



УКРАЇНА

(19) UA (11) 27550 (13) U
(51) МПК (2006)
H02M 7/505
G05B 13/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

**ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЧАСТОТИ ІНВЕРТОРА СТРУМУ З ІНДУКТИВНО-ЄМНІСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

1

2

(21) u200705588

(22) 21.05.2007

(24) 12.11.2007

(72) ТИМЧЕНКО МИКОЛА ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA,
КОНОПЛЬОВ ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ, UA,
ВЕРЖАНОВСЬКА МАРІЯ РОСТИСЛАВІВНА, UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", UA

(56)

(57) Спосіб стабілізації частоти інвертора струму з індуктивно-ємнісним навантаженням, який полягає в тому, що контролюють моменти інвертування ємнісного струму й напруги на ємності, в інтервалі між моментами інвертування ємнісного струму і моментами інвертування напруги на ємності ведуть зворотний рахунок періодів повторення

тактових імпульсів і вихідний струм мостової схеми керованих ключових елементів інвертують у моменти рівності зворотного рахунку числу тактових імпульсів, що відповідають або перевищують інтервал власного вимикання діагональних керованих ключових елементів мостової схеми, який **відрізняється** тим, що в інтервалі між моментами інвертування напруги на ємності ведуть прямий рахунок тактових імпульсів генератора, зберігають значення рахунку до моменту інвертування ємнісного струму, використовують значення рахунку як початкове для зворотного рахунку тактових імпульсів й обнуляють, а зворотний рахунок обнуляють в моменти інвертування вихідного струму мостової схеми керованих ключових елементів.

Передбачувана корисна модель має відношення до перетворювальної техніки й може знайти широке застосування в джерелах електроживлення індукційних термічних установок.

Відомий спосіб стабілізації частоти інвертора струму з індуктивно-ємнісним навантаженням [1, рис. 2]. При цьому способі контролюють моменти інвертування ємнісного струму й напруги на ємності, в інтервалі між моментами інвертування ємнісного струму й напруги на ємності ведуть зворотний рахунок періодів повторення тактових імпульсів від числа, що відповідає чверті періоду коливань енергії між індуктивністю і ємністю навантаження, а вихідний струм мостової схеми керованих ключових елементів інвертують у моменти рівності зворотного відліку числу тактових імпульсів, що відповідають або перевищують інтервал власного вимикання діагональних керованих ключових елементів мостової схеми.

До недоліку відомого способу ставиться інерційність встановлення частоти вихідної напруги інвертора струму з індуктивно-ємнісним навантаженням.

Недолік відомого способу пояснюється наступними причинами.

Момент інвертування вихідного струму мостової схеми керованих ключових елементів залежить від моменту рівності зворотного відліку тактових імпульсів числу, що відповідає або перевищує інтервал власного вимикання діагональних ключових елементів при фіксованому початковому відліку протягом усього інтервалу встановлення частоти вихідної напруги. Якщо у відомому способі початкове значення відліку тактових імпульсів відповідає чверті періоду коливання енергії між вихідними індуктивністю і ємністю і є фіксованою величиною, то при регулюванні не враховуються швидкість зміни напруги на ємності й швидкість зміни ємнісного струму протягом кожного напівперіоду повторення вихідної напруги інвертора, що затримує встановлення частоти вихідної напруги.

Задача - зниження часу встановлення частоти вихідної напруги інвертора. Поставлена задача досягається тим, що в інтервалі між моментами інвертування напруги на ємності ведуть прямий рахунок тактових імпульсів генератора, зберігають значення рахунку до моменту інвертування ємнісного струму, використовують значення рахунку в якості початкового для зворотного рахунку тактових імпульсів й обнуляють, а

(19) UA (11) 27550 (13) U

зворотний рахунок обнуляють у моменти інвертування вихідного струму мостової схеми керування ключових елементів.

