



УКРАЇНА

(19) UA (11) 17388 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G05F 3/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) ОДНОКАСКАДНИЙ ЕЛЕКТРОННИЙ ПУСКОРЕГУЛЮВАЛЬНИЙ АПАРАТ З КОРЕКТОРОМ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ**

1

2

(21) u200604082

(22) 13.04.2006

(24) 15.09.2006

(46) 15.09.2006, Бюл. № 9, 2006 р.

(72) Лупенко Анатолій Миколайович

(73) ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

(57) Однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності, що містить фільтр, послідовно ввімкнений з випрямлячем, перший дросель, перший діод, другий діод, катод якого зв'язаний з витокм першого транзистора, анодом третього діода та через послідовне з'єднання першого конденсатора і другого дроселя - з першою точкою паралельного з'єднан-

ня другого конденсатора та розрядної лампи, друга точка якого підключена до витокм другого транзистора, анода другого діода, першого виводу блока керування та через третій конденсатор підключена до стоку першого транзистора та катода першого діода, а другий та третій виводи блока керування відповідно зв'язані із затворами першого та другого транзисторів, який відрізняється тим, що апарат оснащений четвертим діодом, анод якого підключено до витокм першого транзистора, а катод зв'язаний з стоком другого транзистора, плюсом випрямляча та четвертим виводом блока керування, а анод першого діода та мінус випрямляча через перший дросель під'єднано до витокм другого транзистора.

Корисна модель відноситься до електротехнічної та світлотехнічної галузей.

Відомий пристрій [див. Т. J. Ribarich, J. J. Ribarich. "A New Procedure for High-Frequency Electronic Ballast Design". //IEEE IAS Annual Meeting'98, 1998, pp.2038-2043], який призначений для перетворення енергії змінного струму промислової частоти в енергію високочастотного змінного струму для живлення і керування потужністю розрядних джерел світла. Він містить два високочастотні перетворювальні каскади (активний коректор коефіцієнта потужності та високочастотний інвертор), мостовий випрямляч, згладжувальний фільтр та блок керування.

Даному пристрою притаманні такі недоліки: перетворення енергії здійснюється двома послідовно ввімкненими каскадами, а саме, активним коректором коефіцієнта потужності та інвертором. Наявність окремого каскада активного коректора коефіцієнта потужності зменшує надійність його роботи, обумовлює підвищену складність, вартість та масогабаритні показники пристрою. Крім того процес перетворення енергії двома каскадами зменшує коефіцієнт корисної дії пристрою в порівнянні з однокаскадними пристроями.

Найбільш близьким до пропонованого є електронний пускорегулювальний апарат [див. С.

Blanco, J.M. Alonso, E. Lopez, A.J. Calleja, M. Rico. A Single-Stage Fluorescent Lamp Ballast with High Power Factor. //IEEE APEC'96 proceedings, pp.616-621], що містить фільтр, послідовно ввімкнений з випрямлячем, перший дросель, перший діод, другий діод, катод якого зв'язаний з витокм першого транзистора, анодом третього діода та через послідовне з'єднання першого конденсатора і другого дроселя - з першою точкою паралельного з'єднання другого конденсатора та розрядної лампи, друга точка якого підключена до витокм другого транзистора, анода другого діода, першого виводу блока керування та через третій конденсатор підключена до стоку першого транзистора та катода третього діода, а другий та третій виводи блока керування відповідно зв'язані із затворами першого та другого транзисторів

Проте в прототипі форма споживаного струму від мережі живлення принципово залежить від напруги живлення інвертора. Це пов'язано з принципом дії напівкаскаду підвищувального перетворювача напруги, який використовується як формувач споживаного струму. Для забезпечення майже синусоїдного споживаного струму напруга на виході такого перетворювача повинна перевищувати амплітуду напруги мережі живлення в півтора-два рази [див. С.К. Tse. Circuit theory of power factor

UA (11) 17388 (13) U

correction in switching converters. //International Journal of Circuit theory and Application. Vol.31, No.2, 2003, pp. 157÷198]. Висока напруга живлення зменшує надійність роботи електронного пускорегулюючого апарата. При менших вихідних напругах цього перетворювача форма споживаного струму суттєво спотворюється.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечення майже синусоїдної форми споживаного струму мережі живлення та підвищення надійності однокаскадного електронного пускорегулюючого апарата з коректором коефіцієнта потужності, що містить фільтр, послідовно ввімкнений з випрямлячем, перший дросель, перший діод, другий діод, катод якого зв'язаний з витоком першого транзистора, анодом третього діода та через послідовне з'єднання першого конденсатора і другого дроселя – з першою точкою паралельного з'єднання другого конденсатора та розрядної лампи, друга точка якого підключена до витоку другого транзистора, анода другого діода, першого виводу блока керування та через третій конденсатор підключена до стоку першого транзистора та катода першого діода, а другий та третій виводи блока керування відповідно зв'язані із затворами першого та другого транзисторів, причому, апарат оснащений четвертим діодом, анод якого підключено до витоку першого транзистора, а катод зв'язаний із стоком другого транзистора, плюсом випрямляча та четвертим виводом блока керування, а анод першого діода та мінус випрямляча через перший дросель під'єднано до витоку другого транзистора.

