

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

(повна назва)

Кафедра

Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

Спеціалізовані джерела живлення для світловипромінювальних
напівпровідникових приладів

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЕППм – 18 – 1

Логвин В.А.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

171 «Електроніка»

Тип програми

освітньо-професійна

Освітня програма «Електронні прилади та
пристрої»

Керівник

доц. Пащенко О.Г.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Бондаренко І.М.

(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Електронної та біомедичної інженерії _____

Кафедра _____ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 171 «Електроніка» _____

Тип програми _____ освітньо-професійна _____

Освітня програма _____ «Електронні прилади та пристрої» _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри МЕЕПП

_____ І.М. Бондаренко

« ____ » _____ 2019р.

**ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові _____ Логвину Валерію Андрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Спеціалізовані джерела живлення для
світловипромінювальних напівпровідникових приладів _____

затверджена наказом по університету від 04 11 2019 р. № 1635 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Лазерний діод на основі наноструктури GaAs/Al_xGa_{1-x}As; _____

3.2 Тиристорний імпульсний генератор; _____

3.2 Тривалість імпульсу 10 – 15 мкс; _____

3.3 Частота слідування імпульсів 5 -20 МГц. _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

- Генератор накачування для інжекційних напівпровідникових лазерів; _____

- Інжекційні напівпровідникові лазери; _____

- Основні схеми генераторів накачування ІНЛ; _____

- Генератор накачування інжекційного напівпровідникового лазера. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____
Презентація Power Point (аркушів) _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання і розробка плану дослідження	4.11.2019	
2	Огляд інформаційних джерел згідно завдання атестаційної роботи	5.11 – 15.11	
3	Вибір схеми генератора накачування складання програми модернізації і дослідження характеристик	16.11 – 30.11	
4	Напрацювання і аналіз результатів моделювання	01.12 – 06.12	
5	Оформлення пояснювальної записки і подання роботи на кафедрі	09.12 – 16.12.2019	

Дата видачі завдання _____ 2019 р.

Студент _____ Логвин В.А.
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Пащенко О.Г.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 49 с., 31 рис., 1 табл., 10 джерел., 2 додатки

ВИПРОМІНЮВАННЯ, ГЕНЕРАТОР, ГЕТЕРОПЕРЕХІД, ЗОНА ПРОВІДНОСТІ, ІМПУЛЬС НАПРУГИ, ІНЖЕКЦІЙНИЙ ЛАЗЕР, КОМУТАТОР, НАКАЧУВАННЯ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, СВІТЛОДІОД, ТРАНЗИСТОР.

Об'єкт дослідження – спеціалізовані джерела живлення для світловипромінювальних напівпровідникових приладів.

Мета роботи – модернізація схеми імпульсного джерела живлення для накачування напівпровідникових лазерів шляхом заміни певних елементів схеми для поліпшення параметрів імпульсу накачування.

Метод досліджень - моделювання схеми тиристорного генератора накачки інжекційного напівпровідникового лазера за допомогою пакету схемотехнічного моделювання Electronic Workbench (EWB 5.12).

Отриманні результати свідчать про актуальність модернізації та розробки генераторів накачування інжекційних напівпровідникових лазерів та вказують на перспективність досліджень у цьому напрямку.

ABSTRACT

Explanatory note contains a countain: 49 sec., 31 fig., 1 tab., 10 sources., 2 applications

RADIATION, GENERATOR, HETEROJUNCTION, CONDUCTION BAND, VOLTAGE PULSE, INJECTION LASER, SWITCHES, PUMPING, OPERATIONAL AMPLIFIERS, LED, TRANSISTORS.

The object of study - with petsializovan and power supplies for light-emitting semiconductor devices.

Purpose - modernization schemes pulsed nd sources and power semiconductor lasers for pumping by replacing some elements of the scheme to improve the parameters of the pump pulse.

The research method is to simulate a circuit of a thyristor pump injection pump for a semiconductor laser using the Electronic Workbench (EWB 5.12) circuit simulation package.

Recv and croup results indicate the urgency of modernization and development of generators pumping injection semiconductor lasers and indicate the prospects ness in this research in the area.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ГЕНЕРАТОР НАКАЧУВАННЯ ДЛЯ ІНЖЕКЦІЙНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ЛАЗЕРІВ	9
1.1 Принцип дії інжекційного лазера.....	9
1.1.1 Хвилевідний ефект	9
1.1.2 Оптичне підсилення і поріг випромінювання	11
1.1.3 Гетеропереходи	12
1.2 Інклекційні напівпровідникові лазери	14
1.2.1 Лазер з гомоструктурною активною областю	14
1.2.2 Лазери з гетероструктурною активною областю.....	17
1.3 Параметри і характеристики ІНЛ	19
1.4 Накачування ІНЛ.....	22
1.5 Поширені схеми генераторів накачування ІНЛ.....	26
1.5.1 Використання транзисторних генераторів накачування	26
1.5.2 Тиристорні генератори.....	32
2 ГЕНЕРАТОР НАКАЧУВАННЯ ІНЖЕКЦІЙНОГО НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ЛАЗЕРА	40
2.1 Генератор накачування ІНЛ на основі тиристорів	40
2.2 Режими роботи генератора накачування з імпульсним живленням тиристора	41
2.2.1 Генератор накачування на основі складових транзисторів.....	41
2.2.2 Генератор накачування на основі операційних підсилювачів	44
ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	49
ДОДАТОК А	50
ДОДАТОК Б	51

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ВАХ – вольт-амперна характеристика;

ДГС – двохстороння гетероструктура;

ІНЛ – інжекційний напівпровідниковий лазер;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

НЛ – напівпровідниковий лазер.

ВСТУП

Бурхливий розвиток квантової електроніки та широке впровадження напівпровідникових світлодіодів і лазерів в системах автоматики, вимірювань відстаней, світлолокації у ближній зоні вимагають глибших досліджень в галузі створення оптичних передавальних пристроїв. У таких пристроях найбільше застосування отримав інжекційний метод накачування, як найбільш простий.

Необхідність досліджень щодо вироблення конкретних інженерних рішень в процесі створення оптичних передавачів пов'язана з рішенням суперечливих вимог до лазерів: забезпечення широкого діапазону зміни струму збудження (до 100 А); високої швидкодії з часом наростання фронту 5 - 10 нс при тривалості випромінювання 1 - 200 нс.; стабільності рівня випромінюваної потужності; надійності, мінімальних габаритів і ваги і т.д. В цьому плані завдання створення малогабаритних генераторів накачування є однією з визначальних у розвитку напівпровідникових лазерів та оптичних систем обробки інформації.

Розвиток оптичних випромінювачів з використанням напівпровідникових випромінювачів йде за двома основними напрямками. Перший пов'язаний зі створенням нових, більш малогабаритних швидкісних струмових ключів, другий - з розробкою схем, що дозволяють отримати необхідні параметри інжекційного накачування на недосконалі, але відносно недорогій елементній базі.

Технічні дані сучасних інжекційних випромінювачів накладають ряд суперечливих вимог до пристроїв живлення, основними з яких є амплітуда струму і її стабільність, висока швидкодія, малі габарити і економічність.

Проблема створення сучасних генераторів накачування повинна вирішуватися шляхом пошуку відповідних схем і використання швидкодіючих струмових комутаторів. У якості комутаційних приладів можуть застосовуватися транзистори, тиристори і лавинні діоди.

1 ГЕНЕРАТОР НАКАЧУВАННЯ ДЛЯ ІНЖЕКЦІЙНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ЛАЗЕРІВ

1.1 Принцип дії інжекційного лазера

1.1.1 Хвилевідний ефект.

У напівпровідникових інжекційних лазерах обмеження світлового поля і поширення випромінювання відбувається в діелектричному хвилеводі. На рисунку 1.1, а показаний тришаровий діелектричний хвилевід з показниками заломлення шарів \bar{n}_1 , \bar{n}_2 і \bar{n}_3 . Хвилевідний ефект виникає, коли

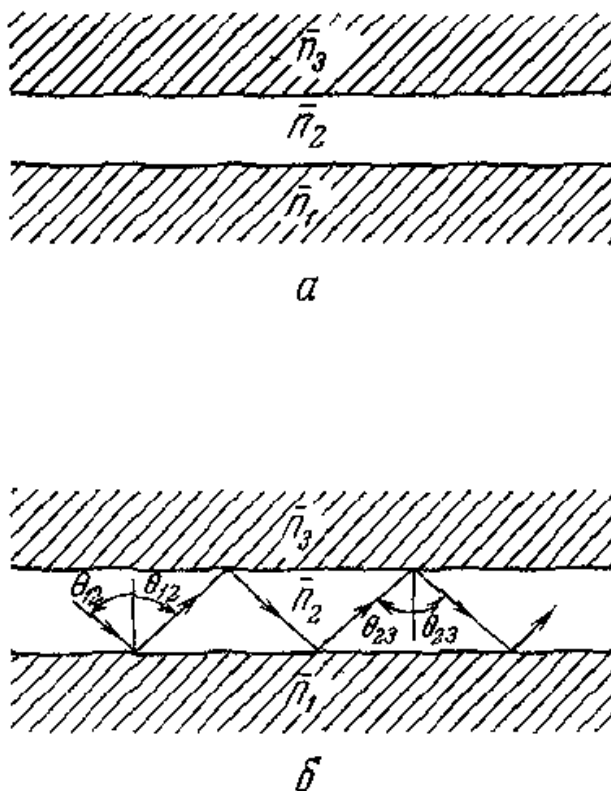
$$\bar{n}_1 > \bar{n}_2 \geq \bar{n}_3 . \quad (1.1)$$

У цьому випадку кут падіння променя θ_{12} на межу розділу між шарами 1 і 2 на рисунку 1.1, б перевершує критичний кут

$$\theta_c = \arcsin \left(\frac{\bar{n}_1}{\bar{n}_2} \right) . \quad (1.2)$$

Аналогічне вираз може бути написано для кордону розділу між шарами 2 і 3. При виконанні умов (1.1) електромагнітне випромінювання поширюється в напрямку, паралельному кордонів розділу між шарами.

У гомолазерах різниця між показником заломлення центрального шару хвилеводу і більш низькими показниками заломлення сусідніх шарів становить лише приблизно від 0,01 до 0,03.



а) тришаровий плоский діелектричний хвилевід;

б) траєкторія променів при поширенні в хвилеводі спрямованою хвилею

Рисунок 1.1 – Тришаровий діелектричний хвилевід з показниками заломлення шарів

Така мала величина цієї різниці обумовлена відмінністю показників заломлення $n - i$ $p - o$ областей, температурними градієнтами, зміною показника заломлення внаслідок інжекції носіїв струму і посилення. У гетеролазери скачки показника заломлення на кожному гетеропереході можуть бути значно більше, і, отже, в гетеролазери може бути сформований чітко виражений хвилевід. У цьому випадку розподіл оптичного поля в хвилеводі може бути обчислено, якщо відомі розміри системи і показники заломлення шарів.

1.1.2 Оптичне підсилення і поріг випромінювання.

Неосновні носії струму, інжектвані через $p - n$ – перехід, можуть рекомбінувати як випромінювальним, так і без випромінювальним чином. Рекомбінаційне випромінювання може взаємодіяти з валентними електронними зонами і поглинатися ними або взаємодіяти з електронами зонами провідності і викликати випускання ідентичного фотона. Коли концентрація інжектваних носіїв стає досить високою, рівень вимушеного випромінювання може перевищити рівень поглинання, в результаті чого виникає оптичне посилення. Для виникнення генерації необхідний позитивний зворотний зв'язок. Цей зворотний зв'язок зазвичай створюється за рахунок пари сколених граней, перпендикулярних осі хвилеводу. Генерація виникає, коли посилення за один прохід випромінювання між такими отриманими дзеркалами порівнюється з сумою всіх втрат на тому ж шляху. внутрішні втрати α_i зазвичай обумовлені поглинанням на вільних носіях і розсіюванням на оптичних неоднорідностях. Коефіцієнт відображення дзеркал R , менший одиниці, також дає внесок в втрати, рівний $(1 / L) \ln (1 / R)$, де L - довжина резонатора.

Коефіцієнт посилення в GaAs при кімнатній температурі може бути представлений у вигляді

$$g(\text{см}^{-1}) = 5,0 \times 10^{-2} [(J\eta/d) - 4,5 \times 10^3], \quad (1.3)$$

де J - щільність струму;

η - квантова ефективність;

d - товщина рівномірно накачаної області в мікрометрах.