На Фіг.1 представлені часові діаграми, що пояснюють запропонований спосіб стабілізації частоти інвертора струму. На першій діаграмі показана зміна вихідної напруги інвертора U_{C33} і струму I_{C33} ємності навантаження інвертора. На другій діаграмі - зміна числа Q_{15} тактових імпульсів в інтервалі між моментами інвертування в прямому напрямку вихідної напруги U_{C33} і струму I_{C33} ємності навантаження інвертора. На третій діаграмі при постійному коді керування Q_2 - зміна числа Q_{17} тактових імпульсів при зворотному рахунку в інтервалі між моментами інвертування в прямому напрямку струму I_{C33} ємності навантаження інвертора й вихідного струму інвертора. На четвертій діаграмі - зміна числа Q_{16} , тактових імпульсів в інтервалі між моментами інвертування у зворотному напрямку вихідної напруги U_{C33} і струму I_{C33} ємності навантаження інвертора. На п'ятій діаграмі при постійному коді керування Q_2 - зміна числа Q_{18} тактових імпульсів при зворотному рахунку в інтервалі між моментами інвертування у зворотному напрямку струму I_{C33} ємності навантаження інвертора й вихідного струму інвертора.

На Фіг.2 представлена зміна тривалості напівперіоду вихідної напруги при регулюванні інвертора струму по найбільш близькому по технічній сутності способу.

На Фіг.3 представлена зміна тривалості напівперіоду вихідної напруги при регулюванні інвертора струму по запропонованому способу.

На Фіг.4 представлена функціональна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб регулювання.

Цей пристрій містить генератор 1 тактових імпульсів, виконаний на мікросхемах HE типу K555ЛН1 з періодом повторення імпульсів не менш, ніж на порядок, менше власного часу вимикання діагональних ключових елементів мостової схеми інвертора; регістр 2 зберігання керуючого коду Q_{1q} , виконаний на мікросхемі K555ТМ8; тригери Шмітта 3, 4, 5, 6 на мікросхемах K555ТЛ3 з опорними діодами 7, 8, 9, 10; RS-тригери 11, 12, 13, 14 на мікросхемах типу K555ТМ2; реверсивні лічильники 15, 16, 17, 18 на мікросхемах типу K555ІЕ7; багаторозрядні компаратори 19, 20 типу K555СП1; мікросхема АБО 21 типу K555ЛЛ1; лічильний Т-тригер 22 типу K555ТМ2. Елементи: випрямляч 22, індуктивність 24, керувані ключові елементи 25, 26, 27, 28 з формувачами імпульсів 29, 30, 31, 32; ємність 33, датчик струму 34, індуктивність 35, опір 36, датчик напруги 37 згідно установки: "Генератор для питания устройств индукционного нагрева ТПЧ-320М-1,0-4УХЛ4. Паспорт EL.435523.016. (ESTEL PLUSS AS, Таллинн, Эстония)".

Пристрій, що реалізує запропонований спосіб, працює в такий спосіб.

При подачі напруги живлення на елементи системи регулювання тактовий генератор 1 починає формувати вихідні імпульси, а Т-тригер 22 устанавлюється в стан логічної «1» на інверсному

виході. За допомогою формувачів 30 й 31 включаються ключові елементи 27 й 26 мостової схеми інвертора струму. Випрямлений струм від позитивного виводу випрямляча 23 протікає по ланцюгу 24-27 - елементи навантаження 33, 34, 35, 36, 37 - 26 до негативного виводу випрямляча 23.

Сигнал, пропорційний напрузі U_{C33} , що наростає в прямому напрямку (перша діаграма на Фіг.1), викликає спрацьовування тригера 3, вихідний імпульс F_3 цього тригера формує на виході тригера 11 імпульс F_{11} , що дозволяє прямий рахунок тактових імпульсів від генератора 1 лічильником 15. Вихідний код Q_{15} цього лічильника (друга діаграма на Фіг.1) в інтервалі t_0-t_1 наростає, а в момент t_3 інвертування напруги на ємності 33 зберігає своє значення. В наступний момент t_4 інвертування струму I_{C33} збережене значення коду Q_{15} передається в лічильник 17 в якості початкового значення.

Сигнал, пропорційний напрузі U_{C33} , що наростає у зворотному напрямку (перша діаграма на Фіг.1), викликає спрацьовування тригера 4, вихідний імпульс F_4 цього тригера формує на виході тригера 13 імпульс F_{13} , що дозволяє прямий рахунок тактових імпульсів від генератора 1 лічильником 16. Вихідний код Q_{16} цього лічильника (четверта діаграма на Фіг.1) в інтервалі t_3-t_6 наростає, а в момент t_6 інвертування напруги на ємності 33 зберігає своє значення. У наступний момент t_7 інвертування струму I_{C33} збережене значення коду Q_{16} передається в лічильник 18 в якості початкового значення.