На Фіг.1 наведена електрична схема однокаскадного електронного пускорегулюючого апарата з коректором коефіцієнта потужності.

На Фіг.2 наведено часові діаграми його роботи, а саме:

- осцилограми керуючих напруг між затворами і витоками першого та другого транзисторів 6 і 12, які формуються блоком керування 13 (відповідно  $U_{зв1}$  і  $U_{зв2}$ );

- осцилограми напруги  $u_0$  в точці з'єднання першого конденсатора 8 та другого дроселя 9, її першої гармоніки  $u_1$ , та першої гармоніки струму  $i_{L2}$  другого дроселя 9.

- осцилограма струму  $i_{L1}$  першого дроселя 2.

Однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності складається з фільтра 1, зв'язаного з випрямлячем 2, першого дроселя 3, першого діода 4, другого діода 5, першого транзистора 6, третього діода 7, першого конденсатора 8, другого дроселя 9, другого конденсатора 10, розрядної лампи 11, другого транзистора 12, блока керування 13, третього конденсатора 14 та четвертого діода 15. Катод другого діода 5 з'єднаний з витоком першого транзистора 6, анодами третього діода 7 та четвертого діода 15 та через послідовне з'єднання першого конденсатора 8 і другого дроселя 9 зв'язаний з першою точкою паралельного з'єднання другого конденсатора 10 і розрядної лампи 11, друга точка якого підключена до витоку другого транзистора 12, анода другого діода 5, першого виводу блока керування 13, та через третій конденсатор 14 – до стоку першого транзистора 6 і катода першого

діода 4. Анод першого діода 4 та мінус випрямляча 2 через перший дросель 3 під'єднано до витоку другого транзистора 12. Другий і третій виводи блока керування 13 відповідно з'єднані із затворами першого і другого транзисторів 6 і 12. Плюс випрямляча 2 зв'язаний з четвертим виводом блока керування 13, витоком другого транзистора 12 та катодом четвертого діода 15.

Однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності має три функціональні вузли: 1) напівмостовий інвертор утворений першим і другим транзисторами 6 і 12, другим діодом 5 та третім діодом 6; 2) резонансний контур, утворений другим конденсатором 10 та другим дроселем 9, навантажений розрядною лампою 11; 3) високочастотний підвищувально-понижувальний перетворювач, утворений другим транзистором 12, першим дроселем 3, першим діодом 4 та третім конденсатором 14. Робота апарата керує блок керування 13, а живлення апарата здійснюється від мережі промислової частоти через фільтр 1 і випрямляч 2. Живлення інвертора здійснюється від напруги на третьому конденсаторі 14.

Принцип роботи однокаскадного електронного пускорегулюючого апарата з коректором коефіцієнта потужності полягає в формуванні високочастотних періодичних прямокутних імпульсів напруги, які подаються на резонансний коливний контур, навантажений розрядною лампою, який виділяє першу гармоніку цих імпульсів. Для формування майже синусоїдного споживаного від мережі струму використовується високочастотний підвищувально-понижувальний перетворювач напруги, що працює в режимі переривчастого струму дроселя.

Однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності працює наступним чином.

Напівмостовий інвертор через роздільний перший конденсатор 8 під дією керуючих імпульсів  $U_{зв1}$  і  $U_{зв2}$  (Фіг.2) блока керування 13 подає прямокутні високочастотні імпульси  $u_0$  типу "меандр" на резонансний контур, який виділяє першу гармоніку цих імпульсів, забезпечуючи живлення розрядної лампи 11 високочастотним струмом, наближеним за формою до синусоїдного. Для забезпечення малих комутаційних втрат в транзисторах робоча частота повторення імпульсів  $u_0$  є дещо вищою за частоту послідовного резонансного контуру, що забезпечує комутацію транзисторів майже при нульовій напрузі на них.

Впродовж кожного періоду  $T$  високочастотної комутації однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності має шість послідовно розташованих топологічних станів, які відповідають часовим інтервалам  $(t_0 \div t_1) \div (t_5 \div t_6)$ , що наведені на Фіг.2.

Перший стан відповідає часовому інтервалу  $(t_0 \div t_1)$ , впродовж якого перший і другий транзистори 6 і 12 перебувають в закритому стані. Струм другого дроселя 9 зменшується за майже синусоїдним законом, протікає через паралельне з'єднання другого конденсатора 10 і розрядної лампи 11, другий діод 5, перший конденсатор 8. Енергія, накопичена в цьому дроселі в попередньому пері-

оді, передається в розрядну лампу 11, підтримуючи її розряд. Струм першого дроселя 3 дорівнює нулю.

