



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 114987

(13) C2

(51) МПК

B23K 11/24 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2016 06094

(22) Дата подання заявки: 06.06.2016

(24) Дата, з якої є чинними  
права на винахід: 28.08.2017

(41) Публікація відомостей  
про заяву: 10.02.2017, Бюл.№ 3

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: 28.08.2017, Бюл.№ 16

(72) Винахідник(и):

Поднебенна Світлана Костянтинівна  
(UA),

Бурлака Володимир Володимирович  
(UA),

Гулаков Сергій Володимирович (UA)

(73) Власник(и):

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ  
ЗАКЛАД "ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ",

вул. Університетська, 7, м. Маріуполь,  
87500 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги  
експертизою:

Лебедев В.К. Системы питания для машин  
контактной сварки/ В.К. Лебедев, А.А.  
Письменный // Автоматическая сварка. - К.:  
ИЕС им. Е.О. Патона, 2001. - № 11. - С. 32-  
36

UA 86279 C2, 10.04.2009

RU 2156532 C2, 20.09.2000

RU 2424097 C1, 20.07.2011

US 2002134763 A1, 26.09.2002

US 5388031 A, 07.02.1995

GB 674327 A, 25.06.1952

## (54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРА МАШИНИ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до контактеного зварювання та може бути використаний для збільшення коефіцієнта потужності та забезпечення електромагнітної сумісності джерел живлення з електричною мережею. Трифазне джерело живлення однофазної машини контактеного зварювання являє собою послідовно з'єднані перетворювач та зварювальний трансформатор, до виходу якого підключене зварювальне коло. Як перетворювач пропонується використання безпосереднього перетворювача матричного типу (МП). МП трифазної напруги в однофазну складається з шістьох двонаправлених ключів, кожен з яких підключає одну з фаз мережі безпосередньо до навантаження. Регулюючи шпаруватість імпульсів керування ключами, можна забезпечити формування на виході МП напруги із контрольованою амплітудою та частотою. Для забезпечення мінімуму втрат потужності в електричній мережі необхідно забезпечити пропорційність між споживаними струмами та відповідними фазними напругами. В разі постійного вихідного струму МП шпаруватості імпульсів керування ключами МП мають бути пропорційні модулям відповідних фазних напруг. Якщо напруги мережі симетричні, споживана активна потужність буде постійною. Для уникнення підмагнічування трансформатора здійснюють зміну полярності вихідної напруги, формуючи прямокутну вихідну напругу, частоту якої слід вибирати якнайменшим за умови недопущення насичення магнітопроводу трансформатора. Застосування запропонованого способу керування перетворювачем для

UA 114987 C2

живлення трансформатора машини контактної зварювання дозволяє забезпечити високу якість зварних з'єднань за рахунок регулювання зварювального струму та електромагнітну сумісність джерела живлення машини контактної зварювання з електричною мережею.

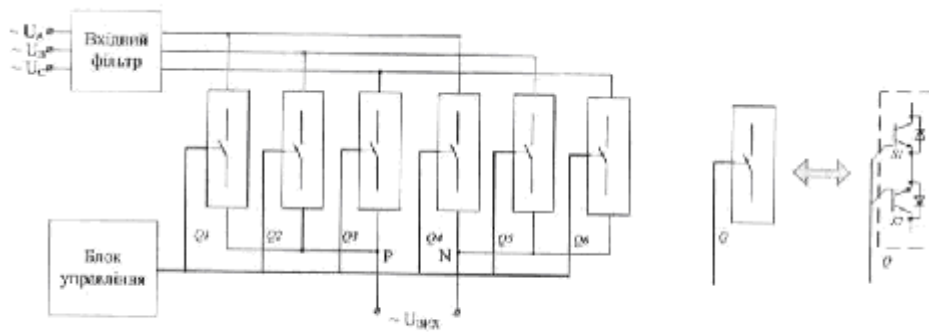


Fig. 2

Винахід належить до контактного зварювання та може бути використаний для збільшення коефіцієнта потужності та забезпечення електромагнітної сумісності джерел живлення з електричною мережею.

