



УКРАЇНА

(19) UA (11) 27547 (13) U
(51) МПК (2006)
H02M 5/00
G05B 13/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНВЕРТОРА СТРУМУ З ІНДУКТИВНО - ЄМНІСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

1

(21) u200705566

(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 адаптивного регулювання інвертора струму з індуктивно-ємнісним навантаженням, що полягає в тому, що контролюють моменти інвертування ємнісного струму й напруги на ємності, в інтервалі між моментами інвертування ємнісного струму й моментами інвертування напруги на ємності ведуть зворотний рахунок періодів повторення тактових імпульсів і вихідний струм мостової схеми керованих ключових

2

елементів інвертують у моменти рівності зворотного рахунку числа тактових імпульсів, що відповідають або перевищують інтервал власного вимикання діагональних керованих ключових елементів мостової схеми, який відрізняється тим, що в інтервалі між моментами інвертування ємнісного струму й напруги на ємності ведуть прямий рахунок тактових імпульсів генератора, зберігають значення рахунку до моменту повторного інвертування ємнісного струму, кінцеве значення прямого рахунку на момент інвертування ємнісного струму використовують як початкове значення для зворотного рахунку тактових імпульсів й обнуляють, а зворотний рахунок обнуляють у 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 адаптивного регулювання 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 відлік 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 числа тактових імпульсів, що відповідають або перевищують інтервал власного вимикання діагональних керованих ключових елементів мостової схеми.

До недоліку відомого способу ставиться інерційність формування середнього, за напівперіод вихідної частоти, значення вихідної потужності, формула якої має вид:

$$P_{out(0)} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} \frac{U_c^2(t)}{R} dt,$$

де T - робочий період коливання енергії між індуктивністю і ємністю навантаження;

$U_c(t)$ - миттєве значення напруги на навантаженні;

R - опір навантаження.

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 середнього значення вихідної потужності. Якщо у відомому способі початкове значення відліку тактових імпульсів, що відповідає чверті періоду коливання енергії між вихідними індуктивністю і ємністю, фіксовано, то при регулюванні не враховуються швидкість зміни

(13) U

(11) 27547

(19) UA

ємнісного струму й швидкість зміни напруги на ємності протягом інтервалу встановлення середнього значення вихідної потужності.

Задача - зниження часу наростання середнього, за напівперіод вихідної частоти, значення вихідної потужності інвертора струму.

Поставлена задача досягається тим, що в інтервалі між моментами інвертування ємнісного струму й напруги на ємності ведуть прямий рахунок імпульсів тактового генератора, зберігають значення рахунку до моменту повторного інвертування ємнісного струму, кінцеве значення прямого рахунку на момент інвертування ємнісного струму використовують як початкове значення для зворотного рахунку тактових імпульсів й обнуляють, а зворотний рахунок обнуляють у моменти інвертування вихідного струму мостової схеми керованих ключових елементів.

На Фіг.1 представлені часові діаграми, що пояснюють запропонований спосіб адаптивного регулювання інвертора струму. На першій діаграмі показана зміна вихідної напруги U_{C31} інвертора і струму I_{C31} ємності навантаження. На другій діаграмі - зміна числа Q_{13} тактових імпульсів при прямому рахунку в інтервалі позитивної напівхвилі ємнісного струму I_{C31} . На третій діаграмі при постійному коді керування Q_2 - зміна числа Q_{15} тактових імпульсів при зворотному рахунку в інтервалі негативної напівхвилі ємнісного струму I_{C31} . На четвертій діаграмі - зміна числа Q_{14} тактових імпульсів при прямому рахунку в інтервалі негативної напівхвилі ємнісного струму I_{C31} . На п'ятій діаграмі при постійному коді керування Q_2 - зміна числа Q_{16} тактових імпульсів при зворотному рахунку в інтервалі позитивної напівхвилі ємнісного струму I_{C31} .

На Фіг.2 представлена зміна середнього, за напівперіод вихідної частоти, значення вихідної потужності при регулюванні інвертора струму по найбільш близькому по технічній сутності способу.

На Фіг.3 представлена зміна середнього, за напівперіод вихідної частоти, значення вихідної потужності 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 на мікросхемах типу K555ТМ2; реверсивні лічильники 13, 14, 15, 16 на мікросхемах типу K555ІЕ7; багаторозрядні компаратори 17, 18 типу K555СР1; мікросхема АБО 19 типу K555ЛЛ1; лічильний Т-тригер 20 типу K555ТМ2. Елементи: випрямляч 21, індуктивність 22, керовані ключові елементи 23, 24, 25, 26 з формувачами імпульсів 27, 28, 29, 30; ємність 31,

датчик струму 32, індуктивність 33, опір 34, датчик напруги 35 згідно установки: "Генератор для питання устроїв індукційного нагріву ТПЧ-320М-1,0-4УХЛ4. Паспорт EL.435523.016. (ESTEL PLUSS AS, Таллінн, Естонія)".

