

Корисна модель відноситься до електротехнічної та світлотехнічної галузей.

Відомий пристрій [див. Т.Т. 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), мостовий випрямляч, згладжувальний фільтр та блок керування.

Даному пристрою притаманні наступні недоліки:

1) в процесі експлуатації розрядної лампи високого тиску її опір зростає майже в два рази, що призводить до виходу її режиму роботи поза межі області допустимої потужності, що обумовлює зменшення терміну її експлуатації та зміни світлового потоку відносно його допустимих границь;

2) при високочастотному живленні розрядної лампи високого тиску в ній може виникати шкідливе явище акустичного резонансу (АР). Це явище пов'язане із високочастотною пульсацією потужності, що підводиться до розрядної лампи високого тиску. Якщо частота пульсацій потужності або її гармоніки зівпадають з власними частотами розрядної лампи і при цьому потужність ВЧ пульсацій перевищує певне порогове значення, в плазмі розрядної трубки лампи утворюються стоячі хвилі. Вони породжують ряд серйозних проблем, а саме: нестабільність розрядної дуги, флюктуації світлового потоку, варіації кольорової температури і навіть погасання розряду. В гіршому випадку можливе руйнування розрядної трубки. Власні частоти залежать від геометрії лампи, її наповнення. Частоти АР лежать в межах від декількох кілогерц до декількох сотень кілогерц в залежності від типу лампи, моди коливання і зазнають змін в процесі експлуатації лампи.

Для забезпечення роботи розрядної лампи високого тиску в області допустимих значень потужності лампи можна скористатись підходом, що базується на оптимізації параметрів коливної системи вихідного каскаду пристрою [див. А. Лупенко. Оптимізація параметрів електронного пускорегульовального апарата для натрієвих ламп високого тиску // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2006, том 11, №4, с.103-108]. Проте даний підхід не дозволяє усунути акустичний резонанс.

Для усунення акустичного резонансу доцільнішим є використання електронного пускорегулюючого апарата з модуляцією робочої його частоти білим шумом [див. L. Laskai, P.N. Enjeti, I.J. Pitel. "White-Noise Modulation of High-Frequency High-Intensity Discharge Lamp Ballasts" //IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, No, 3, 1998, pp.597-604]. Проте такого роду пристрої мають недоліки, які пов'язані із складністю схмотехнічної реалізації, обумовленою додатковим шумовим модулятором. Крім того, шумова модуляція не може в повній мірі гарантувати усунення акустичного резонансу та забезпечення стабільності світлового потоку лампи при її старінні.

Найбільш близьким до пропонуваного є пристрій [див. Деклараційний патент на корисну модель №14247. Оубл. 15.05.2006, Бюл. №5], який містить випрямляч, блок керування, 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, а затвори транзисторів відповідно під'єднані до першого, другого, третього та четвертого виходів блока керування, послідовне з'єднання дроселя з паралельно ввімкненими розрядною лампою та конденсатором, яке під'єднане між з'єднанням витоку та стоку відповідно першого та другого транзисторів та з'єднанням витоку та стоку відповідно третього та четвертого транзисторів.

Проте даний пристрій не усуває акустичного резонансу в розрядних лампах високого тиску.

