



УКРАЇНА

(19) UA (11) 14247 (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) u200509674

(22) 14.10.2005

(24) 15.05.2006

(46) 15.05.2006, Бюл. № 5, 2006 р.

(72) Лупенко Анатолій Миколайович, Великий Віктор Іванович

(73) ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

(57) Однокаскадний електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності, що містить перший, другий, третій та четвертий транзистори, до кожного з яких відповідно під'єднані перший, другий, третій та четвертий діоди, анодом - до витоку, а катодом - до стоку, причому стоки першого і третього транзисторів з'єднані через перший конденсатор із витоками

третього і четвертого транзисторів та спільною шиною, а з'єднання витоку першого транзистора з стоком другого транзистора та катодом п'ятого діода через перший дросель, другий конденсатор, розрядну лампу, зашунтовану третім конденсатором, підключено до витоку третього транзистора та стоку четвертого транзистора, при цьому затвори першого, другого, третього та четвертого транзисторів підключені до відповідних виходів блока керування, а анод п'ятого діода зв'язано з плюсом випрямляча, мінус якого зв'язано з спільною шиною, який **відрізняється** тим, що апарат оснащений третім дроселем і шостим діодом, катод якого з'єднано з витоком третього транзистора, а його анод через третій дросель підключено до плюса випрямляча.

Корисна модель відноситься до електротехнічної та світлотехнічної галузей.

Відомий пристрій [див. T.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 регульовані каскади (активний коректор коефіцієнта потужності та високочастотний інвертор), випрямляч, згладжувальний фільтр та блок керування.

Даному пристрою притаманні такі недоліки: високочастотний інвертор виконаний по напівмостовій схемі, яка забезпечує меншу потужність в лампі в порівнянні з мостовою схемою. 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.

З точки зору забезпечення максимальної потужності в лампі доцільніше використовувати електронний пускорегулювальний апарат з коректором коефіцієнта потужності, високочастотний інвертор якого виконано за мостовою схемою [див. B.R. Lin., Y.C. Chou. Dimming control of metal halide lamp with high power factor. // Proceeding of IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE'99), Slovenia, 1999, pp. 590-594]. Однак перетворення енергії в ньому також здійснюється двома послідовно ввімкненими каскадами, а саме, активним коректором коефіцієнта потужності та інвертором. Тому він також має такі ж недоліки, як і попередній пристрій.

Найбільш близьким до пропонованого є електронний пускорегулювальний апарат [див. F.J. Martin, C.B. Viejo, J.C.A. Anton, M.A.P. Garsia, M. Rico-Secades, I.M. Alonso. Analysis and Design of High Power Factor, Single-Stage Electronic Ballast for High-Intensity Discharge Lamps. // IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No.2, 2003, pp. 558-569], що містить перший, другий, третій та четвертий транзистори, до кожного з яких відповідно під'єднані перший, другий, третій та четвертий діоди, анодом - до витоку, а катодом - до стоку, причому стоки першого і третього тран-

UA (11) 14247 (13) U

зисторів з'єднані через перший конденсатор із витоками третього і четвертого транзисторів та спільною шиною, а з'єднання витоку першого транзистора з стоком другого транзистора та катодом п'ятого діода через перший дросель, другий конденсатор, розрядну лампу, зашунтовану третім конденсатором, підключено до витоку третього транзистора та стоку четвертого транзистора, при цьому затвори першого, другого, третього та четвертого транзисторів підключені до відповідних виходів блока керування, а анод п'ятого діода зв'язано з плюсом випрямляча, мінус якого зв'язано з спільною шиною.

Проте через транзистор вузла корекції коефіцієнта потужності протікають великі струми, що спричинює значні втрати потужності в ньому, що знижує коефіцієнт корисної дії апарата. Крім того, пристрій має високий рівень високочастотних пульсацій, що підвищує вимоги до вхідного мережевого фільтра.

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищення коефіцієнта корисної дії однокаскадного електронного пускорегулювального апарата та зменшення рівня його високочастотних пульсацій шляхом побудови однокаскадного електронного пускорегулювального апарата, що містить мостовий інвертор, утворений першим, другим, третім та четвертим транзисторами, до кожного з яких відповідно під'єднані перший, другий, третій та четвертий діоди, анодом - до витоку, а катодом - до стоку, причому стоки першого і третього транзисторів з'єднані через перший конденсатор із витоками третього і четвертого транзисторів та спільною шиною, а з'єднання витоку першого транзистора з стоком другого транзистора та катодом п'ятого діода через перший дросель, другий конденсатор, розрядну лампу, зашунтовану третім конденсатором, підключено до витоку третього транзистора та стоку четвертого транзистора, при цьому затвори першого, другого, третього та четвертого транзисторів підключені до відповідних виходів блока керування, а анод п'ятого діода через другий дросель зв'язано з плюсом випрямляча, мінус якого зв'язано з спільною шиною, який відрізняється тим, що апарат оснащений третім дроселем і шостим діодом, катод якого з'єднано з витоком третього транзистора, а його анод через третій дросель підключено до плюса випрямляча.