З моменту t_4 інвертування струму I_{C33} спрацьовує тригер 5, вихідний сигнал F_5 цього тригера обнуляє лічильник 15 і формує на виході RS-тригера 12 імпульс F_{12} , що дозволяє зворотний рахунок тактових імпульсів генератора 1 лічильником 17. Вихідний код Q_{17} лічильника 17, що віднімає, (третья діаграма на Фіг.1) формується одночасно з вихідним кодом Q_{16} лічильника 16, що додає (четверта діаграма на Фіг.1).

В момент t_5 при рівності коду Q_{17} коду керування Q_2 спрацьовує компаратор 19, його вихідний сигнал обнуляє лічильник 17 і через схему АБО 21 сигналом F_1 , перемикає Т-тригер 22 у стан лог. "1" на прямому виході. Через формувачі 29 й 32 вмикаються ключові елементи 25 й 28 мостової схеми інвертора струму. Випрямлений струм від позитивного виводу випрямляча 23 протікає по ланцюгу 24-25 - елементи навантаження 34, 33, 35, 36, 37 - 28 до негативного виводу випрямляча 23.

Момент t_5 інвертування вихідного струму мостової схеми запізнюється від моменту t_4 інвертування ємнісного струму I_{C33} на інтервал t_d і випереджає момент t_6 інвертування напруги U_{C33}

на ємності 33 на час $t_q = \frac{\beta}{\omega}$, де β - кут випередження, ω - кругова частота коливань енергії між індуктивністю 35 та ємністю 33 (перша діаграма на Фіг.1).

Сигнал, пропорційний напрузі U_{C33} , що наростає в прямому напрямку (перша діаграма на Фіг.1), викликає спрацьовування тригера 3,

вихідний імпульс F_3 цього тригера формує на виході тригера 11 імпульс F_{11} , що дозволяє прямий рахунок тактових імпульсів від генератора 1 лічильником 15. Вихідний код Q_{15} цього лічильника (друга діаграма на Фіг.1) в інтервалі t_6 - t_9 наростає, а в момент t_9 інвертування напруги на ємності 33 зберігає значення.

З моменту t_7 інвертування струму I_{C33} спрацьовує тригер 6, вихідний сигнал F_6 цього тригера обнуляє лічильник 16 і формує на виході RS-тригера 14 імпульс F_{14} , що дозволяє зворотний рахунок тактових імпульсів генератора 1 лічильником 18.

Вихідний код Q_{18} лічильника 18, що віднімає, (п'ята діаграма на Фіг.1) формується одночасно з вихідним кодом Q_{15} лічильника 15, що додає (друга діаграма на Фіг.1). В момент t_8 при рівності коду Q_{18} коду керування Q_2 спрацьовує компаратор 20, його вихідний сигнал обнуляє лічильник 18 і через схему АБО 21 сигналом F_1 перемикає Т-тригер 22 у стан логічної "1" на інверсному виході. Далі процеси інвертування вихідного струму мостової схеми керування ключових елементів повторюються.

Запропонований спосіб у порівнянні із прототипом має наступні відмінності й переваги.

У пристрої, що реалізує спосіб - прототип, встановлений початковий фіксований код для зворотного відліку тактових імпульсів між моментами інвертування струму й напруги на ємності й інвертування вихідного струму інвертора відбувається в момент порівняння зворотного відліку з кодом завдання.

В запропонованому способі момент інвертування вихідного струму визначається аналогічно при порівнянні з кодом завдання, однак початковий код для зворотного відліку не фіксований, а формується протягом попередньої напівхвилі напруги на ємності, ця напруга є вихідною напругою інвертора. Початковий код для зворотного відліку зберігається й використовується при наступній напівхвилі напруги на ємності, при цьому зворотний відлік тактових імпульсів між моментом інвертування ємнісного струму й моментом інвертування вихідного струму інвертора йде одночасно із прямим відліком тактових імпульсів протягом кожної напівхвилі напруги на ємності.

Запропонований спосіб дозволяє системі регулювання адаптуватися до зміни параметрів індуктивно-ємнісного навантаження протягом кожної напівхвилі напруги на ємності, що скорочує час встановлення частоти вихідної напруги інвертора.