В основу корисної моделі поставлено задачі забезпечення роботи розрядної лампи високого тиску в області її допустимої потужності впродовж всього терміну експлуатації, регулювання світлового потоку розрядної лампи та усунення акустичного резонансу шляхом побудови електронного пускорегульовального апарата розрядних ламп високого тиску, який містить випрямляч, блок керування, 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, а затвори транзисторів відповідно під'єднані до першого, другого, третього та четвертого виходів блока керування, послідовне з'єднання дроселя з паралельно ввімкненими розрядною лампою та конденсатором, яке під'єднане між з'єднанням витоку та стоку відповідно першого та другого транзисторів та з'єднанням витоку та стоку відповідно третього та четвертого транзисторів, причому апарат оснащений давачем струму, першим та другим фільтрами, входом керування, схемою віднімання, підсилювачем, широтно-імпульсним модулятором та коректором коефіцієнта потужності, який через каскадно включені випрямляч та перший фільтр під'єднано до промислової мережі, причому стоки першого і третього транзисторів з'єднані з плюсовою вихідною шиною коректора коефіцієнта потужності, а витоки другого та четвертого транзисторів - з його мінусовою вихідною шиною, в яку ввімкнено давач струму, зв'язаний з першим входом блока керування та через другий фільтр - з від'ємним входом схеми віднімання, додатний вхід якої підключено до входу керування, а її вихід через послідовно ввімкнені підсилювач і широтно-імпульсний модулятор підключено до другого входу блока керування.

На Фіг.1 наведена структурна схема електронного пускорегульовального апарата; на Фіг.2 - часові діаграми імпульсів напруги затвор-витік першого, другого, третього і четвертого транзисторів 1, 2, 3 і 4 $U_{зв1}$, $U_{зв2}$, $U_{зв3}$, і $U_{зв4}$, які знімаються з відповідних виходів блока керування 21; на Фіг.3 і 4 - відповідно топології „додатного” і „від'ємного” перетворювачів постійної напруги; на Фіг.5 і 6 - часові діаграми імпульсів напруг затвор-витік першого, другого, третього і четвертого транзисторів 1, 2, 3 і 4 $U_{зв1}$, $U_{зв2}$, $U_{зв3}$, і $U_{зв4}$, та миттєвого струму і дроселя 9 і миттєвого вихідного струму i_0 коректора коефіцієнта потужності 14; на Фіг.7 - низькочастотні прямокутні імпульси струму i_1 розрядної лампи 10; на Фіг.8 - структурна схема системи стабілізації заданого рівня потужності розрядної лампи 10.

Апарат складається з першого, другого, третього та четвертого транзисторів 1, 2, 3 і 4, до кожного з яких відповідно під'єднані перший, другий, третій і четвертий діоди 5, 6, 7 і 8, анодом - до витоку, а катодом - до стоку, та з дроселя 9, розрядної лампи 10, конденсатора 11, першого фільтра 12, випрямляча 13, коректора коефіцієнта потужності (ККП) 14, давача струму 15, другого фільтра 16, входу керування 17, схеми віднімання 18, підсилювача 19, широтно-імпульсного модулятора (ШИМ) 20, та блока керування 21.

Стоки першого і третього транзисторів 1 і 3 з'єднані з вихідною додатною шиною ККП 14, а витоки другого і четвертого транзисторів 2 і 4 - з вихідною від'ємною шиною ККП 14, в яку ввімкнено давач струму 15, зв'язаний з першим входом блока керування 21 та через другий фільтр 16 - з від'ємним входом схеми віднімання 18, додатний вхід якої підключено до входу керування 17, а її вихід через послідовно ввімкнені підсилювач 19 і (ШІМ) 20 підключено до другого входу блока керування 21. З'єднання витоку першого транзистора 1 з стоком другого транзистора 2 через дросель 9 та розрядну лампу 10, зашунтовану конденсатором 11, підключено до витоку третього транзистора 3 та стоку четвертого транзистора 4. Коректор коефіцієнта потужності (ККП) 14 через каскадно включені випрямляч 13 та перший фільтр 12 під'єднано до промислової мережі.

Апарат працює наступним чином.

Низькочастотний перший фільтр 12, випрямляч 13 та ККП 14 забезпечують формування практично синусоїдного струму, споживаного від промислової мережі, з коефіцієнтом потужності близьким до одиниці, а також перетворення змінної напруги промислової мережі живлення в стабілізовану постійну напругу на виході ККП 14.

Блок керування 21 керує роботою розрядної лампи 10 в трьох її режимах роботи: 1) запалювання, 2) розгорання та 3) горіння, причому потужність лампи в режимі горіння підтримується сталою на рівні, який задається за допомогою напруги на вході керування 17.

