

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

**М. А. Філинюк, О. О. Лазарєв,  
О. В. Войцеховська**

**ЛС–НЕГАТРОНИ ТА ЇХ  
ЗАСТОСУВАННЯ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2012

УДК 621.396.6:621.382

ББК 32.844

Ф53

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 8 від 05.04.2012 р.)

Рецензенти:

**Й. Й. Білинський**, доктор технічних наук, професор

**О. П. Яненко**, доктор технічних наук, професор

**Філінюк, М. А.**

Ф53      LC-негатрони та їх застосування : монографія /  
М. А. Філінюк, О. О. Лазарев, О. В. Войцеховська. – Вінниця :  
ВНТУ, 2012. – 308 с.

ISBN 978-966-641-452-9

В монографії розглядаються питання властивостей LC-негатронів та побудови інформаційних електронних пристроїв на їх основі. Показано можливості застосування LC-негатронів в комутуючих, керуючих, частотно-вибіркових, коригуючих пристроях. Розглянуто використання LC-негатронів в сенсорах, логічних та нейронних елементах, а також як помножувачів реактивностей, з метою покращення технічних характеристик пристроїв. Розглянуто варіанти технічної реалізації LC-негатронів. Книга розрахована на студентів, аспірантів, наукових співробітників та спеціалістів, що займаються проектуванням і розробкою інформаційних систем, систем керування та пристроїв на базі негатронів.

**УДК 621.396.6:621.382**

**ББК 32.844**

**ISBN 978-966-641-452-9**

© М. Філінюк, О. Лазарев, О. Войцеховська, 2012

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ВИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ LC-НЕГАТРОНІВ .....	7
1.1 Короткий історичний огляд розвитку наукового напрямку «Негатроніка».....	7
1.2 Класифікація негатронів.....	21
1.3 Визначення C-негатрона .....	25
1.4 Визначення L-негатрона.....	28
2 ТЕОРІЯ КІЛ З C-НЕГАТРОНАМИ .....	32
2.1 Енергетичні властивості C-негатронів .....	32
2.2 Види годографів і допоміжні елементи Баркгаузена для C-негатронів.....	36
2.3 Стійкість електричних кіл із C-негатронами .....	37
2.3.1 Стійкість електричного кола з C-негатронами N-типу	38
2.3.2 Стійкість електричного кола з C-негатронами S-типу	48
3 ТЕОРІЯ КІЛ З L-НЕГАТРОНАМИ.....	56
3.1 Енергетичні властивості L-негатронів.....	56
3.2 Види годографів і допоміжні елементи Баркгаузена для L-негатронів.....	61
3.3 Стійкість електричної схеми з L-негатронами .....	62
3.3.1 Стійкість електричного кола з L-негатроном N-типу ..	62
3.3.2 Стійкість електричного кола з L-негатроном S-типу...	68
3.4 Дуальність кіл з LC-негатронами.....	73
4 КОМУТУЮЧІ ТА КЕРУЮЧІ ПРИСТРОЇ .....	79
4.1 Ключі з послідовним включенням керуючого елемента на C-негатроні N-типу .....	80
4.2 Ключі з паралельним включенням керуючого елемента на C-негатроні N-типу .....	96
4.3 Використання C-негатронів для збільшення коефіцієнта перекриття ємності варикапів.....	103
4.4 Використання C-негатронів в активних фільтрах .....	104
5 СЕНСОРИ НА LC-НЕГАТРОНАХ .....	107
5.1 Ємнісні сенсори на C-негатронах.....	107
5.2 Індуктивні сенсори на L-негатронах.....	118
5.3. Індуктивні мостові сенсори на L-негатронах.....	125
5.4 Автогенераторні сенсори на LC-негатронах.....	136
5.4.1 Вимоги до автогенераторних сенсорів .....	136
5.4.2 Ємнісні автогенераторні сенсори на C-негатронах....	138
5.4.3 Індуктивні автогенераторні сенсори на L-негатронах .....	143

6 ЧАСТОТНО-ВИБІРКОВІ ПРИСТРОЇ .....	157
6.1. Послідовний коливальний контур з LC-негатронами.....	157
6.2. Паралельний коливальний контур з LC-негатронами .....	165
7 КОРИГУЮЧІ ПРИСТРОЇ .....	171
7.1 Оптрони на негатронах.....	171
7.2 Компенсатор реактивного опору на L-негатроні.....	172
7.3 Компенсація паразитних ємностей та індуктивностей .....	174
7.4 Мікроенергосбереження та C-негатрони.....	176
7.5 Застосування C-негатронів в інформаційних пристроях....	177
7.6. Застосування від'ємної індуктивності в інформаційних пристроях .....	194
8 ПОМНОЖУВАЧІ ІМІТАНСУ .....	213
8.1 Визначення та основні параметри помножувача індуктивності .....	213
8.2 Аналіз умов реалізації помножувача індуктивності .....	214
8.3 Визначення оптимального значення перетворюваного імітансу.....	218
8.4 Розрахунок максимально-досяжного коефіцієнта помноження індуктивності .....	220
8.5 Експериментальне дослідження однокристальних помножувачів індуктивності.....	221
8.6 Аналіз основних параметрів помножувача індуктивності на L-негатроні.....	226
8.7 Дослідження коефіцієнта добротності помножувача індукти- вності .....	232
8.8 Помножувач реактивності на C-негатроні .....	236
9 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ LC-НЕГАТРОНІВ .....	240
9.1 Аналіз методів та засобів схмотехнічної реалізації LC-негатронів.....	240
9.2. Реалізація C-негатронів на інверторах від'ємного опору ..	247
9.3 Реалізація C-негатронів на конверторах від'ємного опору	252
9.4 Реалізація L-негатронів на операційних підсилювачах.....	263
10 ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ НА LC-НЕГАТРОНАХ.....	267
10.1 Визначення та класифікація імітансної логіки. ....	267
10.2 Схмотехнічна реалізація логічних елементів на LC-негатронах .....	272
10.3 Багатофункціональний логічний елемент на C-негатроні	275
10.4 Компоненти нейронних мереж.....	278
ЛІТЕРАТУРА.....	284

## ВСТУП

Технічні параметри інформаційних систем та систем керування значною мірою визначаються пристроями, що входять до їхнього складу. Ефективність цих пристроїв залежить від використаної елементної бази. Для подальшого вдосконалення електронних пристроїв необхідна розробка теорії побудови та пошук якісно нових принципів реалізації елементів, що відрізняються малим споживанням енергії, високою чутливістю, точністю, підвищеною швидкодією та надійністю, відносно малим об'ємом елементів, широким робочим діапазоном. В багатьох випадках цим вимогам відповідають негатрони – електронні прилади, що в деякому режимі роботи мають від'ємне значення основного диференційного параметра (від'ємні активний опір, індуктивність, ємність). Розвиток негатронів та теорії проектування інформаційних пристроїв на їх основі протягом десятків років здійснювався у самостійних напрямках, незважаючи на те, що загальні закони та принципи їх побудови були спільними.

Враховуючи це, на початку 80-х років минулого сторіччя відбулося об'єднання вчених, які займаються створенням негатронів та інформаційних пристроїв на їх основі в єдиному науковому напрямку, який отримав назву «Негатроніка».

Науковий напрямок «Негатроніка» був вперше визначений д. т. н., професором М. А. Філинюком в 1985 році [1]. Цьому передували публікації низки робіт радянських та закордонних авторів, таких як О. В. Лосєв, У. Шоклі (W. Shockle), Ганн (J. V. Gunn), Л. Есакі (L. Esaki), С. О. Гаряїнов, І. Д. Абезгауз, Ф. Бенінг, В. П. Дьяконов, О. С. Тагер, Л. М. Степанова, О. М. Негоденко, Ф. Д. Касимов, В. С. Осадчук, В. М. Кичак, П. А. Молчанов та ін., в яких узагальнені результати як теоретичних, так і практичних досліджень. Кожна з цих публікацій внесла значний вклад в розвиток негатроніки. Однак слід зауважити, що більшість робіт стосуються R-негатронів, і значно менша частина – теорії та практики створення та використання елементів на базі L-, C-негатронів.

В цій монографії розглядається теорія L-, C-негатронів та їх можливості застосування. Вона є результатом досліджень, що проводились

протягом останніх років в цьому напрямку в Україні та за кордоном.

В першому розділі викладено історію розвитку негатроніки та основні визначення.

В другому та третьому розділах викладено основи теорії L- та C-негатронів, зокрема висвітлено питання енергетичних властивостей вказаних негатронів, види годографів, розглянуто питання стійкості та дуальності електричних кіл з L-, C-негатронами.

В четвертому розділі розглянуто комутуючі та керуючі пристрої, зокрема ключі з паралельним та послідовним включенням негатронів, а також використання C-негатронів в активних фільтрах та для збільшення коефіцієнта перекриття ємності варикапів.

В п'ятому розділі досліджено сенсори на L-, C-негатронах. Розглянуто ємнісні та індуктивні параметричні і автогенераторні сенсори.

В шостому розділі викладено результати досліджень коливальних контурів з L- та C-негатронами.

Різні види коригуючих пристроїв розглянуто в сьомому розділі. Висвітлено питання застосування L-, C-негатронів для компенсації паразитних параметрів пристроїв та використання C-негатронів для енергозбереження. Багато уваги в цьому розділі приділено аналізу закордонних публікацій щодо застосування L-, C-негатронів.

У восьмій главі висвітлено використання L-, C-негатронів як множувачів імітансу.

В дев'ятій главі розглянуто варіанти схемотехнічної реалізації LC-негатронів на конверторах й інверторах від'ємного опору та на операційних підсилювачах.

Логічні елементи та компоненти нейронних мереж на LC-негатронах розглянуто в десятому розділі.

Автори висловлюють подяку рецензентам доктору технічних наук, професору кафедри конструювання і виробництва радіоапаратури Національного технічного університету України «КПІ» О. П. Яненку та завідувачу кафедри електроніки Вінницького національного технічного університету доктору технічних наук, професору Й. Й. Білінському за корисні поради, що дозволили покращити зміст монографії, а також редактору С. А. Малішевській та провідному інженеру О. М. Власюк за професіоналізм при підготовці цієї монографії до видання.

