

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

М. А. Філінюк, С. Є. Фурса

ОПТОНЕГАТРОНІКА

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2011

УДК 621.396.6:621.774.011.3
ББК 32.843.3
Ф57

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 9 від 21.04.2011 р.)

Рецензенти:

В. П. Кожем'яко, доктор технічних наук, професор

В. М. Лисогор, доктор технічних наук, професор

Філінюк, М. А.

Ф57 Оптонегатроніка : монографія / М. А. Філінюк, С. Є. Фурса.
– Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.

ISBN 978-966-641-440-6

В монографії розглядаються теоретичні і фізичні основи оптонегатроніки. Здійснено класифікацію оптонегатронів, проаналізовано їх основні інформативні параметри, наведено елементну базу оптонегатроніки. Розглянуті принципи побудови та надані результати досліджень комбінованих транзисторних оптонегатронів.

Книга розрахована на студентів, аспірантів, наукових співробітників та спеціалістів, які займаються проектуванням і розробкою інформаційних систем, систем керування та пристроїв на базі негатронів.

УДК 621.396.6:621.774.011.3
ББК 32.843.3

ISBN 978-966-641-440-6

© М. Філінюк, С. Фурса, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ «ОПТОНЕГАТРОНІКИ»....	8
Література до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧІ ОПТОНЕГАТРОНИ	18
2.1. Газорозрядні, розрядні електролюмінісцентні та плівкові електролюмінісцентні оптонегатрони.....	18
2.2 Світлодіоди	26
2.3. Лазер	31
2.4. Світловипромінюючий транзистор	38
Література до розділу 2	40
РОЗДІЛ 3. ФОТОПРИЙМАЛЬНІ ОПТОНЕГАТРОНИ	43
3.1. Фотодіоди	43
3.2 Фототиристори	49
3.3 Фототранзистори	51
Література до розділу 3	59
РОЗДІЛ 4. ОПТОНЕГАПАРИ	62
Перелік літератури до розділу 4	68
РОЗДІЛ 5. КРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БАЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТОНЕГАТРОНІВ	69
5.1. Обґрунтування критерію ефективності	69
5.2. Порівняльна оцінка ефективності	71
Література до розділу 5	72
РОЗДІЛ 6. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ІМПЕДАНСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧОТИРИПОЛЮСНИКІВ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНОГО ОПТОНЕГАТРОНА	73
6.1. Обґрунтування фізичної еквівалентної схеми транзисторного оптонегатрона	73

6.1.1. Оцінка впливу оптичного випромінювання на параметри фізичної еквівалентної схеми транзисторного оптонегатрона	74
6.1.2. Математична модель транзисторного оптонегатрона	78
6.2. Дослідження імпедансних характеристик чотирьохполюсників на основі транзисторного оптонегатрона з метою визначення характеру перетворення імітансу	83
6.2.1. Обґрунтування методики досліджень, розробка експериментальної установки	84
6.2.2. Дослідження імпедансних характеристик чотирьохполюсників на основі транзисторного оптонегатрона	92
6.3. Дослідження впливу світлового потоку на коефіцієнт перетворення	97
Література до розділу 6	103
РОЗДІЛ 7. УЗАГАЛЬНЕНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІМІТАНСУ НА ТРАНЗИСТОРНИХ ОПТОНЕГАТРОНАХ	104
7.1. Визначення узагальненого перетворювача імітансу та його основні параметри	105
7.2. Внутрішній інваріантний коефіцієнт стійкості узагальненого перетворювача імітансу на комбінованому транзисторному оптонегатроні	108
7.3. Коефіцієнт максимально досяжного підсилення за потужністю на межі стійкості	118
7.4. Коефіцієнт невзаємності	127
7.5. Максимально досяжний дійсний негативний імітанс перетворювачів імітансу на основі транзисторного оптонегатрона	133

7.6. Оптимальна частота перетворення імітансу перетворювачів імітансу на основі транзисторного оптонегатрона	145
7.7. Гранична частота УПІ на основі транзисторного оптонегатрона	147
Література до розділу 7	148
РОЗДІЛ 8. ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ ОПТОНЕГАТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	151
8.1 Оптично керовані активні індуктивності на основі комбінованих транзисторних оптонегатронів	151
8.2. Частотно-вибіркові пристрої.....	164
8.3. Генераторні датчики оптичного випромінювання	172
8.4. Оптоелектронний вимикач.....	180
8.5. Оптоімітансні логічні елементи.....	187
Література до розділу 8	200

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
ВАХ – вольт-амперна характеристика
ВЛ – вимірювальна лінія
ІІ – інформаційний пристрій
ККД – коефіцієнт корисної дії
ЛПЕ ВП – лазер з поверхневою емісією, розташований у вертикальній порожнині резонатора
МДНДМ – структура метал – діелектрик – напівпровідник або люмінофор – діелектрик – метал
МОН-структура метал–окисел–напівпровідник
МТОН – метал-тунельний окисел-p-p⁺-напівпровідник
НДС – негативна диференціальна ємність
НДО – негативний диференціальний опір
ПРА – пускорегулюючий апарат
РТ – розрядна трубка
РТД – резонансний тунельний діод
СБ – спільна база
СВД – світло діод
СЕ – спільний емітер
СК – спільний колектор
ТП ЕЛВ – тонкоплівковий електролюмінісцентний випромінювач
УПІ – узагальнений перетворювач імітансу
УФ – ультрафіолетове випромінювання

ВСТУП

Технічні параметри інформаційних систем та систем керування в значній мірі визначаються пристроями, що входять до їхнього складу. Ефективність цих пристроїв залежить від використаної елементної бази. Одним із шляхів підвищення ефективності інформаційних пристроїв є використання при їхній розробці сучасних досягнень нових наукових напрямків. «Оптонегатроніка» є одним з таких напрямків, що з'явився на перетині електроніки з оптоелектронікою. Використання досягнень оптонегатроніки та проектування електронних пристроїв на базі напівпровідникових приладів з негативним імітансом, викликаним дією світлового випромінювання, дозволяє підвищити ефективність багатьох електронних пристроїв.

Прилади з негативним імітансом успішно використовуються в електронній апаратурі ще і тому, що їх застосування значно спрощує конструювання електронних схем, дає можливість створювати апаратуру для надвисоких частот на напівпровідникових елементах; зменшити габарити, вагу та енергетичні затрати апаратури.

Введення М. А. Філінюком поняття узагальненого перетворювача імітансу [1] дозволило реалізовувати будь-яку функцію імітансу, що є дуже важливим. Адже при проектуванні електронних схем зручніше користуватися не фізичними параметрами самого елемента, а його параметрами як чотири- або двополюсника.

Науковий напрямок «Оптонегатроніка» був вперше визначений д. т. н., професором М. А. Філінюком в 2001 році [2]. Цьому передувала публікація низки праць радянських та закордонних авторів, таких як О. В. Лосєв, І. Д. Абезгауз, Ф. Бенінг, Ганн (J.V. Gunn), С. А. Гаряїнов, В. П. Дьяконов, Л. Есакі (L. Esaki), Л. Н. Степанова, А. С. Тагер, Ф. Д. Касимов, В. П. Кожем'яко, В. М. Кичак, П. А. Молчанов, О. Н. Негоденко, В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, У. Шоклі (W. Shockle), та ін., в яких узагальнено результати як теоретичних так і практичних досліджень. Кожна з цих публікацій внесла вклад в розвиток негатроніки та оптонегатроніки.

Монографія розрахована на наукових і інженерно-технічних працівників, що займаються дослідженням і проектуванням елементів, пристроїв і систем виміральної техніки, радіоелектроніки і систем керування, а також на аспірантів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів. Автори висловлюють щирю подяку редактору С. А. Малішевській за доброзичливість та професіоналізм при підготовці цієї книги до видання.

РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ «ОПТОНЕГАТРОНІКИ»

Сьогодні в області електроніки активно розвивається низка наукових напрямків: квантова електроніка, оптоелектроніка, акустоелектроніка, хемотроніка, магнітоелектроніка, кріоелектроніка й інші.

Остаточно сформувався та дає значні результати ще один напрямок – «Негатроніка» [3–5], який пов'язаний з теорією та практикою створення і застосування негатронів – електронних приладів, що мають у визначеному режимі негативне значення основного диференціального параметра [6].