На фіг.1 наведена електрична схема однокаскадного електронного пускорегулювального апарата з коректором коефіцієнта потужності (в подальшому - апарата). На фіг.2 наведено осцилограми роботи апарата. На фіг.3 наведено топологію станів апарата.

Апарат складається з першого, другого, третього та четвертого транзисторів 1, 2, 3 і 4, до кожного з яких відповідно під'єднані відповідно перший, другий, третій і четвертий діоди 5, 6, 7 і 8, анодом - до витоку, а катодом - до стоку, та з першого конденсатора 9, п'ятого діода 10, першого дроселя 11, другого конденсатора 12, розрядної лампи 13, третього конденсатора 14, блока керування 15, другого дроселя 16, випрямляча 17, третього дроселя 18 та шостого діода 19.

Стоки першого і третього транзисторів 1 і 3 з'єднані через перший конденсатор 9 з витоками

третього і четвертого транзисторів 3 і 4 та з спільною шиною. З'єднання витоку першого транзистора 1 з стоком другого транзистора 2 та катодом п'ятого діода 10 через перший дросель 11 другий конденсатор 12, розрядну лампу 13, зашунтовану третім конденсатором 14, підключено до витоку третього транзистора 3, стоку четвертого транзистора 4 та катоду шостого діода 19, анод якого через третій дросель 18 зв'язаний з додатнім полюсом випрямляча 17 і другим дроселем 16, інший вивід якого підключено до анода п'ятого діода 10. Мінус випрямляча під'єднано до спільної шини. Виходи блока керування 15 під'єднано відповідно до затворів першого, другого, третього і четвертого транзисторів 1, 2, 3, 4.

Апарат об'єднує в собі три функціональні вузли: 1) мостовий інвертор, утворений чотирма транзисторами 1, 2, 3, 4 та чотирма діодами 5, 6, 7, 8; 2) резонансний контур, утворений першим дроселем 1, другим і третім конденсаторами 12 і 14, який навантажений на розрядну лампу 13; 3) два високочастотні підвищувальні перетворювачі постійної напруги, перший з яких складається з другого дроселя 16, п'ятого діода 10, другого транзистора 2 і першого діода 5, а другий - з третього дроселя 18, шостого діода 19, четвертого транзистора 4 і третього діода 7.

Роботою апарата керує блок керування 15. Живлення апарата здійснюється від мережі промислової частоти за допомогою випрямляча 17.

На мостовий інвертор подається напруга першого конденсатора 9. Підтримання напруги на цьому конденсаторі забезпечується високочастотним підвищувальним перетворювачем постійної напруги.

Апарат працює наступним чином.

Принцип роботи апарата полягає в формуванні високочастотних прямокутних імпульсів з регульованою тривалістю, які подаються на резонансний контур, складений з першого дроселя 11, другого конденсатора 12 та розрядної лампи 13, зашунтованої третім конденсатором 14. Для формування майже синусоїдного струму, споживаного апаратом від мережі промислової частоти, використовуються два по чергово працюючі підвищувальні перетворювачі постійної напруги. Почерговість в роботі таких перетворювачів забезпечує зменшення струмів, що протікають через комутуючі другий і четвертий транзистори 2 і 4 від мережі через випрямляч, в два рази.

Високочастотний мостовий інвертор подає високочастотні прямокутні імпульси на резонансний контур, утворений першим дроселем 11, другим та третім конденсаторами 12 і 14, який навантажений на розрядну лампу 13. Для забезпечення малих комутаційних втрат робоча частота повторення імпульсів є дещо вищою за частоту послідовного резонансу резонансного контуру. Це забезпечує комутацію транзисторів при майже нульовій напрузі на них.

На осцилограмах роботи апарата, які пояснюють принцип його роботи (фіг.2) показано:

- осцилограми керуючих напруг між затворами і витоками першого, другого, третього та четвертого транзисторів 1, 2, 3 та 4, які формуються блоком керування 15 (відповідно  $U_{зв1}$ ,  $U_{зв2}$ ,  $U_{зв3}$  та  $U_{зв4}$ );

- осцилограма вихідної напруги  $u_{ав}$  мостового інвертора;

- осцилограми струмів  $i_{L2}$  та  $i_{L3}$  другого та третього дроселів 2 і 3.