В режимах запалювання та розгорання перший, другий, третій і четвертий транзистори 1, 2, 3 і 4 з відповідними діодами 5, 6, 7 і 8 утворюють резонансний мостовий інвертор з послідовним коливним контуром, що складається з дроселя 9, конденсатора 11 та розрядної лампи 10. В режимі горіння ці вузли реконфігуруються, утворюючи два по чергово працюючі понижувальні перетворювачі постійної напруги, які забезпечують живлення розрядної лампи 10 низькочастотними імпульсами стабільного струму.

В режимах запалювання і розгорання резонансний мостовий інвертор працює за традиційним алгоритмом. При цьому блок керування 21 по чергово подає керуючі прямокутні імпульси на затвори першого і третього транзисторів 1 і 3 а потім на затвори другого і четвертого транзисторів 2 і 4 відносно їх витоків (відповідно $u_{зв1}$, $u_{зв2}$, $u_{зв3}$, і $u_{зв4}$ на Фіг.2). Ці керуючі високочастотні імпульси мають коефіцієнт заповнення D трохи менший від 0,5. За рахунок такої комутації з „горизонтальною“ діагоналлю транзисторного моста до коливного контура прикладено прямокутні імпульси інвертора з амплітудою U_0 , яка дорівнює вихідній напрузі ККП 14. Резонансний LC-контур виділяє першу гармоніку прямокутних імпульсів. Невелика часова затримка t_d між імпульсами керування "верхніх" транзисторів 1 і 3 і "нижніх" транзисторів 2 і 4 забезпечує комутацію цих транзисторів при нульовій напрузі на них, забезпечуючи малі комутаційні втрати. Одночасно для забезпечення комутації транзисторів при нульовій напрузі

на них частота комутації інвертора не повинна досягати значень менших від резонансної частоти $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ненавантаженого коливного LC-контура, де L - індуктивність дроселя 9, C - ємність конденсатора 11.

Режим запалювання апарата – резонансний. Блок керування забезпечує "м'яке" запалювання розрядної лампи шляхом плавного зменшення частоти ω_p комутації мостового резонансного інвертора від максимальної (наприклад, 70кГц) до резонансної частоти ω_0 (наприклад, 20кГц). Опір розрядної лампи до її запалювання є великим, тому добротність коливного контура до запалювання є високою. При наближенні частоти комутації ω_p до резонансної частоти ω_0 напруга на розрядній лампі 10 зростає в силу резонансних властивостей послідовного коливного контура, досягає напруги запалювання розрядної лампи, лампа запалюється, і через неї починає протікати струм. Оскільки початкова частота комутації в режимі запалювання є високою і плавно зменшується, через міжелектродний проміжок лампи протікає ємнісний струм, який сприяє зменшенню напруги запалювання лампи. Стрибок струму через лампу після її запалювання створює на виході давача струму 15 напругу, яка перемикає блок керування 21 на роботу в режимі розгорання.

Якщо запалювання розрядної лампи не відбулося, блок керування повторює процедуру режиму запалювання. Якщо ж після n процедур режиму запалювання ($n = 10 \div 20$) то блок керування фіксує аварійний режим.

В режимі розгорання мостовий інвертор працює також як резонансний інвертор. Після завершення режиму розгорання, тривалість якого залежить від типу розрядної лампи 10 і програмується в блоці керування 21, блок керування 21 перемикає апарат на режим горіння.

В режимі горіння розрядна лампа 10 живиться низькочастотними прямокутними імпульсами струму з частотою, наприклад, 200-400Гц [див. А.М. Лупенко. Високочастотний електронний пускорегулюючий апарат для живлення розрядних ламп низькочастотними прямокутними імпульсами струму.// Технічна електродинаміка, 2006, №1, с.39-44]. Завдяки такому живленню розрядної лампи миттєва потужність розрядної лампи 10 є практично сталою з невеликими пульсаціями, які є недостатніми для збудження акустичного резонансу. Зміна напрямку протікання струму відбувається практично стрибкоподібно за час менший від часів релаксації, що усуває низькочастотні пульсації світлового потоку.