Відкриття спадної ділянки на вольт-амперній характеристиці (ВАХ) напівпровідникового точкового діода, зроблене 13 січня 1922 року інженером Нижегородської лабораторії О. В. Лосєвим, варто вважати початком розвитку напівпровідникової негатроніки [7]. Молодий вчений не тільки вперше одержав на ВАХ діода спадну ділянку, але і реалізував з використанням такого діода регенеративний приймач – кристадин. Ці результати привернули увагу багатьох фахівців світу. У США журнал «Radio News» помістив у вересневому номері статтю під заголовком «Сенсаційний винахід», в якій говорилося: «Немає потреби доводити, що це – революційний радіовинахід. Незабаром ми будемо говорити про схему з трьома чи шістьма кристалами, як ми говоримо тепер про схему з трьома чи шістьма підсилювальними лампами. Буде потрібно кілька років для того, щоб кристал, що генерує, удосконалився настільки, щоб стати краще вакуумної лампи, але ми пророкуємо, що такий час наступить». У цьому пророкуванні не виправдалися тільки терміни. Саме ці перші роботи О. В. Лосєва варто вважати початком «Ери» напівпровідникової електроніки. Електронні прилади зі спадною ділянкою на ВАХ надалі одержали найменування «негатрони» [8].

Експериментуючи в 1923 році з детектуючим контактом «карборунд–сталевий дріт», О. В. Лосєв виявив на стику слабке світіння та звернув усю свою увагу на це незвичайне явище, передбачивши, що його фізична природа ще невідома. Він почав проводити систематичні дослідження цього ефекту на різних матеріалах та при різних температурних режимах. Так він відкрив електролюмінісценцію напівпро-

відникового переходу. Результати цих досліджень були повідомлені на науковому семінарі 9 березня 1927 року та в цьому ж році опубліковані в журналі «ТиГбп» в статті «Карборундовий детектор, що світиться, і детектування з кристалами» [9].

Експериментуючи з різними сортами кристалів і контактними дротами, О. В. Лосєв робить два найважливіші висновки: світіння відбувається без виділення тепла, тобто є «холодним», інерція виникнення і згасання світіння неймовірно мала. Ці характеристики світіння, відмічені в 20-ті роки є найважливішими для сьогоденних світлодіодів, індикаторів, оптронів, випромінювачів інфрачервоного світла. Практичне застосування ефекту світіння О.В. Лосєва почалося наприкінці п'ятидесятих років. Цьому сприяло освоєння напівпровідникових приладів: діодів, транзисторів, тиристорів. Вчений випередив своїх сучасників. Його заслуга не тільки в відкритті детекторного світіння та генерації електромагнітних коливань з використанням напівпровідникового діода, але, головним чином, в тому, що його інтуїції та наполегливості зобов'язано народження нових напрямків електроніки – напівпровідникової електроніки та оптоелектроніки.

«Оптонегатроніка» – науковий напрямок, що знаходиться на стику двох фундаментальних напрямків – оптоелектроніки та негатроніки [6, 10]. Основою його розвитку є результати досліджень оптичних властивостей напівпровідникових негатронів – оптонегатронів.

Оптонегатрони класифікують за такими параметрами [11 – 13]:

1. Здатність оптонегатронів працювати в оптичних режимах: світловипромінювання – світловипромінюючі оптонегатрони; фотоприйому – фотоприймальні оптонегатрони; в режимі оптопари, коли світловипромінювач, фотоприймач, чи їх комбінація мають негативний диференціальний опір.

2. За способом реалізації: фізичні, комбіновані та їх схемотехнічні аналоги.

3. За кількістю електродів: двохелектродні, багатоелектродні.

4. За характером вольт-амперної характеристики: N-подібні (діоди Ганна, лавинні прилади, тунельні структури, гетеробіполярні транзистори), S-подібні (аналоги індуктивності, еквіваленти тиристорів, диністори, одноперехідні транзистори), λ -подібні (λ -транзистор, λ -діод).

Нещодавні дослідження електролюмінісцентних плівок [14] дозволили розширити існуючу класифікацію оптонегатронів, ввівши в

неї ВАХ N-S-типу. Представниками оптонегатронів із подібною ВАХ є тонкоплівкові електролюмінісцентні випромінювачі на основі сульфиду цинку, легованого марганцем, поява «плавної» S-ділянки на ВАХ яких пов'язана з іонізацією та перезарядкою глибоких донорних центрів, зумовлених вакансіями цинку біля нижньої границі розділу, а ділянка негативного диференціального опору (НДО) N-типу зумовлена об'ємним зарядом поблизу верхнього електрода.

5. За видом частотної характеристики оптонегатрони поділяють на статичні та динамічні.

Напівпровідникові структури, негативний опір яких спостерігається на спадній ділянці статичної вольт-амперної характеристики називають статичними оптонегатронами.

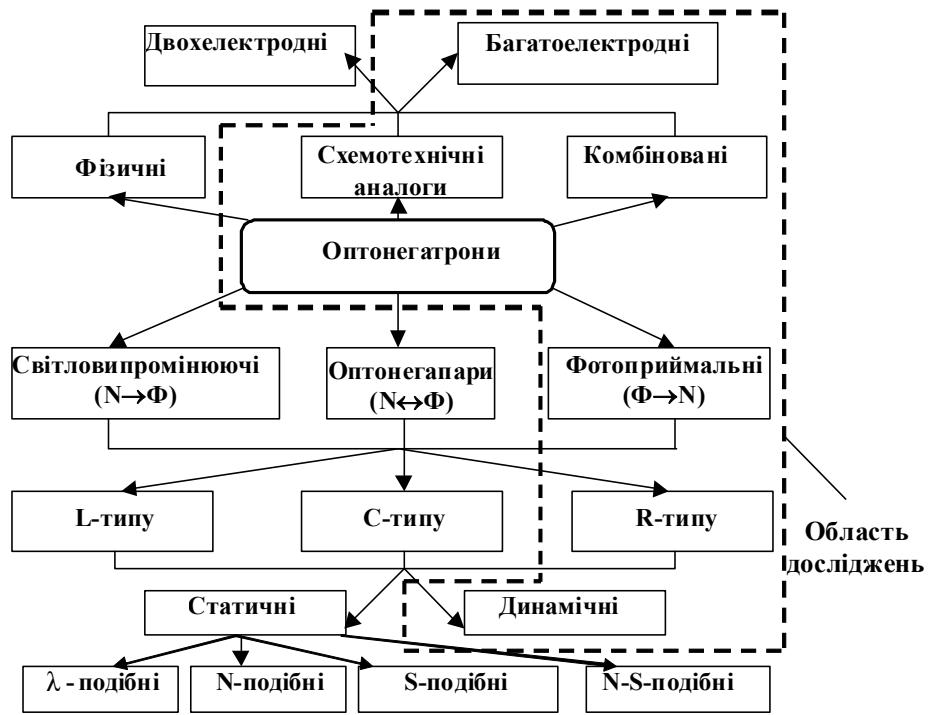
Напівпровідникові структури, у яких негативний опір спостерігається лише в динамічному режимі, називають динамічними оптонегатронами. Перевагою таких напівпровідникових структур перед тими, що мають статичний негативний опір, є більш висока надійність, стабільність. Це пов'язано із наявністю динамічного негативного опору лише у визначеному діапазоні частот, внаслідок чого виключається можливість самозбудження їх поза робочим діапазоном.

6. По типу негatrona: R-негатрони, L-негатрони, C-негатрони.