# 1 ВИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ LC-НЕГАТРОНІВ

## 1.1 Короткий історичний огляд розвитку наукового напрямку «Негатроніка»

Нині в сфері електроніки розвиваються такі наукові напрямки: квантова електроніка, оптоелектроніка, акустoeлектроніка, хемотроніка, магнітоелектроніка, кріоелектроніка та ін. В кінці ХХ століття сформувався ще один напрямок – «Негатроніка» [1–3]. Цей напрямок електроніки пов'язаний з теорією та практикою створення і застосування негатронів – електронних приладів, що мають у визначеному режимі від'ємне значення основного диференціального параметра: від'ємних активного опору (R-негатрони), ємності (C-негатрони) та індуктивності (L-негатрони) [4]. Зараз розроблені різні види негатронів. Тільки напівпровідникових негатронів створено більше двох десятків різновидів. Серед них найпотужніші надвисокочастотні (НВЧ) прилади – лавинно-пролітні діоди, найшвидкодійніші ключі на лавинних транзисторах, наймогутніші струмові напівпровідникові перемикачі на динисторах і тиристорах. Однак розвиток цього напрямку проходив нерівномірно і, на відміну від класичної транзисторної електроніки, довгий час не мав систематизованої методологічної і теоретичної бази. І тільки в 1985 році було дане формулювання цього наукового напрямку [1].

Збудження електричних коливань за допомогою від'ємних імпедансів відоме ще з початку ХХ століття і пов'язане з відкриттям Дуделем [5] «електричної дуги, що лунає». Внаслідок незручності практичного використання електричної дуги в схемах генераторів, вона була витіснена ламповими генераторами, що з'явилися. Перші електронні лампи, внаслідок недосконалості техніки одержання глибокого вакууму, були газонаповнені, а на їхніх вольт-амперних характеристиках спостерігалися спадні ділянки. На цих ділянках дійсний імпеданс між анодом і катодом газонаповненої лампи від'ємний [6], що в принципі дозволяє використовувати цю їхню властивість для побудови генераторів і підсилювачів електричних коливань. Однак їхні великі шуми і нестабільність виявилися причиною незначного інтересу до них, як до приладів, що мають від'ємний опір.

Винайдення у 1924 році електровакуумного тетрода поставило перед фахівцями проблему «динатронного ефекту», в результаті якого на вихідній вольт-амперній характеристиці (ВАХ) тетрода спостерігається спадна ділянка, що приводить до зростання нелінійних спотворень і самозбудження підсилювача. Цей ефект не знайшов практичного застосування і був подоланий у 1931 р. введенням в електронній лампі третьої антидинатронної сітки.

Відкриття 13 січня 1922 року інженером Нижегородської лабораторії О. В. Лосєвим (рис. 1.1) спадної ділянки на ВАХ напівпровідникового точкового діода, варто вважати початком розвитку напівпровідникової негатроніки [7]. Молодий вчений не тільки вперше одержав на ВАХ діода спадну ділянку, але й реалізував з використанням такого діода регенеративний приймач – кристадин. Ці результати привернули увагу багатьох фахівців світу. В США журнал «Radio News» помістив у вересневому номері 1922 р. редакційну статтю під заголовком «Сенсаційний винахід». В ній говорилося: «Немає потреби доводити, що це – революційний радіовинахід. Незабаром ми будемо говорити про схему з трьома або шістьма кристалами, як ми говоримо тепер про схему з трьома чи шістьма підсилювальними лампами. Потрібно буде кілька років для того, щоб кристал, що генерує, удосконалився настільки, щоб стати кращим вакуумної лампи, але ми пророкуємо, що такий час настане». У цьому пророкуванні не виправдалися тільки терміни. Саме ці перші роботи О. В. Лосєва треба вважати початком «ери напівпровідникової електроніки».

Електронні прилади зі спадною ділянкою на ВАХ надалі одержали найменування «негатрони» [9].

Успішний розвиток електронно-вакуумних приладів відвернув увагу спеціалістів від цього напрямку. Хоча, в результаті розвитку електронних ламп і підвищення робочих частот, у них виявлялися ефекти, пов'язані з від'ємним опором. Це спричиняло неконтрольоване збудження електронної апаратури й зростання нелінійних спотворень, і тому розглядалося як паразитне явище. І тільки знаходження у 1932 р. Д. А. Рожанським і А. Н. Арсенєвою пролітного клістрона, а в 1936–37 р. Н. Ф. Алексєєвим і Д. Е. Маляровим багаторезонаторного магнетрона стало подальшим поштовхом розвитку вакуумної негат-



роніки. У цих приладах, і пізніше у винайдених лампах біжучої (ЛБХ) і зворотної (ЛЗХ) хвилі, в результаті взаємодії електронів з електромагнітними полями відбувається перетворення кінетичної енергії електронів в енергію електромагнітного поля і, як наслідок, до появи від'ємного опору [10]. Значний внесок у створення таких приладів належить Н. Д. Девяткову, М. С. Нейману, С. Д. Гвоздоверу, В. Ф. Коваленко, М. Т. Греховій, Ю. А. Кацману, С. А. Зусманову, І. В. Лебєдеву та ін.



Рисунок 1.1 – О. В. Лосєв (10.5.1903–22.01.1942)

Освоєння НВЧ діапазону дало поштовх до пошуку нових фізичних ефектів і напівпровідникових приладів, що мають від'ємний опір. Зусилля насамперед були спрямовані на створення напівпровідникових негатронів, що мають від'ємний опір якомога на більш високих частотах у надвисокочастотному діапазоні. Початком пошуку шляхів створення таких НВЧ-приладів стала стаття В. Шоклі, опублікована в 1954 році [11]. Автор викладає ідею двохелектродного приладу з від'ємним опором, що виникає завдяки ефекту часу прольоту. Як перший приклад він розглядає «діод із затримкою неосновних носіїв». У запропонованій ним  $p^+ - n - p$ - чи  $(n^+ - p - n)$ -структурі, неосновні носії, що інжектуються із  $p^+ - n$ -переходу, дрейфують до іншого  $p - n$ -переходу, затримуючись при цьому на час, рівний часу прольоту. Інший прилад, запропонований В. Шоклі, – це  $p - n - p$ -структура, що використовується в режимі проколу, щоб забезпечити її уніполярність. Ці дві структури

надзвичайно схожі на інжекційно-пролітні діоди (ІПД), що з'явилися пізніше.

У тій же статті В. Шоклі обговорює можливість створення двохелектродного приладу, що являє собою просто однорідний напівпровідник, у якому під дією сильного електричного поля можуть спостерігатися відхилення від закону Ома, що приводять до виникнення від'ємного диференціального опору. Відхилення від закону Ома виражається в зниженні швидкості носіїв зі збільшенням напруженості поля, тобто в появі ділянки від'ємної диференціальної рухливості. Однак практичної реалізації ця ідея не одержала через низку теоретичних недоробок. І тільки в 1963 р. Ганном були отримані перші експериментальні дані про існування пролітних коливань, пов'язаних з цією властивістю у GaAs і InP [12]. А прилади, що використовують цей ефект, одержали найменування «Діоди Ганна» або «прилади на ефекті об'ємного від'ємного опору».

Цікавий двохелектродний прилад з від'ємним опором, що діє на новому принципі, – тунельний діод, який був відкритий у 1957 р. японським фізиком Л. Есакі [13]. На прямій ділянці ВАХ дуже вузького германієвого *p-n*-переходу (тобто переходу, створеного на сильнолегованому матеріалі) була виявлена ділянка від'ємного опору кінцевої величини. Така характеристика виходить в результаті польової емісії (тунелювання) електронів через вузький збіднений шар. Варто помітити, що тунельний діод не виправдав надій, оскільки від нього не вдалося одержати великої вихідної потужності.

У 1958 р. В. Рід [14] запропонував використовувати для генерації НВЧ потужності діод з багатоскладовою  $n^+p-p^-$ -структурою. У цьому приладі використовується поєднання ефектів лавинного множення, заснованого на ударній іонізації, і часу прольоту електронів. Тому прилад був названий ІМАТТ-діод (Impact Avalanche and Transit Time). Однак запропонована ним спеціальна конструкція діода виявилася занадто складною, її вдалося втілити в життя тільки в 1964 р.

В СРСР ці прилади одержали найменування «лавинно-пролітні діоди (ЛПД)» і були відкриті О. С. Тагером і його співробітниками в 1959 р. [15]. За кордоном перше повідомлення про практичну реалізацію ЛПД було опубліковано в 1965 році [16].

Подальшим розвитком ЛПД є TRAPATT-діод (Trapped Plasma Avalanche-and-Transit Time, що означає «лавинно-пролітний діод із захопленням плазми»). Для реалізації TRAPATT-режиму, відкритого в 1966 р. [17], необхідна дуже складна взаємодія між приладом і НВЧ схемою. Наприклад TRAPATT-підсилювач вимагає налаштування за гармоніками та субгармоніками, а також використання ЛПД-режиму для запуску. Незважаючи на складність самого приладу і відповідної схеми, TRAPATT-діоди відіграють провідну роль у фазованих антенних ґратках (ФАГ), оскільки забезпечують можливість одержання високої імпульсної потужності на НВЧ (> 100 Вт), більшого коефіцієнта заповнення (1–20%), високого ККД (> 25 %) та ширини смуги пропускання в підсилювачах не менш 15 %. Однак цим приладам властиві і деякі недоліки:

- процесу ударної іонізації властиві значні шуми, тому підсилювачі і генератори на їхній основі будуть також мати великі шуми;

- процес ударної іонізації вимагає більшої потужності для одержання значних електричних полів.

В 1971 р. вперше було отримано генерацію у НВЧ діапазоні за допомогою інжекційно-пролітного діода [18], теоретичні основи роботи якого були обґрунтовані ще в 1954 році В. Шоклі [11]. У низці публікацій ці діоди одержали найменування «БАРІТТ-діоди» (Barrier Injection Transit Time Diodes). Маючи, як і ЛПД, динамічний від'ємний опір у діапазоні НВЧ, в них не використовується режим лавинного множення носіїв і, отже, відсутні недоліки, властиві ЛПД.

Всі вищерозглянуті діоди з від'ємним опором призначені для роботи в діапазоні НВЧ і здатні працювати при відносно невеликих значеннях потужності сигналу і робочих струмах.

