



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 89728

(13) C2

(51) МПК (2009)

H01S 3/09

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ НАКАЧУВАННЯ АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ ЛАЗЕРІВ

1

(21) а200813764

(22) 01.12.2008

(24) 25.02.2010

(46) 25.02.2010, Бюл.№ 4, 2010 р.

(72) ЛЮБИЧ ІРИНА ВОЛОДИМИРІВНА, ДЕНИЩИК
ЮРІЙ СЕРГІЙОВИЧ(73) ДОНБАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(56) Толстой Н.А., Епифанов М.В. О форме импульса света, даваемого импульсной лампой //Оптика и спектроскопия. -1964.- Т.XVI. - Вып. 4. - С.677-683

SU 1507179 A1, 23.09.1987

SU 1646460 A1, 23.08.1988

SU 1075914 A, 05.05.1982

RU 2113750 C1, 20.06.1998

US 4912713, 27.03.1990

(57) 1. Пристрій для накачування активних середовищ лазерів, який містить основний ємнісний накопичувач енергії і формувач імпульсів підпалення, що підключені до імпульсної лампи через струмообмежувальний елемент, наприклад вторинну обмотку вихідного трансформатора формувача імпульсів підпалення, додатковий накопичувач енергії і комутатор, а також зарядний пристрій, з'єднаний з накопичувачами енергії, і пристрій синхронізації, що підключений до формувача імпульсів підпалення і до комутатора, який відрізняється тим, що додатковий накопичувач енергії складається із декількох окремих накопичувачів, в пристрій введені декілька додаткових комутаторів і декілька імпульсних трансформаторів за числом окремих додаткових накопичувачів енергії, кожен із додаткових накопичувачів енергії підключений до ламп через свій комутатор та первинну обмотку одного з імпульсних трансформаторів, вторинні обмотки імпульсних трансформаторів з'єднані послідовно та утворюють з основним накопичувачем енергії, лампою та струмообмежувальним елементом розрядний контур, паралельно кожній вторинній обмотці імпульсних трансформаторів підключені

2

чені напівпровідникові діоди таким чином, що під час замикання комутаторів полярність напруги на вторинних обмотках імпульсних трансформаторів зазираюча для цих діодів, весь ланцюг вторинних обмоток імпульсних трансформаторів при замиканні будь-якого числа комутаторів має таку полярність, що магнітні потоки в сердечниках імпульсних трансформаторів при розряді основного накопичувача енергії і додаткових накопичувачів мають протилежні напрямки, синхронізатор виконаний багатоканальним з числом каналів за ланцюгом комутаторів плюс канал для формувача імпульсів підпалення і, у випадку необхідності, ще один канал для запуску модулятора добротності резонатора лазера, кожен комутатор підключений до окремого каналу синхронізатора і цей резонатор виконаний із забезпеченням можливості регулювання часової затримки між вихідними пульсами цих каналів у межах 40 нс-1 мс.

2. Пристрій для накачування активних середовищ лазерів за п. 1, який відрізняється тим, що обмотки імпульсних трансформаторів можуть бути виконані відрізками коаксіального кабелю, зовнішнє обплетення яких утворює вторинні обмотки, що підключені послідовно до розрядного контуру, а внутрішні центральні проводи утворюють первинні обмотки, що підключені через комутатори до додаткових накопичувачів енергії.

3. Пристрій для накачування активних середовищ лазерів за пп. 1 і 2, який відрізняється тим, що вихідний трансформатор формувача імпульсів підпалення може бути з'єднаний з імпульсними трансформаторами шляхом використання відрізків коаксіального кабелю з трьома проводами, що мають два ізольованих між собою проводи і центральний провід обплетення, по одному обплетенню кожного імпульсного трансформатора з'єднано паралельно з іншими і всі вони підключені до ємнісного накопичувача формувача імпульсів підпалення через його окремий комутатор.