Машини контактного зварювання (МКЗ) є досить розповсюдженими на підприємствах машинобудівної галузі. В залежності від товщини виробів, що зварюються, джерела живлення таких машин поділяються на джерела змінного струму, випрямленого струму та конденсаторні (з електростатичним накопичувачем енергії). Існуючі на сьогоднішній день МКЗ мають як значні переваги, такі як простота виконання і надійність, так і недоліки, до яких належить низький коефіцієнт потужності, що обумовлений високим споживанням реактивної потужності та високим рівнем гармонійних складових у споживаному струмі, викликаних наявністю тиристорних схем випрямлення на вході джерела живлення. При одночасній роботі кількох однофазних МКЗ, що підключені нерівномірно по фазах трифазної мережі, значно зростає коефіцієнт несиметрії напруги, що також є недоліком таких машин. Означені недоліки не тільки погіршують техніко-економічні характеристики джерел живлення МКЗ, але й негативно впливають на показники якості електричної енергії мережі, до якої вони підключені. А при підключенні кількох таких машин (наприклад, у цеху машинобудівного підприємства) відбувається негативний взаємовплив на технологічні показники кожної з них. Крім того, виробництво нових джерел живлення для МКЗ з означеними недоліками обмежується дією ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004, 61000-3-4:2004, які встановлюють норми на емісію гармонік струму.

Відомий спосіб керування перетворювачем для живлення трансформатора машини контактного зварювання (Лебедев В.К. Системы питания для машин контактной сварки /В.К. Лебедев, А.А. Письменный //Автоматическая сварка. - К.: ИЕС им. Е.О. Патона, 2001. - № 11. - С. 32-36), який включає формування симетричної системи струмів, що споживаються від мережі, шляхом безпосереднього перетворення трифазної системи напруг в однофазну за рахунок подання керуючих впливів на тиристори. Перетворювач складається із з'єднаних за схемою трикутника трьох ланок, які являють собою послідовно з'єднані два зустрічно-паралельно включені тиристори з однією з трьох первинних обмоток низькочастотного трансформатора, зі вторинної обмотки якого відбувається живлення зварювального процесу.

До переваг такого способу належить більш полого зовнішня характеристика завдяки низькій частоті та малому реактивному падінню напруги у вторинному колі (зварювальному); вищий у порівнянні зі звичайною однофазною МКЗ коефіцієнт потужності; рівномірне завантаження фаз трифазної мережі. До недоліків слід віднести важкий та громіздкий низькочастотний трансформатор, який знижує техніко-економічні характеристики МКЗ та високий коефіцієнт несинусоїдальності споживаного струму, що унеможливує забезпечення електромагнітної сумісності такої МКЗ з електричною мережею відповідно до норм ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004, 61000-3-4:2004.

Відомий спосіб керування перетворювачем для живлення трансформатора машини контактного зварювання (Лебедев В.К. Системы питания для машин контактной сварки/ В.К. Лебедев, А.А. Письменный //Автоматическая сварка. - К.: ИЕС им. Е.О. Патона, 2001. - № 11. - С. 32-36), який включає формування симетричної системи струмів, що споживаються від мережі, шляхом безпосереднього перетворення трифазної системи напруг в однофазну.

Перетворювач являє собою тиристорний трифазний двонапівперіодний випрямляч, виводи якого підключені до первинної обмотки однофазного трансформатора через перемикач полярності струму, утворений чотирма тиристорами.

Спосіб полягає в поданні на тиристори випрямляча перетворювача керуючих впливів таким чином, щоб забезпечувати задану амплітуду зварювального струму, і на тиристори перемикача полярності перетворювача керуючих впливів таким чином, щоб забезпечувати задану частоту зварювального струму (30 Гц).

До переваг такого способу управління трифазним джерелом живлення однофазної МКЗ належить можливість використання звичайного двообмоткового трансформатора, розрахованого для роботи в мережах промислової частоти, що покращує техніко-економічні показники МКЗ. До недоліків належить велика кількість тиристорів в первинному колі джерела, високий коефіцієнт несинусоїдальності споживаного струму, можливість симетричного споживання струму такої машини по фазах тільки у квазісиметричному режимі при частоті зварювального струму 30 Гц. Спосіб прийнято за прототип.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення способу керування перетворювачем для живлення трансформатора машини контактного зварювання, що дозволить забезпечити високу якість зварних з'єднань за рахунок регулювання зварювального струму та електромагнітну сумісність джерела живлення МКЗ з електричною мережею.