Для формування низькочастотних прямокутних імпульсів струму розрядної лампи 10 блок керування змінює порядок комутації транзисторів 1÷4, в результаті чого замість топології мостового інвертора по чергово змінюють одна одну топологія „додатного“ понижувального перетворювача постійної напруги (ДППН), яка наведена на Фіг.3, та топологія „від'ємного“ понижувального перетворювача постійної напруги (ВППН), яка наведена на Фіг.4.

ДППН (Фіг.3) складається з першого транзистора 1, другого діода 6, дроселя 9, конденсатора 11 та розрядної лампи 10. Для утворення топології ДППН другий і третій транзистори 2 і 3 перебувають в розімкненому стані за рахунок підтримання нульових напруг затвор-витік $u_{зв2}$, $u_{зв3}$, а четвертий транзистор 4 в замкненому стані за рахунок підтримання додатної відкриваючої напруги затвор-витік $u_{зв4}$. Часові діаграми керуючих сигналів затвор-витік $u_{зв1} \div u_{зв4}$ транзисторів 1÷4 для ДППН наведені на Фіг.5.

ВППН (Фіг.4.) складається з третього транзистора 3, четвертого діода 8, дроселя 9, конденсатора 11 та розрядної лампи 10. Для утворення топології ВППН перший і четвертий транзистори 1 і 4 перебувають в розімкненому стані за рахунок підтримання нульових напруг затвор-витік $u_{зв1}$, $u_{зв4}$, а другий транзистор 2 в замкненому стані за рахунок підтримання додатної відкриваючої напруги затвор-витік $u_{зв2}$. Часові діаграми

керуючих сигналів затвор-витік $u_{зв1} \div u_{зв4}$ транзисторів 1-4 для ВППН наведені на Фіг.6.

Обидва ППН працюють з високою частотою комутації першого 1 або третього 3 транзисторів. Під дією керуючого імпульса напруги $u_{зв1}$ ($u_{зв3}$) перший транзистор 1 (третій транзистор 3) перебуває у відкритому стані впродовж часу DT , де T - період комутації (див. Фіг.5, 6). При цьому через дросель 9 протікає майже лінійно зростаючий струм i , який підтримує розряд в розрядній лампі 9, підзаряджає конденсатор 11 накопичує додаткову енергію в дроселі 9. На інтервалі паузи розряд в розрядній лампі 9 підтримується струмом i дроселя 9, який протікає через неї та другий діод 6 (четвертий діод 8), зменшуючись майже за лінійним законом, та струмом розряду конденсатора 11. При цьому дросель 9 працює в режимі неперервного струму з малим рівнем його пульсації. Конденсатор 11 і дросель 9 становлять собою низькочастотний фільтр, який забезпечує малий рівень ВЧ пульсації потужності розрядної лампи.

Якщо високочастотні пульсації потужності не перевищують 4-5% від потужності лампи, то акустичний резонанс не виникає (див. W.Yan, Y.K.E.Ho, S.Y.R. Hui "Investigation of elimination of acoustic resonance in small wattage high-intensity discharge (HID) lamps", IEEE Industry Application Conference, 2000, vol.5, pp. 3399-3406). За цією умови вибираються індуктивність L дроселя 9 і ємність C конденсатора 11 та частота комутації. Індуктивність L та ємність C визначають і резонансну частоту $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ коливного контура.

Таким чином, ДППН живить розрядну лампу 10 струмом i_n одного напрямку, а ВППН - іншого. Періодична низькочастотна зміна топологій забезпечує формування низькочастотних прямокутних імпульсів струму в розрядній лампі i_n (Фіг.7).

