зовнішнього магнітного поля розподільного пристрою за допомогою параметричної системи автоматичної компенсації [1]. Остання містить первинні перетворювачі незалежних параметрів розподільного пристрою, що визначають його магнітне поле, програмний пристрій для формування й регулювання сили струмів компенсації, джерело живлення з трьома каналами регулювання для посилення по потужності і

регулювання струмів компенсації відповідно кожній з трьох просторових компонент магнітного поля, систему електромагнітних компенсаторів (компенсаційних обмоток), струми яких і створюють магнітне поле, що має компоненти в трьох ортогональних просторових напрямках і компенсує поле, створюване струмами розподільного пристрою. Спосіб включає вимірювання незалежних параметрів електроустаткування, формування сигналів струмів електромагнітних компенсаторів по кожному з просторових напрямків за певними алгоритмами залежно від величин незалежних параметрів, вимірювання складових компонент напруженості

(13) C2

(11) 94310

(19) UA

магнітного поля при одночасно включених розподільному пристрої і відповідних цим компонентам електромагнітних компенсаторів, регулювання сигналів струмів залежно від заміряних складових компонент напруженості магнітного поля в процесі стенової настройки системи компенсації, посилення сигналів струмів компенсації по кожному з просторових напрямів по потужності і живлення сформованими струмами електромагнітів компенсаторів системи автоматичної компенсації при роботі розподільного пристрою. Як незалежні параметри використовуються струми незалежних контурів силового кола, напруги на елементах цих контурів, намагніченість елементів феромагнітних систем розподільного пристрою. Недоліком відомого способу є значна кількість незалежних параметрів і складні алгоритми формування струмів компенсації залежно від цих параметрів.

Найбільш близьким за технічною суттю є спосіб автоматичної компенсації змінного зовнішнього магнітного поля (моменту), що створюється струмами при роботі трифазного розподільного пристрою, який містить множину трифазних фідерів [2] і живиться від мережі промислової чи іншої частоти. Спосіб реалізований у вигляді параметричної системи автоматичної компенсації магнітного моменту, що характеризує із заданою точністю трифазний розподільний пристрій як джерело зовнішнього магнітного поля. До складу системи автоматичної компенсації входять: первинні перетворювачі струмів, принаймні два з трьох фаз всіх фідерів, однотипні пристрої обробки їх сигналів, що містять фазозсувні пристрої і регульовані підсилювачі струму, число яких дорівнює подвоєному числу фідерів трифазного розподільного пристрою, послідовно включені суматор, регульований підсилювач потужності і електромагніт-компенсатор (або обмотка компенсації) для кожної з трьох просторових компонент магнітного моменту, який потрібно компенсувати. Відомий спосіб включає вимірювання струмів двох фаз кожного з трифазних фідерів, формування з них струмів електромагнітів компенсаторів по кожному з просторових напрямів у вигляді лінійних залежностей від величин струмів фідерів трифазного розподільного пристрою, попереднє вимірювання при стеновій настройці системи автоматичної компенсації складових компонент магнітного моменту при одночасно включених трифазному розподільному пристрої і електромагнітних-компенсаторах, осі яких відповідають цим компонентам, регулювання по фазі, величині і посилення потужності сигналів струмів компенсації по кожному з просторових напрямів, і живлення сформованими струмами електромагнітів-компенсаторів при роботі трифазного розподільного пристрою. В порівнянні з попереднім, цей спосіб має меншу кількість незалежних параметрів, обмежену тільки струмами контурів силового кола трифазного розподільного пристрою, які можуть бути і несинусоїдального характеру, та більш простий алгоритм формування струмів електромагнітів-компенсаторів за рахунок використання лінійної функції цих струмів від струмів незалежних контурів силового кола. Спосіб-прототип має суттєвий недолік: його використання можливе лише у випадках, якщо струми ро-

зподільного пристрою є синусоїдальними. Тому його використання можливе лише, коли існує апріорна інформація саме про такий випадок. На практиці у більшості випадків струми силового кола трифазного розподільного пристрою не є синусоїдальними.

Задача винаходу - розширення функціональних можливостей способу автоматичної компенсації магнітного моменту трифазного розподільного пристрою, в якому протікають змінні періодичні струми, у тому числі і несинусоїдального характеру.