На порозі генерації посилення повинне дорівнювати сумі всіх втрат, отже

$$g\Gamma = \alpha_i + (1/L)\ln(1/R), \quad (1.4)$$

тут Γ - коефіцієнт оптичного обмеження, що визначає частку електромагнітного випромінювання, що припадає на рівномірно збуджену область. Об'єднуючи

вирази (1.3) і (1.4), можна отримати вираз для щільності струму на порозі генерації

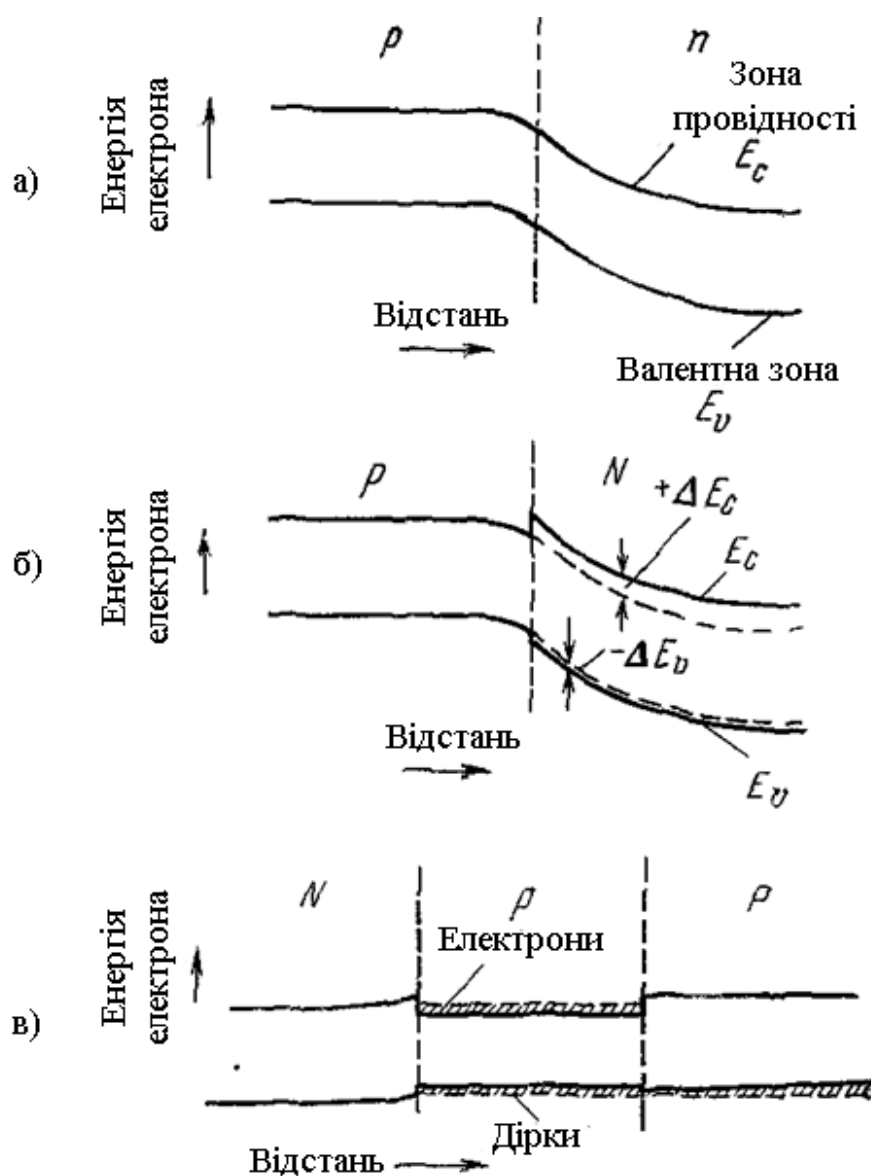
$$J_{\text{пор}}(\text{A}/\text{cm}^2) = 4,5 \times 10^3 d/\eta - (20d/\eta\Gamma)[\alpha_i + (1/L)\ln(1/R)]. \quad (1.5)$$

У деяких гетеролазерах не весь струм йде на накачування однорідно збудженої області струму. Деяка його частина, яка не бере участі в процесі накачування, може бути названа струмом витоку J_L .

1.1.3 Гетеропереходи.

Гетероперехід є перехід між двома різними напівпровідниками, освіченими в одному кристалі. Найбільш важлива відмінність цих напівпровідників в гетеролазерах полягає в різних значеннях ширини забороненої зони і показника заломлення. Коротко описані дослідження, спрямовані на зниження $J_{\text{пор}}$ при кімнатній температурі шляхом використання гетероструктур. Зменшення відбувається при зменшенні d і зменшенні Γ (вираз (1.5)). Це досягається приміщенням активного шару GaAs між більш широкозонними шарами, в результаті чого одночасно виходить обмеження і для інжектіваних носіїв струму, і для оптичного поля.

У гетеропереходах напівпровідник з вузькою забороненою зоною зазвичай позначають літерами n або p , а більш широкозонного напівпровідник – буквами N і P в залежності від типу основних носіїв. Різниця між гомопереходами і гетеропереходами може бути легко проілюстровано розглядом енергетичних зонних діаграм GaAs p – n –переходу і p – n –гетероперехода. На рисунку 1.2, а, наведена енергетична зонна діаграма p – n –переходу при термічній рівновазі. Величина забороненої зони в більше, ніж GaAs. Перепад значень величини забороненої зони розподіляється між зоною провідності і валентною зоною. На рисунку 1.2, б, зображений p – N –гетероперехід при тепловій рівновазі.



- а) енергетична зонна діаграма p – n – перехід в GaAs;
 б) енергетична зонна діаграма GaAs-Al_{0,3}Ga_{0,7}Asp – гетероперехода;
 в) енергетична зонна діаграма GaAs -Al_{0,3}Ga_{0,7}As двосторонньої N–p–P–гетероструктури при великому прямому зміщенні

Рисунок 1.2 – Енергетична зонна діаграма p–N–гетеропереходу при тепловій рівновазі

Енергетична зонна діаграма $\text{GaAs-Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ р - гетероперехода (рисунок 1.2, б), виходить при додаванні до енергії дна зони провідності n-GaAs величини ΔE_c , а також при відніманні від енергії стелі валентної зони n-GaAs величини ΔE_v , які і визначають розриви відповідних зон.

Як впливає з рисунка 1.2, в, на якому показана двостороння N-p-P - гетероструктура, при великому прямому зміщенні р-P - гетероперехід створює обмеження для електронів, інжекттованих в р-шар. У той же час як N-p - гетероперехід перешкоджає витоку дірок з р-шару в N-шар.

1.2 Інжекційні напівпровідникові лазери

1.2.1 Лазер з гомоструктурною активною областю.

На рисунку 1.3 зображений гомолазер з дзеркалами, що утворилися при сколюванні кристала. Наведені на рисунку розміри типові як для гомолазерів, так і для інших, більш складних інжекційних лазерів.

Відразу ж після створення гомолазерів на р-n - переході настав час підвищеної активності в дослідженні напівпровідникових лазерів. На конференції з твердотілих приладів в червні 1963 р працювала секція по лазерним діодам, на якій було повідомлено про отримання лазерів на р-n - переходах в InAs і $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$, А також в InP . Були представлені роботи, в яких розглядалися питання про ефективність і поріг генерації. Вплив температури на пороговий струм було розраховано Мейбургом і досліджено Енгелером і Гарфінкель, а також Пілкуном і іншими. Експериментально отримана залежність T^3 не узгоджувалася з передбаченою залежністю $T^{3/2}$. У 1964 р було повідомлено про створення лазера на $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$. У 1963 і 1964 рр. з'явилося вже дев'ять оглядових статей. З 1964 по 1966 р були отримані лазери на ряді нових матеріалів, в тому числі на з'єднаннях елементів IV і VI груп. Огляд цих робіт міститься в статті Натана.

Загальною і вельми неприємною рисою інжекційних гомолазерів було дуже високе значення щільності порогового струму ($\geq 50000 \text{ А/см}^2$) при кімнатній температурі. Більшість дослідів було проведено при температурі рідкого азоту (77 К) або ще більш низьких температурах. Створення лазера, що працює в безперервному режимі при кімнатній температурі, виявилось неможливим, хоча в 1967 р Дайментов і Д'Азаро при відповідному виборі тепловідведення змогли отримати безперервний режим роботи при температурах аж до 205 К. Інжекційний ток протікав через вузьку смужку, що проходить уздовж всієї довжини лазера. Така конструкція зменшувала загальний струм, що проходив через лазер, і покращувала тепловідвід.

У гомолазері, показаному на рисунку 1.3, товщина шару - d , що лежить в p - області, в якому відбувається посилення, визначається довжиною дифузії L_n інжектованих електронів.

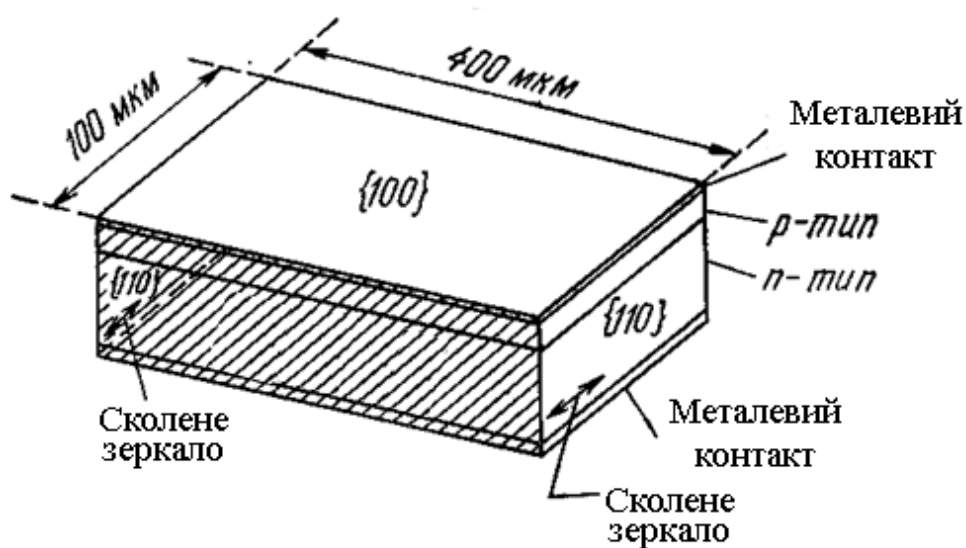
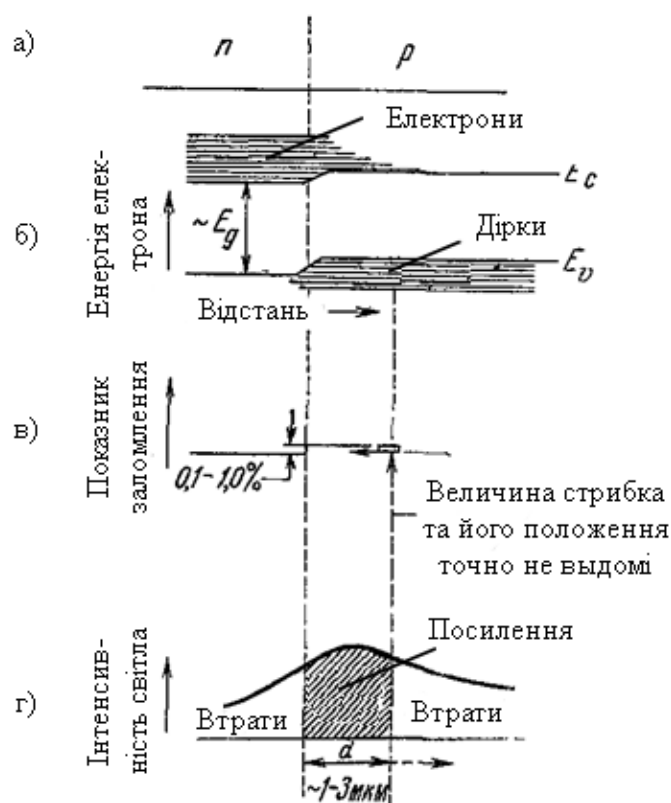


Рисунок 1.3 – Лазер на гомоструктурі; сколені межі напівпровідникового кристала діють як дзеркала резонатора Фабрі - Перо; типові значення довжини і ширини 400 і 100 мкм відповідно

У сильно легovanому високоякісному GaAs при кімнатній температурі L_n може бути рівною приблизно 1 - 3 мкм. (Рисунок 1.4). Концентрація інжектованих електронів в напрямку, перпендикулярному площині p-n - переходу, зменшується з відстанню x як $\exp(-x/L_n)$. Тому накачування і, отже, посилення НЕ будуть однорідними за обсягом. Крім того, частина електронів дифундує за межі області посилення, і не братиме участі в процесі посилення випромінювання.



а) схематичне зображення;

б) енергетична зонна діаграма при великому прямому зміщенні і розподіл носіїв струму;

в) розподіл показника заломлення;

г) розподіл оптичного поля

Рисунок 1.4 – Лазер на GaAs – гомоструктурі з p-n - переходом

Поки що немає детального опису хвилевідного ефекту в гомолазерах. Однак відомо, що скачки показника заломлення на краях області посилення малі, що призводить до витоку світлової енергії в навколишні області GaAs, в яких великі втрати. Це проникнення оптичного поля в області з великими втратами призводить до додаткового вкладу в α_i . Тому в вираженні (1.5) для $J_{пор}$ слабке оптичне обмеження призводить до малих значень Γ і великим значенням, в той час як товщина активної області d , яка визначається дифузійної довжиною, дорівнює кільком мікрометрам.

На рисунку 1.4, в і г схематично показані профіль показника заломлення і розподіл оптичного поля для гомолазера (рисунок 1.4, а) з розподілом носіїв струму, представленим на рисунку 1.4, б.