На низьких частотах велике поширення одержали чотиришарові напівпровідникові структури типу *p-n-p-n* та їхні різні модифікації, що мають від'ємний опір [19]. В основі їх роботи лежить тиристорний ефект, обумовлений лавинним множенням носіїв у закритому середньому *p-n*-переході. Найширше застосування одержали двохелектродні *p-n-p-n* (диністори) і триелектродні (тиристори) структури. Крім того відомі тиристори з керуванням за двома входними колами (тетристори) і тиристори з чутливим і нечутливим електродом. Систематич-

ні дослідження таких тиристорних негатронів проведені С. О. Гаряїновим і І. Д. Абезгаузом. Ці прилади можуть працювати в підсилювальному, генераторному і ключовому режимах. Для них характерна велика економічність за живленням при роботі в ключовому режимі та здатність комутувати сигнали великої потужності. Таким чином, теоретично вони є багатофункціональними приладами, за допомогою яких можна здійснювати широку уніфікацію радіоелектронних пристроїв. Однак практична сфера їх застосування обмежується в основному пристроями імпульсної техніки, що пояснюється низкою характерних для них недоліків. До них відносяться: низька температурна стабільність, підвищена нестійкість коефіцієнта перетворення пристроїв до зміни від'ємного опору, низька економічність за живленням при роботі в лінійному режимі, високі напруги живлення й малий частотний діапазон.

Дослідження ефекту лавинного множення в колекторному переході біполярного транзистора привело до створення лавинного транзистора, на ВАХ якого є ділянка від'ємного опору [20]. Теоретичні дослідження таких негатронів і імпульсних пристроїв на їхній основі, проведені В. П. Дьяконовим [21], показали можливість формування імпульсів з часом наростання 0,1–1 нс і амплітудою до 15 В і більше на опорі навантаження в 750 Ом. Деякі транзистори дозволяють при меншій амплітуді генерувати імпульси з частотою повторення до 1 ГГц, інші, при значно менших частотах повторення, здатні формувати імпульси з амплітудою за напругою до 100 В на навантаженні 50 Ом або імпульси з амплітудою за струмом до 50 А на опорі навантаження в 0,5–1 Ом. Наявність між емітером і колектором лавинного транзистора індуктивного імпедансу з від'ємною дійсною складовою стала передумовою використання його як високодобротного напівпровідникового аналога індуктивності [22]. Однак великі шуми таких негатронів, обумовлені лавинним ефектом, і низька температурна стабільність зробили таке застосування лавинних транзисторів безперспективним.

Технологічні методи створення планарних напівпровідникових приладів досягли високої досконалості. Тому негатрони на *p-n*-переходах можуть мати відносно високу надійність і відтворюваність. Однак процес їх виготовлення трудомісткий, оскільки вимагає прове-

дення від двох до чотирьох високотемпературних процесів окислювання і дифузії, і відповідної кількості процесів фотолітографії. З цього погляду цікаві аморфні і полікристалічні напівпровідникові плівки, у яких поряд з ВО (від'ємним опором) існує і переключення з пам'яттю. При додаванні до плівки визначеної граничної напруги вона стрибком переходить у низькоомний стан і зберігає його, навіть, у випадку відключення живлення. Перше повідомлення в 1969 р. про спостереження ВО у склоподібних напівпровідниках дало поштовх до створення різних негатронів на основі халькогенідних матеріалів [23]. Однак дотепер фізичні механізми виникнення ВО у таких напівпровідниках остаточно не вивчені. Дослідження в цьому напрямку активно проводились в Азербайджанській науковій школі під керівництвом професора Ф. Д. Касімова [24], де в 1991 році була проведена перша Всесоюзна науково-технічна конференція з негатроніки [2].

Загальним істотним недоліком усіх вищезгаданих напівпровідникових негатронів є залежність їх від'ємного опору від фізичних властивостей напівпровідникових кристалів і фізичних процесів в них. А прагнення реалізувати 100 % внутрішній позитивний зворотний зв'язок всередині кристала накладає тверді вимоги до технології виготовлення таких негатронів, створює труднощі у виробництві ідентичних приладів і подальшому їх застосуванні. Ці недоліки при створенні транзисторних негатронів були частково подолані шляхом реалізації комбінованого 100 % позитивного зворотного зв'язку: частково внутрішнього, за рахунок тимчасової затримки неосновних носіїв у базі транзистора; частково, за рахунок введення кола зовнішнього зворотного зв'язку. Початком цього напрямку, очевидно, слід вважати 1956 р., коли Ямагучі (J. Yamaguchi) досліджував негатрон на транзисторі зі спільним колектором та індуктивним колом зворотного зв'язку між базою і колектором [25]. В подальшому були досліджені різні модифікації такого негатрона, що одержав назву «індуктивний транзистор», тому що він виявився перспективним як напівпровідниковий аналог індуктивності. Слід зазначити успішне застосування цього негатрона в різних аналогових НВЧ пристроях: активних фільтрах, генераторах, перетворювачах частоти, мультиплексорах, активних антенах та ін. Основи проектування таких пристроїв були закладені в роботах

Ділла (H. Dill) [22], Адамса і Хо (D. K. Adams, R. Y. C. Ho) [26] та ін. Систематизацію і подальший розвиток цього наукового напрямку зроблено професором М. А. Філінюком в роботах [24, 27], де запропоновано розглядати транзистор як узагальнений перетворювач іммітансу і обґрунтовано фізичний механізм виникнення динамічного від'ємного опору на його клеммах.

Іншим напрямком негатроніки, спрямованим на подолання недоліків однокристальних напівпровідникових негатронів, є створення аналогів негатронів на базі різних схемотехнічних комбінацій активних приладів. Очевидно, однією з перших робіт у цьому напрямку слід вважати монографію С. О. Гаряїнова і І. Д. Абезгауза [19], опубліковану в 1970 р. Подальший розвиток цей напрямок одержав в широко відомих роботах Х. Стедлера [28], Л. М. Степанової зі співавторами [29], О. М. Негоденка [30], Нільсона й Уільсона та ін. Розвинута в роботах цих авторів теорія синтезу аналогів статичних негатронів N- і S-типу дозволила створити велику кількість різних схемотехнічних рішень для широкого класу як аналогових, так і ключових електронних пристроїв різного функціонального призначення. Їх можна розділити на три групи. У першій групі об'єднуються транзисторні аналоги, що складаються з транзисторів однієї структури. Другу групу складають аналоги, виконані на транзисторах різної структури, але не на складових еквівалентах *p-n-p-n*-структури. Третя група складається з транзисторних еквівалентів *p-n-p-n*-структури. Використання в таких схемах перехресних зв'язків обмежує їхнє застосування частотами до 1 ГГц.

Наведений вище історичний екскурс далеко не всеосяжно охоплює шляхи розвитку негатроніки і роль учених різних країн у її розвитку.

Не можна не звернути увагу читача на низку фундаментальних узагальнюючих робіт в сфері негатроніки.

Насамперед, це монографія С. О. Гаряїнова і І. Д. Абезгауза «Напівпровідникові прилади з від'ємним опором» (М. : Енергія, 1974) у якій сформульовано основні положення, що стосуються статичних R- негатронів.

Розглянуті негatronи відносяться до R-негатронів, тобто тих, що мають від'ємний активний диференціальний опір. Як видно з вище наведеного аналізу, вони зараз знаходять широке практичне застосування, особливо в техніці НВЧ і силовій електроніці.

Зокрема, з бурхливим розвитком твердотільної НВЧ електроніки особливо гостро постала задача мініатюризації частотно-вибіркових кіл. Розв'язання задачі шляхом використання об'ємних резонаторів, відрізків лінії передачі, сегнетоелектричних і феритових резонаторів неможливе, тому що їх добротність падає зі зменшенням розмірів. Коливальні контури на базі негatronів таких недоліків не мають, що дозволяє розв'язувати задачу з реалізації в одному кристалі декількох десятків високодобротних коливальних контурів (фільтрів, LC-генераторів і т. п.). Ці можливості були доведені ще в 80-і роки [27]. Однак, вочевидь через відсутність інформації, у низці країн у даний час проведені в цьому напрямку дослідження розглядаються як «нові» [4, 31].

Крім R-негатронів ведуться дослідження зі створення й застосування C- і L-негатронів. Це прилади, або їх схемотехнічні аналоги, що мають за певних умов від'ємну диференціальну ємність  $C = \partial Q / \partial U < 0$  або індуктивність  $L = \partial \psi / \partial i < 0$ , відповідно [4, 32, 33, 34]. Практичне застосування таких негatronів у наш час одержало незначного поширення і потребує подальших досліджень і пошуку напрямків їхнього ефективного використання.

Нині в сфері негatronіки починає формуватися низка піднапрямів [35]: оптонегатроніка, акустонегатроніка, біонегатроніка, мікронегатроніка [36], нанонегатроніка [37]. Основи оптонегатроніки також були закладені О. В. Лосєвим, що у 1927 році зробив ще одне відкриття: експериментуючи з детектуючим контактом «карборунд–сталевий провідник», він знайшов на його стику слабке світіння.

Молодий талановитий дослідник не пройшов повз незвичайне явище, не відніс його до розряду випадкових, а навпаки, звернув пильну увагу, передбачив, що воно базується на ще невідомому експериментальній фізиці принципі. Він почав проводити систематичні дослідження цього ефекту на різних матеріалах, у різних температурних режимах. Так, більше 70 років тому, ним було зроблено ще одне перс-

пективне відкриття електроніки – електролюмінісценція напівпровідникового переходу.

9 березня 1927 року результати досліджень були повідомлені на науковому семінарі (на лабораторній бесіді, як називали ці заходи в ті роки), а в 1927 році були опубліковані в п'ятому номері журналу «Телефония и телеграфия без проводов» у статті «Карборундовый светящийся детектор и детектирование с кристаллами» [38]. Експериментуючи з різними сортами кристалів і контактних проводів, О. В. Лосєв робить два найважливіших висновки: світіння відбувається без виділення тепла, тобто є «холодним», інерція виникнення і згасання світіння неймовірно мала. Тепер відомо, що ці характеристики світіння, відзначені в 20-і роки, є найважливішими для сучасних світлодіодів, індикаторів, оптронів, випромінювачів інфрачервоного світла.

Майже через 20 років це явище було знову «відкрито» в Америці, але не в карборунді, а в деяких кристалофосфорах відомим ученим Дестрію, що запропонував для нього назву «електролюмінісценція». Дестрію, проте, із самого початку відзначав у своїй публікації пріоритет О. В. Лосєва й в Америці світіння карборунду одержало назву «Losev-light» – «Світіння Лосєва» [39]. І за кордоном, і в СРСР робилися спроби його практичного застосування. Сам Лосєв одержав патент на пристрій «Світлове реле» [40], але недостатній розвиток в той період теорії твердого тіла і майже повна відсутність напівпровідникової технології не дозволили при житті вченого знайти практичне застосування роботам з електролюмінісценцією. Власне кажучи, вони відносилися до проблем майбутнього, і до них дійшла черга лише через 20–30 років.