Задача вирішується тим, що в способі компенсації магнітного поля, яке створюють струми трифазного розподільного пристрою за допомогою електромагнітів-компенсаторів, які орієнтовані уздовж трьох просторових осей, що включає вимірювання струмів незалежних контурів силового кола і формування струмів живлення котушок електромагнітів-компенсаторів у залежності від результатів вимірювань, у виміряних струмах виділяють фіксоване число складових гармонік, частота яких є кратною частоті мережі, причому у кожній з них виділяють косинусну і синусну складові, а струми живлення кожного електромагніту-компенсатора формують як суму останніх, де амплітуди цих складових змінені в декілька разів на коефіцієнти α_{kncu} та α_{knsu} відповідно:

$$\alpha_{kncu} = \frac{I_{mknc} \cdot S_{ku}}{I_u \cdot w_u \cdot S_u};$$

$$\alpha_{knsu} = \frac{I_{mkns} \cdot S_{ku}}{I_u \cdot w_u \cdot S_u}, \quad (1),$$

де I_{mknc} , I_{mkns} - амплітуди складових n -ї гармоніки струму k -го незалежного контуру силового кола, що змінюються у часі за законом косинуса і синуса;

S_{ku} - проекція вектора площі k -го контуру силового кола на просторовий напрям u ($u = x, y, z$ - канали регулювання відповідно до просторових осей розподільного пристрою);

I_u - номінальний струм підсилювача потужності електромагніта-компенсатора каналу u ;

w_u - число витків котушки електромагніта-компенсатора каналу u ;

S_u - площа витка котушки електромагніта-компенсатора каналу u .

На кресленні наведено структурну схему параметричної системи автоматичної компенсації зовнішнього магнітного поля, яке створюють струми трифазного розподільного пристрою, що реалізує запропонований спосіб. Позначення на схемі такі: 1 - первинний перетворювач струму, коефіцієнт передачі якого $1/p$ і чисельність яких визначає кількість K незалежних контурів силового кола; 2 - програмний пристрій; 3 - блок фільтрів для фіксованого числа N частотних складових струмів; 4 - пристрій ортогонального розкладання вхідного сигналу на гармонічні складові; 5 - підсилювач струму, коефіцієнт підсилення якого можна регулювати; 6 - суматор сигналів (струмів); 7 - еталон зсуву фази; 8 - підсилювач потужності з коефіцієнтом підсилення p і заданим набором параметрів -

амплітуд N гармонік струмів; 9 - електромагніт-компенсатор; x, y, z - канали регулювання відповідно до конструктивних осей розподільного пристрою.

Структурну схему характеризують наступні зв'язки між елементами. Однотипні первинні перетворювачі струму 1 трифазного розподільного пристрою включені поодиноці в коло кожного з АГ-незалежних контурів його силового кола. Кожен з програмних пристроїв 2, число яких відповідає числу каналів регулювання і дорівнює трьом, містить: блок фільтрів 3 з N виходами; N пристроїв ортогонального розкладання вхідного електричного сигналу 4; $2N$ підсилювачів струму 5 з регульованими коефіцієнтами підсилення і суматор 6. Виходи первинних перетворювачів струму з'єднані з входами блоків фільтрів відповідних програмних пристроїв. Кожен з N блоків фільтрів сполучений з першим входом пристрою ортогонального розкладання, а його другий вхід сполучений з входом еталону зсуву фази 7. Однотипні пристрої ортогонального розкладання мають по два виходи - "косинусний" і "синусний". Сигнал кожного з цих виходів через однотипний підсилювач струму надходить на вхід суматора. Вихід останнього через підсилювач потужності 8 з'єднаний з вхідними затискачами котушки електромагніт-компенсатора 9 відповідного каналу регулювання.