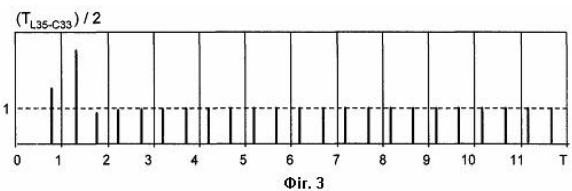
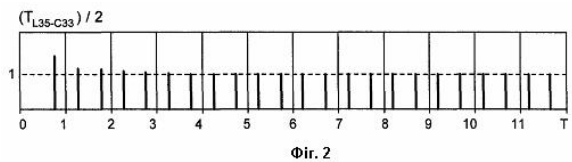
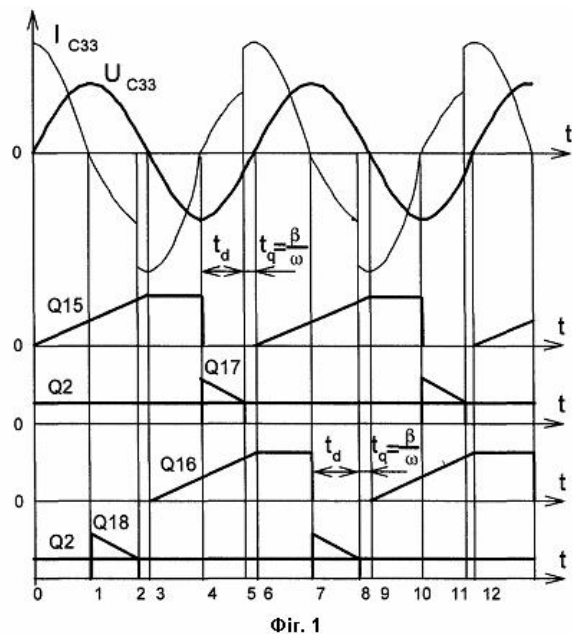
В результаті чисельного моделювання системи стабілізації частоти вихідної напруги інвертора з параметрами: $U_a=500\text{В}$ - постійна вихідна напруга випрямляча 23; $R_{36}=0,8\text{Ом}$ - опір навантаження 36; $f=1000\text{Гц}$ - робоча частота; $L_a=L_{24}=2,2\text{мГн}$ - індуктивність дроселя 24; $L_{35}=38\text{мкГн}$ - індуктивність дроселя 35; $C_{33}=630\text{мкФ}$ - ємність конденсатора 33, отримані діаграми зміни напівперіоду вихідної частоти в пристрої - прототипі (Фіг.2) і в пристрої по запропонованому способу (Фіг.3).

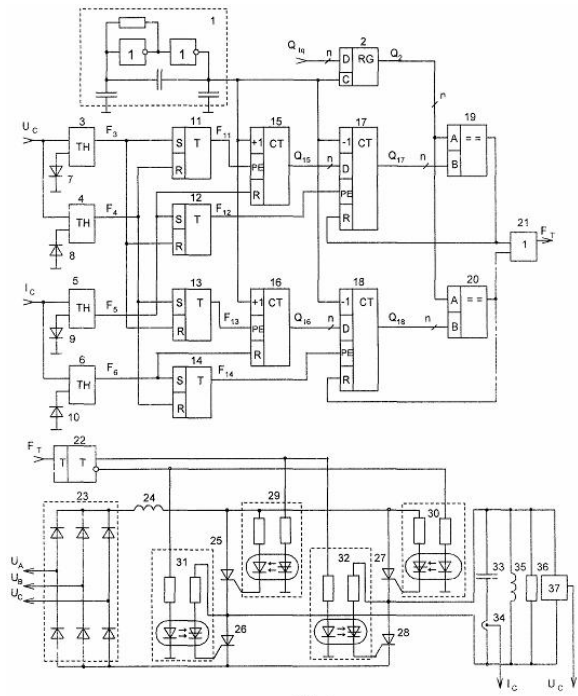
Час встановлення частоти вихідної напруги до номінального значення в пристрої - прототипі становить $t_H=5T$, де $T=2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}$ - період коливань ідеального LC-контурі L_{35} - C_{33} . Аналогічний час встановлення частоти в запропонованому пристрої становить $t_H=3T$.

Зниження в 1,6...1,7 рази часу встановлення частоти вихідної напруги інвертора дає перевагу джерелу електроживлення установки, особливо при індукційному загартуванні тугоплавких матеріалів, де стабільність частоти є визначальним параметром технологічного процесу.

Джерела інформації

1. И.А. Коноплев, Н.А. Тимченко, М.Р. Вержановская. Минимизация датчиков адаптивных регуляторов инвертора тока при LC-нагрузке // Техническая электродинамика. Выпуск - 2006 Т. 3, с. 73-75, рис. 2.





Фиг. 4