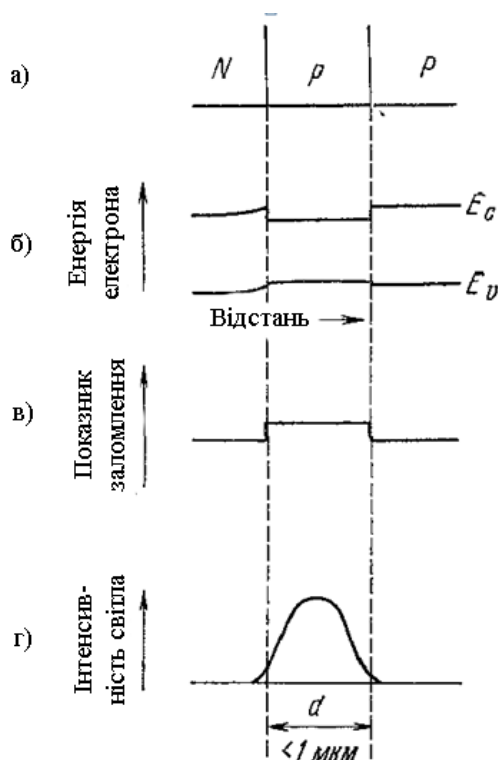
1.2.2 Лазери з гетероструктурною активною областю.

На прикладі двосторонньої гетероструктури (ДГС) можуть бути проілюстровані найкращим чином ті властивості гетеропереходів, завдяки яким в гетеролазерах щільності порогового струму при кімнатній температурі мають набагато більш низькі значення, ніж в гомолазерах. Як N-p-P -, так і N-p-P - структури мають однакові властивості. Гетеропереходи служать для обмеження інжектіваних носіїв в р (або n) активному шарі, як це проілюстровано на рисунку 1.4, в. Товщина активного шару d може бути значно зменшена від неконтрольованих значень в кілька мікрометрів в гомолазерах до 0,1 мкм і менше в GaAs – Al_xGa_{1-x}As ДГС-лазерах. Як впливає з виразу (1.5), зменшення d знижує $J_{пор}$. Для N-p-P ДГС-лазера, зображеного на рисунку 1.5, а, явище обмеження для носіїв, показане на рисунку 1.4, в, знову представлено на рисунку 1.5, б для випадку великого прямого зміщення. Більш широкозонні N- і P- області мають до того ж більш низькі значення показника заломлення, як це показано на рисунку 1.5, в. Таким чином, гетеропереходи створюють діелектричний хвилевід, який обмежує світлове поле в активному шарі (рисунок 1.5, г). Тому d може бути значно зменшено при збереженні прийнятних значенні Γ . Крім того, частина випромінювання, що

розповсюджується поза активним шаром, знаходиться в більш широкому напівпровідникові і не поглинається, як це відбувається в гомолазері.

Використання двосторонніх гетероструктур дозволило знизити $J_{пор}$ до значень порядку $1 \pm 0,5 \times 10^3 \text{ А/см}^2$ при температурі 300 К.

Більшість лазерів, призначених для роботи поза лабораторією, мають полоскову геометрію, при якій обмеження струму створюється також у площині р-п - переходу. Для здійснення бокового обмеження по струму існує безліч способів.



а) схематичне зображення;

б) енергетична зонна діаграма при великому прямому зміщенні;

в) розподіл показника заломлення;

г) розподіл оптичного поля

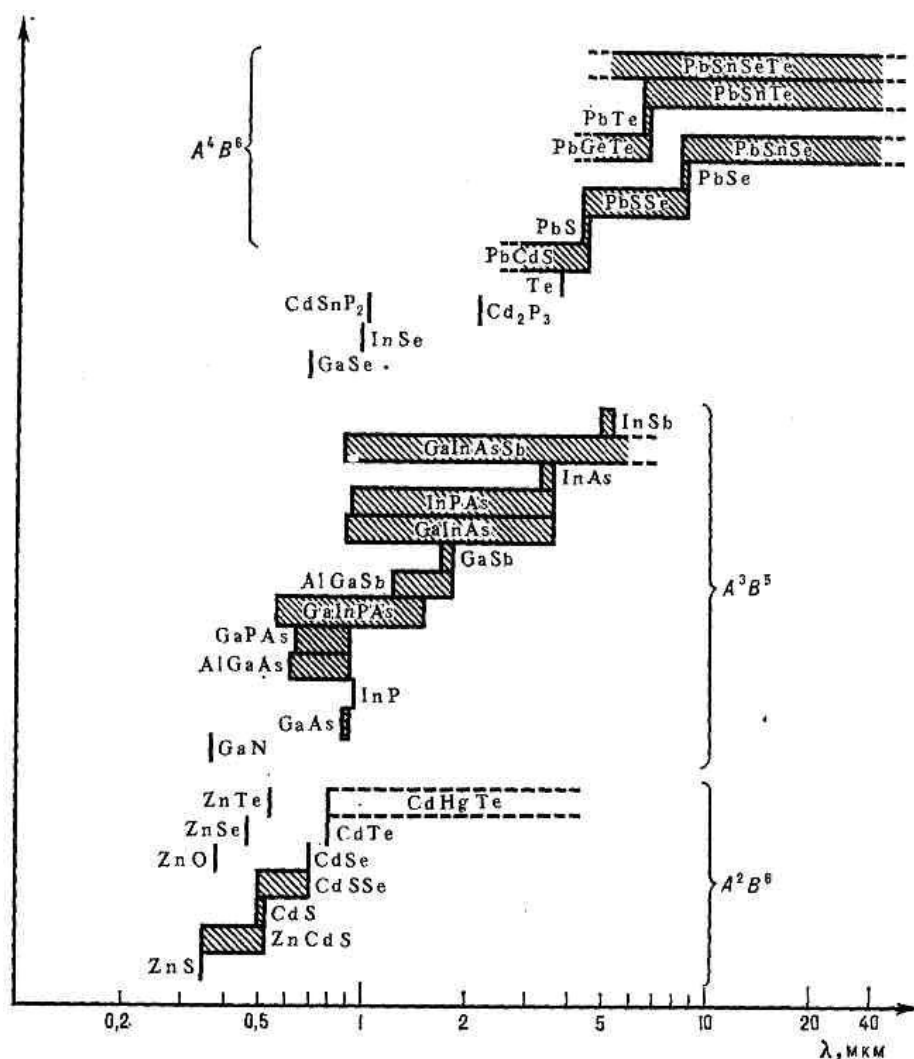
Рисунку 1.5 – Лазер на GaAs/Al_{0,3}Ga_{0,7}As – двосторонньої гетероструктури з N-p-P - легуванням

1.3 Параметри і характеристики ІНЛ

На відміну від лазерів інших типів, в ІНЛ використовуються випромінювальні квантові переходи між дозволеними енергетичними зонами, а не дискретними рівнями енергії. У напівпровідниковому активному середовищі може досягатися дуже великий показник оптичного посилення (до 10^4 см^{-1}), завдяки чому розміри активного елементу ІНЛ виключно малі (довжина резонатора дорівнює 50 мкм - 1 мм). Крім компактності, особливостями ІНЛ є мала інерційність (дорівнює 10^{-9} с), високий ККД (до 50%), можливість спектральної перебудови і великий вибір в-в для генерації в широкому спектральному діапазоні від $\lambda = 0,3$ мкм до 30 мкм (рисунк 1.6).

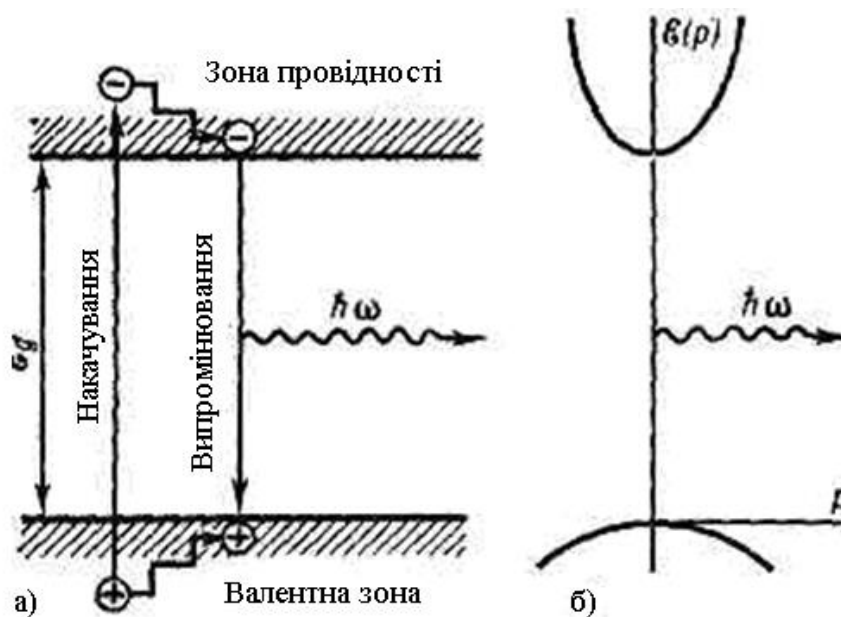
Активними частками в ІНЛ служать надлишкові (нерівноважні) електрони провідності і дірки, тобто вільні носії заряду, які можуть інжектуватися, дифундувати і дрейфувати в активному середовищі. Найважливішим способом накачування в ІНЛ є інжекція через р-п - перехід або гетероперехід, що дозволяє здійснити безпосередньо перетворення електричної енергії в когерентне випромінювання (інжекційний лазер). Іншими способами накачування служать електричний пробій, бомбардування електронами (ІНЛ з електронним накачуванням) і освітлення (ІНЛ з оптичним накачуванням). ІНЛ запропоновані Н.Г. Басовим та іншими, вперше здійснені на р-п - переході в кристалі GaAs Р. Холлом, М.І. Нейтенном (США) та іншими, з електронним накачуванням Басовим з співробітниками.

Оптичне посилення в напівпровідниках виникає під дією інтенсивного накачування при виконанні умов інверсії населеності рівнів поблизу дна в зоні провідності і стелі в валентній зоні (рисунк 1.7). При цьому ймовірність заповнення електронами верхніх робочих рівнів в дозволений зоні (зоні провідності) більше, ніж нижніх рівнів (валентної зони). В цьому випадку змушені випромінювальні переходи переважають над поглинальними переходами.



Рисунку 1.6 – Речовини, використувані в напівпровідникових лазерах, і спектральні діапазони їх випромінювання

Величина оптичного посилення залежить не тільки від інтенсивності накачування, але і від інших чинників: ймовірності випромінювальної рекомбінації, внутрішнього квантового виходу випромінювання, температури. В якості лазерних матеріалів використовуються прямозонні напівпровідники (напр., GaAs , CdS , PbS), в яких квантовий вихід випромінювання може досягати 100%. На непрямозонних напівпровідниках (Ge , Si) поки не вдається створити НЛ. Різноманітність напівпровідникових лазерних матеріалів дозволяє перекрити широкий спектральний діапазон за допомогою НЛ (Таблиця 1.1).



а) схема накачування;

б) зонна діаграма.

Рисунок 1.7 – Схема накачування і зонна діаграма напівпровідника в напівпровідниковому лазері

Інжекційний НЛ являється напівпровідниковим діодом, дві плоскопаралельні грані якого, перпендикулярні площині р-n-переходу і гетеропереходу, служать дзеркалами оптичного резонатора (коефіцієнт відбиття дорівнює 30%, на рисунку 1.8). Інколи застосовуються зовнішні резонатори.

Інверсія заповнення досягається при великому прямому струмі через діод за рахунок інжекції надлишкових носіїв в шар, прилеглий до переходу. Генерація когерентного випромінювання виникає в смузі крайової люмінесценції, якщо оптичне посилення здатне перевершити втрати енергії, пов'язані з виведенням випромінювання назовні, поглинанням і розсіюванням всередині резонатора. Струм, відповідний початку генерації, наз. пороговим. Щільність порогового струму в інжекційних НЛ зазвичай дорівнює 1 до А / см² (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Деякі характеристики і параметри інжекційних лазерів

Робоча речовина	Т, К	λ , мкм	Гранична щільність струму, $\text{кА}/\text{см}^2$	Потужність випромінювання, Вт	
				безперервна	імпульсна
1	2	3	4	5	6
GaAs	4-20	0,84	0,1	12	-
	77-90	0,85-0,86	0,5	3-4	5-100
	300	0,89	1	0,2	10
	400	0,92	7,5	-	-
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	77	0,66	-	0,05	-
	300	0,77	2-3	0,01	-
InAs	4-20	3,2	1	0,05	0,1
InSb	4,2	5,2	0,5	-	-
PbS	4,2	4,3	0,35	0,01	-
$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$	12	9-11	0,05-0,4	0,001	0,01

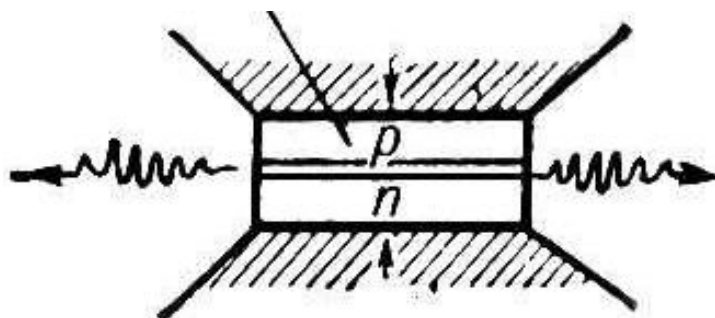
1.4 Накачування ІНЛ

Напівпровідниковий лазер - лазер на основі напівпровідникового активного середовища. На відміну від лазерів інших типів, в НЛ використовуються квантові переходи між дозволеними енергетичними зонами, а не дискретними рівнями енергії. Лазерний ефект в НЛ пов'язаний в основі з міжзонною люмінесценцією. Тому довжину хвилі λ лазерного випромінювання можна виразити через ширину забороненої зони δ_g :

$$\lambda = hc / \delta_g \quad (1.6)$$

де h - стала Планка;
 c - швидкість світла.