Для вирішення поставленої задачі в способі керування перетворювачем для живлення трансформатора машини контактного зварювання, який включає формування симетричної системи струмів, що споживаються від трифазної мережі з фазами А, В, С шляхом безпосереднього перетворення трифазної системи напруг в однофазну, відповідно до

5 винаходу, керування перетворювачем, який утворений шістьма двонаправленими ключами Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, відбувається таким чином, щоб вхідні струми були пропорційні до відповідних фазних напруг, для чого на керуючі електроди ключів подають імпульси відповідно до шпаруватостей ввімкненого стану ключів  $D_n$ , де  $n$  - номер ключа, впродовж періоду перемикання:

$$10 \quad D_1 = \frac{u_A(t) \cdot U_{\text{вих}}}{1,5U_m^2}; \quad D_2 = \frac{-u_B(t) \cdot U_{\text{вих}}}{1,5U_m^2}; \quad D_3 = \frac{-u_C(t) \cdot U_{\text{вих}}}{1,5U_m^2};$$

$$D_4 = -D_1; \quad D_5 = -D_2; \quad D_6 = -D_3,$$

де  $u_A(t)$ ,  $u_B(t)$ ,  $u_C(t)$  - миттєві фазні напруги мережі, В;  $U_{\text{вих}}$  - вихідна напруга перетворювача, В;  $U_m$  - амплітуда фазної напруги мережі, В,

причому період мережі умовно поділяють на шість секторів, першому та четвертому сектору відповідає найбільше абсолютне значення миттєвої напруги фази В (перший - при негативній напрузі фази В, четвертий - при позитивній), другому та п'ятому - фази А (другий - при позитивній напрузі фази А, п'ятий - при негативній), третьому та шостому - фази С (третій - при негативній напрузі фази С, шостий - при позитивній), для формування вихідної напруги позитивної полярності в першому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q5 включений постійно, в другому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q1 включений постійно, в третьому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q6 включений постійно, в четвертому секторі здійснюють перемикання між

15

20

ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q2 включений постійно, в п'ятому секторі

здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q4 включений постійно, в шостому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q3 включений постійно; для формування вихідної напруги негативної полярності в першому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q2 включений постійно, в другому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q4 включений постійно, в третьому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q3 включений

25

30

постійно, в четвертому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q5 включений постійно, в п'ятому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q1 включений постійно, в шостому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q6 включений постійно.

Запропоноване технічне рішення пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 показана структурна схема джерела живлення МКЗ, на фіг. 2 показана спрощена електрична схема безпосереднього перетворювача трифазної напруги в однофазну (далі - матричного перетворювача, МП), на фіг. 3 наведена система управління перетворювачем, на фіг. 4 наведені діаграми вихідних струмів і напруг МП при реалізації запропонованого способу, на фіг. 5 наведені діаграми вхідних струмів МП.

35

Трифазне джерело живлення однофазної МКЗ являє собою послідовно з'єднані перетворювач (П, фіг. 1) та зварювальний трансформатор (ЗТ, фіг. 1), до виходу якого підключене зварювальне коло з навантаженням  $R_3$ . Як перетворювач пропонується використання МП. Основною властивістю МП є те, що його вихідна напруга подається безпосередньо на навантаження із мережі без проміжної ланки постійного струму. МП трифазної напруги в однофазну складається з шістьох двонаправлених ключів, кожен з яких підключає одну з фаз мережі безпосередньо до навантаження (фіг. 2). Двонаправлені ключі можуть бути виконані у вигляді двох зустрічно-послідовно з'єднаних транзисторів зі зворотними діодами, а управляючі електроди транзисторів підключені до системи управління (фіг. 2). Метод керування ключами - широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) з високою частотою. На вході МП встановлюється вхідний фільтр (фіг. 2), який відфільтровує високочастотні складові вхідного струму. Регулюючи шпаруватість імпульсів керування ключами (блок управління, фіг. 2), можна забезпечити формування на виході МП напруги із контрольованою амплітудою та частотою.

40

45

50

Відомо, що мінімум втрат потужності в електричній мережі можна отримати при забезпеченні пропорційності між споживаними струмами та відповідними фазними напругами. Тобто МП має імітувати симетричне активне навантаження. В разі постійного вихідного струму МП шпаруватості імпульсів керування ключами МП мають бути пропорційні модулям відповідних фазних напруг.

55

При цьому, якщо напруги мережі симетричні, локальна середня (середня за період ШІМ) вихідна напруга МП буде постійною, відтак постійною буде і споживана активна потужність.