Практичне застосування ефекту світіння О. В. Лосєва почалося наприкінці п'ятидесятих років. Цьому сприяло освоєння напівпровідникових приладів: діодів, транзисторів, тиристорів. Ненапівпровідниковими залишалися тільки елементи відображення інформації – громіздкі і ненадійні. Тому у всіх розвинутих у науково-технічному відношенні країнах йшла інтенсивна розробка напівпровідникових світловипромінюючих приладів. У результаті була створена велика кількість різних світловипромінюючих діодів, цифросимвольних і матричних індикаторів, модулів твердотільних екранів і табло [41].



Учений випередив своїх сучасників. Його заслуга не тільки у відкритті детекторного світіння і генерації електромагнітних коливань з використанням напівпровідникового діода, а й, головним чином, у тому, що своїми дослідженнями він так гостро поставив проблему, що продовження робіт у цих сферах стало неминучим. Так, завдяки інтуїції і наполегливості О. В. Лосєва зародилися нові напрямки електроніки – напівпровідникова оптоелектроніка і негатроніка.

Науковий напрямок, що знаходиться на стику цих двох фундаментальних напрямків електроніки, одержав назву – «Оптонегатроніка» [35]. Це ще дуже молодий науковий напрямок і його досягнення значно скромніші, ніж таких напрямків, як оптоелектроніка і негатроніка. Основою розвитку цього напрямку є результати досліджень оптичних властивостей напівпровідникових негатронів – оптонегатронів [42].

Їх класифікація близька до класифікації негатронів, що наведена в [43], але враховує здатність негатронів працювати в оптичних режимах світловипромінювання – світловипромінюючі оптонегатрони; фотоприйому – фотоприймальні оптонегатрони; в режимі оптопари, коли світловипромінювач, фотоприймач або їхня комбінація мають від’ємний диференційний опір. Дослідження негатронів і розробка електронних пристроїв на їхній основі неможливі без відповідного метрологічного забезпечення. При цьому виникають деякі труднощі використання стандартної апаратури, пов’язані з потенційною нестійкістю негатронів і пристроїв на їхній основі. Це стало причиною розвитку напрямку вимірювань потенційно-нестійких електронних приладів і пристроїв на їхній основі [44]. Значний внесок у вирішення цих задач внесли вчені Вінницького національного технічного університету. При цьому були отримані пріоритетні результати при вимірюванні фізичних параметрів негатронів [45], інваріантного коефіцієнта стійкості [46], максимально-досяжного від’ємного опору [47], іммітансних параметрів [48], максимально-досяжного коефіцієнта стійкого посилення  $k_{ms}$  [49] та ін.

В наш час негатроніка сформувалася як самостійний науковий напрямок, результати досліджень в якому набули широкого застосування. Організаційно цей науковий напрямок об’єднав вчених країн СНД у міжнародному координаційному центрі з проблеми «Негатроніка»,

організованому у Вінницькому політехнічному інституті в 1986 році, до складу якого ввійшли відомі вчені: професори В. С. Андрєєв, Л. Н. Біberman, С. О. Гаряїнов, В. П. Дьяконов, Ф. Д. Касімов, О. М. Негоденко, Л. М. Степанова, О. С. Тагер, М. А. Філінюк, Ю. Л. Хотунцев та ін. Значний внесок у становлення цього напрямку зробили всесоюзні наукові школи-семінари «Прилади з негативним опором у радіоелектронних пристроях», проведені на ВДНГ СРСР під керівництвом проф. С. А. Гаряїнова і перша Всесоюзна НТК «Прилади з негативним опором і інтегральні перетворювачі на їхній основі», проведена в 1991 році в м. Баку під керівництвом проф. М. А. Філінюка і проф. Ф. Д. Касімова. Остаточним становленням «Негатроніки», як самостійного наукового напрямку, стала опублікована Російською академією наук монографія колективу авторів «Негатроніка» [50]. За останні роки ученими країн СНД проводилися інтенсивні дослідження в сфері негатроніки, за результатами яких була захищена велика кількість кандидатських і низка докторських дисертацій (Ф. Д. Касімов, Л. М. Степанова, П. А. Молчанов, В. М. Кичак, О. В. Осадчук та ін.) [51–55]. Ними підготовлено і видано низку монографій [24, 50, 56–70], що спільно з класичними монографіями [19, 21, 27, 29, 30, 71–73], стали базою для подальшого розвитку негатроніки.

Розвиток електронних інформаційних мереж дозволив активізувати роботу центра й обмін інформацією. З цією метою створено інформаційний сайт «Міжнародний координаційний центр Негатроніка» [74] і отримано електронну адресу центру: <http://kpi.kharkov.ua/albom/02/works/lis/>.

Найважливішим етапом діяльності центру і розвитку негатроніки було введення вперше у світі в навчальний процес Вінницького державного технічного університету в 2002 році навчального курсу «Основи негатроніки» з виданням для студентів низки навчальних посібників [75–77].

Простежити роль різних учених і наукових шкіл у становленні і розвитку негатроніки частково дозволяє наведена нижче коротка хронологія [78]:

10.05.1903 р. – у м. Твері народився засновник негатроніки О. В. Лосєв.

13 січня 1922 р. – О. В. Лосєвим виявлена спадна ділянка на ВАХ напівпровідникового кристала.

Лютий 1922 р. – О. В. Лосєв передав у журнал «ТиТбп» свою історичну статтю про генераторні властивості деяких кристалів [2].

9 березня 1922 р. – перше публічне повідомлення О. В. Лосєва на 36-й лабораторній бесіді НРЛ про спостереження і можливість застосування від'ємного активного диференціального опору напівпровідникового кристала.

Травень 1923 р. – О. В. Лосєв виготовив перший технічний зразок приймача – гетеродина з кристалічним детектором (початок ери напівпровідникової електроніки).

1932 р. – Д. А. Рожанським і А. Н. Арсеньєвою винайдено підсилювальний вакуумний негатрон – пролітний клістрон.

1936 р. – Н. Ф. Алексєєвим і Д. Е. Мадьяровим винайдено генераторний вакуумний негатрон – багаторезонаторний магнетрон.

1938 р. – учена рада Ленінградського політехнічного інституту з представлення академіка А. Ф. Іоффе присудила О. В. Лосєву учений ступінь кандидата фізико-математичних наук за сукупністю опублікованих робіт без захисту дисертації.

7 травня 1952 р. – наукова сесія Всесоюзного науково-технічного суспільства ім. О. С. Попова прийняла рішення про видання наукових праць О. В. Лосєва.

1954 р. – Шоклі опублікував статтю, де сформулював принципи створення ряду напівпровідникових негатронів [11].

1956 р. – Ямагучі запропонував і досліджував комбінований динамічний негатрон на біполярному транзисторі [25].

1957 р. – японський фізик Есакі винайшов тунельний діод [13].

1958 р. – Рід винайшов діод, згодом названий його ім'ям (діод Ріда, реалізований у 1964 р.) [14].

1959 р. – О. С. Тагер зі співробітниками одержав диплом на відкриття лавинно-пролітного діода [15].

1961 р. – Ділл досліджував «індуктивний транзистор» у лавинному режимі [22].

1963 р. – Ганн винайшов діод, згодом названий його ім'ям (діод Ганна) [12].

1969 р. – Адамс та Хо застосували комбінований транзисторний динамічний негatron в активних НВЧ-пристроях [24].

1970 р. – С. О. Гаряїнов і І. Д. Абезгауз опублікували монографію, де сформулювали найважливіші теоретичні положення негatronіки [19].

1971 р. – видано збірник наукових праць О. В. Лосєва «У истоков полупроводниковой техники» [79].

1971 р. – створено інжекційно-пролітний діод.

1971 р. – Ф. Бенінг опублікував монографію з основами теорії кіл з R-, L-, C-негatronами [24].

1973 р. – В. П. Дьяконов опублікував монографію з теорії лавинних транзисторів [21].

1981 р. – В. І. Стафєєв, К. Ф. Комаровських, Г. І. Фурін опублікували монографію з застосування статичних негatronів S-типу у функціональній схемотехніці [71].

1985 р. – сформовано науковий напрямок «Негatronіка» [1].

1986 р. – при Вінницькому політехнічному інституті організований міжнародний координаційний центр «Негatronіка», до складу якого ввійшли В. С. Андрєєв, Л. Н. Біberman, С. О. Гаряїнов, В. П. Дьяконов, Ф. Д. Касімов, О. М. Негоденко, Л. М. Степанова, О. С. Тагер, М. А. Філінюк, Ю. Л. Хотунцев та ін.

1987 р. – опубліковано монографію М. А. Філінюка, що узагальнила теорію і практику створення радіоелектронних схем на базі комбінованих транзисторних динамічних негatronів [27].

1991 р. – під керівництвом М. А. Філінюка і Ф. Д. Касімова у м. Баку проведена перша Всесоюзна науково-технічна конференція з негatronіки.

1995 р. – Російською академією наук опубліковано монографію О. М. Серьезнова, Л. М. Степанової, С. О. Гаряїнова, С. В. Гагіна, О. М. Негоденка, М. А. Філінюка, Ф. Д. Касімова «Негatronіка», що остаточно затвердила негatronіку як один з напрямків електроніки [50].

1999 р. – опубліковано коротку історію розвитку наукового напрямку «Негatronіка» [38].

2001 р. – сформульовано піднапрямок негatronіки — «Оптонегatronіка» [80].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Филинюк Н. А. Перспективы развития динамической негatronики / Филинюк Н. А. // Приборы с отрицательным сопротивлением : тез. докладов всесоюзного научно-технического семинара. – М. : ВДНХ, 1985. – С. 6–7.
2. Филинюк Н. А. Негatronика – достижения и перспективы / Филинюк Н. А. // Приборы с отрицательным сопротивлением и интегральные преобразователи на их основе : материалы Всесоюзной научно-технической конференции (15–17 октября 1991, г. Баку). – Баку, 1991. – С. 11–17.
3. Негatronика / [Серьезнов А. Н., Степанова Л. Н., Филинюк Н. А. и др.] – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 315 с.
4. Бенинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах / Бенинг Ф. – М. : Сов. радио, 1975. – 288 с.
5. Duddell W. Electrician / Duddell W. – 1900. – Vol. 46. – P. 269, 310.
6. Капцов Н. А. Электрические явления в газах и вакууме / Капцов Н. А. – М. : Гос. издательство технико-теоретической литературы, 1950. – 836 с.
7. Лосев О. В. Детектор генератор и детектор усилитель / Лосев О. В. // Телефония и телеграфия без проводов. – 1921. – № 3.
8. Бонч-Бруевич М. А. // Телефония и телеграфия без проводов. – 1928. – № 50.
9. Биберман Л. И. Широкодиапазонные генераторы на негatronонах / Биберман Л. И. – М. : Радио и связь, 1982. – 89 с.
10. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Электровакуумные приборы СВЧ / И. В. Лебедев ; под ред. Н. Д. Девяткова. – М. : Высшая школа. – Т. 2. – 1972.
11. Shockley W. Negative resistance arising from transit time in semiconducting diodes / Shockley W. // Bell System Technical Journal. – 1954. – V.33. – P. 799–826.