Напівпровідникові лазери перекривають спектральний діапазон від $\lambda \approx 0,3$ мкм до $\lambda \approx 45$ мкм (рисунок 1.6).



а)



б)

а) Активна область інжекційного лазера на р-п – переході;

б) Зразки інжекційних напівпровідникових лазерів

Рисунок 1.8 – Схема і фото інжекційного напівпровідникового лазера

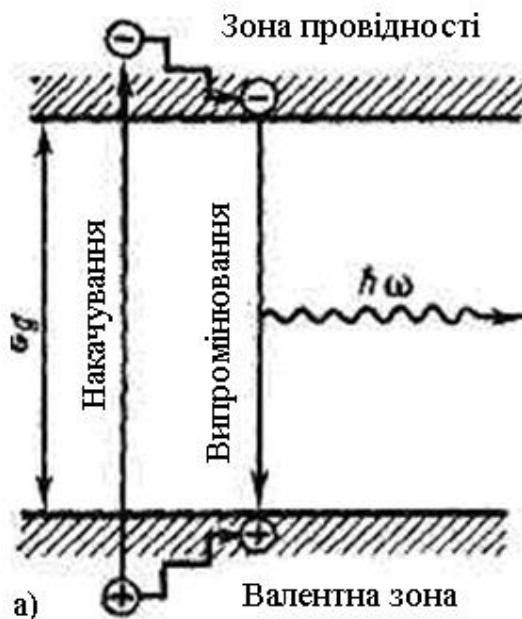


Рисунок 1.9 – Оптичний перехід в напівпровідниках при накачуванні квантами з енергією, більшою $h\nu$

У напівпровідниковому активному середовищі може досягатися дуже великий показник оптичного посилення (до 10^4 см^{-1}), завдяки чому розміри НЛ виключно малі, напр. довжина резонатора може становити нс. мкм, типово - 200-300 мкм. Крім компактності, особливостями ПЛ є мала інерційність ($\sim 10^{-9} \text{ с}$), високий ККД (10 – 50%), можливість плавної спектральної перебудови, великий вибір речовин для генерації в широкому спектральному діапазоні.

До переваг НЛ слід також віднести сумісність НЛ з напівпровідниковими приладами інших типів і можливість монолітної інтеграції, можливість електронного управління режимом генерації і параметрами випромінювання - довжиною хвилі, ступенем когерентності, низьковольтність від 1В до 3В електроживлення, а також найбільшу серед лазерів ін. типів довговічність (до 10^5 ч).

Напівпровідниковий лазер включає в себе активний елемент з напівпровідникового монокристала, найчастіше у формі бруска ("чіпа"). Власне

активна область елемента зазвичай становить лише його малу частину, і її обсяг, наприклад, в сучасному, т. зв. полосковому, інжекційному лазері, виявляється в межах від 10^{-11} см³ до 10^{-10} см³. Оптичний резонатор НЛ утворений або торцевими дзеркальними гранями активного елемента (виготовленого зазвичай шляхом розколювання пластин по площинах спайності кристала), або зовнішнім відбивачами і складними пристроями з періодичними структурами зворотного зв'язку.

Найважливішим способом накачування в НЛ є інжекція надлишкових носіїв заряду через р-п - перехід, гетероперехід або інший нелінійний електричний контакт. На рисунку 1.8, а, показаний інжекційний лазер з активною смужкою, витягнутою вздовж осі оптичного резонатора перпендикулярно двом плоскопаралельним граням лазера. Через порівняно малі розміри випромінювальної плями на грані інжекційного лазера випромінювання що випускається сильно дифрагує при виході у зовн. середу і його спрямованість виявляється невисокою (кут розбіжності лазерного пучка становить 20 - 40 ° і зазвичай помітно різниться у взаємно ортогональних площинах).

Іншими способами накачування служать електричний пробій в сильному полі, освітлення (НЛ з оптичним накачуванням) і бомбардування швидкими електронами (НЛ з електронно-променевим чи електронним накачуванням).

При використанні оптичного або електронно-променевого накачування активна область розташовується в поверхневому шарі напівпровідникового зразка, і товщина цієї області залежить від глибини проникнення енергії накачування. Залежно від взаємного розташування пучка накачування і лазерного променя використовують як поздовжній, так і поперечний варіант геометрії накачування. НЛ з електронно-променевим накачуванням крім активного елемента (мішені) включає в себе електронну гармату. Особливістю лазерів з таким накачуванням є можливість швидкої зміни конфігурації накачування, напр. сканування зі швидкостями, що забезпечують відтворення телевізійного зображення (лазерне проекційне телебачення).

1.5 Поширені схеми генераторів накачування ІНЛ

1.5.1 Використання транзисторних генераторів накачування.

Винахід відноситься до області перетворювальної техніки і може бути використано в різних технологічних процесах, що використовують високочастотне знакозмінні напруження. Суть винаходу: відмінною особливістю пристрою є стійка робота генератора при широкому діапазоні регулювання вихідної потужності. Для розширення діапазону регулювання вихідної напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, два послідовно з'єднаних транзистора, силовий трансформатор, вторинні обмотки якого підключені між базами і емітером транзисторів, забезпечений додатковими: випрямним мостом, обмоткою вихідного трансформатора, першим і другим керованими імпульсними генераторами з блокуючими входами, тригером з роздільними входами, тригером з роздільними входами і оптрон - керованим ключем так, що вихід другого імпульсного генератора приєднаний до бази одного з послідовно з'єднаних транзисторів генератора і першого входу тригера, відповідний вихід якого підключений до керуючого входу оптронного ключа змінного струму, другий вхід тригера пов'язаний з виходом першого імпульсного генератора, блокуючий вхід якого приєднаний до другого входу тригера, а керуючий вхід першого імпульсного генератора і блокуючий вхід другого через випрямляч Мітель підключені до додаткової обмотці силового трансформатора.

Винахід відноситься до області перетворювальної техніки і може бути використано в різних технологічних процесах, що використовують електричні коливання підвищеної частоти.

Відомі транзисторні генератори, виконані на базі автономних полумостового інверторів, що забезпечують роботу на складну технологічну навантаження типу ультразвукового випромінювача, але для забезпечення надійної роботи вони вимагають якої складної системи управління і захисту, або не забезпечують умов узгодження генератора з навантаженням (при

необхідності широкодіапазонного регулювання вихідної потужності - за рахунок зміни вихідної частоти).

Також відомі транзисторні генератори на базі полумостового або мостових інверторів, виконаних за схемою з самозбудженням. Вони досить прості по схемного рішенням, але мають ряд істотних недоліків, що перешкоджають їх застосуванню в різних технологічних процесах, а саме: сильну залежність частоти від напруги живлення, неможливість у зв'язку з цим забезпечувати частотне регулювання вихідної потужності, неможливість забезпечувати регулювання потужності за рахунок напруги живлення.

Відомий транзисторний генератор на базі автогенераторного інвертора, взятий в якості прототипу, як найбільш близький за технічною суттю до пропонованого. Він містить ділянку вхідної напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, два послідовно з'єднаних транзистора, силовий трансформатор і перемикає трансформатор, вторинні обмотки якого підключені між базами і емітером транзисторів. Основний недолік даного генератора - неможливість забезпечити широкодіапазонне регулювання вихідної потужності при сталості вихідної частоти.

Завдання винаходу - розширення діапазону регулювання вихідної потужності генератора.

Поставлена задача досягається тим, що транзисторний ультразвуковий генератор, що містить ділянку вхідної напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, два послідовно з'єднаних транзистора, силовий трансформатор і перемикає трансформатор, вторинні обмотки якого підключені між базами і емітером транзисторів, додатково забезпечений випрямним мостом, обмоткою вихідного трансформатора, першим і другим керованими імпульсними генераторами з блокуючими входами, тригером з роздільними входами і оптрон-керованим ключем змінного струму, причому вихід другого імпульсного генератора приєднаний до бази одного з послідовно з'єднаних транзисторів генератора і першого входу тригера, відповідний вихід якого підключений до керуючого входу оптронного ключа змінного струму,

На рисунку 1.10 наведена функціональна схема пристрою; на рисунку 1.11 - тимчасові діаграми його роботи.

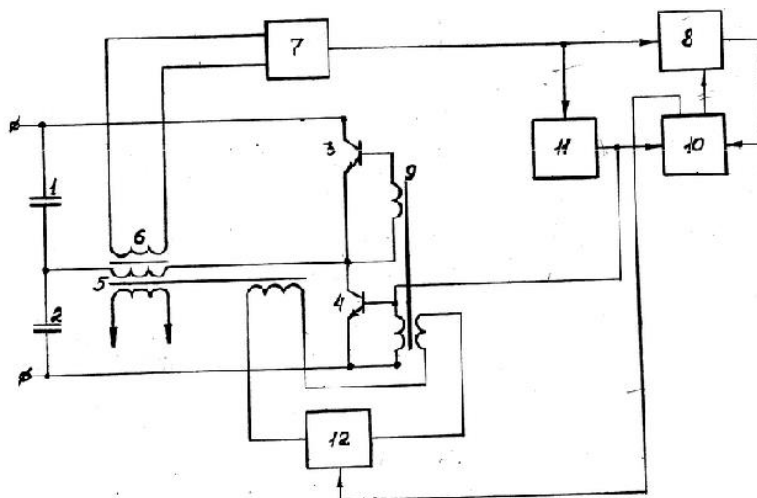


Рисунок 1.10 – Наведена функціональна схема пристрою

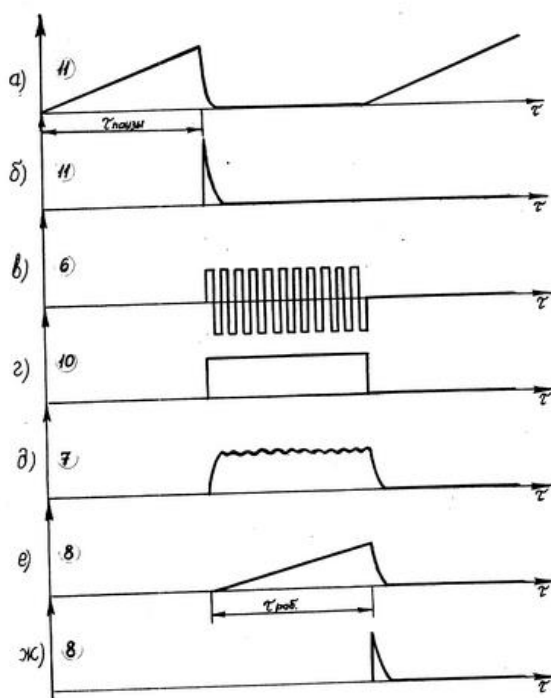


Рисунок 1.11 – Часові діаграми його роботи

Схема складається з конденсаторного дільника 1 і 2 вхідної напруги, середня точка якого з'єднана із загальною точкою двох послідовно включених транзисторів 3 і 4, силового трансформатора 5 з додатковою обмоткою 6, через випрямляч 7, пов'язаної з дозволяючим входом першого імпульсного генератора 8 і блокуючим входом другого імпульсного генератора 11, переключаючого трансформатора 9, тригера 10, один вхід якого приєднаний до виходу першого імпульсного генератора 8, а другий вхід до виходу другого імпульсного генератора 11, а виходи відповідно: до блокуючого входу першого імпульсного генератора 8 і керуючому входу оптронного ключа змінного струму 12.

Пристрій працює наступним чином. При подачі напруги живлення ключ змінного струму 12 розімкнута, а на базу транзистора 4 імпульси не надходять. Транзисторний генератор не порушується, на обмотці 6 напруга не формується і через міст 7 на дозвіл роботи імпульсного генератора 8 сигнал не надходить, як не надходить він і на блокуючий вхід імпульсного генератора 11. Він починає працювати (рисунк 1.11, а) і, через заданий проміжок часу формує імпульс запуску в базу транзистора 4 і на перший вхід тригера 10 (рисунк 1.11, б).