Протікання через первинну обмотку зварювального трансформатора постійного струму призведе до його підмагнічування і значному зростанню втрат потужності. Цього можна уникнути, якщо забезпечити зміну полярності вихідної напруги МП таким чином, щоб забезпечити рівність:

$$\int_0^{T_{out}} U(t) dt = 0, \quad (4)$$

де  $U(t)$  - вихідна напруга МП, В;  $T_{out}$  - період вихідної напруги МП, с.

Період  $T_{out}$  слід вибирати якнайбільшим із умови недопущення насичення магнітопроводу трансформатора.

У наведеному прикладі застосування перетворювач формує вихідну напругу прямокутної форми.

Формування вихідної напруги заданої частоти відбувається системою управління (фіг. 3). За допомогою блока Селектор (фіг. 3) відбувається перерозподіл керуючих імпульсів на ключі. Вхідними для блока Селектор сигналами є вхідні напруги, задані вихідні напруга та струм та модулюючий сигнал несучої частоти ШІМ.

Початковий фазовий зсув напруги фази А прийнятий рівним нулю.

Вибір потрібної пари ключів для позитивної полярності вихідної напруги відбувається згідно із табл. 1. Наведені у таблиці 1 шпаруватості керуючих імпульсів ключів Q1-Q6 розраховуються за наступними виразами:

$$D_1 = \frac{u_A(t) \cdot U_{вих}}{1,5U_m^2}; \quad D_2 = \frac{-u_B(t) \cdot U_{вих}}{1,5U_m^2}; \quad D_3 = \frac{-u_C(t) \cdot U_{вих}}{1,5U_m^2};$$

$$D_4 = -D_1; \quad D_5 = -D_2; \quad D_6 = -D_3, \quad (1)$$

де  $u_A(t)$ ,  $u_B(t)$ ,  $u_C(t)$  - миттєві фазні напруги мережі, В;  $U_{вих}$  - вихідна напруга перетворювача, В;  $U_m$  - амплітуда фазної напруги мережі, В.

Таблица 1

Сектор, ел. град.	0...60	60...120	120...180	180...240	240...300	300...360
Q1	D1	1	D1	0	1-D2-D3	0
Q2	1-D1-D3	0	D2	1	D2	0
Q3	D3	0	1-D1-D2	0	D3	1
Q4	0	1-D5-D6	0	D4	1	D4
Q5	1	D5	0	1-D4-D6	0	D5
Q6	0	D6	1	D6	0	1-D4-D5

Для формування вихідної напруги негативної полярності сигнали керування ключами Q1-Q3 та Q4-Q6 міняються місцями (табл. 2).

Таблица 2

Сектор, ел. град.	0...60	60...120	120...180	180...240	240...300	300...360
Q1	0	1-D5-D6	0	D4	1	D4
Q2	1	D5	0	1-D4-D6	0	D5
Q3	0	D6	1	D6	0	1-D4-D5
Q4	D1	1	D1	0	1-D2-D3	0
Q5	1-D1-D3	0	D2	1	D2	0
Q6	D3	0	1-D1-D2	0	D3	1

На фіг. 4 наведені діаграми вихідних струмів і напруг джерела живлення МКЗ при реалізації запропонованого способу. На фіг. 5 наведені діаграми вхідних струмів перетворювача. Параметри МП наступні: частота перемикання 3,2 кГц, задана вихідна напруга - прямокутна, частотою 25 Гц та амплітудним значенням 300 В, приведені до первинної обмотки індуктивність розсіювання 0,6 мГн, активний опір 2,5 Ом; індуктивність вхідного фільтра 0,1 мГн, ємність

вхідного фільтра 24 мкФ. Коефіцієнт несинусоїдальності вхідних струмів після фільтрації складових на частоті перемикання становить близько 15 %, коефіцієнт потужності становить 95,7 %, коефіцієнт несиметрії вхідних струмів по зворотній послідовності становить 1,7 %. Ці показники значно краще, ніж у тиристорних джерел живлення МКЗ.

5 Приклад реалізації способу.