Винахід, що пропонується, мав відношення до лазерної техніки та може бути використаний для накачування активних середовищ оптичних квантових генераторів з модуляцією добротності резонатора і оптичних квантових підсилювачів за допомогою імпульсних ламп. В основному винахід, що пропонується, призначений для застосування при керуванні енергією випромінювання лазера за

(13) C2

(11) 89728

(19) UA

способом по патенту №154, що був виданий автором даної заявки 27.09.2007р.

Відомі пристрої для накачування активних середовищ лазерів, до яких надходять: формувач імпульсів підпалення ламп накачування; накопичувач енергії - ємнісний або у вигляді штучної формуючої лінії, який підключений до ламп безпосередньо або через струмообмежувальний елемент, наприклад, вторинну обмотку трансформатора формувача імпульсів підпалення ламі, зарядний пристрій, що підключений до накопичувача енергії, а також пристрій синхронізації [Б.Р. Белостоцкий, Ю.В. Любавский, В.М. Овчинников. "Основы лазерной техники" Под редакцией А.И. Прохорова. - М. "Советское радио". - 1972. - с.258], [В.В. Валявко, Б.В. Крылов, А.А. Мозго. Устройство управления и питания оптических квантовых генераторов. А.С. №318113 М.Кл². Н01 3/09. Оpubліковано 30.06.78г. Бюл.24].

Зазначені пристрої, практично у всіх випадках, формують аперіодичні або прямокутні оптичні імпульси ламп накачування, що збуджують активне середовище лазера. Але ці форми імпульсів не можна вважати оптимальними за наступними причинами.

Енергетично найбільш ефективний прямокутний імпульс накачування, що дозволяє повністю використовувати енергію, що запасав накопичувач. Але для ламп накачування цей режим не зовсім прийнятний тому, що швидкість наростання струму на фронті прямокутного імпульсу занадто висока і призводить до зменшення строку служби електродів і колби лампи. Енергетична ефективність активного середовища може бути високою, особливо при скороченні імпульсу накачування при незмінній енергії, що підвищує його потужність і зменшує втрати енергії на люмінесценцію та її підсилення за рахунок зменшення часу перебування активного середовища у збудженому стані [Денищик Ю.С. Об оценке влияния режима накачки на эффективность преобразования энергии в трехуровневой активной среде с учетом усиления люминесценции // Журнал прикладной спектроскопии. -19В7. - Т.46, №1. - С.164]. Відзначимо, що потужність імпульсу накачування $P=E/t_i$, де E - відповідно енергія і тривалість цього імпульсу.

Оптичні імпульси накачування, що отримані шляхом аперіодичного розряду ємнісного накопичувача на лампи (експоненціальні) через струмообмежувальний елемент, наприклад, індуктивний, більш прийнятні для ламп щодо збереження електродів і колби. Але частина імпульсу накачування після генерації моноімпульсу лазером не використовується. Енергетична ефективність активного середовища, як і в першому випадку, пропорційна потужності оптичних імпульсів накачування.

На потужність накачування є обмеження, яке міститься в наступному.

При збільшенні потужності електричних імпульсів струму в лампі, наприклад, шляхом їх скорочення при незмінній енергії ємнісного накопичувача, частина спектральних складових оптичних імпульсів переміщується із області поглинання активного середовища в короткохвильову область, гранично - в ультрафіолетову, це призводить до зниження ефективності накачування та збільшен-

ня теплових втрат енергії в активному середовищі [Жильцов В.И., Константинов Б.А., Розанов А.Г., Шукін Л.И. Импульсные лампы накачки // Электронная промышленность. - 1578. - Вып.10 (70). - с.46].

Таким чином, для збільшення енергетичної ефективності активного середовища необхідно застосовувати короткі та потужні імпульси накачування. Але потужність і мінімальна тривалість цих імпульсів обмежені зсувом спектру випромінювання лампи в короткохвильову область. Крім того, для усунення руйнування електродів і колби лампи є доцільним формування пологого фронту. Імпульсу накачування при значних його енергіях і короткого за часом спаду цього імпульсу. Останнє сприяє зменшенню втрат енергії накопичувача після генерації моноімпульсу лазера.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу є пристрій для формування оптичних імпульсів з пологим фронтом і крутим спадом Н.А. Толстой, М.В. Епифанов. О форме импульса света, даваемого импульсной лампой. // Ж. "Оптика и спектроскопия". - 1964. - Т.16, вып.4. - С.677-683.