Другий стан відповідає часовому інтервалу  $(t_1 \div t_2)$ . В момент  $t_1$  відкривається другий транзистор 12, і під дією вихідної напруги випрямляча 2 починає протікати струм через другий транзистор 12 і перший дросель 3. В першому дроселі 3 накопичується енергія. Швидкість лінійного зростання струму першого дроселя 3 визначається індуктивністю цього дроселя та миттєвим значенням напруги випрямляча. Струм другого дроселя 9 протікає по тому ж колу, що і в першому етапі. Другий стан завершується в момент часу  $t_2$ , коли струм другого дроселя 9 досягає нуля.

Третій стан відповідає часовому інтервалу  $(t_2 \div t_3)$ . Протягом цього стану струм другого дроселя 9, змінивши свій напрям, протікає через перший конденсатор 8, четвертий діод 15, відкритий другий транзистор 12 та паралельне з'єднання другого конденсатора 10 і розрядної лампи. Струм першого дроселя 3 продовжує зростати, протікаючи по тому ж колу, що і в другому стані. Стан завершується закриванням другого транзистора 12 в момент часу  $t_3$ .

Четвертий стан відповідає часовому інтервалу  $(t_3 \div t_4)$ . Стан починається відкриванням першого транзистора 6. Струм другого дроселя 9 протікає через другий конденсатор 8, третій діод 7, третій конденсатор 14 та паралельне з'єднання другого конденсатора 10 і розрядної лампи 11. Енергія другого дроселя 9 повертається в третій конденсатор 14 та підтримує розряд розрядної лампи 11. Одночасно перший дросель 3 "розряджається" через перший діод 4 і третій конденсатор 14. Струм першого дроселя 3 зменшується за лінійним законом, а швидкість його зменшення визначається індуктивністю цього дроселя та напругою третього конденсатора 14. Четвертий стан завершується в момент часу  $t_4$ , коли струм другого дроселя 9 досягає нуля.

П'ятий стан відповідає часовому інтервалу  $(t_4 \div t_5)$ . Струм другого дроселя 9, змінивши свій напрям на протилежний після моменту часу  $t_4$ , протікає через паралельне з'єднання другого конденсатора 10 і розрядної лампи 11, третій конденсатор 14, відкритий перший транзистор 6 та перший конденсатор 8. В другому дроселі 9 накопичується енергія, яка передається йому від третього конденсатора 14. Струм першого дроселя 9 лінійно зменшується, як і в попередньому стані. Стан завершується в момент  $t_5$ , коли струм першого дроселя 3 досягає нуля.

Шостий стан відповідає часовому інтервалу  $(t_5 \div t_6)$ . Він відрізняється від п'ятого стану тим, що струм першого дроселя 3 дорівнює нулю. Шостий стан завершується закриванням першого транзистора 6 в момент часу  $t_6$ .

В залежності від миттєвого значення напруги мережі живлення четвертий і п'ятий стани можуть мінятися місцями, або ж п'ятий стан може бути відсутнім, якщо струм першого дроселя 3 досягне нуля в момент часу  $t_4$ , тобто моменти часу  $t_4$  і  $t_5$

співпадуть.

Таким чином, в першому дроселі 3 відбувається дозоване накопичення енергії на часових інтервалах  $(t_1 \div t_2)$  і  $(t_2 \div t_3)$ , загальна тривалість яких дорівнює тривалості імпульсу керування  $u_{зв2}$ , який прикладається між затвором і витоком другого транзистора 12. На часових інтервалах  $(t_3 \div t_4)$  і  $(t_4 \div t_5)$  відбувається передача цієї енергії в накопичувальний третій конденсатор 14 через зворотний перший діод 4. Значення дози енергії залежить від миттєвого значення напруги мережі. В зв'язку з тим, що частота комутації ЕПРА (30÷100кГц) є значно вищою за частоту промислової мережі, можна вважати, що впродовж періоду високочастотної комутації напруга мережі є практично незмінною. Тому струм, що споживається від мережі, усереднений фільтром 1 за період високочастотної комутації, повторює форму напруги мережі. Фільтр 1 відфільтровує високочастотні гармонічні складові струму мережі.