На відповідному виході тригера з'являється сигнал управління ключем 12 (рисунк 1.11, в). Ключ 12 відкривається, замикаючи ланцюг зворотного зв'язку транзисторного генератора. Оскільки при цьому одночасно надходить імпульс запуску на базу транзистора 4, починає працювати транзисторний генератор, формуючи в обмотці 6 вихідного трансформатора прямокутні імпульси заданої частоти (рисунк 1.11, г). Вони випрямляються випрямлячем 7 і надходять у вигляді керуючого сигналу на дозвіл роботи першого імпульсного генератора 8 і блокування роботи другого імпульсного генератора 11 (рисунк 1.11, д). Через певний час (рисунк 1.11, е) на виході імпульсного генератора 8 формується імпульс, що надходить на другий вхід тригера 10 (рисунк 1.11, ж). Тригер переходить в новий стан, при якому з першого виходу знімається сигнал включення оптронного ключа змінного струму 12, а з другого виходу на

блокуючий вхід імпульсного генератора 8 сигнал надходить. Тим самим, з одного боку, забезпечує вимикання ультразвукового генератора за рахунок розриву ланцюга зворотного зв'язку, а, з іншого боку, блокується робота першого імпульсного генератора 8. Одночасно з вимкненням генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора. а з другого виходу на блокуючий вхід імпульсного генератора 8 сигнал надходить. Тим самим, з одного боку, забезпечує вимикання ультразвукового генератора за рахунок розриву ланцюга зворотного зв'язку, а, з іншого боку, блокується робота першого імпульсного генератора 8. Одночасно з вимкненням генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора. а з другого виходу на блокуючий вхід імпульсного генератора 8 сигнал надходить. Тим самим, з одного боку, забезпечує вимикання ультразвукового генератора за рахунок розриву ланцюга зворотного зв'язку, а, з іншого боку, блокується робота першого імпульсного генератора 8. Одночасно з вимкненням генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора. забезпечує вимикання ультразвукового генератора за рахунок

розриву ланцюга зворотного зв'язку, а, з іншого боку, блокується робота першого імпульсного генератора 8. Одночасно з вимкненням генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора. забезпечує вимкнення ультразвукового генератора за рахунок розриву ланцюга зворотного зв'язку, а, з іншого боку, блокується робота першого імпульсного генератора 8. Одночасно з вимкненням генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора. Одночасно із завершенням роботи генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора. Одночасно із завершенням роботи генератора забезпечується зняття блокуючого сигналу з імпульсного генератора 11 і процес формування чергового імпульсу повторюється. Змінюючи час до формування імпульсу в генераторах імпульсів першому і другому можна регулювати або тривалість формованої пачки вихідної напруги, або тривалість паузи між пачками відповідно. При цьому забезпечується широкодіапазонне регулювання вихідної потужності генератора.

Таким чином, використання запропонованої схеми генератора дозволяє: забезпечити стійкий режим імпульсно-модульованого регулювання з мінімальними перехідними процесами; забезпечити глибину регулювання вихідної потужності від майже 0 до 1; отримати, в разі застосування даного типу регулювання в ультразвукових технологічних процесах, додаткові технологічні можливості по впливу комплексними факторами - частотою і обвідної регулювання.

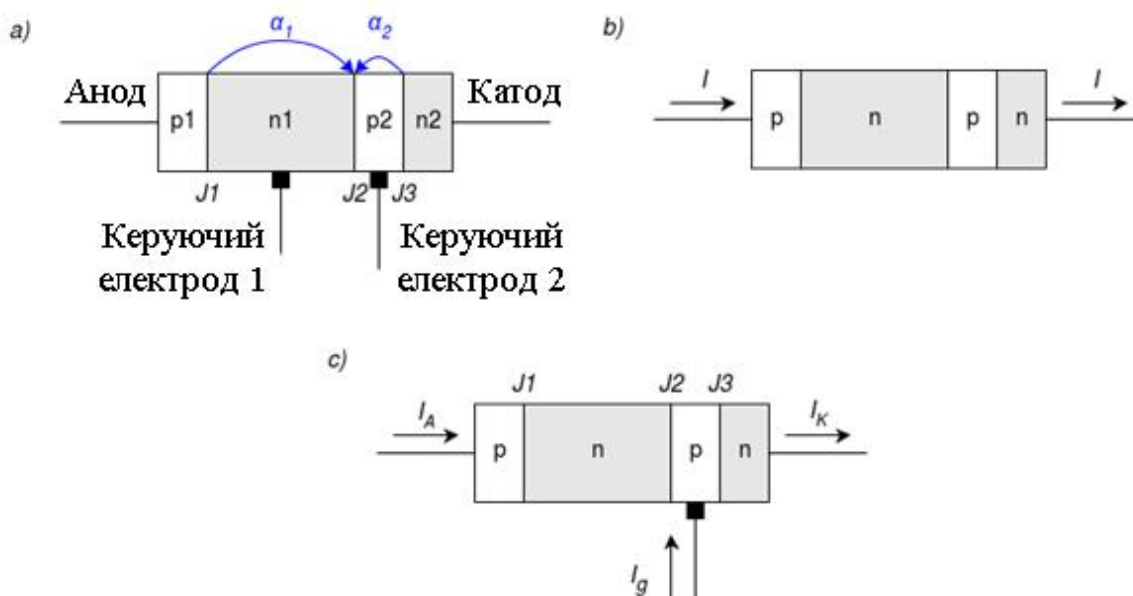
1.5.2 Тиристорні генератори.

Тиристор можна розглядати як електронний вимикач (ключ). Основне застосування тиристорів - управління потужним навантаженням за допомогою слабких сигналів, а також перемикаючі пристрої. Існують різні види тиристорів, які поділяються, головним чином, за способом управління і по провідності. Різниця по провідності означає, що бувають тиристири, які проводять струм в одному напрямку (наприклад тринистор, зображений на рисунку) і в двох напрямках (наприклад, сімістори, Симетричні діністори).

Пристрій і основні види тиристорів - Основна схема тиристорної структури показана на рисунку 1.12. Вона являє собою чотиришаровий напівпровідник структури рррп, що містить три послідовно з'єднаних р-п-переходу J1, J2, J3. Контакт до зовнішнього р-шару називається анодом, До зовнішнього п-шару - катодом. У загальному випадку рррп-прилад може мати до двох керуючих електродів (баз), приєднаних до внутрішніх шарів. Подачею сигналу на керуючий електрод здійснюється управління тиристором (зміна його стану). Прилад без керуючих електродів називається доданими тиристором або діністором. Такі прилади управляються напругою, прикладеним між основними електродами. Прилад з одним керуючим електродом називають тріодний тиристором або тріністором (іноді просто тиристором, хоча це не зовсім правильно). Залежно від того, до якої верстви напівпровідника підключений керуючий електрод, тріністори бувають керованими по анода і по катода. Найбільш поширені останні.

Описані вище прилади бувають двох різновидів: пропускають струм в одному напрямку (від анода до катода) і пропускають струм в обох напрямках. В останньому випадку відповідні прилади називаються симетричними (так як їх ВАХ симетрична) та зазвичай мають п'ятишарову структуру напівпровідника. Симетричний тринистор називається також симистором або ТРИАКОМ (від англ. triac). Слід зауважити, що замість симетричних динисторів, часто застосовуються їх інтегральні аналоги, що володіють кращими параметрами.

Тиристри, що мають керуючий електрод, діляться на замикаються і незапіраєміе. Незапіраєміе тиристри, як випливає з назви, не можуть бути переведені в закритий стан за допомогою сигналу, що подається на керуючий електрод. Такі тиристри закриваються, коли протікає через них струм стає менше струму утримання. На практиці це зазвичай відбувається в кінці напівхвилі мережевої напруги.



- a) Основна чотиришарова pnpn-структура;
- b) Діодний тиристор;
- c) Триодної тиристор

Рисунок 1.12 – Схеми тиристора

Вольтамперная характеристика тиристора:

Типова ВАХ тиристора, який проводить в одному напрямку (з керуючими електродами або без них). Вона має кілька ділянок:

Між точками 0 і 1 знаходиться ділянка, який відповідає високому опору приладу - пряме замикання.

У точці 1 відбувається включення тиристора.

Між точками 1 і 2 знаходиться ділянка з негативним диференціальним опором.

Ділянка між точками 2 і 3 відповідає відкритому станом (прямий провідності).

У точці 2 через прилад протікає мінімальний утримує струм I_H .

Ділянка між 0 і 4 описує режим зворотного замикання приладу.

Ділянка між 4 і 5 - режим зворотного пробую.

Вольтамперная характеристика симетричних тиристорів відрізняється від наведеної на рисунку 1.13 тим, що крива в третій чверті графіка повторює ділянки 0 - 3 симетрично відносно початку координат.

За типом нелінійності ВАХ тиристор відносять до S-приладів.

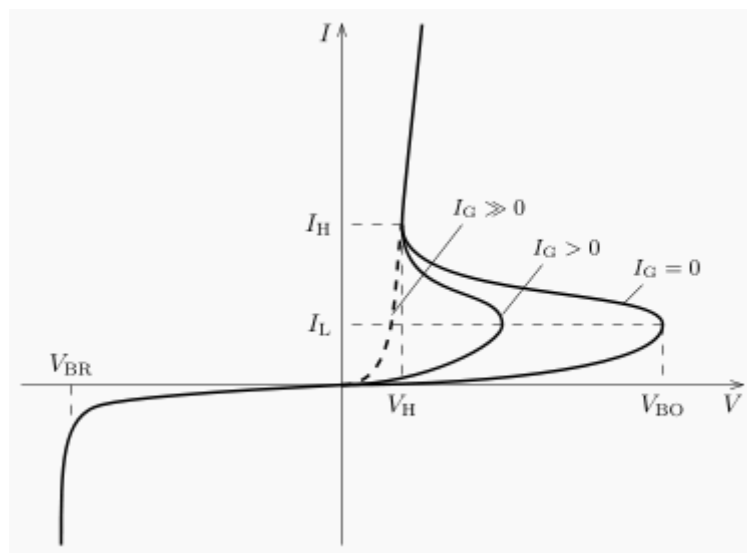


Рисунок 1.13 – Вольтамперная характеристика тиристора

Режими роботи триодного тиристора:

Режим зворотного замикання - Два основні чинники обмежують режим зворотного пробую і прямого пробую:

- лавинний пробій;
- прокол збідненої області.

У режимі зворотного замикання до анода приладу прикладено напруга, Негативне по відношенню до катода; переходи J1 і J3 зміщені у зворотному напрямку, а перехід J2 зміщений в прямому (див. рисунок 1.14). У цьому випадку велика частина прикладеної напруги падає на одному з переходів J1 або J3 (в залежності від ступеня легування різних областей). Нехай це буде перехід J1. Залежно від товщини W_{n1} шару $n1$ пробій викликається лавинним множенням (товщина збідненої області при пробіі менше W_{n1}) або проколом (збіднений шар поширюється на всю область $n1$, і відбувається змикання переходів J1 і J2).

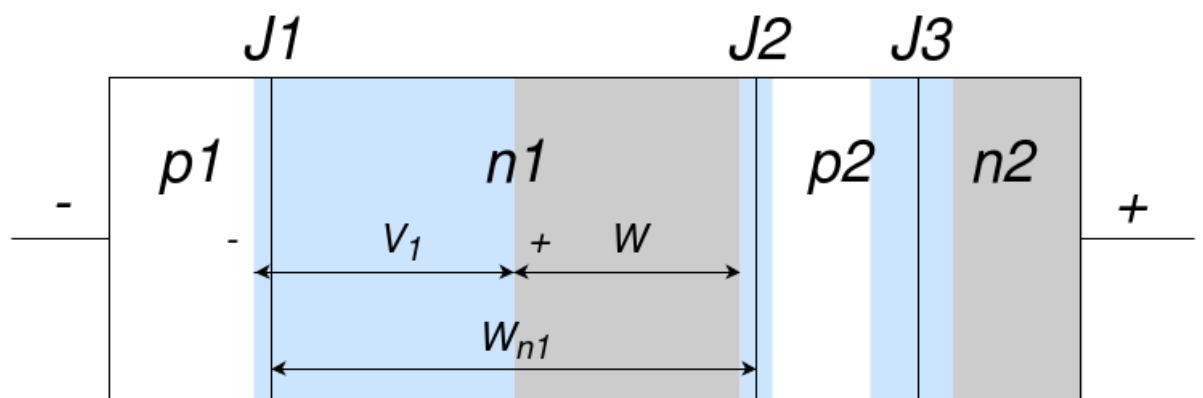


Рисунок 1.14 – Режим зворотного замикання тиристора

Режим прямого замикання - при прямому замиканні напруга на аноді позитивно по відношенню до катода і назад зміщений тільки перехід J2. Переходи J1 і J3 зміщені в прямому напрямку. Велика частина прикладеної напруги падає на переході J2. Через переходи J1 і J3 в області, що примикають до переходу J2, інжектуються неосновні носії, які зменшують опір переходу J2, збільшують струм через нього і зменшують падіння напруги на ньому. При

підвищенні прямої напруги струм через тиристор спочатку росте повільно, що відповідає ділянці 0-1 на ВАХ. В цьому режимі тиристор можна вважати замкненим, так як опір переходу J2 все ще дуже велика. У міру збільшення напруги на тиристори знижується частка напруги, що падає на J2, і швидше зростають напруги на J1 і J3, що викликає подальше збільшення струму через тиристор і посилення інжекції неосновних носіїв в область J2. При деякому значенні напруги (близько десятків або сотень вольт), називається напругою перемикання VBF (точка 1 на ВАХ), процес набуває лавиноподібного характеру, тиристор переходить в стан з високою провідністю (включається), і в ньому встановлюється струм.