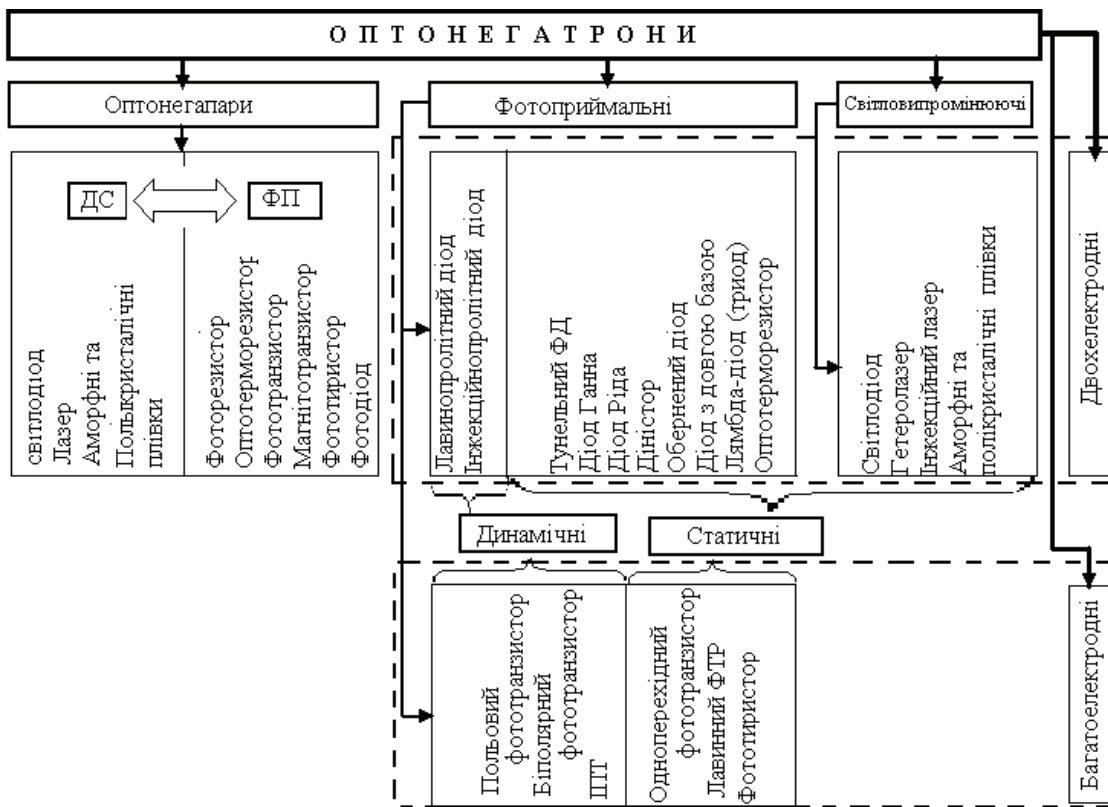
Узагальнена [2] та розширена класифікація оптонегатронів представлені на рис. 1.1. Узагальнена класифікація оптонегатронів (див. рис. 1.1a) є близькою до класифікації негatronів, але враховує здатність негatronів працювати в зазначених вище оптичних режимах.

Всі вони можуть бути поділені на три групи [15]: фізичні, комбіновані та схемотехнічні аналоги. Поява негативного диференціального опору та перетворення оптичного випромінювання в оптонегатронах залежить від способу їх реалізації.

Так, у фізичних оптонегатронах ці явища відбуваються за рахунок фізичних процесів всередині напівпровідникового кристала. Характерними представниками таких оптонегатронів є фототиристори та одноперехідні фототранзистори [16], а також напівпровідникові структури з плівками полікристалічного кремнію [17] та МТОН-структури [18], які мають при різному освітленні такі вольт-амперні характеристики (рис. 1.2).



а)



б)

Рис. 1.1. Узагальнена класифікація опtoneгатронів (а) та їх розширена класифікація (б)

Так, наприклад, дослідження транзисторної структури метал-тунельний окисел-n-p⁺-напівпровідник (МТОН-структура) показали, що вона не лише має негативний опір, але й при впливі оптичного випромінювання в області власного поглинання напівпровідника відбувається лінійне збільшення залежності слідування імпульсів внаслідок поверхнево-бар'єрної нестійкості струму, що виникає в структурі. Наявність S-ділянки на вольт-амперній характеристиці дозволяє МТОН-структурі працювати в якості оптоелектронного ключа в трьох режимах: перемикання в високопровідний стан імпульсом світла; перемикання в високопровідний стан на час дії імпульсу світла; збудження генерації при освітленні МТОН-структури. Але намагання реалізувати 100 % внутрішній позитивний зворотний зв'язок, отримати оптимальні умови перетворення всередині кристала накладає жорсткі вимоги до технології виготовлення таких оптоелектронів, ускладнює виробництво ідентичних приладів і подальше їх використання.

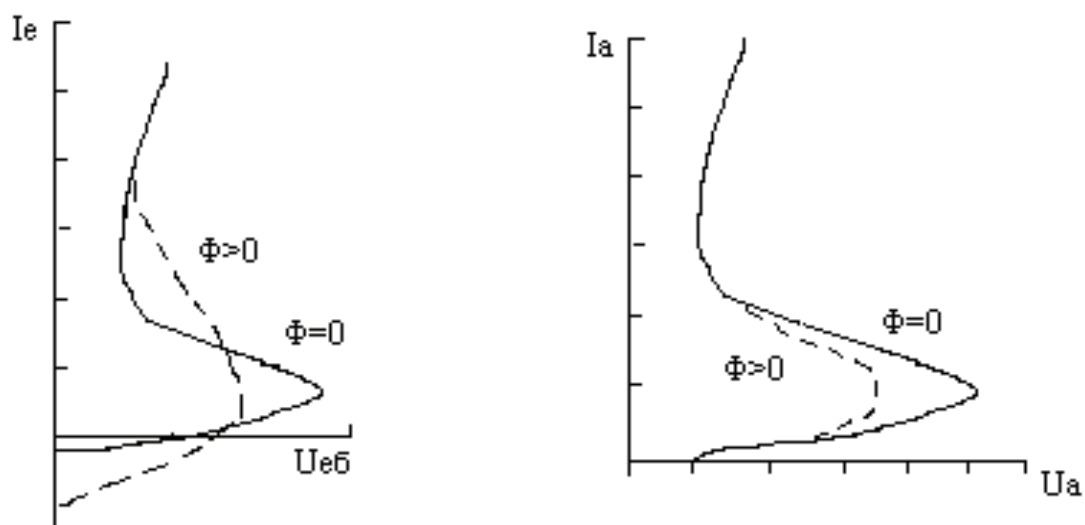
Багато з цих недоліків відсутні в схемотехнічних аналогах оптоелектронів. Їх можна поділити на дві групи.

Першу групу складають схемотехнічні аналоги оптоелектронів, у яких реалізація негативного диференціального опору та процес перетворення (чи генерації) світлового потоку здійснюється різними компонентами схеми, наприклад за рахунок введення в схему схемотехнічного аналога фоточутливих або світловипромінюючих компонентів (рис. 1.3а).

До другої групи відносяться аналоги, у яких реалізація негативного диференціального опору та функція перетворення (або генерації) світлового потоку здійснюються повністю або частково одними й тими ж компонентами схеми (рис. 1.3б) [19].

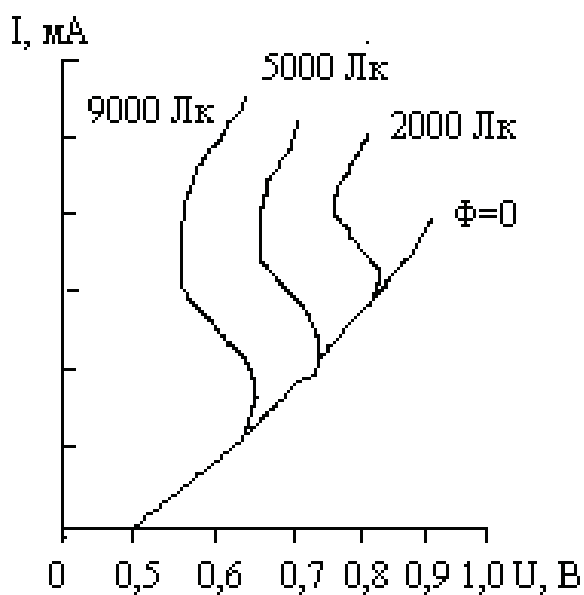
Недоліком схемотехнічних аналогів оптоелектронів є обмежений частотний діапазон, властивий всім схемотехнічним аналогам внаслідок впливу паразитних реактивностей схеми, а також негативним впливом цих елементів на функцію перетворення.

Комбіновані оптоелектрони займають проміжне місце між фізичними оптоелектронами та їх схемотехнічними аналогами. В них диференціальний негативний опір досягається шляхом реалізації 100% позитивного зворотного зв'язку: частково внутрішнього за рахунок фізичних процесів, наприклад в напівпровідниковій структурі; частково за рахунок введення кола зовнішнього зворотного зв'язку.