До цього пристрою надходять: основний ємнісний накопичувач енергії і формувач імпульсів підпалення, що підключені до імпульсної лампи через струмообмежувальний елемент, наприклад, вторинну обмотку вихідного трансформатора формувача імпульсів підпалення; додатковий накопичувач енергії і комутатор, яким може бути ще одна лампа; зарядний пристрій, що поєднаний з накопичувачами енергії; пристрій синхронізації, який підключений до формувача імпульсів підпалення і до комутатора.

У цьому пристрої під час зменшення інтенсивності оптичного імпульсу накачування і струму в лампі при експоненціальному розряді на неї основного ємнісного накопичувача енергії від пристрою синхронізації запускається комутатор, і додатковий накопичувач енергії підключається паралельно до лампи. При цьому додатковий накопичувач енергії підключається до лампи з полярністю, яка протилежна полярності падіння напруги в ній від струму розряду основного накопичувача. Це призводить до припинення струму - через лампу, і до її погасання. Таким чином формується швидкий спад оптичного імпульсу накачування після генерації моноімпульсу.

Дана схема формування оптичного імпульсу накачування недостатньо ефективна, тому-що частина енергії основного накопичувача після припинення струму через лампу не використовується. Ще одним недоліком відомого пристрою є те, що немає можливості регулювати форму оптичного імпульсу накачування в більш широких межах. Це необхідно для поширення можливостей пристроїв для накачування активних середовищ лазерів з вихідною енергією випромінювання, що може регулюватися.

В основу винаходу, що пропонується, покладене завдання створити такий пристрій для накачування активного середовища лазера, який би забезпечував можливість отримання будь-якої форми оптичного імпульсу накачування, що може змінюватися під керуванням пристрою синхронізації. Це дозволить зменшувати тривалість імпульсів

накачування при малих їх енергіях і збільшувати цю тривалість по мірі збільшення енергії цих імпульсів. Тим саме підтримувати близьку до незмінної потужність імпульсів накачування, що буде протидіяти зсуву спектру оптичного випромінювання ламп в короткохвильову область. До того ж, буде можливим формування пологого фронту імпульсу накачування і крутого спаду, що захистить електроди і колбу лампи від руйнування та заощадить енергію накачування після генерації моноімпульсу.

Таким чином, метою винаходу, що пропонується, є підвищення ефективності накачування активних середовищ лазерів шляхом створення пристрою, що дозволяв отримувати імпульси накачування зі складною формою, яка може змінюватися при регулюванні вихідної енергії лазерного випромінювання.

Поставлена мета досягається тим, що в пристрої для накачування активних середовищ лазерів, до складу якого надходять основний ємнісний накопичувач енергії і формувач імпульсів підпалення, що підключені до імпульсної лампи через струмообмежувальний елемент, наприклад, вторинну обмотку вихідного трансформатора формувача імпульсів підпалення, додатковий накопичувач енергії і комутатор, зарядний пристрій, що поєднаний з накопичувачами енергії, і пристрій синхронізації, який підключений до формувача імпульсів підпалення і до комутатора, додатковий накопичувач енергії складається із декількох окремих накопичувачів, в пристрій введені декілька додаткових комутаторів і декілька імпульсних трансформаторів, вторинні обмотки імпульсних трансформаторів поєднані послідовно та утворюють з основним накопичувачем енергії, лампою та струмообмежувальним елементом розрядний контур, паралельно кожній вторинній обмотці імпульсних трансформаторів підключені напівпровідникові діоди таким чином, що під час замикання комутаторів полярність напруги на вторинних обмотках імпульсних трансформаторів запираюча для цих діодів, увесь ланцюг вторинних обмоток імпульсних трансформаторів при замиканні будь-якого числа комутаторів має таку полярність, що магнітні потоки в сердечниках імпульсних трансформаторів при розряді основного накопичувача енергії і додаткових накопичувачів мають протилежні напрямки, синхронізатор виконаний багатоканальним з числом каналів по числу комутаторів, плюс канал для формувача імпульсів підпалення і, у випадку необхідності, - ще один канал для запуску модулятора добротності резонатора лазера, кожний комутатор підключений до свого каналу синхронізатора і цей синхронізатор виконаний із забезпеченням можливості регулювання часової затримки між вихідними імпульсами каналів у межах 40мкс...1мс.