- осцилограми вихідної напруги  $u_{ав}$  мостового інвертора, її першої гармоніки  $u_1$ , та струму першої гармоніки резонансного контуру  $i_{L1}$ .

На осцилограмах позначено: T - період височастотної комутації мостового інвертора; D - коефіцієнт заповнення вихідних імпульсів мостового інвертора.

Впродовж кожного періоду височастотної комутації апарат має вісім послідовно розташованих станів (часових інтервалів). Ці стани наведені на рис. 3. Жирними лініями показано шлях протікання струму в колах інвертора в кожному з станів, а пунктирними - в колах височастотних підвищувальних перетворювачів постійної напруги. Напрямки протікання струмів вказано стрілками біля дроселів 11, 16, 18.

Перший стан (фіг.3) відповідає часовому інтервалу ( $t_0 \pm t_1$ ), починається в момент часу  $t_0$  проходження першої гармоніки струму резонансного контуру через нуль (фіг.2). Струм протікає від плюса першого конденсатора 9 через відкритий перший транзистор 1, перший дросель 11, другий конденсатор 12, паралельне з'єднання третього конденсатора 14 та розрядної лампи 13, відкритий четвертий транзистор 4 до мінуса першого конденсатора 9. Енергія від цього конденсатора передається в резонансний контур і відповідно в розрядну лампу 13. Одночасно від плюса випрямляча 17 протікає струм через третій дросель 18, шостий діод 19, відкритий четвертий транзистор 4 до мінуса випрямляча. Цей струм наростає практично за лінійним законом, в результаті чого в третьому дроселі 19 нагромаджується енергія.

Цей стан завершується після закривання четвертого транзистора 4 в момент часу  $t_1$ .

Другий стан (фіг.4), що відповідає часовому інтервалу ( $t_1 \pm t_2$ ), починається в момент  $t_1$  після завершення першого стану. Струм першого дроселя 11, не змінюючи свого напрямку протікає через другий конденсатор 12, паралельне з'єднання третього конденсатора 14 та розрядної лампи 13, третій діод 7, та відкритий перший транзистор 1. Струм розрядної лампи 13 підтримується енергією, накопиченою в реактивних елементах резонансного контуру. Одночасно струм в третьому дроселі 18 зменшується, протікаючи від плюса випрямляча 17 через шостий та третій діоди 7 і 18, перший конденсатор 9 до мінуса випрямляча 17.

Стан завершується в момент часу  $t_2$ , коли струм третього дроселя досягає нуля.

Третій стан (фіг.5), що відповідає часовому інтервалу ( $t_2 \pm t_3$ ), відрізняється від другого стану тим, що струм третього дроселя 18 дорівнює нулю.

Четвертий стан (фіг.6), що відповідає часовому інтервалу ( $t_3 \pm t_4$ ), починається в момент часу  $t_3$  відкриванням другого і третього транзисторів 2 і 3. Струм першого дроселя 11, не змінюючи свого напрямку, протікає через другий конденсатор 12, паралельне з'єднання третього конденсатора 14 та розрядної лампи 13, третій діод 7, перший кон-

денсатор 9, другий діод 6, досягаючи нуля в момент часу  $t_4$ , завершуючи цей інтервал.

Через другий дросель 16 починає протікати струм, зростаючи майже за лінійним законом: від плюса випрямляча 17 через другий дросель 16, п'ятий діод 10, другий транзистор 2 до мінуса випрямляча 17. До резонансного контуру прикладено імпульс від'ємної напруги мостового інвертора.

П'ятий стан (фіг.7) відповідає часовому інтервалу ( $t_4 \pm t_5$ ). На цьому інтервалі струм першого дроселя 11 змінює свій напрям на протилежний. Цей струм тече від плюса першого конденсатора 9 через відкритий третій транзистор 3, паралельне з'єднання третього конденсатора 14 та розрядної лампи 13, другий конденсатор 12, перший дросель 11, відкритий другий транзистор 2 до мінуса першого конденсатора 9. Енергія від конденсатора передається в резонансний контур. Через другий дросель 16 протікає струм, зростаючи лінійно, як і в четвертому стані. Цей стан завершується закриванням другого транзистора 2.

Шостий стан (фіг.8) відповідає часовому інтервалу ( $t_5 \pm t_6$ ). Струм першого дроселя 11 протікає через перший діод 5, третій транзистор 3, паралельне з'єднання третього конденсатора 14 та розрядної лампи 13 і другий конденсатор 12. Струм другого дроселя 16 лінійно спадає, протікаючи по колу: плюс випрямляча 17, другий дросель 16, п'ятий та перший діоди 10 та 5, перший конденсатор 9, мінус випрямляча 17. В момент часу  $t_6$  цей струм досягає нуля.