а)

б)



в)

Рис. 1.2. Вольт-амперні характеристики фізичних оптоелектронів:
а) одноперехідний фототранзистор; б) фототиристор; в) монокремнієвий
перехід, оточений плівкою полікристалічного кремнію

Перетворення (або генерація) світлового потоку, як правило, здійснюється за рахунок фізичних процесів в напівпровідниковій структурі. Відсутність жорстких вимог як до напівпровідникової структури, так і до кола зворотного зв'язку розширює частотний діапазон роботи

та знижує вимоги до технології виготовлення, що властиві першій групі оптоелектронів [20, 21]. Наприклад, автогенератор з оптоелектронним керуванням (рис. 1.4) забезпечує генерацію електромагнітних коливань на частотах в 2–3 рази вище максимальної частоти генерації транзистора.

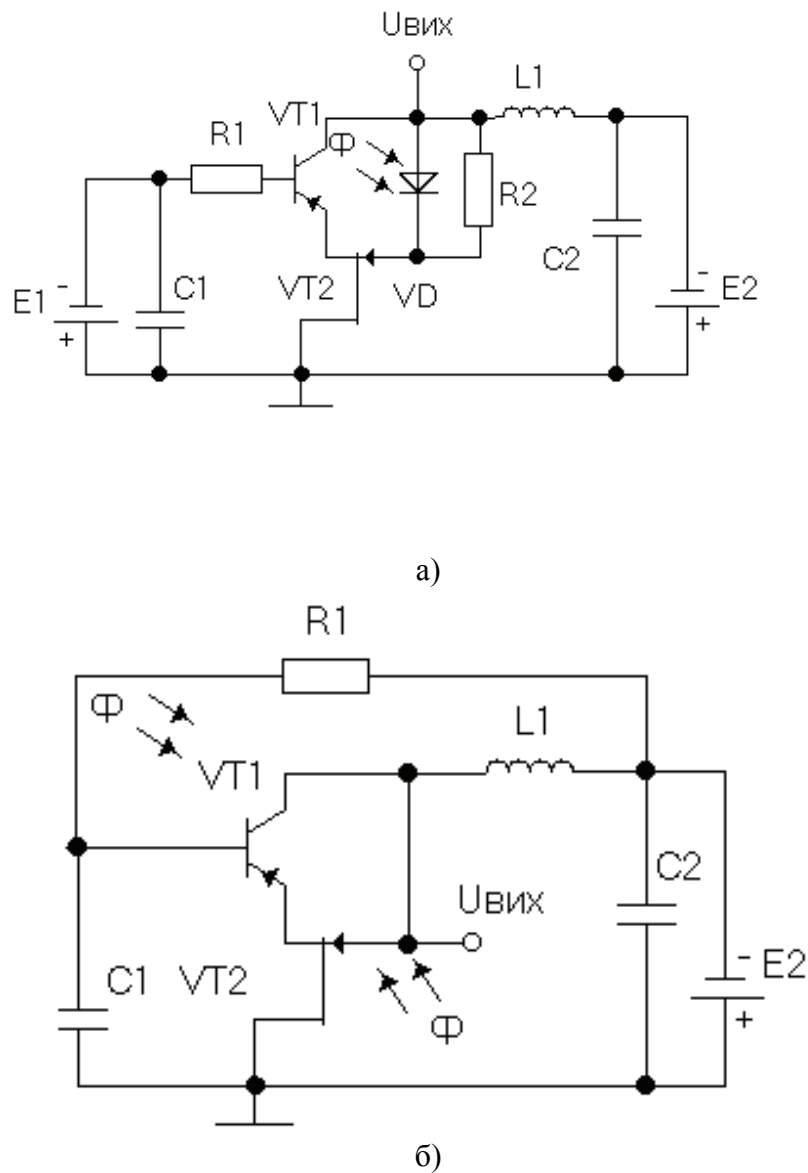


Рис. 1.3. Світлочутливі перетворювачі на базі схемотехнічних аналогів оптоелектронів

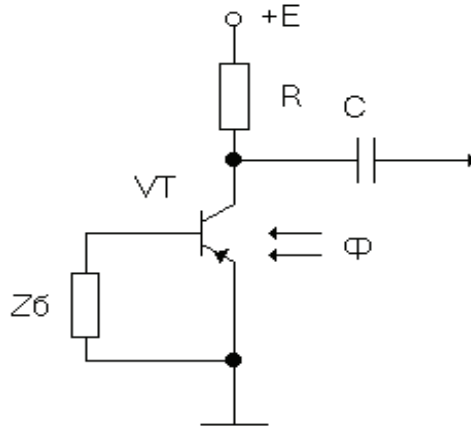


Рис. 1.4. Схема автогенератора з оптоелектронним керуванням для позамежних частот

До оптогенераторів висувається низка вимог, яким відповідає визначена система параметрів. Параметри оптогенераторів можна поділити на параметри негенератора та параметри фотоелектронного приладу.

Пропонується низка параметрів, які дозволяють оцінити потенційну нестійкість, потенційні та реальні підсилювальні властивості оптогенераторів як негенераторних елементів: прямий коефіцієнт перетворення імпедансу – T ; внутрішній інваріантний коефіцієнт стійкості – $K_{с.вн}$; коефіцієнт підсилення за потужністю чотириполюсника на межі стійкості – K_{ms} ; максимальнодосяжне значення негативної дійсної складової перетвореного імпедансу – $ReW^{(-)}_{max}$; коефіцієнт невзаємності – K_n ; гранична частота – f_{gp} ; оптимальна частота перетворення – f_{opt} ; чутливість до дії оптичного випромінювання – S_ϕ ; ефективність – E ; споживана потужність – $P_{спож}$.

Для динамічних негенераторів також необхідно ввести граничні частоти – f_{gp1} та f_{gp2} , що обмежують частотний діапазон, в якому прилад має негативне значення основного диференціального параметра.

Серед параметрів оптогенератора як фотоелектронного приладу такі: світловий потік – Φ ; потужність споживання – $P_{спож}$; розбіжність променя – θ , вольт-амперна характеристика; спектральні характеристики – залежність спектральної чутливості від довжини хвилі монохромного випромінювання; коефіцієнт корисної дії – η .

В деяких випадках доцільно також розглядати параметри оптогенератора як елемента оптопари (швидкодія та ін.)

Література до розділу 1

1. Филинюк Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах / Филинюк Николай Антонович – М. : Радио и связь, 1987. – 112 с.
2. Філінюк М. А. Оптонегатроніка – історичний шлях розвитку та перспективи / М. А. Філінюк // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології.– 2001. – №1. – С. 251–259.
3. Негатроника / [Серьезнов А. Н., Степанова Л. Н., Филинюк Н. А. и др]; под ред. Л. Н. Степановой. – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 315 с.
4. Филинюк Н.А. Перспективы развития динамической негатроники / Н. А. Филинюк // Приборы с отрицательным сопротивлением : всесоюзный научно-технический семинар; тезисы докл. – М.: ВДНХ, – 1985. – С. 6–7.
5. Филинюк Н. А. Негатроника – достижения и перспективы / Н. А. Филинюк // Приборы с отрицательным сопротивлением и интегральные преобразователи на их основе: Всесоюзная научно-техническая конференция. : тезисы докл. – Баку. – 1991. – С. 11–17.
6. Філінюк М. А. До питання визначення наукового напрямку «Негатроніка» / М. А. Філінюк // Вісник ВПІ. – 1999. – № 3. – С. 79–87.
7. Лосев О. В. Детектор генератор и детектор усилитель / Лосев О. В. // Телефония и телеграфия без проводов. – 1921. – № 3.
8. Биберман Л. И. Широкодиапазонные генераторы на негатронах / Биберман Л. И. – М. : Радио и связь, 1982. – 89 с.
9. Лосев О. В. Светящийся карборундовый детектор и детектирование с кристаллами / Лосев О. В // Телефония и телеграфия без проводов. – 14 июня 1922. – С. 374–386.
10. Філінюк М. А. Оптонегатронні компоненти – в техніці НВЧ / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. // VII МНПК «Наука і освіта–2004». : тези доп. – Дніпропетровськ. – 2004. – Т. 63. – С. 79–80.
11. Філінюк М. А. Аналіз сучасних досягнень в галузі оптонегатроніки / Микола Філінюк, Світлана Швейкіна // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – №2, Ч.1. – С. 172–176.
12. Філінюк М. А. Аналіз світловипромінюючих приладів як оптонегатронів / Микола Філінюк, Світлана Швейкіна // Вісник вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №3 (60). – С. 99–104.