Обмотки імпульсних трансформаторів можуть бути виконані відрізками коаксіального кабелю, зовнішнє обплетення яких утворює вторинні обмотки, що підключені послідовно до розрядного контуру, а внутрішні центральні проводи утворюють первинні обмотки, що підключені через комутатори до додаткових накопичувачів енергії.

Вихідний трансформатор формувача імпульсів підпалення може бути поєднаний з імпульсними

трансформаторами шляхом використання відрізків коаксіального кабелю з трьома проводами, що мають два ізолюваних між собою і з центральним проводом обплетення, по одному обплетенню кожного трансформатора поєднано паралельно з іншими і всі вони підключені до ємнісного накопичувача формувача імпульсів підпалення через його окремі комутатори.

Те, що у запропонованому технічному рішенні додатковий накопичувач енергії складається із декількох накопичувачів, кожний з котрих підключений до ламп через свій комутатор та імпульсний трансформатор, і вторинні обмотки імпульсних трансформаторів поєднані послідовно та утворюють з основним накопичувачем енергії, лампою та струмообмежувальним елементом розрядний контур, дозволяв шляхом регулювання часових затримок вихідних імпульсів багатоканального синхронізатора, що підключений до комутаторів, переміщати у часі імпульси від додаткових накопичувачів енергії і складати з них результуючий імпульс накачування будь-якої форми. При цьому якщо одночасно спрацьовують два або більше комутаторів, амплітуди імпульсів на вторинних обмотках трансформаторів з складаються. Те, що паралельно кожній вторинній обмотці імпульсних трансформаторів підключені напівпровідникові діоди таким чином, що під час замикання комутаторів полярність напруги на вторинних обмотках імпульсних трансформаторів запираюча для цих діодів, забезпечує протікання струму від основного накопичувача і від працюючих у будь-який час окремих додаткових накопичувачів з комутаторами і трансформаторами через діоди, що підключені до трансформаторів тих накопичувачів з комутаторами, які в цей же час не працюють і чекають свого запуску. Від "своєї" обмотки струм через діод не проходить.

Те, що увесь ланцюг вторинних обмоток імпульсних трансформаторів при замиканні будь-якого числа комутаторів мав таку полярність, що магнітні потоки в сердечниках імпульсних трансформаторів при розряді основного накопичувача і додаткових накопичувачів мають протилежні напрямки, дозволяв поширити ділянку кривої намагнічування матеріалу сердечника шляхом його перемагнічування та, в деякій мірі, уникнути роботи на частковому циклі петлі гістерезиса та насичення сердечника. Виконання синхронізатора багатоканальним з числом каналів по числу комутаторів, плюс формувача імпульсів підпалення і, у випадку необхідності, - ще один канал для запуску модулятора добротності резонатора лазера і те, що кожний комутатор підключений до свого каналу синхронізатора, який виконаний із забезпеченням можливості регулювання часової затримки між вихідними імпульсами каналів у межах 40мкс...1мс, дозволяв отримувати імпульси накачування будь-якої форми і досягати-зазначеної вище мети запропонованого винаходу. Усі імпульси, що можуть бути використані для накачування лазерних активних середовищ, знаходяться по тривалості у межах 40мкс...1мс, де перше значення характерне для $\text{Al}^{3+}\text{Nd}^{3+}$ і складає 0,1T, де $T=420\text{мкс}$ - час життя частинок на метастабільному рівні, а друге значення відповідає $T=1\text{мс}$ - той же параметр для

рубину. Часи життя інших твердотілих лазерних середовищ, що найчастіше використовуються в лазерній техніці, заходжуються у тих же межах. Те, що обмотки імпульсних трансформаторів можуть бути виконані відрізками коаксіального кабелю, зовнішні обплетення яких утворюють вторинні обмотки, що підключені послідовно до розрядного контуру, а внутрішні проводи утворюють первинні обмотки, що підключені через комутатори до додаткових накопичувачів енергії, забезпечує підвищення ККД запропонованого пристрою, тому-що коаксіальні трансформатори мають незначну індуктивність розсіювання, що менша за значенням індуктивності намагнічування на 2-3 порядки [1].