Двохтранзисторна модель - для пояснення характеристик приладу в режимі прямого замикання використовується двухтранзисторна модель. Тиристор можна розглядати як з'єднання ррртранзистора з рпн транзистором, причому колектор кожного з них з'єднаний з базою іншого, як показано на рисунку 1.15 для триодного тиристора. Центральний перехід діє як колектордірок, Інжектируємих переходом J1, і електронів, Інжектируємих переходом J3. Взаємозв'язок між струмами емітера ІЕ, колектора ІС і бази ІВ і статичним коефіцієнтом посилення по току α_1 ррн транзистора також приведена на рисунку 1.12, де ІСо- зворотний струм насичення переходу колектор-база.

Аналогічні співвідношення можна отримати для рпн транзистора при зміні напрямку струмів на протилежне. З рисунка 1.13 слід, що колекторний струм рпн транзистора є одночасно базовим струмом ррн транзистора. Аналогічно колекторний струм ррн транзистора і керуючий струм Іg втікають в базу рпн транзистора. В результаті, коли загальний коефіцієнт посилення в замкнутій петлі перевищить 1, виявляється можливим регенеративний процес.

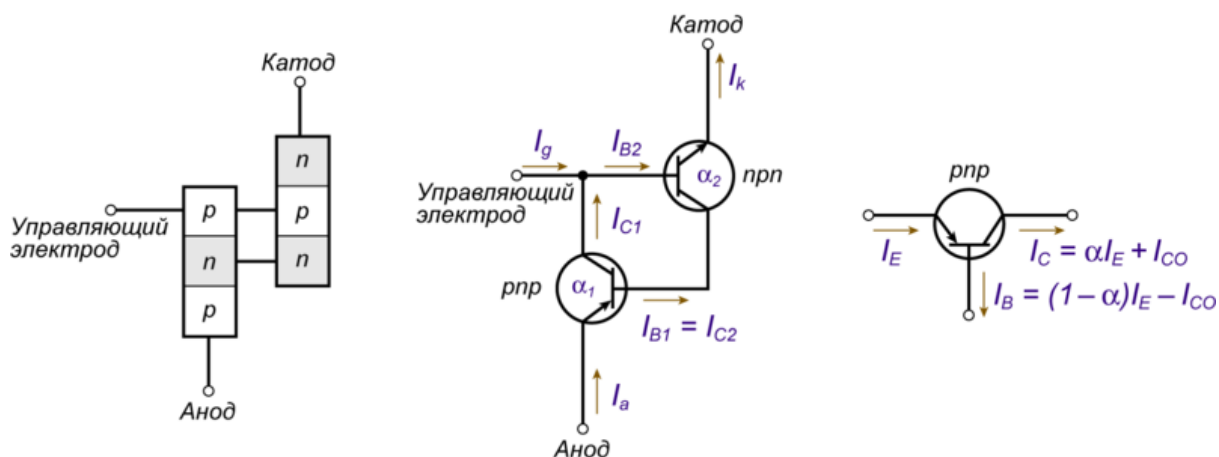


Рисунок 1.15 – Двохтранзисторна модель триодного тиристора, з'єднання транзисторів і співвідношення струмів в pnp транзисторі

Струм бази pnp транзистора дорівнює $I_{B1} = (1 - \alpha_1) I_A - I_{CO1}$. Цей струм також протікає через колектор pnp транзистора. Струм колектора pnp транзистора з коефіцієнтом посилення α_2 рівен $I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CO2}$.

Прирівнявши I_{B1} і I_{C2} , отримаємо $(1 - \alpha_1) I_A - I_{CO1} = \alpha_2 I_K + I_{CO2}$. Так як $I_K = I_A + I_g$, то

$$I_A = \frac{\alpha_2 I_g + I_{CO1} + I_{CO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (1.7)$$

Це рівняння описує статичну характеристику приладу в діапазоні напруг аж до пробою. Після пробою прилад працює як рін-діод. Відзначимо, що всі складові в чисельнику правої частини рівняння малі, отже, поки член $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$, струм I_A малий. (Коефіцієнти α_1 і α_2 самі залежать від I_A і зазвичай ростуть зі збільшенням струму) Якщо $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, то знаменник дроби звертається в нуль і відбувається прямий пробою (або включення тиристора). Слід зазначити, що якщо полярність напруги між анодом і катодом змінити на зворотну, то переходи $J1$ і $J3$ будуть зміщені у зворотному напрямку, а $J2$ - в прямому. При таких умовах пробою не відбувається, так як в якості емітера працює тільки центральний перехід і регенеративний процес стає неможливим. Можна

помітити також, що двухтранзисторного модель використовується не тільки для вивчення процесів, що відбуваються в тиристорі, але і як його схемотехнічний аналог в електронній апаратурі.

Ширина збіднених шарів і енергетичні зонні діаграми в рівновазі, в режимах прямого замикання і прямий провідності показані на рисунку 1.16. У рівновазі збіднена область кожного переходу і контактний потенціал визначаються профілем розподілу домішок. Коли до анода прикладена позитивна напруга, перехід J2 прагне зміститися в зворотному напрямку, а переходи J1 і J3 - в прямому. Падіння напруги між анодом і катодом одно алгебраїчній сумі падінь напруги на переходах: $V_{AK} = V_1 + V_2 + V_3$. У міру підвищення напруги зростає струм через прилад і, отже, збільшуються α_1 і α_2 . Завдяки регенеративній характеру цих процесів прилад врешті-решт перейде у відкритий стан. Після включення тиристора протікає через нього струм повинен бути обмежений зовнішнім опором навантаження, в іншому випадку при досить високій напрузі тиристор вийде з ладу. У включеному стані перехід J2 зміщений в прямому напрямку (Рисунок 1.16, в), і падіння напруги $V_{AK} = (V_1 - |V_2| + V_3)$ приблизно дорівнює сумі напруги на одному прямо зміщеному переході і напруги на насиченому, транзисторі.

Режим прямої провідності - коли тиристор знаходиться у включеному стані, все три переходи зміщені в прямому напрямку. Дірки інжектуються з області p1, а електрони з області n2, і структура n1-p2-n2 поводить себе аналогічно насиченому транзистору з віддаленим доданими контактом до області n1. Отже, прилад в цілому аналогічний pin (p + -i-n +) - діода.

Ефект dU / dt - при подачі напруги прямої полярності на анод і катод тиристора зі швидкістю понад деякої критичної $dU / dt > dU_{кріт} / dt$ відбудеться відкриття рррп структури. Механізм даного ефекту обумовлений наявністю паразитної ємності анод-керуючий електрод. Даний ефект обмежує використання тиристорів в високочастотних схемах, хоча іноді застосовується для управління тиристором. Параметр $dU_{кріт} / dt$ вказується в довідниках на кожен модель тиристора.

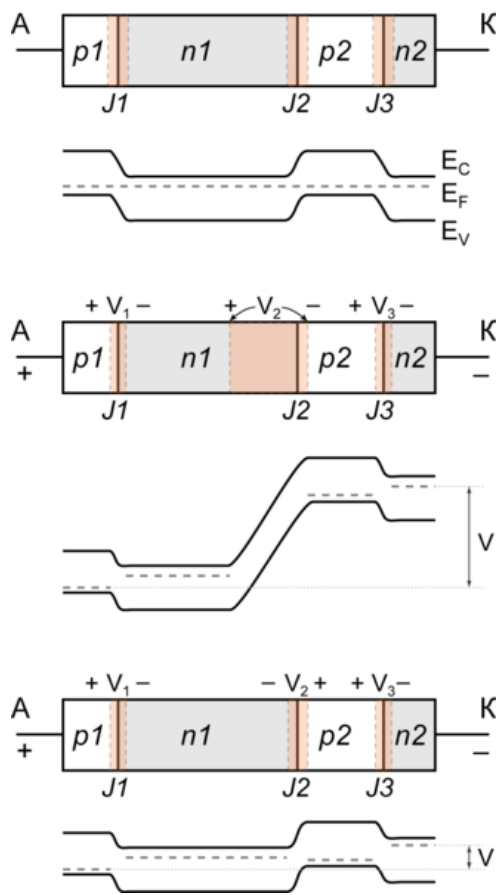


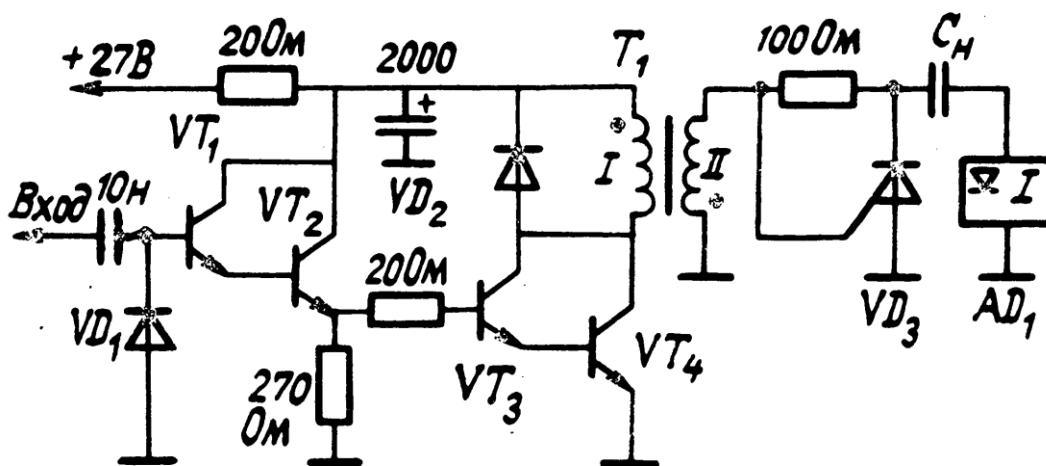
Рисунок 1.16 – Енергетична зонна діаграма в режимі прямого зміщення: стан рівноваги, режим прямого замикання і режим прямої провідності

Ефект di/dt - якщо струм, що протікає через тиристор в прямому напрямку (у відкритому стані) буде зростати зі швидкістю більш деякої критичної $di/dt > di(\text{крит.})/dt$, то відбудеться руйнування структури і вихід тиристора з ладу, що пояснюється обмеженим ростом площі протікання носіїв, збільшенням щільності струму і локальним тепловим пробоем. Параметр $di(\text{крит.})/Dt$ є довідковим і вказується в каталогах на кожну модель тиристора.

2 ГЕНЕРАТОР НАКАЧУВАННЯ ІНЖЕКЦІЙНОГО НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

2.1 Генератор накачування ІНЛ на основі тиристорів

Короткі імпульси накачування дозволяють підвищити надійність роботи напівпровідникових лазерів і поліпшити основні характеристики оптичних вимірювальних систем (точність, дальність дії, стійкість і т.д.). Тому питання створення тиристорних генераторів накачування наносекундного діапазону тривалості становить значний інтерес. Найпростіший шлях скорочення тривалості токового імпульсу - зменшення накопичувальної ємності C_H . На рисунку 2.1 представлена схема тиристорного формувача коротких імпульсів, особливістю якого є імпульсне живлення і автоматичний запуск.



VT_1 – КТ312В, VT_2 – КТ603Б, VT_3 – КТ805А, VT_4 – КТ926А, VD_1 – КД522А, VD_2 – КД213Б, VD_3 – КУ221В, AD_1 – лазер, C_H – 2,2 нФ.

Рисунок 2.1 – Генератор накачування з імпульсним живленням тиристора

Генератор накачування містить емітерний повторювач на транзисторах VT_1 , VT_2 і потужний струмовий ключ на транзисторах VT_3 , VT_4 . В даній схемі управління роботою тиристора здійснюється без запускаючих імпульсів наступним чином. Після початку імпульсу живлення на колекторі транзистора VT_3 , VT_4 висока напруга (400 - 800 В) з вторинної обмотки підвищувального імпульсного трансформатора T_1 через зарядний резистор R починає заряджати накопичувальний конденсатор C_H . При цьому величина негативної напруги на керуючому електроді, підключеному безпосередньо до трансформатора T_1 , зростає трохи швидше, ніж негативна напруга на ємності C_H і на катоді.

2.2 Режими роботи генератора накачування з імпульсним живленням тиристора

2.2.1 Генератор накачування на основі складових транзисторів.

В роботі електрична схема була побудована за допомогою пакета схемотехнічного моделювання Electronic Workbench (EWB 5.12). Схема електрична принципова досліджуваного генератора накачування, побудована в середовищі пакета з додатковими приладами для дослідження схеми показана на рисунку 2.2.

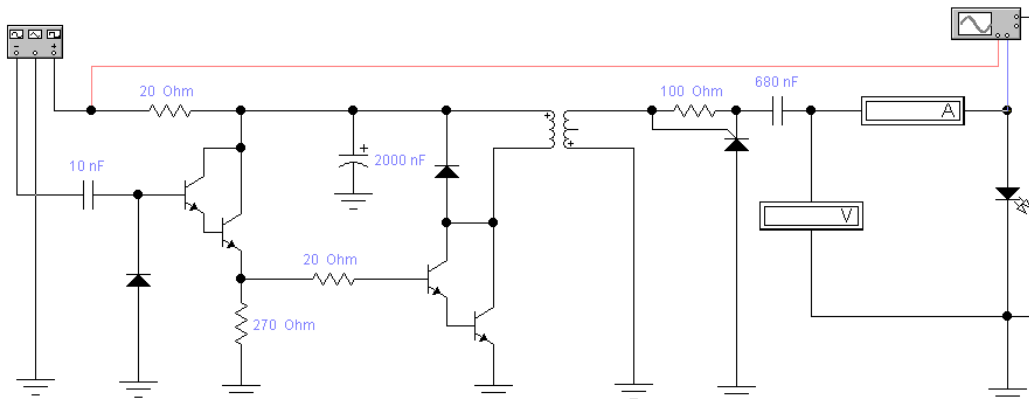


Рисунок 2.2 – Генератор накачування на основі складових транзисторів

На рисунках 2.3 - 2.6 показані тимчасові діаграми зміни напруги на лазерному діоді на тлі діаграми вхідної напруги, що живить генератор накачування.