Для підтримання потужності лампи в області допустимих значень та керування нею (дімінг, або регулювання світлового потоку лампи) використовується наступний підхід. Оскільки коефіцієнт корисної дії перетворювачів постійної напруги є високим, $\eta = 0,9$ і вище, то втратами в них можна знехтувати і вважати, що практично вся потужність, споживана ними від ККП, передається в лампу. Ця потужність дорівнює $P_0 = U_0 i_0$, де U_0 - вихідна напруга ККП, i_0 - середній струм, споживаний ДППН або ВППН. Вихідна напруга ККП U_0 є стабілізованою, тому для підтримання сталої потужності P_0 в лампі достатньо підтримувати сталим середній струм i_0 .

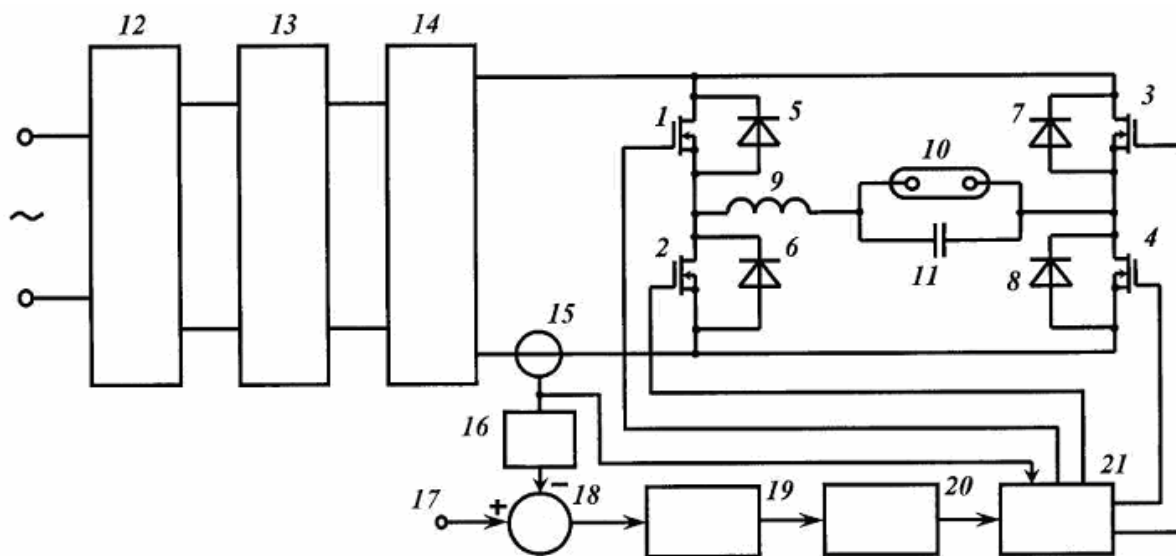
Цю функцію виконує система стабілізації (Фіг.10). До її структури входять давач струму 15, другий фільтр 16, вхід керування 17, схема віднімання 18, підсилювач 19, ШІМ 20, блок керування 21 та вихідний каскад 22, який складається з тих же компонентів, що і вищеописаний мостовий інвертор.

Стабілізація струму живлення ППН здійснюється наступним чином.