Поєднання вихідного трансформатора формувача імпульсів підпалення з імпульсними трансформаторам шляхом використання відрізків коаксіального кабелю з трьома проводами, що мають два ізолювані між собою і з центральним проводом обплетення, і те, що по одному обплетенню кожного імпульсного трансформатора поєднані паралельно з іншими і підключені до ємнісного накопичувача формувача імпульсів підпалення через його окремий комутатор, дозволяв зменшити вагу і габарити запропонованого пристрою.

На Фіг.1 і 2 показані два варіанти схеми запропонованого пристрою для накачування активних середовищ лазерів з різним підключенням формувача імпульсів підпалення, на Фіг.3, 4, 5, 6 наведені осцилограми імпульсів підпалення.

За схемою Фіг.1 до запропонованого пристрою надходять: основний ємнісний накопичувач 1 енергії і додаткові накопичувачі 2, що підключені до первинних обмоток імпульсних трансформаторів 3 через тиристорні комутатори 4. Вторинні обмотки трансформаторів 3 поєднані послідовно, і паралельно кожній з них підключені напівпровідникові діоди 5. Послідовно з цими діодами підключені резистори 6 з порівняно малим опором порядку 0,1 Ом для уникнення перевантаження діодів по струму через них. До основного накопичувача 1 і додаткового накопичувача 2 підключений зарядний пристрій 7 через струмообмежувальні дроселі 8, які також забезпечують уникнення зв'язку між додатковими накопичувачами щодо можливого одночасного їх розряду. В розрядний контур, що утворений основним накопичувачем 1, вторинними обмотками трансформаторів 3 і діодами 5 з резисторами 6 підключені також послідовно лампа накачування 9 і вторинна обмотка вихідного трансформатора формувача 10 імпульсів підпалення. Конденсатор 11 призначений для протікання току порівняно коротких імпульсів (порядку 10 мкс) від вихідного трансформатора формувача 10 імпульсів підпалення. Ємність конденсатора 11 незначна (сотні пікофарад) в порівнянні з ємностями накопичувачів 1 і 2 енергії (десятки мікрофарад). До комутаторів 4 і формувача 10 імпульсів підпалення підключений синхронізатор 12, що уявляє собою багатоканальний генератор імпульсів.

Після заряду ємнісних накопичувачів 1 і 2 енергії від зарядного пристрою 7 подається електричний імпульс від синхронізатора 12 до формувача 10 імпульсів підпалення. Міжелектродний проміжок лампи 9 іонізується, і основний накопичувач 1 енергії розряджається на лампу 9 через струмооб-