12. Gunn J. B. Microwave oscillations of current in III–V semiconductors / Gunn J. B. // *Solid state commun.* – 1963. – No. 1. – P. 88–91.
13. Esaki L. New phenomenon in narrow germanium p-n junctions / Esaki L. // *Physical Review.* – 1958. – Vol. 109, No. 2. – P. 603–604.
14. Read W. T. A proposed high frequency negative resistance diode / Read W. T. // *Bell System Technical Journal.* – 1958. – No. 37. – P. 401.
15. Диплом на открытие № 24. Явление генерации радиоволн полупроводниковым диодом / Тагер А. С., Мельников А. И., Церков А. М., Котельников Г. П. – Заявл. 27.10.1959 ; опубл. 17.03.1964.
16. Johnston R. L. A silicon diode microwave oscillator / Johnston R. L., De Loach B. C., Cohen B. G. // *Bell System Technical Journal.* – 1965. – No. 4. – P. 569–372.
17. Prager H. J. High power high efficiency silicon avalanche diodes at ultra high frequencies / Prager H. J., Chang K. K., Weisbrods S. // *Microwave oscillator. proc. IEEE.* – 1967. – No. 55. – P. 586.
18. Coleman D. I. A low-noise metal-semiconductor-metal (MSM) microwave oscillator / Coleman D. I., Sze S. M. // *Bell System Technical Journal.* – 1971. – Vol. 50. – P. 1695–1699.
19. Горяинов С. А. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением / С. А. Горяинов, И. Д. Абергауз. – М. : Энергия, 1970. – 320 с.
20. Kyroyanagi N. High speed pulse Current using Punch-through Avalanche Transistors / N. Kyroyanagi, M. Watanabe // *Rew of the Electrical Commun. Lab.* – 1966. – Vol. 14, No. 1–2. – P. 97.
21. Дьяконов В. П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах / Дьяконов В. П. – М. : Сов. радио, 1973. – 208 с.
22. Dill H. Inductive semiconductor elements and their application in bandpass amplifiers / Dill H. // *RE Transactions on military electronics.* – 1961. – Vol. MIL-5, No. 3. – P. 239–250.
23. Коломиец Б. Т. Основные параметры переключателей на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников / Коломиец Б. Т., Лебедев Э. В., Таксими И. А. // *ФТП.* – 1965. – № 5. – С. 731–735.

24. Касимов Ф. Д. Физико-технические особенности проектирования кремниевых микроэлектронных преобразователей на основе негатронов / Касимов Ф. Д., Агаев Ф. Г., Филинчук Н. А. ; под ред. доктора физ. мат. наук, проф. Ф. Д. Касимова. – Баку, 1999. – 234 с.

25. Jamaguchi J. On the inductive reactance and negative resistance the transistor / Jamaguchi J. // Journal Physical Society of Japan. – 1956. – Vol. 11. – P. 717–718.

26. Adams D. K. Filtering, frequency multiplexing and other microwave application with inverted-common-collector transistor circuits / D. K. Adams, R. Y. C. Ho // Internat. microwave simp. – Dallas, 1969. – May. – P. 14–20.

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

28. Стедлэр Х. Использование транзистора для получения аналога стабилитрона с нулевым динамическим сопротивлением / Стедлэр Х. // Электроника. – 1969. – № 7. – С. 30–31.

29. Арефьев А. А. Радиотехнические устройства на транзисторных эквивалентах р-п-р-п-структуры / Арефьев А. А., Басканов Е. Н., Л. Н. Степанова. – М. : Радио и связь, 1982. – 104 с.

30. Негоденко О. Н. Каскодные аналоги негатронов / Негоденко О. Н., Липко С. И., Мирошниченко С. П. // Полупроводниковая электроника в технике связи. / под ред. И. Ф. Николаевского. – М. : Радио и связь, 1986. – Вып. 26. – С. 29–33.

31. Itoh T. Microwave active filters based on complete negative resistance method / T. Itoh, C. Chang // IEEE Transactions on Microwave theory and techn. – Vol. 38. – 1990. – P. 1879–1884.

32. Войцеховська О. В. Нелінійні властивості комбінованих транзисторних негатронів та пристрої автоматики на їх основі : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Войцеховська Олена Валеріївна. – Вінниця, 2007. – 176 с.

33. Никольский А. И. Исследование активных отрицательных сопротивлений, сопротивлений отрицательной емкости и индуктивности, и разработка на их основе управляемых информационных устройств : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.08 / Никольский Александр Иванович. – Винница, 1996. – 182 с.

34. Лазарев О. О. Дослідження стійкості та чутливості елементів автоматики на базі негатронів : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Лазарев Олександр Олександрович. – Вінниця, 2003. – 246 с.

35. Филинюк Н. А. К вопросу определения научного направления «Негатроника» / Филинюк Н. А. // Вестник ВПИ. – 1999. – № 3. – С. 79–87.

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

37. Ліщинська Л. Б. Багатопараметричні узагальнені перетворювачі імітансу на основі однокристалних напівпровідникових структур / Ліщинська Л. Б. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 244 с. ISBN 978–9666414642.

38. Лосев О. В. Светящийся карборундовый детектор и детектирование с кристаллами / Лосев О. В. // Телефония и телеграфия без проводов. – 1927. – Октябрь (№ 5). – С. 485–494.

39. Михайлов А. «Свечение Лосева» / Михайлов А. // Моделист-конструктор. – 1987. – Октябрь (№ 11). – С. 40–41.

40. Пат. 12191 СССР Световое реле / Лосев О. В. – № 14672 ; заявл. 28.02 1927 ; опубл.31.12.1929, Бюл. № 3.

41. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы / Иванов В. И., Аксенов А. И., Юшин А. М. ; под ред. Н. Н. Горюнова. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.

42. Фурса С. Є. Елементи та пристрої автоматики на основі транзисторних оптонегатронів : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Фурса Світлана Євгенівна. – Вінниця, 2007. – 197 с.

43. Филинюк Н. А. Краткий исторический обзор научного направления «Негатроника» / Филинюк Н. А. // Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. – Хмельницкий, 1999. – № 3. – С. 38–43.

44. Филинюк Н. А. Методы и средства измерения параметров потенциально-неустойчивых многополюсников / Филинюк Н. А., Гаврилов Д. В., Лищенко С. А. // Вестник Технологического университета Подолья. – Хмельницкий, 2002. – Т.1, № 3. – С. 43–47.



45. А. с. 1038892 СССР, МПК<sup>6</sup> G 01 R3/26. Способ определения максимальной частоты генерации транзистора / Н. А. Филинюк. – № 33910115 ; заявл. 03.02.82. ; опубл. 30.08.83., Бюл. № 32. – 5 с.

46. А. с. 1335892 СССР, МПК<sup>4</sup> G 01 R23/02. Способ определения коэффициента устойчивости четырехполюсника / Н. А. Филинюк. – № 3993491 ; заявл. 16.12.85. ; опубл. 07.09.87., Бюл. № 33. – 4 с.

47. Пат. 53004А Україна, МПК G01R 27/28. Спосіб вимірювання мінімально досяжного вхідного активного опору чотириполюсника / Н. А. Филинюк, Д. В. Гаврилов, заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №2002010719 ; заявл. 29.01.02 ; опубл. – 15.01.03, Бюл. № 1.

48. Пат. 1095102А СССР. Устройство для измерения параметров матрицы Y-проводимости четырехполюсника / Филинюк Н. А. – заявл. 19.08.1982 ; опубл. 30.05 1984, БИ № 20.

49. Пат. 32856 А Україна, МПК G01R 27/28. Спосіб визначення прямої і зворотної провідності чотириполюсника / М. А. Филинюк, О. М. Возняк, Р. А. Анфилов, Ле Туан Ту, заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №98063018 ; заявл. 10.06.1998 ; опубл. 15.02.2001. – Бюл. № 1.

50. Негатроника / [Серьезнов А. Н., Степанова Л. Н., Филинюк Н. А. и др.] – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 315 с.

51. Касимов Ф. Д. Физические свойства и функциональные возможности эпитаксиальных структур, содержащих локальные пленки моно- и поликристаллического кремния со средней концентрацией легирующей примеси : дис.... доктора физ. мат. наук : 05.13.05 / Касимов Ф. Д. – Баку, 1989.

52. Кичак В. М. Основи теорії частотно-імпульсних логічних і операційних елементів цифрової техніки : дис. ... доктора техн. наук : 05.13.05 / Кичак В. М. – Вінниця, 2002.

53. Степанова Л. Н. Интегральные радиоэлектронные устройства на эквивалентах р-п-р-п структуры : дис. ... доктора технических наук 05.13.05 / Степанова Л. Н. – Москва, 1991.

54. Молчанов П. А. Теорія нелінійних транзисторних негатронів для пристроїв систем управління : дис. ... доктора техн. наук : 05.13.05 / Молчанов П. А. – Вінниця, 1998.

55. Осадчук О. В. Радіовимірвальні мікроелектронні перетворювачі на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором : дис. ... доктора техн. наук : 05.11.08 / Осадчук О. В. – Вінниця, 2002.

56. Молчанов П. А. Основы нелинейной теории транзисторных негатронов / Молчанов П. А. – Винница : УНИВЕРСУМ-Винница, 1998. – 207 с.

57. Кичак В. М. Радиоимпульсные логические СВЧ элементы / Кичак В. М. – Винница : УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 240 с.

58. Осадчук А. В. Микроэлектронные частотные преобразователи на основе транзисторных структур с отрицательным сопротивлением : монография / Осадчук А. В. – Винница : УНИВЕРСУМ-Винница, 2000. – 303 с.

59. Филинюк Н. А. Активные УКВ фильтры / Филинюк Н. А. – М. : Радио и связь, 1984. – 55 с.

60. Схемотехника, моделирование и применения транзисторных устройств с отрицательным сопротивлением / [Негоденко О. Н., Румянцев К. Е., Зинченко Л. А. и др.] – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 214 с.