У відповідності з запропонованим способом первинні перетворювачі 1 електричного струму здійснюють вимірювання струмів незалежних контурів силового кола трифазного розподільного пристрою. Наприклад вимірюють струми двох його фаз кожного з трифазних фідерів. На своєму виході кожний первинний перетворювач струму формує електричний сигнал (струм), що є пропорційним струму незалежного контуру. Надалі сигнал з виходу первинного перетворювача надходить у програмний пристрій 2, де в блоці фільтрів 3 здійснюється його розділення (перетворення) на фіксоване число N гармонічних складових, частота яких є кратною частоті ω мережі живлення трифазного розподільного пристрою. На практиці число гармонічних складових обмежується шістьма, $N \leq 6$, оскільки, як правило, амплітуди гармонік більш високих порядків є достатньо малими і ними можна знехтувати; таке становище відповідає найбільш типовій ситуації, коли використовують напівпровідникові елементи у трифазному колі задля регулювання струму першої (основної) гармоніки силового кола. Надалі пристрій ортогонального розкладання 4 здійснює розкладання кожного з сигналів фіксованої частоти $n\omega$, що надходить на його вхід, на ортогональні складові, косинусну й синусну. За допомогою еталона зсуву фази 7 здійснюється відлік зсувів фаз гармонічних складових струму. У підсилювачах струму 5 здійснюють регулювання амплітуд I_{mkn} , I_{mks} сформованих косинусних і синусних складових струмів шляхом установлення їх величин відповідно співвідношенню (1).

Після їх підсумовування в суматорі 6, на його виході, виникає електричний сигнал (струм) у вигляді лінійної залежності від косинусних і синусних складових N гармонік струмів незалежних контурів трифазного розподільного пристрою. Сформований струм підсилюється за потужністю в підсилю-

вачі потужності 8 і подається у відповідний електромагніт-компенсатор 9. За умовою (1) магнітні моменти електромагнітів компенсаторів забезпечують повну компенсацію магнітного моменту розподільного пристрою.

Дійсно, миттєвий змінний періодичний струм $i_k(t)$ k -го незалежного контуру силового кола розподільного пристрою можна представити сумою гармонік основної кутової частоти ω мережі його живлення:

$$i_k(t) = \sum_{n=1}^N I_{mkn} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_{kn}), \quad (2)$$

де I_{mkn} - амплітуда складової n -ї гармоніки струму k -го незалежного контуру силового кола розподільного пристрою;

φ_{kn} - зсув фази n -ї гармоніки струму k -го незалежного контуру відносно початку періоду повторення електромагнітних процесів в розподільному пристрої.

Виміряний струм k -го контуру силового кола зменшується первинним перетворювачем у p разів і на його виході присутній сигнал (струм) $i'_k(t)$

$$i'_k(t) = \sum_{n=1}^N I_{mkn} \cdot \frac{1}{p} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_{kn}). \quad (3)$$

Блок фільтрів виділяє з цього сигналу визначену кількість N гармонічних складових:

$$i'_{kn}(t) = I_{mkn} \cdot \frac{1}{p} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_{kn}), \quad (4)$$

$$n=1, 2, \dots, N.$$

Кожен з цих сигналів надходить у пристрій ортогонального розкладання, на виходах якого формуються два сигнали, що змінюються у часі за законами косинуса й синуса:

$$i'_{knc}(t) = \left(I_{mkn} \cdot \frac{1}{p} \cdot \sin \varphi_{kn} \right) \cdot \cos n\omega t = I'_{mkn} \cdot \cos n\omega t;$$

$$i'_{kns}(t) = \left(I_{mkn} \cdot \frac{1}{p} \cdot \cos \varphi_{kn} \right) \cdot \sin n\omega t = I'_{mkn} \cdot \sin n\omega t. \quad (5)$$

Зсуви фаз гармонік струмів φ_{kn} що входять до формул (3)-(5), відлічують від початкової фази, що задається еталоном зсуву фаз.

Амплітуди цих косинусних і синусних гармонічних складових (5) регулюються в підсилювачах відповідно в α_{kncu} та α_{knsu} разів:

$$I'_{mkn} = I'_{mkn} \cdot \alpha_{kncu} \quad (6)$$

$$I'_{mkn} = I'_{mkn} \cdot \alpha_{knsu}.$$

В суматорі 6 кожного каналу u гармонічні сигнали з амплітудами (6) підсумовуються:

$$i'_u(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (I'_{mkn} \cdot \cos n\omega t + I'_{mksu} \cdot \sin n\omega t), \quad (7)$$

$$u=x, y, z.$$

Отримані сигнали струму підсилюються в p разів в підсилювачі потужності 8, чим закінчується процес формування струму живлення електромагніт-компенсатора відповідного каналу u :

$$i_u(t) = i'_u(t) \cdot p = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (I'_{mkn} \cdot p \cdot \cos n\omega t + I'_{mksu} \cdot p \cdot \sin n\omega t) =$$

$$= \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (I_{mkn} \cdot \cos n\omega t + I_{mksu} \cdot \sin n\omega t). \quad (8)$$