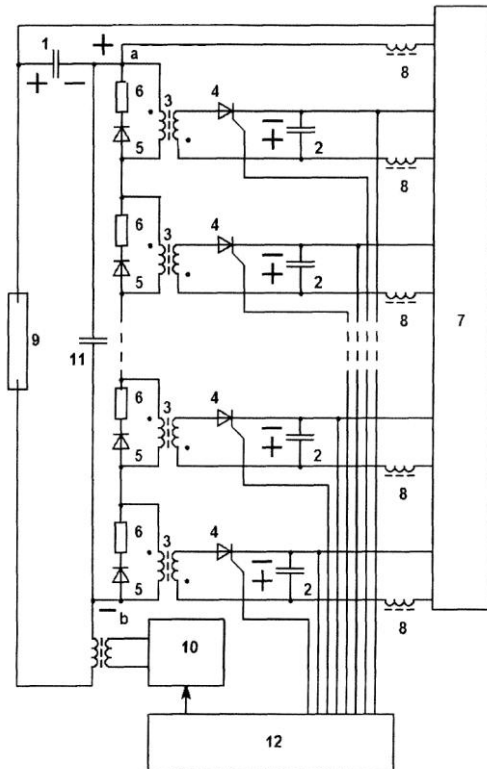
межувальний елемент - вторинну обмотку вихідного трансформатора формувача 10 імпульсів підпалення, напівпровідникові діоди 5 і резистори 6, частина розрядного струну накопичувана 1 відвіляється на вторинні обмотки трансформаторів 3 для перемагнічування матеріалу сердечників. Під час горіння дуги в лампі від синхронізатора 12 подаються електричні імпульси на комутатори 4 у певній часовій послідовності, і додаткові накопичувачі 2 розряджаються через ці комутатори на первинні обмотки трансформаторів 3. При цьому на послідовно поєднаних вторинних обмотках трансформаторів 3 в точках "а" і "b" формується імпульс накачування складної форми, що змінюється під впливом змін часових затримок між імпульсами від синхронізатора 12. Якщо під час формування цього імпульсу одночасно розряджаються два і більше додаткових накопичувача 2, амплітуди цих імпульсів складаються. Коли один і більше комутаторів 4 не замикаються, відповідні додаткові накопичувачі 4 не розряджаються, і на вторинних обмотках поєднаних з ними трансформаторів 5 не виникає електричних імпульсів, тоді електричні імпульси від вторинних обмоток інших трансформаторів 5, комутатори 4 котрих замикаються, проходять через діоди 5 і резистори 6 непрацюючих трансформаторів 3 з розімкнутими комутаторами 4. Як це видно на Фіг.1, полярність падіння напруги на вторинних обмотках трансформаторів 3 при розряді накопичувача 1 протилежна полярності імпульсів на ланцюзі вторинних обмоток при розряді накопичувачів 2. Вторинні обмотки трансформаторів 3 шунтовані діодами 5 і резисторами 6, але падіння напруги на цих ланцюгах достатньо для певного перемагнічування матеріалу сердечників трансформаторів 5 під час проходження току при розряді основного накопичувача 1, як це показав експеримент.

На Фіг.2 показаний другий варіант схеми пристрою для накачування активних середовищ лазерів, в цьому випадку кожен з трансформаторів 3 мав додаткову - третю обмотку. В розрядний контур послідовно підключений струмообмежувальний дросель 10. Усі додаткові обмотки трансформаторів 3 поєднані паралельно і підключені до ємнісного накопичувача 11 через тиристорний комутатор 12, з якими вони утворюють формувач імпульсів підпалення, що мав запуск від синхронізатора 13. Паралельно дроселю 10 підключений конденсатор 14 для протікання струму імпульсу підпалення. Він мав незначну ємність (сотні пікофарад) з ємностями накопичувачів 1 і 2 енергії. Паралельно тиристорним комутаторам 4 підключені RC-ланцюги 15 і 16, які забезпечують уникнення спрацьовування комутаторів 4 при протіканню по додаткових - третіх обмотках трансформаторів 3 струму імпульсів підпалення. Ємність конденсаторів 15 незначна, як і конденсатора 14, опір резисторів 16 складав значення порядку 10 Ом. Тому RC-ланцюги 15 і 16 практично не впливають на основні процеси в запропонованому пристрої після підпалення лампи 9. Робота пристрою для накачування лазерних активних середовищ, який виконаний за схемою Фіг.2, не відрізняється від роботи пристрою, що виконаний за схемою Фіг.1.

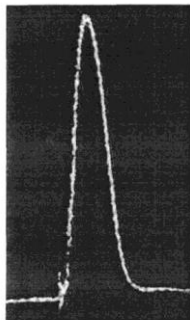
На Фіг.3...6 показані імпульси накачування, що отримані за допомогою експериментальної установки. Вона виконана за схемою, що наведена на Фіг.1. Осцилограми відображають імпульси току в лампі накачування "ІСП 5000". Амплітуда імпульсу струму на Фіг.3 складав 2кА, тривалість по половині амплітуди - 50мкс. В цьому випадку одночасно розряджалися 5 накопичувачів 2 енергії з ємністю кожного 40мкф, які заряджалися до напруги 700В. На Інших фігурах показані імпульси струму різної форми та тривалості, в тому числі такі, в яких окремі імпульси мають перекриття у часі між собою, тоді результуючі амплітуди їх збільшуються, імпульси, що показані на Фіг.4 і 5 мають пологий фронт і крутий спад. Як комутатори 4 були використані тиристри ТЧИ 100-8, діоди 5 - ВЧ2-160-

10. Імпульсні трансформатори 3 мали сердечники з фериту марки 400НМ з діаметром і висотою 80мм.