13. Філінюк М. А. Аналіз елементної бази оптоелектроніки / М. А. Філінюк, С. Є. Швейкіна // «Контроль і управління в складних системах»: науково-техн. конф.; тези доп. – Вінниця. – 2003. – С. 61.

14. Гурин Н. Т. Отрицательное дифференциальное сопротивление в тонкопленочных электролюминесцентных излучателях на основе сульфида цинка / Гурин Н. Т., Шляпин А. В., Сабитов О. Ю. // Журнал технической физики. – 2001. – Т. 71, № 3. – С. 72–75.

15. Лазарев О. О. Дослідження інформаційних пристроїв на базі динамічних негатронів з оптоелектронним керуванням / Олександр Лазарев, Микола Філінюк // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – С. 151.

16. Оптоэлектронная схемотехника : учеб.пособие / Кожемяко В. П., Натрошвили О. Г., Мартынюк Т. Б., Имнаишвили Л. Ш. – К. : УМК ВО, 1988. – 276 с.

17. Касимов Ф. Д. Физико-технические и схемотехнические особенности проектирования кремниевых микроэлектронных преобразователей на основе негатронов / Касимов Ф. Д., Агаев Ф. Г., Филинчук Н. А. – Баку : ЭЛМ, 1999. – 234 с.

18. Жужа М. А. Оптоэлектронные приборы на основе МТОП-структуры / Жужа М. А., Муравский В. С., Рубцов Г. П. // Приборы с отрицательным сопротивлением и интегральные преобразователи на их основе: всесоюзная научно-техническая конференция. ; труды. – Баку. – 1991. – С. 81.

19. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / Осадчук О. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2000. – 303 с.

20. Филинчук Н. А. Математическая модель транзисторного эквивалента индуктивности с оптоэлектронным управлением / Филинчук Н. А., Ковальчук В. И., Белятинский С. В // Новые методы и средства вычислительной техники. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1985. – С. 124–126.

21. Филинчук Н. А. Безиндуктивный генератор с оптоэлектронным управлением / Филинчук Н. А., Павлов С. Н. // Материалы всесоюзной научно-технической конференции «Функциональная электроника в вычислительной технике и устройствах управления». – Тбилиси. – 1986. – С. 494–497.

Література до розділу 2

1. Рохлин Г. Н. Газоразрядные источники света / Рохлин Г. Н. – М. Энергоатомиздат, 1991.
2. Гурин Н. Т. Отрицательное дифференциальное сопротивление в тонкопленочных электролюминесцентных излучателях на основе сульфида цинка / Н. Т. Гурин, А. В. Шляпин, О. Ю. Сабитов // Журнал технической физики. – 2001. – Т. 71, № 3. – С. 72–75.
3. Singh V.P. Electric field and conduction current in ac thin-film electroluminescent display devices / V.P. Singh, S. Krishna // Journal of Applied Physics. – 1991. – Vol. 70., № 3. – P. 1811–1819.
4. Abu-Dayah A. Internal charge-phosphor field characteristics of alternating-current thin-film electroluminescent devices / A. Abu-Dayah, S.Kobayashi, J.F. Wager // Applied Physics Letters. – 1993. – Vol. 62, № 7. – P. 744–746.
5. Abu-Dayah A. Electrical characterization of atomic layer epitaxy ZnS:Mn alternating-current thin-film electroluminescent devices subject to various waveforms / A. Abu-Dayah, S.Kobayashi, J.F. Wager / Journal of Applied Physics. – 1993. – Vol. 74, № 9. – P. 5575–5581.
6. Abu-Dayah A. Aging studies of atomic layer epitaxy ZnS:Mn alternating-current thin-film electroluminescent devices // A. Abu-Dayah, J.F. Wager // Journal of Applied Physics. – 1994. – Vol. 75, № 7. – P. 3593–3598.
7. Observation and simulation of space-charge effects and hysteresis in ZnS:Mn ac thin-film electroluminescent devices / [K.A. Neyts, D. Corlatan, P. De Visschere, J. Van den Bossche] // Journal of Applied Physics. – 1994. – Vol. 75, № 10. – P. 5339–5346.
8. Bringuier E. High-field conduction in semi-insulating ZnS films / E. Bringuier // Philosoph Magaz B. – 1997. – Vol. 75, № 2. – P. 209–228.
9. Гусейнов Я. Ю. Эффекты отрицательного сопротивления и переключения в пленках аморфного гидрогенизированного кремния / Я. Ю. Гусейнов // Известия Вузов, Электроника. – 1999. – № 6. – С. 13–16.
10. Касимов Ф. Д. Влияние конструктивно-технологических особенностей изготовления на параметры солнечных элементов на основе α Si:H / Касимов Ф. Д., Гусейнов Я. Ю. // Известия Вузов, Электроника. – 2000. – № 1. – С. 40–44.
11. Верещагин И. К. Ведение в оптоэлектронику / И. К. Верещагин – М. : Высш. шк, 1991. – 191 с.

12. Study of gamma field induced degradation of green GaP light diode electroluminescence characteristics / [S. O. Kanevsky, P. G. Litovchenko, V. Ja. Opilat та ін.] // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2003. – V. 6, No. 4. – P. 499–504.
13. R. N. Bhargava. Negative resistance in GaP electroluminescent diodes / R. N. Bhargava. // Appl. Phys. Lett. – 1969. – No. 14. – P. 193.
14. Maeda K. Double injection in GaP electroluminescent diodes / K. Maeda // Jap. J. Appl. Phys. – 1970. – No. 9. – P. 71.
15. Bringuier E. High-field conduction in semi-insulating ZnS films / E. Bringuier // Philosoph Magaz B. – 1997. – Vol. 75, № 2. – P. 209–228.
16. Miles R. E. Towards Terahertz Communications – Systems Requirements / Miles, R. E., Harrison, P. and Lippens, D. (eds). // Terahertz Sources and Systems, NATO Science Series II. Mathematics, Physics and Chemistry – 2001. – Vol. 27. – P. 269–283.
17. Terahertz semiconductor-heterostructure laser / [R. Kohler, A. Tredicucci, F. Beltram та ін.] // Nature. – May 9, 2002. – Vol. 417. – P. 156–159.
18. Janice A. Hudgings. Compact, Integrated Optical Disk Readout Head Using a Novel Bistable Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser / [Janice A. Hudgings, Sui F. Lim, Gabriel S. Li та ін.] // IEEE Photonics Technology Letters. – February 1999. – Vol. 11, № 2. – P. 245–247.
19. Vertical-cavity lasers with intracavity resonant detector / [S. F. Lim, G. S. Li, W. Yuen, and C.J. Chang-Hasnain] // IEEE J. Select. Topics Quantum Electron. – Apr. 1997. – Vol. 3. – P. 412–421.
20. The physics of negative differential resistance of an intracavity voltage-controlled absorber in a vertical-cavity surface-emitting laser / [J. A. Hudgings, R. J. Stone, S. F. Lim, G. S. Li та ін.] // Applied Physics Letters. – Sept. 1998. – Vol. 73, № 13. – P. 1796–1798.
21. 2.7–3.9 μm InAsSb(P)/InAsSbP low threshold diode lasers / [N. Baranov, A. N. Imenkov, V. V. Sherstnev, Yu. P. Yakovlev] // Applied Physics Letters. – 1994. – Vol. 64, № 19. – P. 2480–2482.
22. Гетеропереходи II типа GaInAsSb/InAs / [М. П. Михайлова, И. А. Андреев, Т. И. Воронина и др.] // ФТП. – 1996. – № 29. – С. 687.
23. Interface electroluminescence of confined carriers in type II broken-gap p-GaInAsSb/p-InAs single heterojunction / [M. P. Mikhailova, K. D. Moiseev, G. G. Zegrya eds] // Solid State Electronics. – 1996. – Vol. 40, № 8. – P. 673–677.