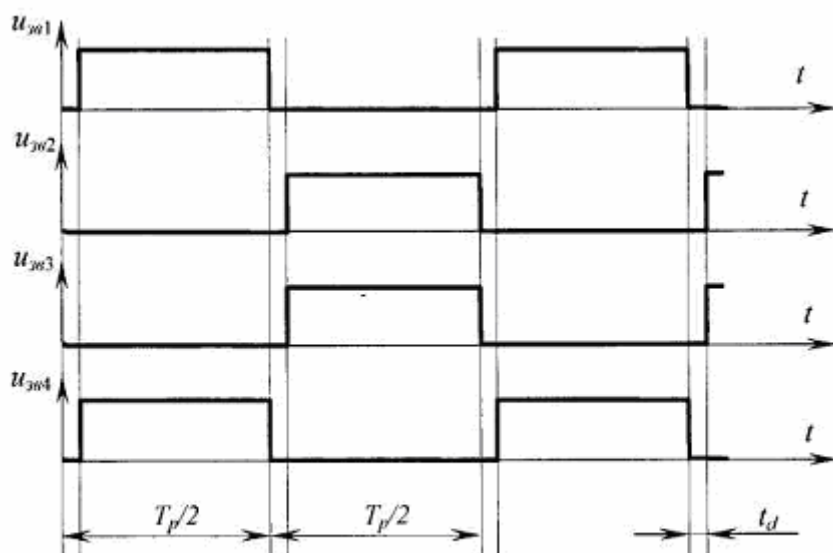
Давач струму 15 формує імпульси напруги, пропорційні до імпульсів вихідного струму i_0 ККП (Фіг.5 і 6). Другий фільтр 16 виділяє постійну складову цих імпульсів. На виході схеми віднімання 18 формується сигнал помилки, який дорівнює різниці між напругою на вході керування 17 і постійною складовою на виході другого фільтра 16. Сигнал помилки підсилюється підсилювачем 19 і перетворюється ШІМ 20 в імпульси, модульовані по ширині з коефіцієнтом заповнення D . Блок керування 21 передає їх на відповідні затвори першого 1 або третього 3 транзисторів.

Якщо середній струм i_0 зменшується за рахунок зростання опору лампи в процесі її старіння або дестабілізуючих факторів, то зменшується і напруга на виході другого фільтра 16, що призводить до збільшення сигналу помилки на виході схеми віднімання 18. Під дією цієї помилки, підсиленої підсилювачем 19, широтно-імпульсний модулятор 20 збільшує ширину імпульсів на своєму виході, які, пройшовши блок керування 21, збільшують час замкненого стану першого транзистора 1 (або третього транзистора 3). Як результат, середній струм i_0 збільшується, повертаючись до значення, яке встановлене сигналом на вході керування 17, тобто стабілізується струм живлення перетворювачів постійної напруги, а отже, і потужність, що споживається розрядною лампою.

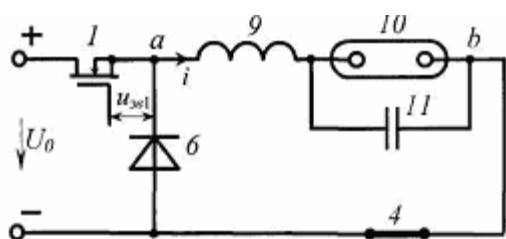
Таким чином завдяки підтриманню сталої потужності, споживаної розрядною лампою, досягнуто того, що режим роботи розрядної лампи не виходить за межі області допустимих значень в процесі всього терміну її експлуатації, завдяки керуванню цим сталим значенням потужності досягнуто регулювання світлового потоку розрядної лампи, а завдяки формуванню низькочастотних прямокутних імпульсів змінного струму розрядної лампи шляхом почергового зустрічного підключення до неї високочастотних понижувальних перетворювачів постійної напруги, які працюють в режимі неперервного струму дроселя, вдалося досягти малої пульсації потужності в розрядній лампі, а отже усунути явище акустичного резонансу в ній.