Спосіб здійснюється наступним чином. Як перетворювач виступає безпосередній матричний перетворювач трифазної напруги в однофазну (фіг. 2). Як вхідні сигнали для контролера виступають мережеві напруги та струми фаз А, В, С, які потрапляють на АЦП контролера для вимірювання. Для вимірювання струмів можуть бути використані датчики ACS758ECB-200B-PFF-T. Вимірювання напруг може бути виконане з використанням резистивних подільників напруг. Амплітуда та частота вихідної напруги перетворювача подаються за допомогою пристроїв вводу на контролер (наприклад, клавіатури). В режимі реального часу відбувається визначення потрібного сектора шляхом порівняння системою управління мережевих напруг. Шпаруватості керуючих імпульсів ключів Q1-Q6 розраховуються за виразами (1) та подаються на керуючі електроди транзисторів, вибраних в залежності від сектора, через спеціалізовані драйвери. Як двонаправлені ключі можуть бути використані ключі DIM200MBS12-A000. Модуль DIM200MBS12-A000 розрахований на напругу до 1200 В та струм до 200 А. Схема керування ключами виконана із застосуванням спеціалізованих драйверів FOD3184 та мікроконтролера STM32F100C6T6B.

20 Застосування запропонованого способу керування перетворювачем для живлення трансформатора машини контактного зварювання дозволяє забезпечити високу якість зварних з'єднань за рахунок регулювання зварювального струму та електромагнітну сумісність джерела живлення МКЗ з електричною мережею.

25

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб керування перетворювачем для живлення трансформатора машини контактного зварювання, який включає формування симетричної системи струмів, що споживаються від трифазної мережі з фазами А, В, С, шляхом безпосереднього перетворення трифазної системи напруг в однофазну, який **відрізняється** тим, що використовують перетворювач, який утворений шістьма двонаправленими ключами Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, а керування ним здійснюють таким чином, щоб вхідні струми були пропорційні до відповідних фазних напруг, для чого на керуючі електроди ключів подають імпульси відповідно до шпаруватостей ввімкненого стану ключів  $D_n$ , де n - номер ключа, впродовж періоду перемикання:

$$D_1 = \frac{u_A(t) \cdot U_{\text{вих}}}{1,5U_m^2}; D_2 = \frac{-u_B(t) \cdot U_{\text{вих}}}{1,5U_m^2}; D_3 = \frac{-u_C(t) \cdot U_{\text{вих}}}{1,5U_m^2};$$

$$D_4 = -D_1; D_5 = -D_2; D_6 = -D_3,$$

де  $u_A(t)$ ,  $u_B(t)$ ,  $u_C(t)$  - миттєві фазні напруги мережі, В;  $U_{\text{вих}}$  - вихідна напруга перетворювача, В;

40  $U_m$  - амплітуда фазної напруги мережі, В,

причому період мережі умовно поділяють на шість секторів, першому та четвертому сектору відповідає найбільше абсолютне значення миттєвої напруги фази В (перший - при негативній напрузі фази В, четвертий - при позитивній), другому та п'ятому - фази А (другий - при позитивній напрузі фази А, п'ятий - при негативній), третьому та шостому - фази С (третій - при негативній напрузі фази С, шостий - при позитивній), для формування вихідної напруги позитивної полярності в першому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q5 включений постійно, в другому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q1 включений постійно, в третьому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q6 включений постійно, в четвертому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q2 включений постійно, в п'ятому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q4 включений постійно, в шостому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q3 включений постійно, для формування вихідної напруги негативної полярності в першому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q2 включений постійно, в другому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q4 включений постійно, в третьому секторі здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q3 включений постійно, в четвертому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q5 включений постійно, в п'ятому секторі

здійснюють перемикання між ключами Q4, Q5, Q6, а ключ Q1 включений постійно, в шостому секторі здійснюють перемикання між ключами Q1, Q2, Q3, а ключ Q6 включений постійно.