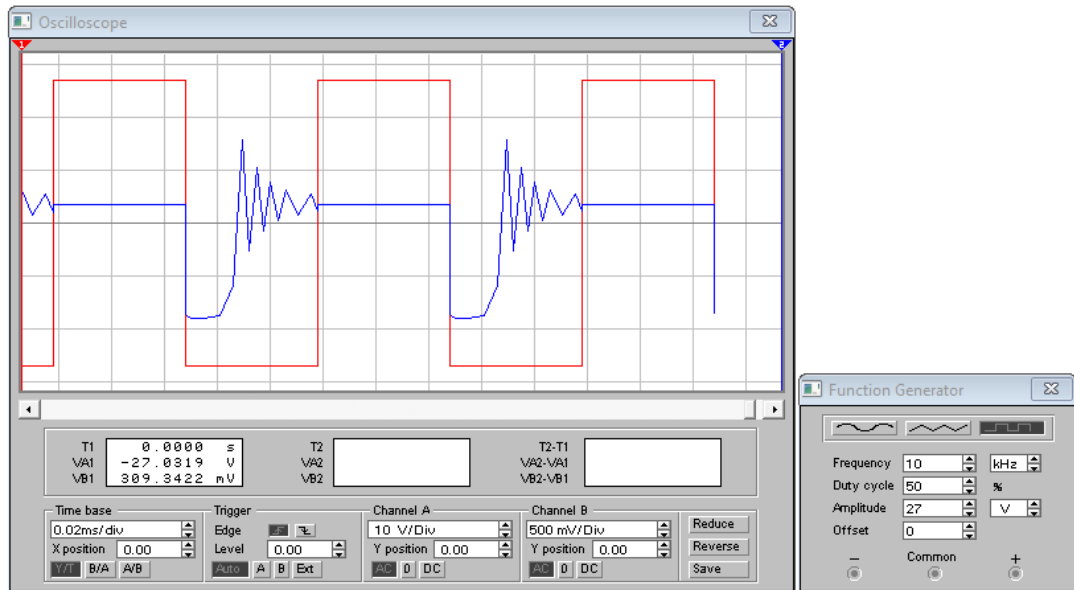


Рисунок 2.3 – Епюри вхідної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 10 кГц

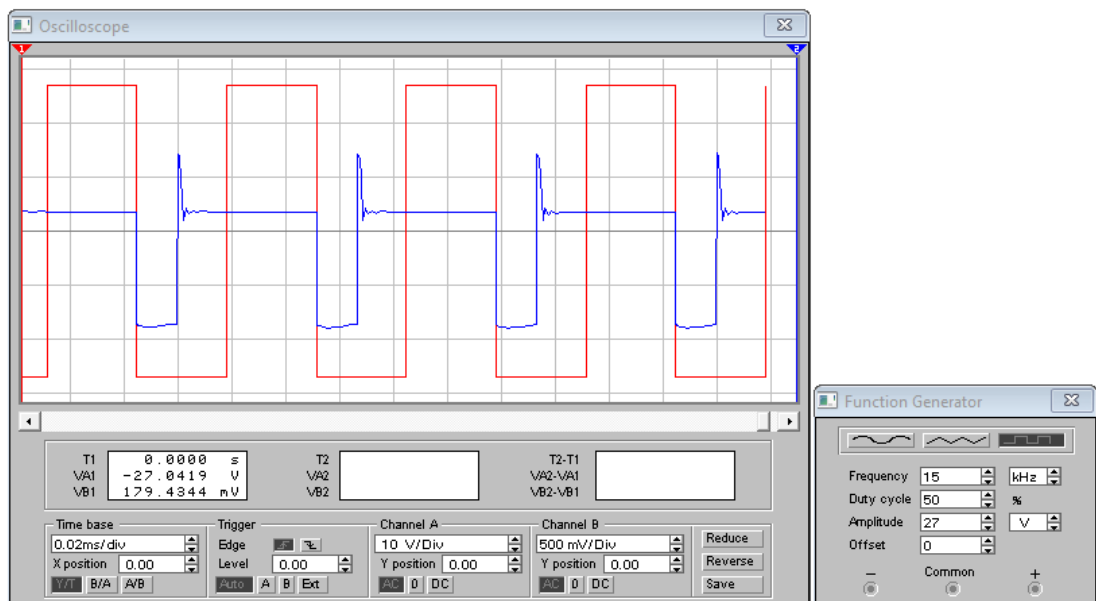


Рисунок 2.4 – Епюри вхідної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 15 кГц

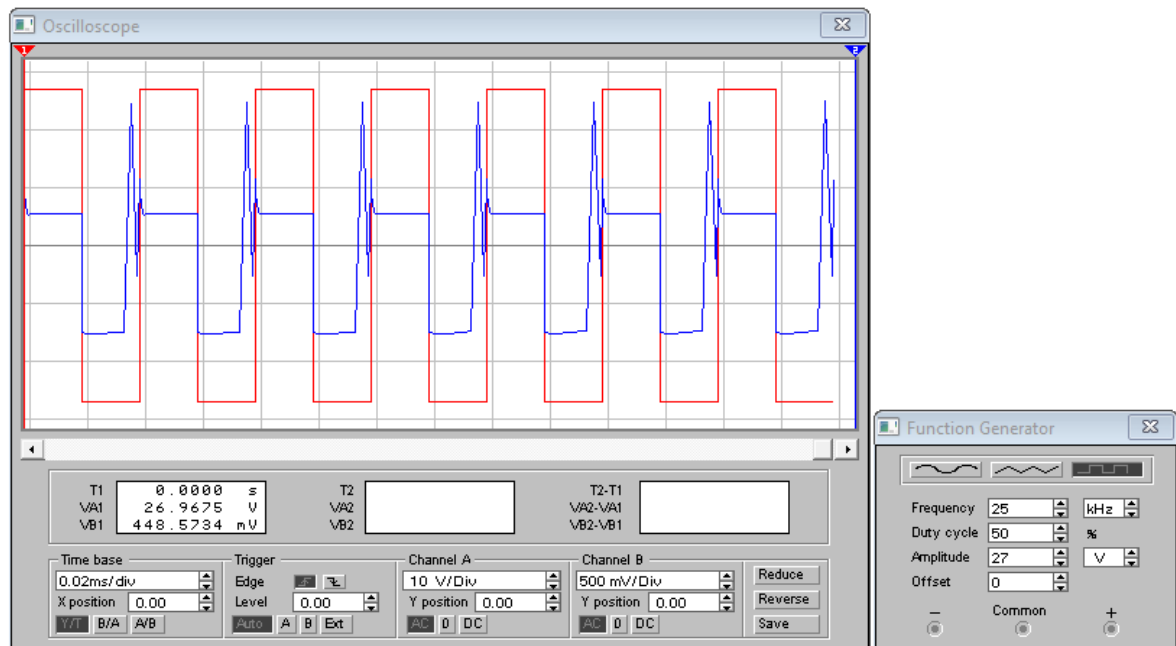


Рисунок 2.5 – Епюри вхідної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 20 кГц

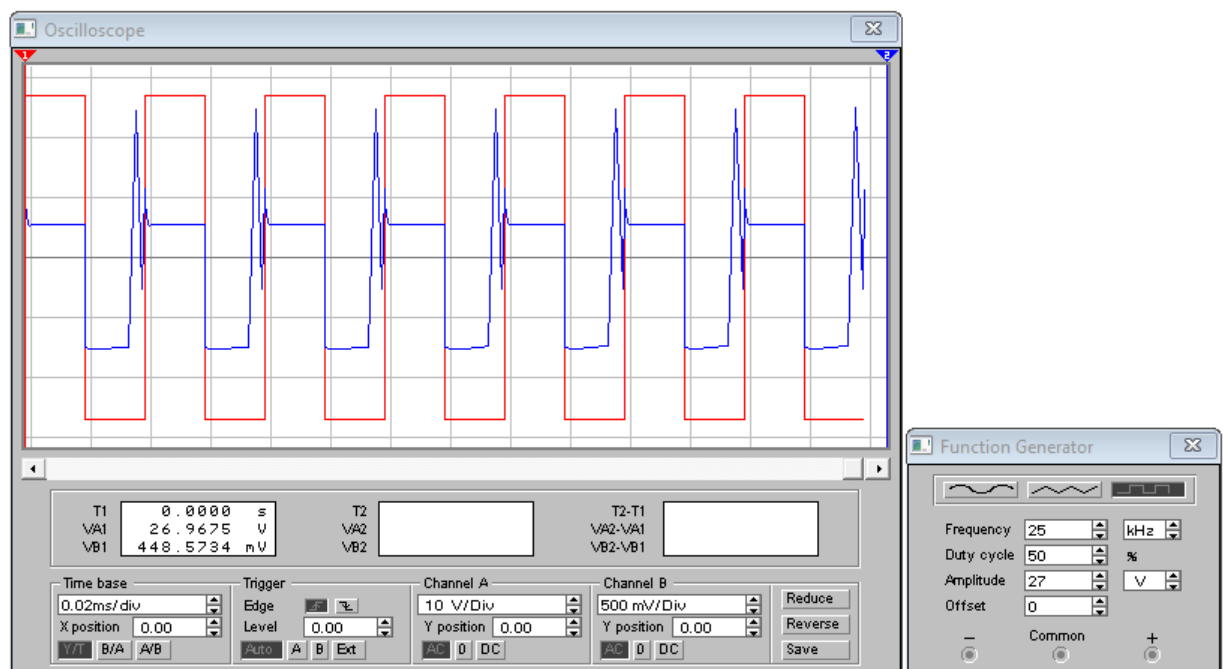


Рисунок 2.6 – Епюри вхідної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 25 кГц

З аналізу часових діаграм зміни напруги на лазерному діоді, показаних на рисунках 2.3 - 2.6 слудує, що з ростом частоти входної напруги в межах 10 - 25 кГц зростає інтенсивність релаксаційних процесів в області спаду імпульсу напруги на світлодіоді. Крім того, як показано на рисунку 2.5, а, починаючи приблизно з частоти зовнішнього сигналу 18 - 20 кГц напруга живлення на діоді досягає мінімуму в області негативних напруг. Це може в ряді випадків мати негативні наслідки, такі як перехід лазерного діода в режим суперсвічення, і, як наслідок до помилкового спрацьовування всієї схеми, в разі експлуатації лазера в інформаційній або вимірювальній системі, а також до швидкого зношування оптичного резонатора лазерного діода.

До переваг схеми слід віднести різкий передній фронт імпульсу живлення лазерного діода, що свідчить про швидкий перехід лазерного діода в режим генерації.

2.2.2 Генератор накачування на основі операційних підсилювачів.

Недоліки, властиві схемі, показаної на рисунках 2.1 і 2.2 можна уникнути, якщо замість складових транзисторів використовувати операційні підсилювачі. Модифікація схеми з заміною складових транзисторів операційними підсилювачами показана на рисунку 2.7.

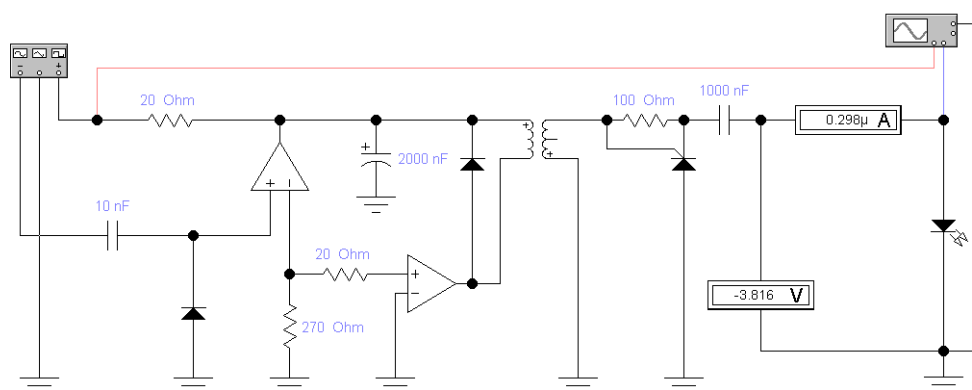


Рисунок 2.7 – Генератор накачування на основі операційних підсилювачів

На рисунках 2.8 - 2.11 показані тимчасові діаграми напруги на лазерному діоді, на тлі тимчасових діаграм імпульсного напруги живлення генератора

накачування. Як і для випадку схеми з складовими транзисторами частота генератора підібрана відповідно 10, 15, 20 і 25 кГц.