Сьомий стан (фіг.9), що відповідає часовому інтервалу ( $t_6 \pm t_7$ ), відрізняється від шостого стану тим, що струм другого дроселя 16 дорівнює нулю.

Восьмий стан (фіг.10) відповідає часовому інтервалу ( $t_7 \pm t_8$ ) і починається в момент відкривання першого і четвертого транзисторів 1 і 4. Струм першого дроселя 11 протікає через перший діод 5, перший конденсатор 9, четвертий діод 8, паралельне з'єднання розрядної лампи 13 і третього конденсатора 14, другий конденсатор 12.

Через третій дросель 18 починає протікати струм, зростаючи майже за лінійним законом: від плюса випрямляча через третій дросель 18, шостий діод 19, четвертий транзистор 4 до мінуса випрямляча. До резонансного контуру прикладається імпульс додатної напруги мостового інвертора.

В кінці восьмого стану струм першого дроселя 11 досягає нуля, завершуючи черговий період роботи апарата.

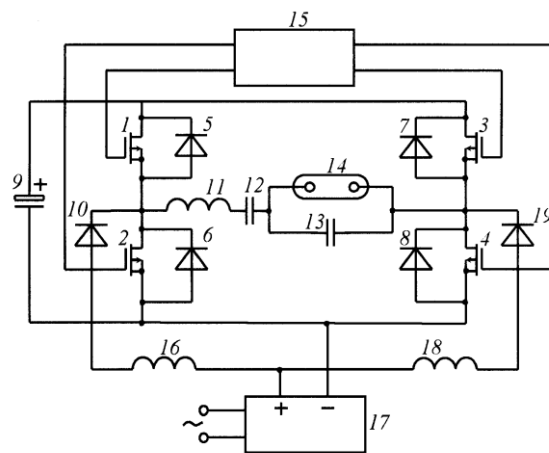
Тривалості керуючих сигналів  $u_{3B2}$  і  $u_{3B4}$  визначають інтервали відкритих станів другого і третього транзисторів 2 і 4 відповідно ( $t_0 \pm t_1$ ) і ( $t_3 \pm t_5$ ). Ці інтервали є регульованими, вони забезпечують накопичення енергії в другому та третьому дроселях 16 і 18 на рівні, необхідному для підтримання напруги на першому конденсаторі 9 в заданих межах. Одночасно ці інтервали впливають на коефіцієнт заповнення імпульсів напруги  $u_{ав}$  мостового інвертора. Таким чином, при регулюванні потужності лампи відбувається одночасно відповідне дозування енергії, що відбирається від випрямляча, що усуває перенапруги в схемі апарата. Тривалість імпульсів напруги мостового інвертора визначається тривалістю керуючих імпульсів  $u_{3B2}$  або  $u_{3B4}$ .

Використання двох по чергово працюючих високочастотних перетворювачів постійної напруги розподіляє струм споживаний від випрямляча 17 між двома комутуючими другим і четвертим транзисторами 2 і 4 порівну. Тобто, на відміну від прототипа, в якому використовується один комутувальний транзистор, через який протікає весь струм, споживаний від випрямляча, в пропонованому апараті струми, що протікають від випрямляча через комутуючі транзистори, зменшується в два рази. Тому кондуктивні втрати кожного з транзисторів зменшуються відповідно в чотири рази, а сумарні кондуктивні втрати за рахунок протікання струмів від випрямляча - в два рази. Тому коефіцієнт корисної дії пропонованого апарата буде вищим ніж в прототипа. Крім того, зменшуються вимоги по струму до комутуючих другого та четвертого транзисторів 2 і 4.

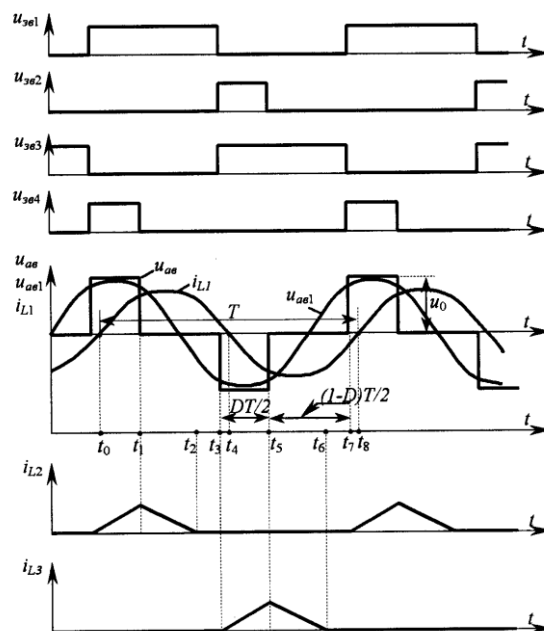
Одночасно, по черговість в роботі двох високочастотних перетворювачів постійної напруги зменшує рівень пульсацій струму, споживаного від мережі, що зменшує вимоги до характеристик високочастотного фільтра, який вмикається на вході випрямляча в апаратах такого типу.