61. Микроэлектронные преобразователи на основе негатронных элементов и устройств / [Касимов Ф. Д., Гусейнов Я. Ю., Негоденко О. Н. и др.] – Баку : Элм, 2001. – 236 с.

62. Филинюк Н. А. Анализ и синтез информационных устройств на базе потенциально-неустойчивых обобщенных преобразователей иммитанса / Филинюк Н. А. – Винница : ВГТУ, 1998. – 85 с.

63. Філінюк М. А. Елементи та пристрої автоматики на основі нелінійних властивостей динамічних негатронів : монографія / М. А. Філінюк, О. В. Войцеховська. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 189 с.

64. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних структур Шотткі : монографія / Філі-

нюк М. А., Куземко О. М., Ліщинська Л. Б. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 274 с. – ISBN 978–966–641–332–4.

65. Філінюк М. А. Активні УВЧ і НВЧ фільтри : монографія / М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 396 с. – ISBN 978–966–641–376–8.

66. Філінюк М. А. Методи та засоби вимірювання параметрів потенційно-нестійких чотириполюсників : монографія / Філінюк М. А., Огородник К. В., Ліщинська Л. Б. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 176 с. – ISBN 978–966–641–342–3.

67. Физико-технологические и схемотехнические основы негatronики / [Пашаев А. М., Касимов Ф. Д., Филинук Н. А. и др.] – Баку : Элм, 2008. – 433 с.

68. Схемотехника, моделирование и применения транзисторных устройств с отрицательным сопротивлением / [Негоденко О. Н., Румянцев К. Е., Зинченко Л. А. и др.] – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 214 с.

69. Серьезнов А. Н. Электронные устройства на элементах с отрицательным сопротивлением / А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова. – М. : Радио и связь, 1992. – 200 с.

70. Філінюк М. А. Оптонегatronика : монографія / М. А. Філінюк, С. Є. Фурса. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. – ISBN 978–966–641–440–6.

71. Стафеев В. И. Нейристорные и другие функциональные схемы с объемной связью / Стафеев В. И., Комаровских К. Ф., Фурсин Г. И. – М. : Радио и связь, 1981. – 112 с.

72. Тагер А. С. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ / А. С. Тагер, В. М. Вальд-Перлов. – М. : Сов. Радио, 1968.

73. Хотунцев Ю. Л. Синхронизированные генераторы и автодиоды на полупроводниковых приборах / Ю. Л. Хотунцев, Д. Я. Тамарчак. – М. : Радио и связь, 1982. – 240 с.

74. Filinyuk N. WEB-site creation of international scientific coordination center "Negatronics" : / N. Filinyuk, L. Lishinskaya // The fourth Int. Conf. INTERNET-Education – Science 2004, (28 September –

16 October 2004, Baku–Vinnitsya–Veliko-Turnovo). – 2004. – P. 110–113.

75. Филинюк Н. А. Теоретические основы негатроники / Филинюк Н. А. – Винница : ВГТУ, 2002. – 105 с.

76. Филинюк Н. А. Физические основы негатроники / Филинюк Н. А. – Винница : ВГТУ, 2003. – 79 с.

77. Філінюк М. А. Практичні основи негатроніки : навч. посібник / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 143 с.

78. Филинюк Н. А. Краткая хронология развития научного направления «Негатроника» / Н. А. Филинюк // Современные информационные и электронные технологии : труды 5-й МНТК. – Одесса, 2004, С. 212–213.

79. Лосев О. В. У истоков полупроводниковой техники : избранные труды / Лосев О. В. – Л. : Наука, 1972. – 202 с.

80. Филинюк Н. А. Оптонегатроника — исторический путь развития и перспективы / Филинюк Н. А. // Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии. – Винница, 2001. – № 1. – С. 251–259.

81. Філінюк М. А. Основи негатроніки : у 2 т. / Філінюк М. А. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 762 с.

82. Лищинская Л. Б. Обоснование концепции нечеткого иммитанса / Лищинская Л. Б. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 1. – С. 20–25.

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

84. Ліщинська Л. Б. Основи побудови оптоімітансної логіки / Ліщинська Л. Б. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – № 2(18). – С. 134–137.

85. Філінюк М. А. Досягнення та перспективи нанонегатроніки / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв // ХЛІ науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниця та області :

матеріали конференції : (13-15 березня 2012 р., Вінниця). – ВНТУ. – Вінниця, 2012. – С. 68.

86. Лищинская Л. Б. Экономическая негатроника / Л. Б. Лищинская, Филинюк Н. А. // Научный вестник Черновицкого торгово-экономического института. – Черновцы, 2003. – С. 38–40.

87. Филинюк Н. А. Бионегатроника – путь к решению проблем КВЧ-терапии и акупунктуры / Н. А. Филинюк, Е. Н. Филинюк // Научно-практическая конференция высших медицинских учреждений образования Винницкого региона : материалы конференции. – Винница, 2000. – С. 59–60.

88. Гаряинов С. А. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением / С. А. Гаряинов, И. Д. Абергауз. – М. : Энергия, 1970. – 320 с.

89. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники : учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов / Бессонов Л. А. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1973. – 752 с.

90. Калашников А. М. Колебательные системы / А. М. Калашников, Я. В. Степчук. – М. : Военное издательство министерства обороны СССР, 1972. – 376 с.

91. Філінюк М. А. Дослідження енергетичних властивостей нелінійної ємності / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв // Вісник ВПІ. – 2000. – № 4. – С. 94–97.

92. Філінюк М. А. Дослідження стійкості навантажених С-негатронів / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв // Вісник ВПІ. – 2003. – № 2 – С. 90–96.

93. Воронов А. А. Основы теории автоматического регулирования и управления : учеб. пособие для вузов / Воронов А. А., Титов В. К., Новогранов Б. Н. – М. : Высш. школа, 1977. – 519 с.

94. Філінюк М. А. Дослідження енергетичних властивостей нелінійної індуктивності / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 2. – С. 44–46.

95. Філінюк М. А. Аналіз принципу дуальності у застосуванні до RLC-негатронів / М. А. Філінюк, Р. А. Анфілов // Вісник ВПІ. – 2000. – № 1. – С. 91–94.

96. Васильев Г. Ф. Расчет и проектирование диодных коммутационных устройств дециметрового диапазона. Нелинейные и сверхвысокочастотные радиотехнические системы / Васильев Г. Ф., Евдокименко Ю. А., Гинзбург В. Н. // Сб. трудов МАИ – М. : Машиностроитель, 1970. – Т. 2. – Вып. 215. – С. 265–284.

97. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 275 с.

98. Mini-Circuits Products // Microwave Journal. – 2001. – Vol. 44, № 5. – p. 388.

99. Бакалов В. П. Основы теории электрических цепей и электроники : учебник для вузов / Бакалов В. П., Игнатов А. Н., Крук Б. И. – М. : Радио и связь, 1989. – 528 с.

100. Філінюк М. А. Розробка та дослідження аналогових ключів з послідовним включенням керуючого елемента на С-негатроні N-типу / М. А. Філінюк, О. О. Лазарев // Вісник ВПІ. – 2002. – № 6. – С. 92–97.

101. Теория автоматического управления : учебник для вузов / под ред. А.В. Нетушила. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Высш. школа, 1976. – 400 с.

102. Филановский И. М. Схемы с преобразователями сопротивления / Филановский И. М., Персианов А. Ю., Рыбин В. К. – Л. : Энергия, 1973. – 192 с.

103. Калниболотский Ю. М. Расчет чувствительности электронных схем / Калниболотский Ю. М., Казанджан Н. Н., Нестер В.В. – К. : Техніка, 1982. – 176 с.

104. Філінюк М. А. Дослідження аналогового ключа з паралельним включенням керуючого елемента на С-негатроні N-типу / Філінюк М. А., Лазарев О. О., Кравцов Ю. І. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – № 1. – С. 60–64.

105. Пат. 49976 Україна, МПК H02M3/10. Параметричний стабілізатор напруги / Філінюк М. А., Ліщинська Л. Б., Лазарев О. О. (Україна), заявник і патентовласник Вінницький державний технічний університет. – №2000052653 ; заявл. 11.05.00 ; опубл. 15.10.02, Бюл. № 10.

106. Лазарев О. О. Використання С-негатронів для збільшення коефіцієнта перекриття ємності варикапів / О. О. Лазарев, Л. Б. Ліщинська, С. В. Мірошникова // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції : (м. Вінниця, 8–10 жовтня 2009 р.) / Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2009. – С. 88.

107. Mathematical model of transistor equivalent of electrical controlled capacity / O. Osadchuk, K. Koval, A. Semenov, M. Prutyla // Modern problems of Radio engineering, telecommunications and computer science : proceedings of the international conference : (19–23 february 2008, Lviv–Slavsko). – Lviv, Slavsko, 2008. – P. 35–36.

108. Krasilenko V. G. Optoelectronic triggers based on  $\lambda$ -devices as advanced components for optical computing arrays / Krasilenko V. G., Nikolsky A. I., Lazarev A. A. // Proc. of SPIE. – Vol. 5104. – 2003. – P. 137–148.

109. Negative capacitance effect in semiconductor devices / Ershov M., Liu H. C., Li L., Buchanan M., Wasilevski Z. R., Jonscher A. K. // IEEE Transactions On Electron Devices. – 1998. – Vol. 45, № 10. – P. 2196–2203.

110. Нуберт Г. П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин / Нуберт Г. П. – Л. : Энергия, 1970. – 360 с.

111. Како Н. Датчики и микро-ЭВМ / Н. Како, Я. Яманэ ; пер. с япон. – Л. : Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.

112. Виглеб Г. Датчики / Виглеб Г. ; пер. с нем. – М. : Мир, 1989. – 196 с.

113. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин : измерительные преобразователи / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

114. Спетор С. А. Электрические измерения неэлектрических величин: методы измерений / Спетор С. А. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
115. Викулин И. М. Полупроводниковые датчики / И. М. Викулин, В. И. Стафеев. – М. : Сов. радио, 1975. – 104 с.
116. Новицкий П. В. Цифровые приборы с частотными датчиками / Новицкий П. В., Кнорринг В. Г., Гутников В. С. – Л. : Энергия, 1970. – 424 с.
117. Арш Э. И. Автогенераторные методы и средства измерений / Арш Э. И. – М. : Машиностроение, 1979. – 256 с.
118. Конюхов Н. Е. Электромагнитные датчики механических величин / Конюхов Н. Е., Медников Ф. М., Нечаевский М. Л. – М. : Машиностроение, 1987. – 256 с.
119. Гольдман В. С. Индуктивно-частотные преобразователи неэлектрических величин / В. С. Гольдман, Ю. И. Сахаров. – М. : Энергия, 1968. – 98 с.
120. Филинюк Н. А. Негасенсоры на базе схемотехнических аналогов негатронов / Н. А. Филинюк, А. А. Лазарев, Д. В. Гаврилов // Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе : труды междунар. кофн. : (2001, Баку–Сумгаит (Азербайджан)). – Баку, Сумгаит, 2001. – С. 174–175.
121. А. с. 1629876 СССР, МКИ<sup>5</sup> G 01 R27/26. Индуктивный датчик / Н. А. Филинюк, А. И. Никольский, В. Г. Красиленко, В. И. Билык. – № 4413794 ; заявл. 20.04.88 ; опубл. 23.02.91, Бюл. № 7. – 4 с.
122. Пат. 55483 Україна, МПК G01R 27/28. Індуктивний негасенсор / О. В. Войцеховська, О. О. Лазарев, Л. Б. Ліщинська, М. А. Філінюк ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201008518 ; заявл. 08.07.10 ; опубл. 10.12.10, Бюл. № 23. – 4 с.
123. Пат. 46278 Україна, МПК G01 R 27/28. Індуктивний негасенсор / М. А. Філінюк, О. О. Лазарев, О. В. Войцеховська, С. В. Мірошникова, заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u 2009 07613 ; заявл. 20.07.09 ; опубл. 10.12.09, Бюл. № 23. – 4 с.



124. Пат. 54731 Україна, МПК G01R 27/28. Індуктивний негасенсор на операційному підсилювачі / Войцеховська О. В., Лазарєв О. О., Філінюк М. А. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201004689 ; заявл. 20.04.10 ; опубл. 25.11.10, Бюл. № 22. – 3 с.

125. Пат. 54023 Україна, МПК G01R 27/28. Індуктивний негасенсор на інверторі імітансу / Войцеховська О. В., Лазарєв О. О., Філінюк М. А. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201004687 ; заявл. 20.04.10 ; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. – 3 с.

126. Пат. 54019 Україна, МПК G01R 27/28. Індуктивний негасенсор мостового типу / О. В. Войцеховська, О. О. Лазарєв, М. А. Філінюк, Д. В. Кудряшов ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201004679 ; заявл. 20.04.10 ; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. – 4 с.

127. Пат. 64984 Україна, МПК G01R 27/28. Індуктивний мостовий негасенсор / О. В. Войцеховська, О. О. Лазарєв, М. А. Філінюк, Д. В. Кудряшов ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201104923 ; заявл. 20.04.2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22. – 4 с.

128. Войцеховская Е. В. Индуктивный негасенсор / Войцеховская Е. В., Лищинская Л. Б., Лазарев А. А. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. – № 3. – С. 20–22.

129. Войцеховська О. В. Індуктивний негасенсор мостового типу на L-негатроні [Електронний ресурс] / Войцеховська О. В., Філінюк М. А., Кудряшов Д. В. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 2. – 2011. Режим доступу до журн. : [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011-2.files/uk/11evvtol\\_ua.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011-2.files/uk/11evvtol_ua.pdf)

130. Подлесный Н. И. Элементы систем автоматического управления и контроля / Н. И. Подлесный, В. Г. Рубанов. – К. : Вища школа, 1982. – 477 с.

131. Электрические измерения неэлектрических величин / под ред. П. В. Новицкого. – Л. : Энергия, 1975. – 576 с.

132. Кветний Р. Н. Інтегральне моделювання динамічних перетворювачів систем управління та автоматики / Р. Н. Кветний, О. Р. Бойко // Нові технології. Науковий вісник інституту економіки та нових технологій. – 2004. – № 3(6). – С. 97–101.

133. Вульвет Дж. Датчики в цифрових системах / Вульвет Дж. ; пер. с англ. под ред. А. С. Яременко. – М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.

134. Пенін Н. А. Отрицательная емкость в полупроводниковых структурах / Пенін Н. А. // ФТП. – 1996. – Т. 30, № 4. – С. 626–634.

135. Negative capacitance effect in semiconductor devices / Ershov M., Liu H. C., Li L., Buchanan M., Wasilevski Z. R., Jonscher A. K. // IEEE Transactions On Electron Devices. – 1998. – Vol. 45, № 10. – P. 2196–2203.

136. Бессонов Л. А. Нелинейные электрические цепи : учебное пособие для вузов / Бессонов Л. А. – 3-е изд, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1977. – 343 с.

137. Optical negasensors / Filinyuk N. A., Molchanov P. A., Lazarev O. O., Asmolova O. V., Luchenko A. I. // Optoelectronic Information Power Technologies. – Vinnitsya, 2003. – Vol. 4. – P. 35–46.

138. Пат. 46280 Україна, МПК G01 R 27/28. Індуктивний негасенсор з частотним виходом / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв, О. В. Войцеховська, С. В. Мірошникова ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u2009 07621 ; заявл. 20.07.09 ; опубл. 10.12.09, Бюл. № 23. – 4 с.

139. Пат. 66930 Україна, МПК G01R 27/28. Автогенераторний індуктивний негасенсор на L-негатроні / О. В. Войцеховська, О. О. Лазарєв, М. А. Філінюк, В. В. Чудак ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201107994 ; заявл. 24.06.2011 ; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2. – 4 с.

140. Лазарєв О. О. Збільшення швидкодії оптронів шляхом використання негатронів / Лазарєв О. О., Войцеховська О. В., Філінюк М. А. // Фотоніка–2010 : матеріали міжнародної науково-технічної конференції : (28–30 жовтня 2010, м. Вінниця) / ВНТУ. – Вінниця, 2010. – С. 176.

141. Пат. 54735 Україна, МПК(2009) H03H 3/00. Компенсатор реактивного опору / Войцеховська О. В., Лазарєв О. О., Філі-

нюк М. А. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201004700 ; заявл. 20.04.10 ; опубл. 25.11.10, Бюл. № 22. – 3 с.

142. Лазарев О. О. Мікроенергосбереження та С-негатрони / О. О. Лазарев, М. А. Філінюк // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції : (8–10 жовтня 2009, м. Вінниця) / ВНТУ. – Вінниця, 2009. – С. 90.

143. Ultra-low power, 2-channel, Capacitance converter for proximity sensing. / Analog Devices. – Norwood : One technology way, 2007. – 28 p.

144. Shim C.-H. Acceleration of Current Programming Speed for AMOLED using Active Negative-Capacitance Circuit : international display workshops, (5–7 December 2007, Sapporo) / Chang-Hoon Shim, Reiji Hattori. – Sapporo, 2007. – P. 1985–1986.

145. Jose A.P. Distributed Loss-Compensation Techniques for Energy-Efficient Low-Latency On-Chip Communication / Jose A.P., Shepard K. L. // Solid-State Circuits, IEEE Journal. – 2007. – June (Vol. 42, Issue : 6). – P. 1415–1424.

146. Patent 6943633 USA, МПК H03K 3/03 (20060101). Widely tunable ring oscillator utilizing active negative capacitance / Prashant Singh ; assignee LSI Logic Corporation. – № 10/653593 ; filed 25.08.2003 ; issued 13.09.2005.

147. Patent 6785477 USA, МПК H03F 3/08 (20060101). Optical receiver using variable negative-capacitance circuit / Masuda, Washio Toru, Yoshikawa Katsuyoshi and others ; assignee Hitachi Device Engineering Co. Ltd. – № 09/646509 ; filed 19.03.1998 ; issued 31.08.2004.

148. Patent Re 29080 USA. Compensated transformer circuit utilizing negative capacitance simulating circuit / Kiko, J. Frederick ; assignee Lorain products corporation. – № 05/582858 ; filed 2.06.1975, issued 14.12.1976.

149. Patent 3578911 USA, H04b3/18. Telephone wire pair compensator utilizing negative capacitance circuit / Warren G. Bender Wellesley, Robert C. MacKenzie, Franklin Mass ; assignee Communication technology, Inc. – № 10849 ; filed 12.02.1970 ; issued 18.03.1971.

150. Patent 5694071 USA, MIIK H03K 5/08. Electronic device comprising means for compensating an undesired capacitance / Godefridus A. M. Hurkx, Petrus G. M. Baltus, Marinus P. G. Knuvers, Cornelis M. Hart ; assignee – U.S. Philips Corporation. – № 08/615558 ; filed 12.03.1996 ; issued 2.12.1997.

151. Kaya A. High gain rectangular broad band microstrip antenna with embedded negative capacitor and chip resistor / Kaya A. // Progress In Electromagnetics Research. – 2008. – PIER 78. – P. 421–436.

152. Zhirnov V. V. Nanoelectronics: Negative capacitance to the rescue? / V. V. Zhirnov, R. K. Cavin // Nature Nanotechnology. – 2008. – Vol. 3, – P. 77–78.

153. Comer D. J. Bandwidth Extension of High-Gain CMOS Stages Using Active Negative Capacitance / D. J. Comer, D. T. Comer, J. B. Perkins, K. D. Clark, A. P. C. Genz // Electronics, Circuits and Systems : 13th IEEE International Conference : (10–13.12.2006, Nice) . – Nice, 2006. – P. 628–631.

154. Chaivipas W. A 80GHz Voltage Controlled Oscillator With a Negative Varactor in 90nm CMOS Technology / Chaivipas W., Okada K., Matsuzawa A. // IEEE A-SSCC. – 2008.

155. Seeger J. I. Negative capacitance for control of gap-closing electrostatic actuators / J. I. Seeger, B. E. Boser // Transducers, Solid-State Sensors, Actuators And Microsystems : 12th International Conference On, (8–12 June 2003). – 2003. – Vol. 1. – P. 484–487.

156. Park H. A 0.1-1GHz CMOS variable gain amplifier Using Wideband negative Capacitance / Hangu Park, Lee Sungho, Lee Jaejun, Nam Sangwook // IEICE Transactions on Electronics. – 2009 – № 10. – P. 1311–1314.

157. Gang X. A Possible Minimum Toy Model with Negative Differential Capacitance for Self-sustained Current Oscillation / Xiong Gang, Sun Zhou-Zhou, Wang Xiang-Rong // Communications in Theoretical Physics. – 2007 – No. 47(05). – P. 949–954.

158. Patent 4463307 USA, MIIK H04M 19/00 (20060101). Negative inductance multiplier circuit including temperature compensation / Kiko F. J., Barzen T. J., Thomas J. ; assignee GTE Automatic Electric Inc. – № 06/436874 ; filed 26.10.1982 ; issue 31.07.1984.