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 20 устанавлюється в стан логічної «1» на інверсному виході. За допомогою формувачів 28 й 29 включаються ключові елементи 25 й 24 мостової схеми інвертора струму. Випрямлений струм від позитивного виводу випрямляча 21 протікає по ланцюгу 22-25 - елементи навантаження 31, 32, 33, 34, 35 - 24 до негативного виводу випрямляча 21.

Сигнал, пропорційний струму I_{C31} (перша діаграма на Фіг.1), викликає спрацювання 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 13. Вихідний код Q_{13} цього лічильника (друга діаграма на Фіг.1) у момент t_2 інвертування напруги на ємності 31 зберігає своє значення. В наступний момент t_3 інвертування струму I_{C31} збережене значення коду Q_{13} передається в лічильник 15 в якості початкового значення.

З моменту t_3 інвертування струму I_{C31} спрацює тригер 4, вихідний сигнал F_4 цього тригера обнуляє лічильник 13 і формує на виході RS-тригера 12 імпульс F_{12} , що дозволяє прямий рахунок тактових імпульсів генератора 1 лічильником 14 і зворотний рахунок тактових імпульсів лічильником 15.

Вихідний код Q_{14} лічильника 14, що додає, (четверта діаграма на Фіг.1) формується одночасно з вихідним кодом Q_{15} лічильника 15, що віднімає, (третя діаграма на Фіг.1).

В момент t_4 при рівності коду Q_{15} коду керування Q_2 спрацює компаратор 17, його вихідний сигнал обнуляє лічильник 15 і через схему АБО 19 сигналом F_1 перемикає Т-тригер 20 у стан логічної "1" на прямому виході. Через формувачі 27 й 30 вмикаються ключові елементи 23 й 26 мостової схеми. Випрямлений струм від позитивного виводу випрямляча 21 протікає по ланцюгу 22-23 - елементи навантаження 32, 31, 33, 34, 35 - 26 до негативного виводу випрямляча 21.

Момент t_4 інвертування вихідного струму мостової схеми запізнюється від моменту t_3 інвертування ємнісного струму I_{C31} на інтервал t_d і випереджає момент t_5 інвертування напруги U_{C31}

$$t_q = \frac{\beta}{\omega}$$
 на ємності 31 на час $t_q = \frac{\beta}{\omega}$, де β - кут випередження, ω - кругова частота коливань енергії між індуктивністю 33 й ємністю 31 (перша діаграма на Фіг.1).

В момент t_5 інвертування напруги U_{C31} сигнал F_6 з виходу тригера 6 скидає тригер 12 у стан лог. «0» і сигнал F_{12} з виходу тригера 12 знімає дозвіл

на прямий рахунок тактових імпульсів у лічильнику 14. Вихідний код Q_{14} цього лічильника (четверта діаграма на Фіг.1) в момент t_5 інвертування напруги на ємності 31 зберігає своє значення. У наступний момент t_6 інвертування струму I_{C31} збережене значення коду Q_{14} передається в лічильник 16 в якості початкового значення.

З моменту t_6 інвертування струму I_{C31} спрацьовує тригер 3, вихідний сигнал F_3 цього тригера обнуляє лічильник 14 і формує на виході RS-тригера 11 імпульс F_{11} , що дозволяє прямий рахунок тактових імпульсів генератора 1 лічильником 13 і зворотний рахунок тактових імпульсів лічильником 16.

Вихідний код Q_{13} лічильника 13, що додає, (друга діаграма на Фіг.1) формується одночасно з вихідним кодом Q_{16} лічильника 16, що віднімає, (п'ята діаграма на Фіг.1). В момент t_7 при рівності коду Q_{16} коду керування Q_2 спрацьовує компаратор 18, його вихідний сигнал обнуляє лічильник 16 і через схему АБО 19 сигналом F_1 перемикає тригер 20 у стан лог. «1» на інверсному виході.

Далі процеси інвертування вихідного струму мостової схеми керованих ключових елементів повторюються.

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

У пристрої, що реалізує спосіб - прототип, установленний 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.