24. 3.9- μm InAsSb/AlAsSb double-heterostructure diode lasers with high output power and improved temperature characteristics / [H. K. Choi, C. W. Turner, S. J. Eglash, Z. I. Liao] // Applied Physics Letters. – 1994 – Vol. 65, № 18. – P. 2251–2253.

25. Бистабильность электролюминесценции в двойной гетероструктуре II типа AlGaAsSb/InGaAsSb / [Б. Е. Журтанов, К. Д. Моисеев, М. П. Михайлова и др.] // Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т. 33, Вып. 3. – С. 357–361.

26. Photoemission oscillation measurement of barrier thickness for InAs/AlSb resonant tunneling diodes / J. J. Zinck, D. H. Chow, J. N. Schulman, H. L. Dunlap] // Appl. Phys. Lett. – 1996. – Vol. 68, № 10. – P. 1406–1408.

27. Лазеры на основе двойных гетероструктур InGaSb(Gd)/InAsSbP ($\lambda=3.0\text{--}3.3$ мкм) для диодно-лазерной спектроскопии / [М. Айдаралиев, Т. Beyer, Н. В. Зотова и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2000. – № 34 (7). – С. 881–885.

28. T. K. Carns. A Novel high speed, three element Si-based static random access memory (SRAM) cell / T. K. Carns, X. Zheng, K. L. Wang // IEEE Electronics Device Letters – 1995. – Vol. 16, № 6. – P. 256–258.

29. Lakhani. Combining resonant tunneling diodes for signal processing and multilevel logic / Lakhani, R. C. Potter // Applied Physics Letters. – May 16, 1988. – Vol. 52, № 20. – P. 1684–1685.

30. Strain-induced quantum confinement of carriers due to extended defects in silicon / [H. Weman, B. Monemar, G. S. Oehrlein, S. J. Jeng.] // Phys. Rev. – 1990. – В 42. – P. 3109–3112.

31. Sheng, Hanyu. Properties of monolithic integration of a resonant tunnelling diode and a quantum well laser / Sheng, Hanyu; Chun, Soo-Jin / International journal of Superlattices and Microstructures. – 1994. – Vol. 16, № 2. – P. 157–157.

32. Unated state Patent. No 7,297,589,B2. Transistor device and method / Jr.M.Feng. – No 7,297,589,B2; Nov. 20. 2007.

33. Laser of a heterojunction bipolar light-emitting transistor / [G. Walter, N. Holonyak, Jr.M.Feng, R.Chan] // Applied Physics Letters. – Vol. 85, № 20. – 2004.

34. Электролюминесценция и фототриггерный эффект в монокристаллах твердых растворов $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ / [А. Г. Кязым-заде, В. М. Салманов, А. Г. Мохтари и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2008. – Том 42, вып. 5. – С. 532–535.

Література до розділу 3

1. Касимов Ф. Д. Стимулированное светом отрицательное сопротивление в кремниевых р-п-переходах с поликристаллической базой / Ф. Д. Касимов, Н. Г. Джавадов // Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА. – 1999. – № 1–2. – С. 47–51.
2. Phase locking between light pulses and a resonant tunneling diode oscillator / [F. Lann, E. Grumann, A. Gabai eds] // Applied Physics Letters. – 1993. – Vol. 62, № 1. – P. 13–15.
3. Characteristics comparison of a novel vertical-cavity surface-emitting laser / [S.C. Kan, P.J. Harshman, K.Y. Lau, Y. Wang eds] // IEEE Photonics Technology Letters. – 1996. – № 8. – P. 641.
4. Фотоприемник с переключением и памятью на гетероструктуре CdS-GaN / [А. Г. Дрижук, В. Г. Сидоров, Д. В. Сидоров и др.] // Письма в ЖТФ. – 1997. – Том 23, № 20. – С. 75–78.
5. S.R. Wenham, L.M. THYRSITOR STRUCTURE SOLAR CELLS / S.R. Wenham, L.M. Koschier and M.A. Green / Photovoltaics Special Research Centre University of New South Wales.
6. О. В. Осадчук. Дослідження фотореактивного ефекту в біполярних транзисторах / О. В. Осадчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 3. – С. 95–103.
7. Носов Ю. Р. Оптоэлектроника / Носов Ю. Р. – М. : Советское радио, 1977. – 230 с.
8. Гаряинов С. А. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением / С. А. Гаряинов, И. Д. Абезгауз – М. : Энергия, 1970.
9. Осадчук О. В. Математична модель частотного перетворювача температури на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором / Осадчук О. В // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – С. 49–53.
10. Осадчук В. С. Исследование частотного магнитного преобразователя на основе транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением / Владимир Осадчук, Александр Осадчук // Elektronika ir Elektrotechnika. – 1999. – № 3 (21). – P. 12–16.
11. Осадчук В. С. Математична модель частотного перетворювача деформації на основі біполярно-польової структури / Володимир Осадчук, Олександр Осадчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – № 6. – С. 82–88.

12. Dill H.G. Semiconductor Inductive Elements / H. G. Dill // Semiconductor Products. – 1962. – V. 5. – P. 28–31.
13. Einsele T. Uber die Traegheit des Flussleitwerst von Germaniumdioden / T. Einsele // Zangew. Phys. – 1952. – B. 4. – № 5. – S. 183–185.
14. Jain F. C. Observation of anactive photoinduktive component in high intensity solar cells / F. C. Jain // J. Appl Phys. – 1980. – Vol. 51, №5. – P. 2685–2692.
15. Kanai Y. On Inductive parts in the a.c. characteristcs of the Semiconductors / Y. Kanai // J. Phys. Soc. – 1955. – Vol. 10. – P. 719–720.
16. Kohn G. Nonntnmacher W. Inductives Verhalten von p-n Ubergangen in Flusstichtung / G. Kohn // Arch. Elekt. Vlertragung. – 1954. – V. 8, № 12. – P. 561–564.
17. Ladany I. An Analysis of Inertial Inductance in a Junction Diode / I. Ladany // IRE Transactions on Electron Devises. – 1960. – V. ED-7. – № 10. – P. 303–310.
18. Van Vliet K. M. Current-Voltage Relations and Equivalent Circuits of Transistor at High Injection Levels / K. M. Van Vliet, H. S. Min. // Solid – State Electronics.– 1974. – Vol. 17. – P. 267–284.
19. Yamaguchi Y. On the Inductive Reactance and Negative Resistance in Transistor / Y. Yamaguchi // Journal Physical Society of Japan. – 1956. – Vol. 11. – P. 717–718.
20. Осадчук В. С. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах / Осадчук В. С. – К. : Вища школа, 1987. – 155 с.
21. Одобецкий С. И. Фотореактивный эффект в транзисторах со структурой металл-диэлектрик-полупроводник / С. И. Одобецкий, В. С. Осадчук // Радиотехника и электроника. – 1989. – Т. 34, № 11. – С. 2387–2393.
22. Отрицательное магнитосопротивление в кремнии, легированном бором и марганцем, стимулированное электрическим полем и светом / [М. К. Бахардыханов, О. Э. Сатаров, Х. М. Алиев и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2005. – Т. 39, вып. 7.
23. Каштанкин И. А. Фоточувствительный кремниевый биполярный N-прибор с управляемой вольт-амперной характеристикой / И. А. Каштанкин, Н. Т. Гурин // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т. 31, вып. 13. – С. 46–49.

24. Shockley W. Theory of p-n Junction in the Semiconductors and transistors with p-n Junction / Shockley W. // Bell Syst. Techn. J. – 1949. – V. 28. – № 4. – P. 435–489.
25. Осадчук А. В. Транзисторный оптический датчик / Осадчук А. В. // Материалы научно-технической конференции «Приборостроение-94». – Винница, 1994. – С. 111.
26. В. И. Санкин. Эффекты ванье-штарковской локализации в 6H-SiC планарном полевом транзисторе с *p-n*-переходом в качестве затвора / В. И. Санкин, П. П. Шкробий, А. А. Лебедев // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т. 40, вып. 10. – С. 46–49.
27. G. Perera. Negative Capacitance of GaAs Homojunction far-infrared Detectors / G. Perera, W. Z. Shen, and M. Ershov // Applied Physics Letters. – 1999. – Vol. 74, № 21. – P. 3167–3169.
28. Segregation of Si doping in GaAs-AlGaAs quantum wells and the cause of the asymmetry in the current-voltage characteristics of intersubband infrared detectors / H. C. Liu, Z. R. Wasilewski, M. Buchanan, and H. Chu // Applied Physics Letters. – 1993. – Vol. 63, № 6. – P. 761–763.
29. Negative capacitance effect in semiconductor devices / V. Ershov, H. C. Lui, L. Li та ін. // IEEE transaction on electron devices. – Oct. 1998. – Vol. T-ED 8. – P. 2196–2206.