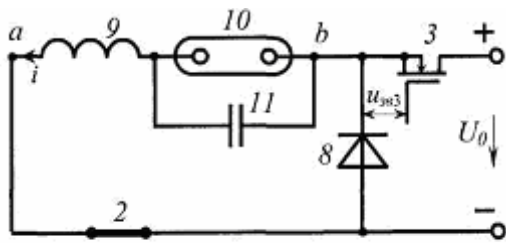
Фиг. 1



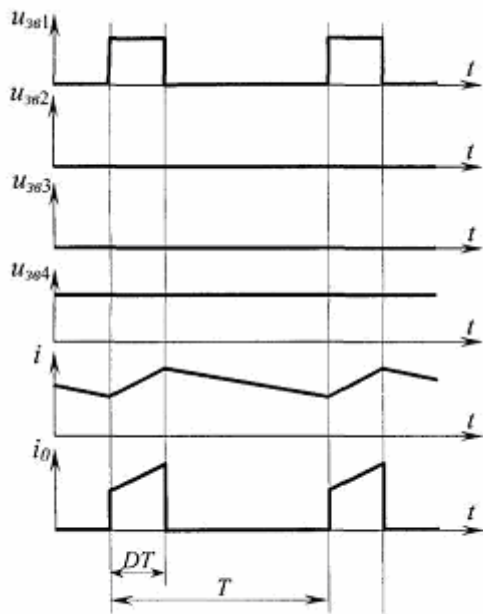
Фиг. 2



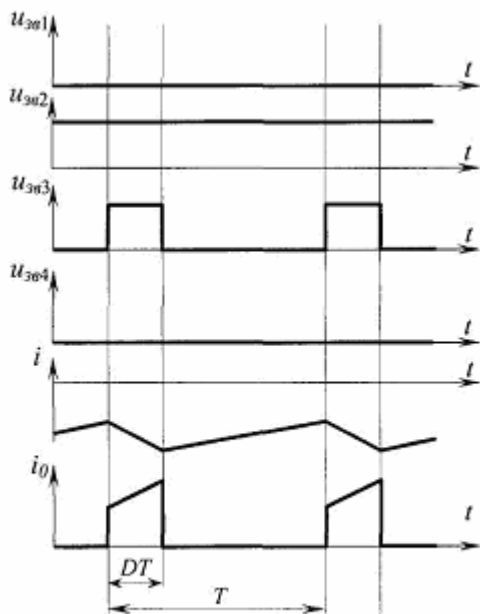
Фиг. 3



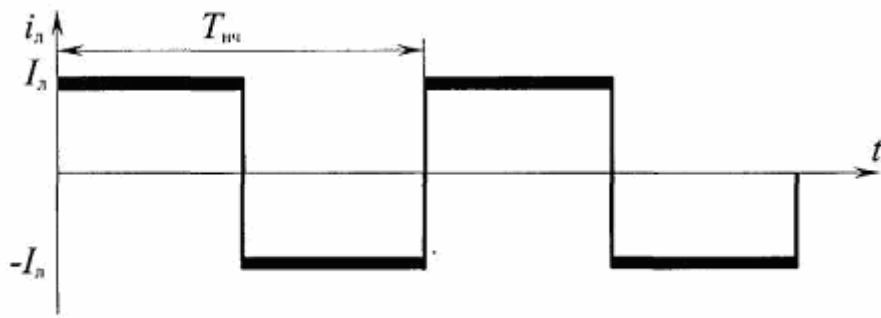
Фиг. 4



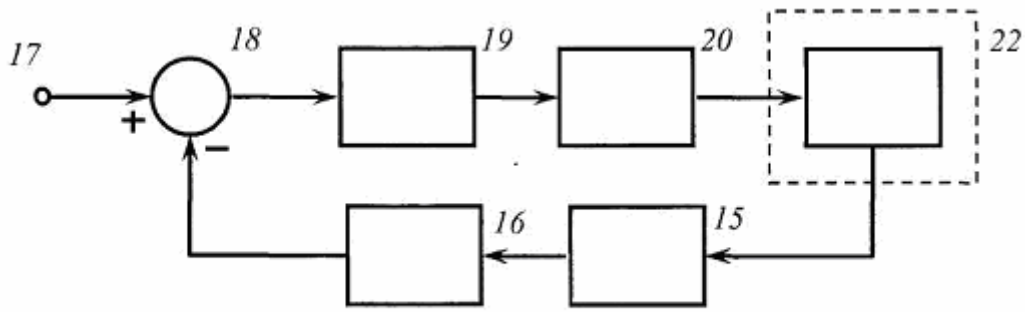
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8