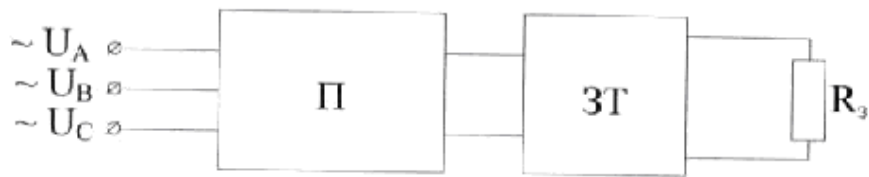


Fig. 1

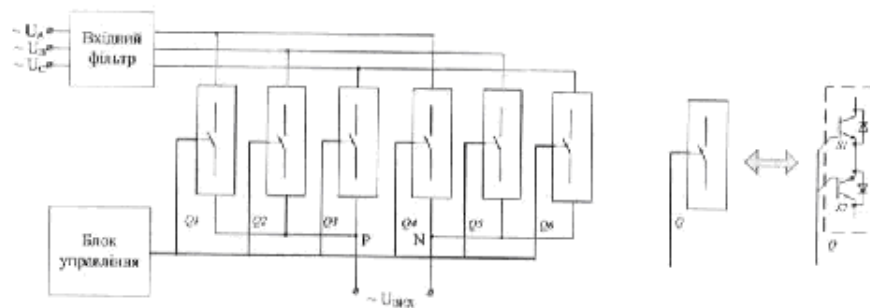


Fig. 2

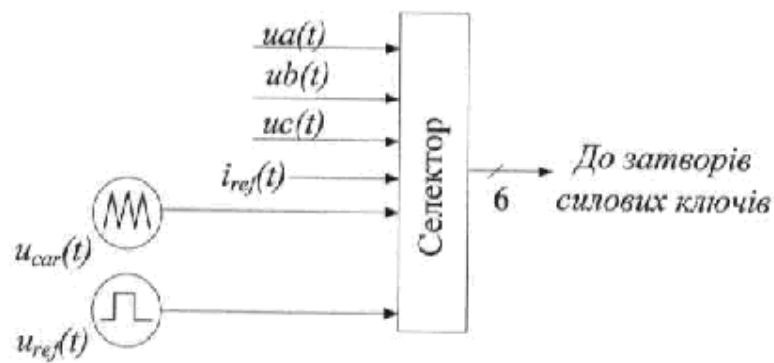


Fig. 3

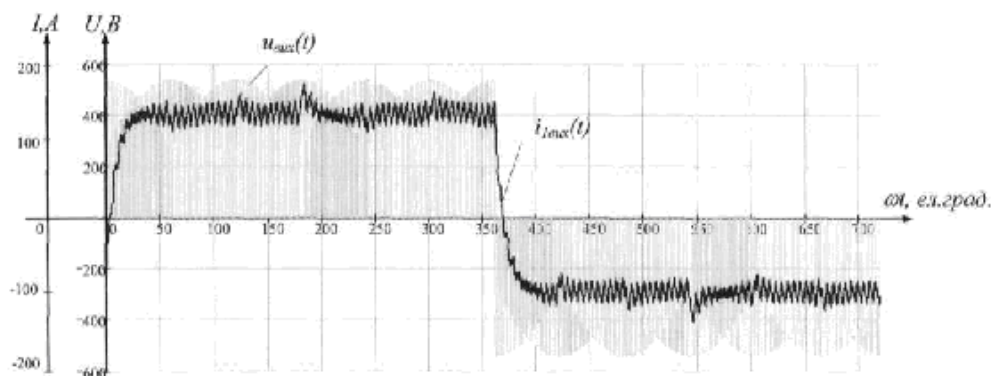
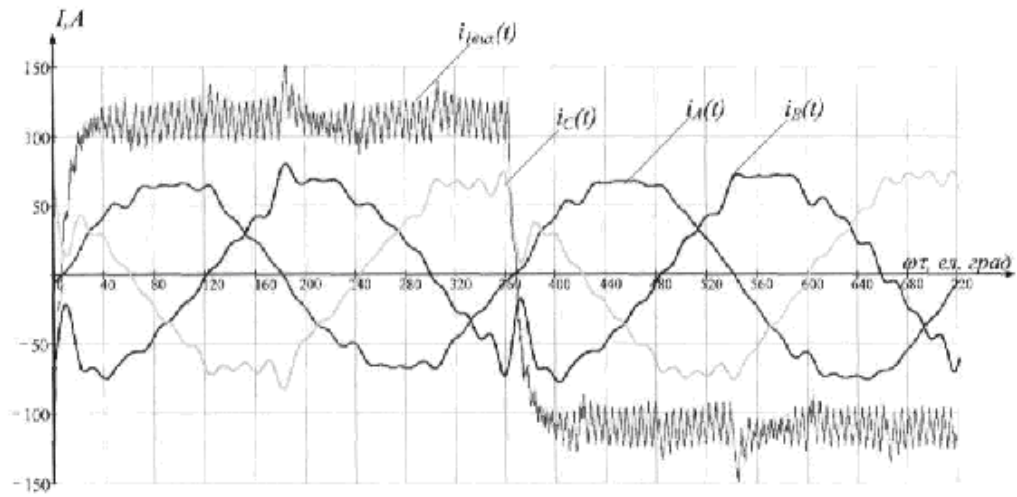


Fig. 4



Фиг. 5

---

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

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