Література до розділу 4

1. Філінюк М. А. Оптонегатроніка – історичний шлях розвитку та перспективи / М. А. Філінюк // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології.– 2001. – № 1. – С. 251–259.
2. Філінюк М. А. Аналіз сучасних досягнень в галузі оптонегатроніки / Микола Філінюк, Світлана Швейкіна // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2, Ч. 1. – С. 172–176.
3. Носов Ю. Р. Оптоэлектроника / Носов Ю. Р. – М. : Радио и связь, 1989. – 360 с.
4. М. А. Філінюк. Дослідження інваріантного коефіцієнта стійкості регенеративного оптрона / М. Філінюк, С. Швейкіна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : X наук.-техн. конф., 28 – 31 травня 2003., Хмельницький : тези доп. – V., 2003. – С. 5.
5. Куликовский А. А. Устойчивость активных линейаризованных цепей с усилительными приборами новых типов / А. А. Куликовский. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 192 с.
6. Фельдштейн А. П. Синтез четырехполюсников и восьмиполюсников на СВЧ / А.П. Фельдштейн, Л. Р. Явич. – М. : Связь, 1971. – 378 с.
7. Кожем'яко В. П. Схемотехніка побудови оптоелектронних інтегральних схем обробки інформації : навч. посібник / В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, В. А. Суприган. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 104 с.

Література до розділу 5

1. Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизации автоматических систем контроля и управления / Кузьмин И. В. – М. : Советское радио, 1971. – 296 с.
2. Чумаков Н. М. Оценка эффективности сложных технических устройств / Н. М. Чумаков, Е. И. Серебряный – М. : Сов. радио, 1980. – 191 с.
3. Багацкий В. В. Теория построения, проектирование и практическая реализация аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей общего применения: дис. ... докт. техн. наук : 05.13.08 / Багацкий В. В. – М., 1994. – 350 с.
4. Филинюк Н.А. Оценка эффективности информационных устройств на базе оптоэлектронных / Н. А. Филинюк, С. Е. Швейкина, К. В. Огородник // Перспективные разработки науки и техники : науч.-практ. конф. – Белгород–Днепропетровск. – 2004. – Т. 10. – С. 13–17.

Література до розділу 6

1. Филинюк Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. / – М. : Радио и связь (1987. – 112 с).
2. Філінюк Н. А. Оптонегатроніка – історичний шлях розвитку та перспективи / Філінюк М. А. // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології.– 2001. – № 1. – С. 251–259.
3. Філінюк М. А. Аналіз сучасних досягнень в галузі оптонегатроніки / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2, Ч. 1. – С. 172–176.
4. Філінюк М. А. Аналіз світловипромінюючих приладів як оптонегатронів / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. // Вісник вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №3 (60). – С. 99–104.
5. Філінюк М. А. Дослідження інваріантного коефіцієнта стійкості регенеративного оптрона / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. // Праці Х НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2003. – С. 5.
6. Філінюк М. А. Аналіз елементної бази оптонегатроніки / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. // Праці НТК «Контроль і управління в складних системах». – Вінниця. : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2003. – С. 61.
7. Філінюк М. А. Оптонегатронні компоненти – в техніці НВЧ / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. // Праці VII МНПК «Наука і освіта–2004». – Дніпропетровськ. – 2004. – Т. 63. – С. 79–80.
8. Филинюк Н. А. Оценка эффективности информационных устройств на базе оптонегатронов / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є., Огородник К. В. // Праці НПК «Перспективные разработки науки и техники». – Белгород-Днепропетровськ. – 2004. – Т. 10. – С. 13–17.

Література до розділу 7

1. Фельдштейн А. П. Синтез четырехполосников и восьмиполосников на СВЧ. / Фельдштейн А. П., Явич Л. Р. / – М.: Связь, 1971. – 378 с.
2. Філінюк М. А. Дослідження інваріантного коефіцієнта стійкості регенеративного оптрона / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. / Праці Х НТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах».– Хмельницький, – 2003. – С. 5.
3. Мокін Б. І. Математичні моделі робастної стійкості та чутливості нелінійних систем: Монографія / Мокін Б. І., Юхимчук С. В. / . – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 124 с.
4. Зубов В. И. Математические методы исследования систем автоматического регулирования. / Зубов В. И. ; изд. 2-е, перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1974. – 335 с.
5. Михайлов А. В. О новом методе исследования замкнутых регулируемых цепей / Михайлов А. В. // Автоматика и телемеханика. – 1938. – № 4–5. – С. 36–50.
6. Куликовский А. А. Устойчивость активных линейризованных цепей с усилительными приборами новых типов. / Куликовский А. А./ – М. : Госэнергоиздат, – 1962. – 192 с.
7. Rollett J. M. Stability and power gain invariants of linear two-ports / Rollett J. M. // IRE Trans. – 1962. – Vol. CT-9, № 1. – P. 29–32.
8. Богачев В. М. Транзисторные усилители мощности. / Богачев В. М., Никифоров В. В. / – М. : Энергия, – 1978. – 344 с.
9. Новий метод измерения инвариантного коэффициента устойчивости потенциально-неустойчивых четырехполосников / [Филинчук Н. А., Огородник К. В., Ліщинская Л. Б. и др.] / Материалы 16-й

Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, – 2006. – С. 791–792.

10. Шварц Н. З. К определению инвариантного коэффициента устойчивости СВЧ транзисторов / Шварц Н. З. // Полупроводниковые приборы и их применение; вып. 26. ; под ред. Я. А. Федотова. – М. : Сов. Радио, 1972. – С. 245–248.

11. Medina M. A. A Method of Evaluating The Stability Factor of Two-Port Network / Medina M. A., Scarut R. M. // Proc. IEEE. – 1966. – № 12. – P. 1107–1108.

12. Филинук Н. А. Измерение инвариантного коэффициента устойчивости четырехполюсника / Филинук Н. А., Гаврилов Д. В., Огородник К. В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – № 1. – С. 88–91.

13. Введение в полупроводниковую электронику. / Под ред. Я. А. Федотова; пер. с англ. Нанавати Р. П. – М. : Связь, 1965. – 456 с.

14. Филинук Н. А. Исследование внутреннего инвариантного коэффициента устойчивости транзисторного оптодегратрона / Филинук Н. А., Швейкина С. Е. // Труды МНТК «ODS-PHOTONICS-2005». – Вінниця, – 2005. – С. 127.

15. Филинук Н. А. Определение параметров физической эквивалентной схемы ВЧ транзисторов / Филинук Н. А., Песков С. Н., Павлов С. Н. // Радиоэлектроника. Изв вузов СССР. – 1982. – Т. 25, № 12. – С. 38–43.

16. Філінюк М. А. Методи визначення параметрів потенційно нестійких чотирьополосників / Філінюк М.А., Возняк О. М. / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1995. – № 1. – С. 48–52.

17. Філінюк М. А. Метрологічні основи негатроніки : Монографія / Філінюк М. А., Гаврілов Д. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006 – 188 с.

18. Филинук Н. А. Математическая модель ОПИ на транзисторном оптодегратроне / Филинук Н. А., Швейкина С. Е. // Труды МНПК «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании». – Баку. – 2004. – С. 416–417.

19. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. / Филинук Н. А. – М. : Радио и связь, 1987. – 112 с.

20. Филинук Н. А. Оценка эффективности информационных устройств на базе оптодегратронов / Филинук Н. А., Швейкина С. Е., Ого-

родник К. В. // Праці НПК «Перспективніе разработки науки и техники2. – Белгород-Днепропетровск. – 2004. – Т. 10. – С. 13–17.

21. Система рабочих параметров обобщенных преобразователей иммитанса / Филинюк Н. А. ; Вінниц. політехн. ін-т. – Вінниця, 1983. – 16 с. – Деп. в УкрНИИНТИ 24.11.83, №1328 – Ук-Д83.