Відомо [див. С.К. Tse. Circuit theory of power factor correction in switching converters. //International Journal of Circuit theory and Application. Vol.31, No.2, 2003, pp.157-198], що струм, споживаний від мережі живлення підвищувально-понижувальним перетворювачем, визначається за виразом:

$$i = \frac{TD^2}{2L} U_m \sin \omega t$$

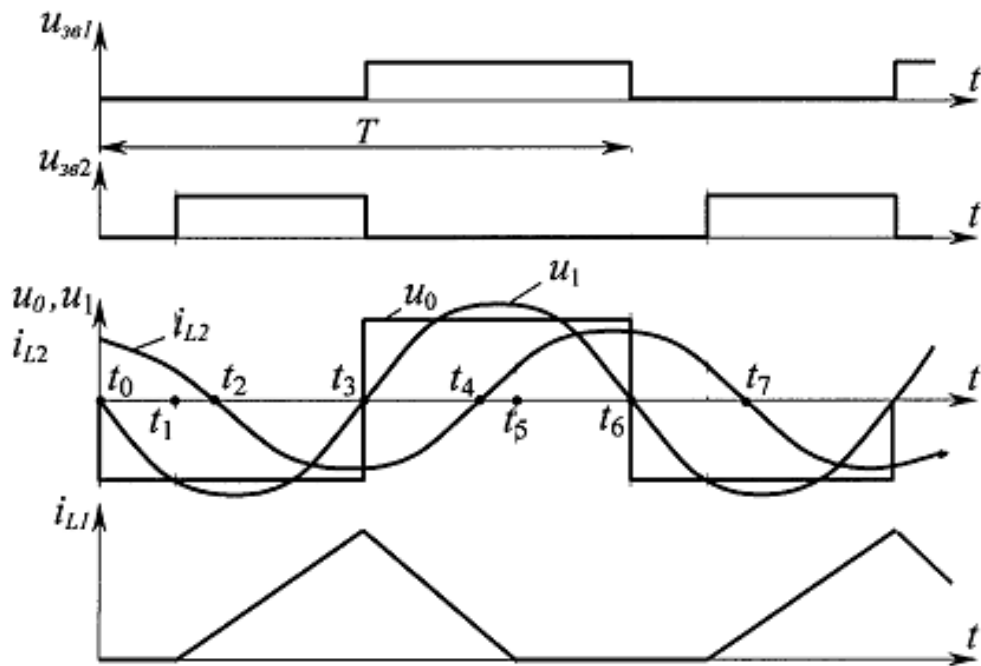
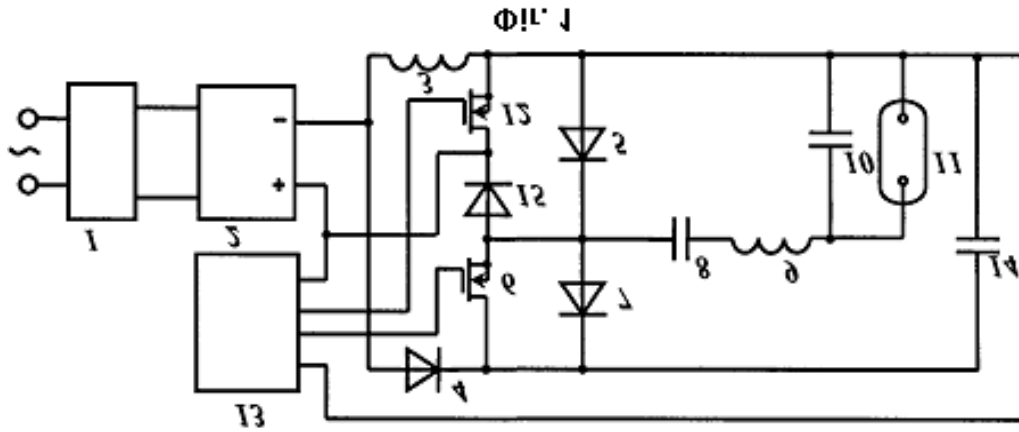
де  $T$  - період високочастотної комутації,  
 $D$  - коефіцієнт заповнення імпульсів керуючої напруги  $u_{зв2}$ ,  
 $L$  - індуктивність першого дроселя 3,  
 $U_m$  - амплітуда напруги мережі живлення,  
 $\omega$  - частота мережі живлення,  
 $t$  - час.

Оскільки форма споживаного струму мережі повторює форму напруги мережі, фазовий зсув між цими напругою і струмом і коефіцієнт гармонік струму практично близькі до нуля, то даний однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності має коефіцієнт потужності близький до одиниці.

Третій діод 15 усуває безпосередній зв'язок третього конденсатора 14 з випрямлячем 2, коли його миттєва напруга є вищою за напругу цього конденсатора.

Відповідним вибором коефіцієнта заповнення  $D$  можна встановити напругу на третьому конденсаторі 14 меншою від амплітуди напруги мережі, тобто зменшити перенапруги на компонентах апарата, що підвищує його надійність в порівнянні з прототипом.

Таким чином, в запропонованому однокаскадному електронному пускорегулювальному апараті з коректором коефіцієнта потужності досягнуто майже синусоїдної форми струму мережі живлення та підвищення його надійності.



Фиг. 2