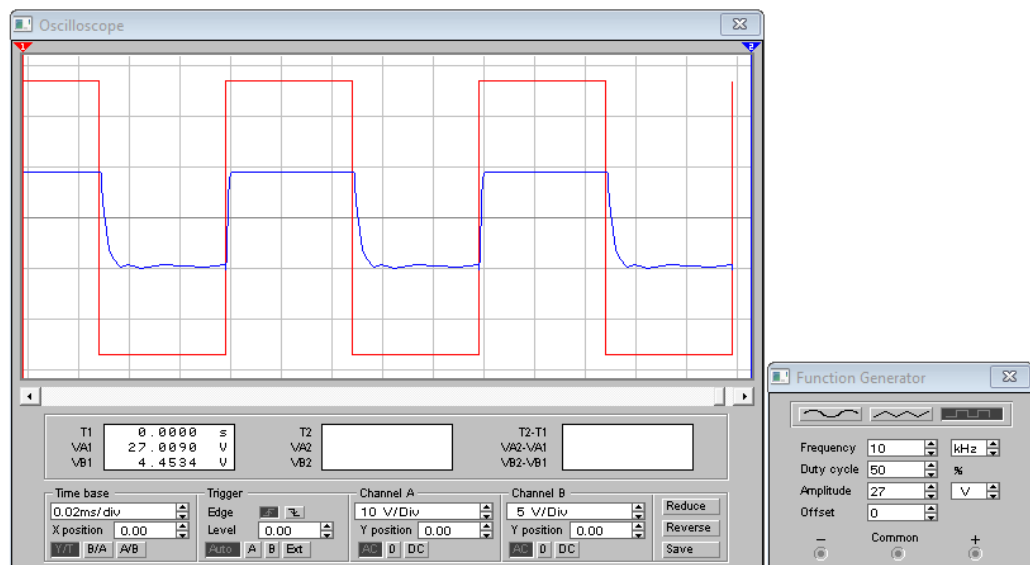


Рисунок 2.8 – Епюри входної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 10 кГц

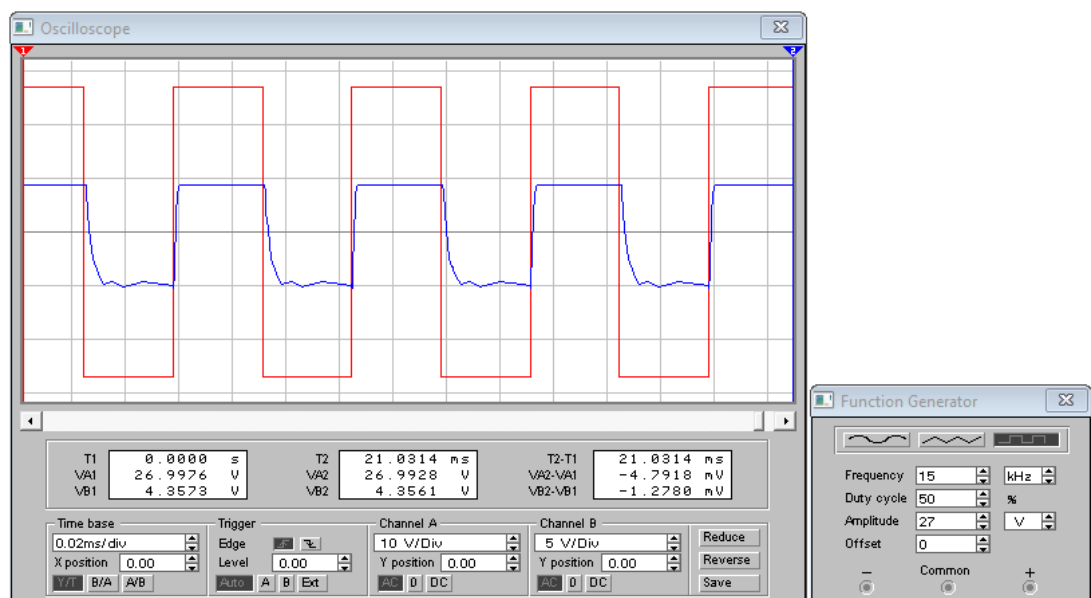


Рисунок 2.9 – Епюри входної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 15 кГц

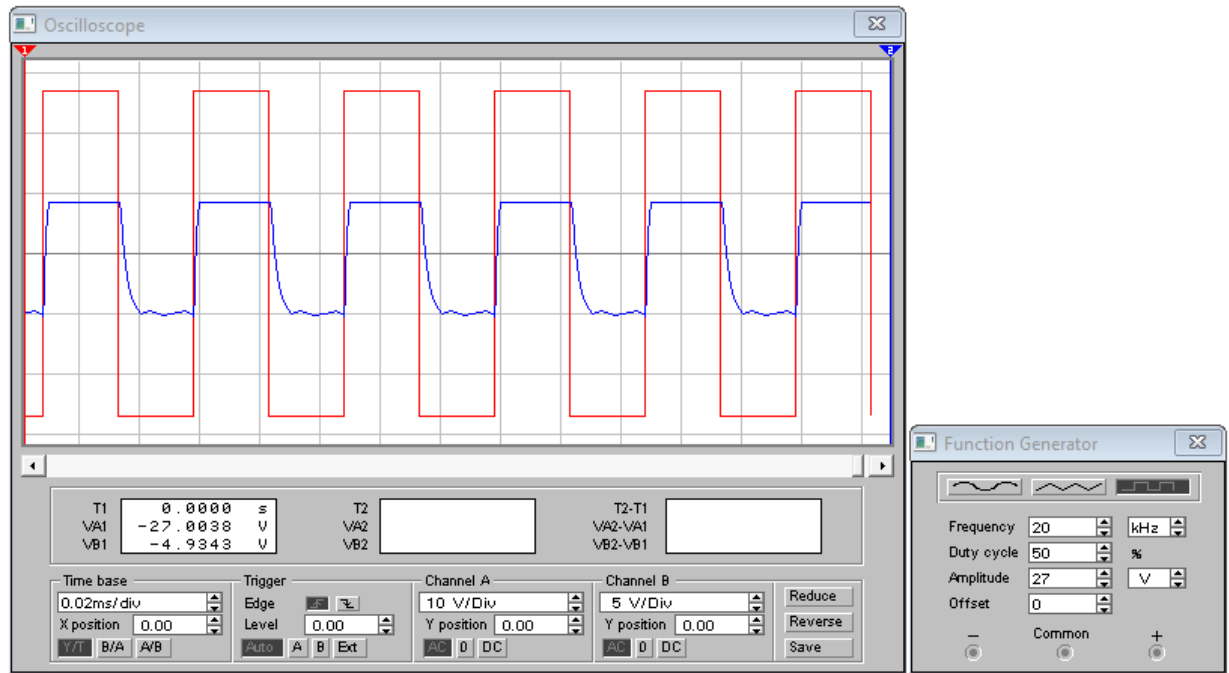


Рисунок 2.10 – Епюри вхідної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 20 кГц

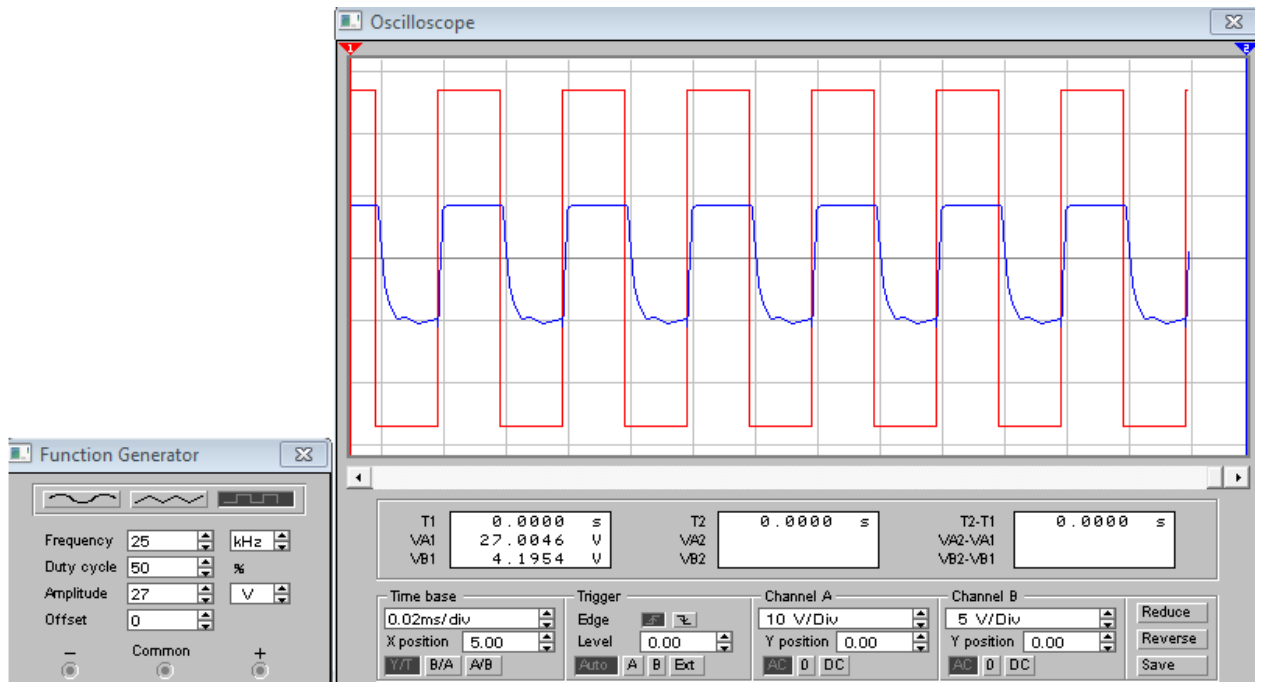


Рисунок 2.11 – Епюри вхідної напруги (червона лінія) і напруги на лазерному діоді (синя лінія) при імпульсному живленні генератора на частоті 25 кГц

З аналізу часових діаграм зміни напруги на лазерному діоді, показаних на рис. 2.8 – рис. 2.11 слідує, що з ростом частоти вхідної напруги в межах 10 - 25 кГц форма імпульсу живлення майже не змінюється. Однак на відміну від попередньої схеми передній фронт імпульса живлення зростає повільніше. Це може бути пов'язано з більшою інерційністю процесу зарядки - розрядки навантажувального конденсатора і інерційністю самих операційних підсилювачів.

До переваг схеми слід віднести те, що імпульси живлення лазерного діода і джерела живлення відбуваються практично в одній фазі. При цьому імпульс живлення діода переходить в область позитивних напруг забезпечуючи, тим самим, виключення лазерного діода без режиму суперсвітіння.

ВИСНОВКИ

Отже, в результаті виконання атестаційної роботи було зроблено наступне.

Проведено аналіз роботи напівпровідникових лазерів і систем їх накачування. Показано, що найбільш зручними з усіх різновидів лазерних діодів є інжекційні напівпровідникові лазери.

Проведено аналіз систем накачування інжекційних напівпровідникових лазерів. Показано, що дані системи найбільш ефективні з точки зору задоволення масо-габаритним вимогам, які пред'являються лазерним установкам в цілому. Крім того системи інжекційного живлення дозволяють здійснювати найбільш економічний процес накачування, а також здійснювати модуляцію лазерного випромінювання безпосередньо в процесі накачування.

Виходячи їх аналізу фізичних особливостей функціонування інжекційних напівпровідникових лазерів і систем їх накачування, зроблений вибір схеми генератора накачування інжекційного напівпровідникового лазера. Обрана схема працює в імпульсному режимі - найбільш зручному для використання лазера в інформаційній та вимірювальній техніці.

Запропоновано модернізація схеми шляхом заміни ряду елементів. Проведено моделювання вихідної і модернізованої схеми за допомогою пакету схемотехнічного моделювання Electronic Workbench (EWB 5.12). На основі порівняння тимчасових діаграм напруги живлення лазерного діода в вихідній і модернізованої схемах можна стверджувати що використання операційних підсилювачів замість складових транзисторів в даній схемі генератора накачування краще.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Х. Кейси, М. Паниш. Лазеры на гетероструктурах: учеб – М.: Изд-во Москва «Мир», 1981. – 294 с.
2. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников: учеб – М.: Изд-во «Наука», 1977. – 678с.
3. Ривлин Л.А. Динамика излучения полупроводниковых квантовых генераторов – М.: Изд-во «Советское радио», 1976. – 176 с.
4. Елисеев П.Г. Введение в физику инжекционных лазеров – М.: Изд-во «Наука», 1983. – 295 с.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х томах – М.: Изд-во Москва «Мир», 1984. – 456с.
6. К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, В.А. Тарликов. Основны лазерной техники: учеб. Пособие – Л.: Изд-во «Машиностроение», 1990. – 316 с.
7. В.Н. Легкий, И.Д. Миценко, Б.В. Галун. Малогабаритные генераторы накачки полупроводниковых лазеров: учеб. Пособие – Томск: Радио и связь, Томский отдел, 1990. – 216 с.
8. Мигнал А.Б. Энциклопедический словарь юного физика – М.: Изд-во Москва «Педагогика», 1991. – 65 с.
9. Кабардин О.Ф. Физика – М.: Изд-во Москва “Просвещение”, 1988. – 96 с.
10. Тарасов Л.В. Лазеры: Действительность и надежды – М.: Изд-во Москва “Наука”, 1985. – 123с.