22. Пат. 53004 Україна, МКИ G01R27/28. Спосіб вимірювання мінімально досяжного вхідного активного опору чотиріполюсника / Філінюк М. А., Гаврілов Д. В. ; Вінницький державний технічний університет. – № 2002010719 ; заявл. 29.01.02 ; опубл. 15.01.03, Бюл. № 1. – 5 с.

23. Бергельсон И. Г. Транзисторы. Параметры, методы измерений и испытаний. / И. Г. Бергельсон, Ю. А. Каменецкий, И. Ф. Николаевский. – М. : Сов. радио, 1968. – 504 с.

24. Філінюк М. А. Спосіб вимірювання активної складової комплексного опору / Філінюк М. А., Гаврілов Д. В. / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 5. – С. 107–110.

25. Смогилев К. А. Резонансные усилители на транзисторах. / Смогилев К. А. – М. : Сов. радио, 1972. – 304 с.

26. Пат. 11679 Україна, МПК7 G 01 R 27/28 Спосіб визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно нестійкого чотиріполюсника / Філінюк М. А., Гаврілов Д. В., Швейкіна С. Є. ; Вінницький національний технічний університет. – № u200504156 ; заявл. 29.04.2005 ; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. – 5 с.

27. Филинюк Н .А. Анализ максимальной частоты генерации транзисторной схемы с общим коллектором с учетом лавинного умножения / Филинюк Н. А. // Радиотехника и электроника. – 1982. – Т. XXXVII, № 8. – С. 1571–1575.

28. Пат. 9563 Україна, МПК₇ G 01 R 27/28. Спосіб визначення граничної частоти потенціально-нестійкого чотиріполюсника / Філінюк М. А., Гаврілов Д. В., Швейкіна С. Є. ; Вінницький національний технічний університет. – № 20041210450; заявл. 20.12.2004 ; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10. – 4 с.

Література до розділу 8

1. Негатроника. – Новосибирск : / [Серьезнов А. Н., Степанова Л. Н., Филинюк Н. А. и др.] / Наука. Сибирская издательская фирма РАН, – 1995. – 315 с.
2. Dill H. G. Semiconductor Inductive Elements / Dill H .G. // Semiconductor Products. – 1962. – V. 5. – P. 28–31.
3. В. С. Осадчук. Индуктивный эффект в полупроводниковых приборах / В. С. Осадчук. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 66.

4. Декл. пат. 13112 Україна, МПК₇ G 01 R 27/28 Оптично керована активна індуктивність / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. ; Вінницький національний технічний університет. – № u200508997 ; заявл. 23.09.2005 ; опубл. 15.03.2006, Бюл. № 3. – 2 с.
5. Декл. пат. 14547 Україна, МПК₇ G 01 R 27/28 Активна індуктивність з оптичним керуванням /Філінюк М. А., Швейкіна С. Є. ; Вінницький національний технічний університет. – № u200511460 ; заявл. 02.12.2005 ; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. – 2 с.
6. Филинюк Н. А. Сравнительный анализ оптически управляемых схемотехнических аналогов активной индуктивности / Филинюк Н. А., Швейкина С. Е. // Труды V МНТК «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе» – Баку. – 2005. – С. 288–290.
7. Филинюк Н.А. Активные индуктивности. / Филинюк Н. А., Швейкина С. Е., Огородник К. В. и др. // Труды 7 МПК «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса. – 2006 г. – Т. 2. – С. 155.
8. Філінюк М. А. Моделювання та синтез активних НВЧ фільтрів на базі транзисторного оптонегатрона. / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є., Куземко О. М. // Вісник Хмельницького національного університету.– 2005. – № 4. – С. 208–212.
9. Микроэлектронные преобразователи на основе негатронных элементов и устройств / Касимов Ф. Д., Гусейнов Я. Ю., Негоденко О. Н., Румянцев К. Е. – Баку – Элм, 2001. – 236 с.
10. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П.В. Новицкого. Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1975.
11. Осадчук О. В. Математична модель частотного перетворювача температури на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором / Осадчук О. В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – С. 49–53.
12. Осадчук В. С. Исследование частотного магнитного преобразователя на основе транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением / Осадчук В. С., Осадчук А. В. // Elektronika ir Elektrotechnika. – 1999. – № 3 (21). – P. 12–16.

13. Осадчук В. С. Математична модель частотного перетворювача деформації на основі біполярно-польової структури / Осадчук В. С., Осадчук А. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – № 6. – С. 82–88.

14. Sensitivity of optical negasensors / Molchanov P. A., Petrosyuk I. M., Asmolova O. V., Luchenko A. I. // NEFERTITI Workshop on Broadband Optical / Wireless Access. – 9 October, 2003.

15. Hybrid Lidar-Radar / L. J. Mullen, V. M. Contarino. // IEEE Microwave. – 2000. – No.1. – P. 42–47.

16. Application of RADAR Technology to Aerial LIDAR Systems for Enhancement of Shallow Underwater Target Detection / L. J. Mullen, A. J. C. Vieira, P. R. Herczfeld, V. M. Contarino. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1995. – Vol. 43, № 9. – P. 2370–2376.

17. Distributed Balanced Photodetectors for Broad-Band Noise Suppression / Saifal M. Islam, Tai Chen, Sagi Mathai, Tatsuo Itoh, Ming C. Wu, Debrah L. Sivco, Alfred Y. Cho. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1999. – Vol. 47, № 7. – P. 1282–1288.

18. Traveling-Wave photodetectors for High-Power large- Bandwidth Applications / Vincent M. Heitala, Allen G. Vawter, Brennan T. M., Hammons B. E. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1995. – Vol. 43, № 9. – P. 2291–2298.

19. Швейкіна С.Є. Генераторний давач інтенсивності оптичного випромінювання / Швейкіна С. Є., Філінюк М. А. // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1 (11). – С. 175–179.

20. В. Н. Боголюбов. Управляемые ферритовые устройства СВЧ. / В. Н. Боголюбов, А. В. Ескин, С. Б. Карбовский. – Изд. Советское радио, 1972.

21. Верещагин И. К. Введение в оптоэлектронику / И. К. Верещагин – М. : Высш. шк, 1991. – 191 с.

22. Бова М. Т. Керовані ємності та комутуючі пристрої НВЧ. / Бова М. Т. – изд. Техника, Київ, 1966.

23. Г. А. Бухонина. Исследование некоторых характеристик диодных коммутационных устройств дециметрового диапазона /

Г. А Бухонина, Г. Ф. Васильев, В. А. Галковский, Е. И. Гольберг, В. Н. Гинзбург. // Нелинейные и сверхвысокочастотные радиотехнические системы, II. – вып. 215. – Изд. Машиностроение, 1970. – С. 248–309.

24. Філінюк М. А. Моделювання та синтез активних НВЧ фільтрів на базі транзисторного оптонегатрона. / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є., Куземко О. М. // Вісник Хмельницького національного університету.– 2005. – № 4. – С. 208–212.

25. Декл. пат. 14555 Україна, МПК₇ G 06 F 17/00 H 01 P1/20 Оптично керований активний НВЧ-фільтр / Філінюк М. А., Швейкіна С. Є.; Вінницький національний технічний університет. – № u200511486; заявл. 02.12.2005; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. – 5 с.

26. Кожемяко В. П. Оптоэлектронная схемотехника. / Кожемяко В. П., Натрошвили О. Г., Мартынюк Т. Б., Имнаишвили Л. Ш. – К. : УМК, 1988. – 276 с.

27. Кичак В. М. Радиоімпульсні логічні НВЧ елементи. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 240 с.

28. Ліщинська Л. Б. Імітансна логіка / Ліщинська Л. Б., Філінюк М. А. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 2 (18). – С. 25–31.

29. Філінюк М. А. Активні УВЧ та НВЧ фільтри. / Філінюк М. А., Ліщинська Л. Б. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 396 с.

Наукове видання

Філінюк Микола Антонович
Фурса Світлана Євгенівна

ОПТОНЕГАТРОНІКА

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено С. Фурсою

Підписано до друку 28.11.2011 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. Арк. 11,78
Наклад 100 прим. Зам № 2011-178

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.