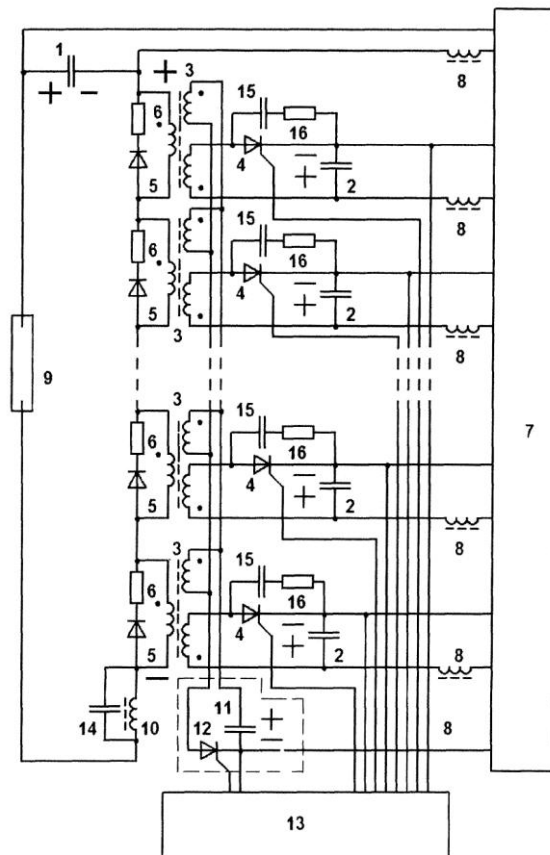
На Фіг.3...6 видно, що запропонований пристрій мав широкі можливості щодо отримання імпульсів накачування активного середовища будь-якої тривалості і форми, у том числі - з пологим фронтом і крутим спадом, та дозволяв уникнути недоліків відомого пристрою, а також досягнути поставленої мети щодо підвищення енергетичної ефективності накачування активних, середовищ лазерів. Видно також, що дане технічне рішення прийнятне для реалізації способу керування енергією випромінювання лазера по патенту №154, що був виданий авторам даної заявки 27.09.2007р.



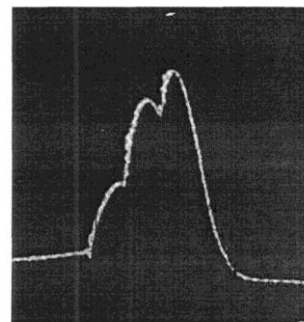
Фіг. 1



Фіг.3 Осцилограма імпульсу, отриманого при розряді одночасово 5-ти додаткових накопичувачів

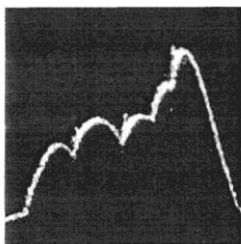


Фіг.2



Фіг.4 Осцилограма імпульсу при послідовному розряді двох (з перекриттям) і трьох додаткових накопичувачів

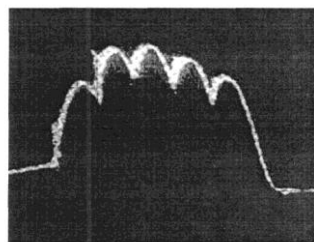
11



Фіг.5 Осцилограма імпульсу при послідовному розряді 5-ти додаткових накопичувачів зі зростаючим перекриттям

89728

12



Фіг.6 Осцилограма імпульсу при послідовному розряді 5-ти додаткових накопичувачів з однаковим перекриттям