Струмами $i_k(t)$ ($k=1, 2, \dots, K$) розподільного пристрою створюється змінний у часі магнітний

момент, компонента якого $m_u(t)$ в просторовому напрямі u дорівнює:

$$m_u(t) = \sum_{k=1}^K i_k(t) \cdot S_{ku} =$$

$$= \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (I_{mknc} \cdot S_{ku} \cdot \cos n\omega t + I_{mkns} \cdot S_{ku} \cdot \sin n\omega t) \quad (9)$$

Струм живлення котушки електромагніту-компенсатора $i_u(t)$ створює магнітний момент $m'_u(t)$ в просторовому напрямі u :

$$m'_u(t) = -i_u(t) w_u S_u. \quad (10)$$

Компонента магнітного моменту $m'_u(t)$, що обумовлений струмом електромагніту-компенсатора каналу u , після послідовної підстановки виразів струмів з урахуванням (4)-(8) в (10) приймає вид:

$$m'_u(t) = -i_u(t) w_u S_u =$$

$$= - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (p I'_{mkncu} \cdot \cos n\omega t + p I'_{mknsu} \cdot \sin n\omega t) w_u S_u =$$

$$= - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (p I'_{mknc} \alpha_{kncu} \cdot \cos n\omega t + p I'_{mkns} \alpha_{knsu} \cdot \sin n\omega t) w_u S_u =$$

$$= - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left[p \left(I_{mkn} \frac{1}{p} \sin \varphi_{kn} \right) \alpha_{kncu} \cdot \cos n\omega t + p \left(I_{mkn} \frac{1}{p} \cos \varphi_{kn} \right) \alpha_{knsu} \sin n\omega t \right] w_u S_u =$$

$$= - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left(I_{mkn} \frac{I_{mknc} \cdot S_{ku}}{I_u \cdot w_u \cdot S_u} \cos n\omega t + I_{mkn} \frac{I_{mkns} S_{ku}}{I_u w_u S_u} \sin n\omega t \right) w_u S_u =$$

$$= - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left(\frac{I_{mkn}}{I_u} I_{mknc} S_{ku} \cos n\omega t + \frac{I_{mkn}}{I_u} I_{mkns} S_{ku} \sin n\omega t \right). \quad (11)$$

Враховуючі, що в заданому діапазоні частот підсилення амплітуд однакове для всіх гармонік, незалежно від того, струмом якого контуру вони створюються, і однаковість форм струмів контурів можна записати:

$$I_{mkn} = I_u;$$

$$u = x, y, z, \quad (12)$$

де I_u - номінальний струм підсилювача потужності каналу u .

З урахуванням (12) компоненти магнітного моменту (11) електромагніту-компенсатора є такою:

$$m'_u(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (I_{mknc} \cdot S_{ku} \cdot \cos n\omega t + I_{mkns} \cdot S_{ku} \cdot \sin n\omega t) \cdot (13)$$

Як видно зі співвідношень (9) та (13), однойменні компоненти магнітних моментів струмів розподільного пристрою і електромагнітів-компенсаторів відрізняються лише знаком і результуючий магнітний момент струмів розподільного пристрою і електромагнітів-компенсаторів дорівнює нулю, що і є умовою забезпечення повної компенсації магнітного поля розподільного пристрою.

При зміні струмів контурів силового кола розподільного пристрою, включаючи знеструмлення чи зміну форми струму контурів, забезпечується

автоматичне відслідковування змін його струмів відповідною зміною струмів живлення електромагнітів-компенсаторів.

Таким чином, поставлена задача способу вирішується тим, що структура магнітних моментів, що створюється струмопроводами силового трифазного кола розподільного пристрою і електромагнітами-компенсаторами, повністю співпадають, завдяки чому досягається автоматична компенсація магнітного моменту трифазного розподільного пристрою при всіх можливих поєднаннях незалежних контурів силового кола, що утворюються при комутації фідерів залежно від встановлюваного режиму роботи трифазного розподільного пристрою.

Джерела інформації:

1. Розов В.Ю. Внешние магнитные поля силового электрооборудования и методы их уменьшения: Препр. / НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 772. - К.: 1995. - 42 с.

2. Розов В.Ю., Ерисов А.В., Лупиков В.С. Особенности снижения внешних магнитных полей распределительных устройств и полупроводниковых преобразователей: Препр. / НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 791. - К.: 1996. - 47 с.