У запропонованому способі момент інвертування вихідного струму визначається аналогічно при порівнянні з кодом завдання, однак початкове значення коду для зворотного відліку не фіксоване, а формується протягом попередньої напівхвилі ємнісного струму, що входить складовою частиною у вихідний струм інвертора. Початковий код для зворотного відліку зберігається й використовується при наступній напівхвилі ємнісного струму, при цьому зворотний відлік протягом кожної напівхвилі ємнісного струму йде одночасно із прямим відліком імпульсів між моментом інвертування ємнісного струму й моментом інвертування вихідного струму інвертора.

Запропонований спосіб дозволяє системі регулювання адаптуватися до зміни параметрів індуктивно-ємнісного навантаження протягом кожної напівхвилі ємнісного струму, що скорочує час встановлення середнього значення вихідної потужності.

В результаті чисельного моделювання системи адаптивного регулювання інвертора струму з параметрами: $U_d=500\text{В}$ - постійна вихідна напруга випрямляча 21; $R_{34}=0,8\text{Ом}$ - опір навантаження 34; $f=1000\text{Гц}$ - робоча частота; $L_d=L_{22}=2,2\text{мГн}$ - індуктивність дроселя 22; $L_{33}=38\text{мкГн}$ - індуктивність дроселя 33; $C_{31}=630\text{мкФ}$ - ємність конденсатора 31, отримані діаграми зміни середнього значення, за

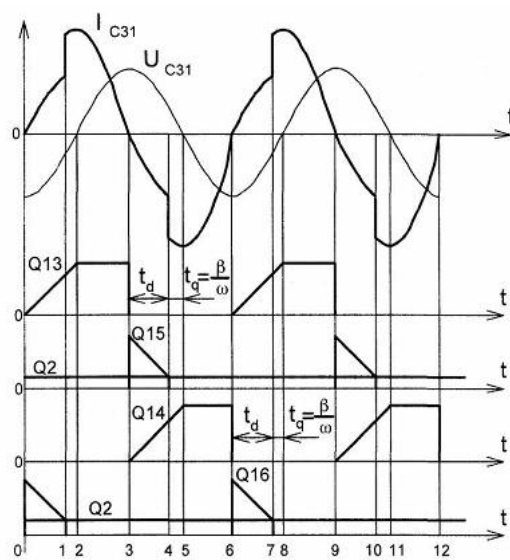
напівперіод вихідної частоти, вихідної потужності в пристрої - прототипі (Фіг.2) і в пристрої по запропонованому способі (Фіг.3).

Час наростання вихідної потужності до номінального значення в пристрої - прототипі становить $t_n=11T$, де $T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{LC}$ - період коливаний ідеального LC-контурі $L_{33}-C_{31}$. Аналогічний час наростання вихідної потужності в запропонованому пристрої становить $t_n=6T$.

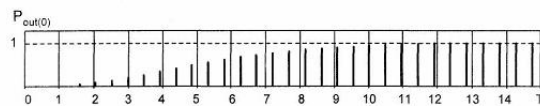
Зниження часу наростання середнього значення вихідної потужності в 1,5... 1,8 рази дає перевагу джерелу електроживлення установки, особливо при індукційному нагріванні тугоплавких матеріалів, де час наростання середнього значення вихідної потужності є суттєвим параметром технологічного процесу.

Джерела інформації

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



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

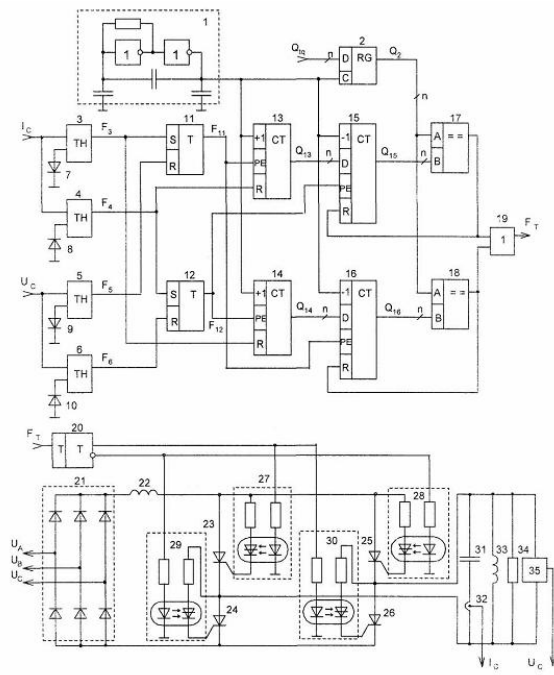


Fig. 4