П'ятий та шостий діоди 10 і 19 забезпечують роботу високочастотного підвищувального перетворювача в режимі переривчастих струмів дроселів, що дозволяє без допомоги активних коректорів коефіцієнта потужності сформувати майже синусоїдний струм, споживаний від мережі (див. прототип).

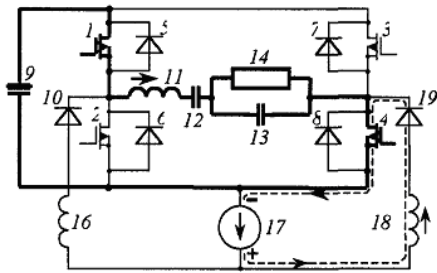
Таким чином, в пропонованому однокаскадному електронному пускорегульовальному апараті з корекцією форми споживаного струму досягнути підвищення коефіцієнта корисної дії та зменшення високочастотних пульсацій споживаного струму.



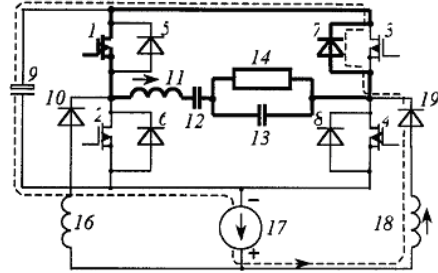
Фиг. 1



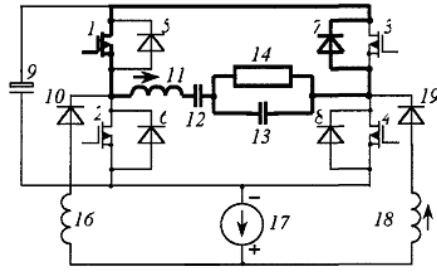
Фиг. 2



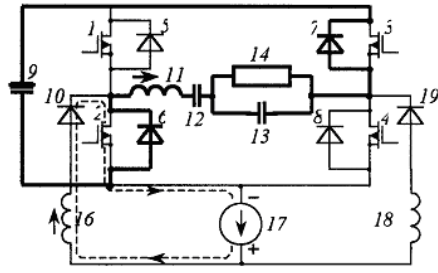
Φir.3



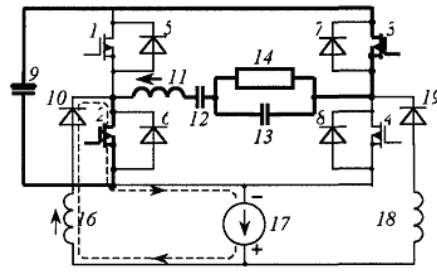
Φir.4



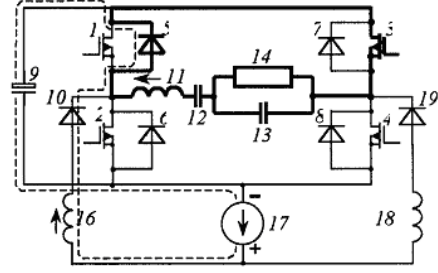
Φir.5



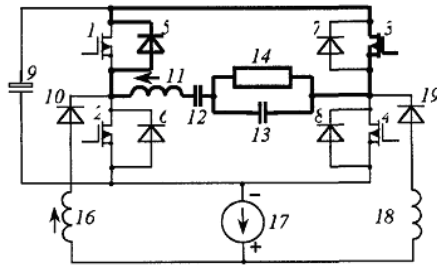
Φir.6



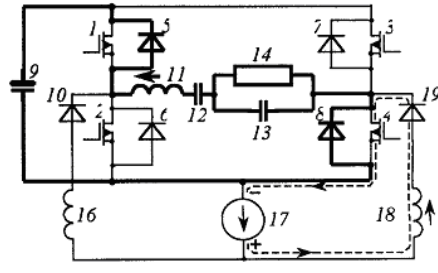
Φir.7



Φir.8



Φir.9



Φir.10