159. Patent 4467269 USA, MIIK H04M 19/00 (20060101). Start-up circuit for negative inductance multiplier / Barzen T. J. ; assignee GTE Automatic Electric Inc. – № 06/436870 ; filed 26.10.1982 ; issue 21.08.1984.

160. Patent 7005950 USA, MIIK H03H 11/52 (20060101). Negative impedance converter / Kawai, Kazuo ; assignee General Research of Electronics, Inc. – № 10/842020 ; filed 7.05.2004 ; issue 28.02.2006.

161. Patent 7005950 USA, H01L 21/44 (20060101). Integrated circuit incorporating wire bond inductance / James Stuart Wight, Johan M. Grundlingh; assignee Zarbana Digital Fund LLC. – № 10/610,497 ; filed 30.06.2003 ; issue 11.03.2008.

162. Patent 2009/0027136 A1 USA, H03H 11/10. Active electromagnetic interference filter circuit for suppressing a line conducted interference signal / Boris Willebroidus Traa, Age Jochem Van Dalfsen ; assignee Koninklike Philips electronics, n.v. – № 11/573918 ; filed 18.08.2005 ; issue 29.01.2009. – 17 p.

163. Fukada E. Vibration Control by Magnetostrictive Actuator Coupled with Negative Inductance Circuits / Eiichi Fukada, Munehiro Date, Kosei Sekigawa // Japanese journal of applied physics. – 2003. – November (Vol. 42). – P. 7124–7128.

164. Jaikla W. Floating Positive and Negative Inductance Simulators Based on OTAs / Winai Jaikla, Montree Siripruchyanant // 2006 International symposium on communications and information technologies : (18–20.10.2006, Bangkok). – Bangkok, 2006. – P. 344–347.

165. Zuniga T. Techniques for Power Negative Inductance Synthesis and its Applications / Zuniga, Teresa Esther; Pomilio, José Antenor // Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência : (September 2003, Fortaleza). – Fortaleza, 2003. – Vol. 1. – P. 1–6.

166. Patent 7956715 USA, MIIK H01F 5/00 (20060101). Method for Fabricating Thin film Structures with Negative Inductance // Agus Widjaja, Andrew Sarangan ; assignee University of Dayton. – № 12/427296 ; filed 21.04.2009 ; issue 7.06.2011.

167. Patent 7956715 USA, MIIK H01F 5/00 (20060101). Thin film structures with negative inductance and methods for fabricating inductors

comprising the same Agus Widjaja, Andrew Sarangan ; assignee University of Dayton. – Filed 21.04.2009 ; issue 7.06.2011.

168. Kaya A. Bandwidth Enhancement Using Negative Inductance with Three FET for the Rectangular Microstrip Antenna / A. Kaya, S. Kilinc, E. Y. Yuksel, U. Can : proceeding of the 47th IEEE international mid-west symposium on circuit and systems. – 2004. – P. 58–111.

169. Kilinc S. Realization of Fully Controllable Negative Inductance with Single Operational Transresistance Amplifier / Kilinc S., Salama K. N., Cam U. // Circuits, Systems, and Signal Processing. – 2006. – Vol. 25, No. 1. – P. 47–57.

170. Floating Immittance Function Simulator and Its Applications / M. Sagbas, U. E. Ayten, H. Sedef, M. Koksal // Analog integrated circuits systems and signal processing. – 2009. – Vol. 28, No. 1. – P. 55–63.

171. Muhammad Taher Abuelma'atti. New grounded immittance function simulators using single current feedback operational amplifier / Muhammad Taher Abuelma'atti // Analog integrated circuits systems and signal processing. – 2011. – November.

172. Физико-технологические и схемотехнические основы негатроники / Пашаев А. М., Касимов Ф. Д., Филинюк Н. А. [и др.] – Баку : Элм, 2008. – 433 с.

173. Филинюк Н. А. Полупроводниковый умножитель индуктивности / Филинюк Н. А., Куземко А. М., Булига И. В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т. 1(93), № 3. – С. 150–152.

174. Богачев В. М. Транзисторные усилители мощности / В. М. Богачев, В. В. Никифоров. – М. : Энергия, 1978. – 344 с.

175. Ліщинська Л. Б. Оптимізація параметрів помножувача індуктивності / Ліщинська Л. Б., Булига І. В., Войцеховська О. В. // Вісник ВПІ. – 2008. – № 2. – С. 81–87.

176. Войцеховская Е. В. Исследование умножителей индуктивности на полевом транзисторе Шоттки / Е. В. Войцеховская, А. А. Лазарев, Л. Б. Лищинская, С. В. Мирошникова // Научно-технический прогресс и современная авиация : материалы международной конференции : (12–14 февраля 2009, Баку). – Баку, 2009. – С. 325–328.

177. Патент 52767 Україна, МПК(2009) Н03Н 3/00. Помножувач індуктивності на L-негатроні / О. В. Войцеховська, О. О. Лазарев,

Л. Б. Ліщинська, М. А. Філінюк. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201002048 ; заявл. 25.02.10 ; опубл. 10.09.10, Бюл. № 17. – 3 с.

178. Філінюк М. А. Аналіз чутливості електронних кіл з L-, C-негатронами / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв // Вісник ЖІТІ. – 2003. – № 2. – С. 92–98.

179. Філінюк Н. А. Напівпровідникові індуктивності для СВЧ-діапазона / Філінюк Н. А., Куземко А. М., Салех М. М. Журбан // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. – 2006. – № 5. – С. 9–13.

180. Ліщинська Л. Б. Аналіз коефіцієнта добротності помножувача індуктивності / Л. Б. Ліщинська, О. В. Войцеховська, О. О. Лазарєв, М. А. Філінюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 87–90.

181. Патент 52765 Україна, МПК(2009) H03H 3/00. Помножувач реактивності на C-негатроні / О. О. Лазарєв, О. В. Войцеховська, Л. Б. Ліщинська, М. А. Філінюк ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201002046 ; заявл. 25.02.10 ; опубл. 10.09.10, Бюл. № 17. – 3 с.

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

183. Ying Chen. Wideband varactorless LC VCO using a tunable negative-inductance cell / Ying Chen, Koen Mouthaan // IEEE Transactions on Circuits and Systems Part I: Regular Papers archive. – 2010. – Vol. 57, Issue 10. – P. 2609–2617.

184. Merrill J. L. Theory of the Negative Impedance Converter / Merrill J. L. // Bell System technical Journal. – 1951. – Jan. (Vol. 30), P. 88–109.

185. Linvill J. G. Transistor Negative Impedance Converters / Linvill J. G. // Proc. IRE. – 1953. – Vol. 41. – P. 725–729.

186. Yanagisava T. Current Inversion Type Negative Impedance Converters / Yanagisava T. // Inst. Elec. Commun. Engrs. – Japan, 1956. – Nov. (Vol. 39). – P. 933–937.

187. Karp M. A. A Transistor D-C Negative Immitance Converter / Karp M. A. // Proc. Nat. Electronics. Conf. – 1956. – P. 469–480.

188. Hakim S. S. Some new negative impedance converters. / Hakim S. S. // Electronics Letters. – 1965. – March (Vol. 1, № 1). – P. 9–10.
189. Larky A. I. Negative-impedance Converters IRE Trans / Larky A. I. // Circuit Theory. – 1957. – Sept. (Vol. CT-4). – P. 124–131.
190. Myers B. R. New subclass of negative-impedance converters with improved gain-product sensitivities / Myers B. R. // Electronics Letters. – 1965. – May (Vol. 1, № 3). – P. 68–70.
191. Kallmann H. E. A simple DC-AC Negative-Impedance Converter / Kallmann H. E. // Proc. IEE. – 1964. – Febr. (Vol. 52). – P. 199–200.
192. Marshak A. M. Direct-Coupled Negative-Impedance Balanced Converters / Marshak A. M. // Electronics Letters. – 1965. – July (Vol. 1, № 5). – P. 142–143.
193. Reich H. J. More about Negative-Resistance Circuits / Reich H. J. // Proc. IEEE. – 1964. – Sept. – P. 1058–1059.
194. Su K. L. A Method for Realizing the Negative-Impedance Inverter / Su K. L. // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – 1967. – March (Vol. SC-2, № 1). – P. 22–25.
195. Antoniou A. Realization of gyrators using operational amplifiers, and their use in RC-active-network synthesis / Antoniou A. // Proc. IEE 116. – 1969. – P. 1838–1850.
196. Giannini F. A monolithic active notch tunable filter based on the gyrator principle / F. Giannini, E. Limiti, G. Orenco, P. Sanzi // Microwave Symposium Digest. IEEE MTT-S International. – 1997. – Vol. 2. – P. 809–812.
197. Gense1 J. Negative Widerstande und Gyrotoren / Gense1 J. // Nachrichtentechni. – 1957. – Juni (7). – Bd. 6. – S. 249–256.
198. Марше Ж. Операционные усилители и их применение / Марше Ж. ; пер. с франц. – Л. : Энергия, 1974. – 216 с.
199. Smith K. C. The current conveyors – a new circuit building block / K. C. Smith, A. S. Sedra // Proc. IEEE. – 1968. – Aug. (Vol. 56). – P. 1368–1369.
200. Арефьев А. А. Эквиваленты приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением / Арефьев А. А., Серьезнов А. Н.,



Степанова Л. Н. // Сер. Радиоелектроника и связь. – М. : Знание, 1987. – № 2. – 64 с.

201. Sedra A. S. Current Conveyor Theory And Practice / A. S. Sedra, W. Gordon // Analogue IC design : the current-mode approach / C. Toumazou, F. J. Lidgey, D. Haigh. – IET. – 1993. – 646 p.

202. Ferri G. Low-voltage low-power CMOS current conveyors / G. Ferri, N. C. Guerrini. – Springer, 2003. – 193 p. – ISBN 1402074867, 9781402074868.

203. Lee T. H. From Oxymoron to Mainstream : The Evolution and Future of RF CMOS / Lee T. H. // IEEE International Workshop, RFIT-Radio-Frequency Integration Technology, (December 2007, Singapore) – P. 1–6.

204. Masataka W. 0.10 um Ion-Implanted GaAs MESFETs with Low Cost Production Process / W. Masataka, F. Daiji, Y. Hiroshi, N. Shigeru // IEICE Tech. Rep. – 2007. – June (Vol. 107, No. 95, ED2007–31). – P. 1–5.

205. Sub 50 nm InP HEMT Device with Fmax Greater than 1 THz : Electron Devices Meeting, 2007. IEEE International, (10–12 Dec. 2007) / [Lai R., Mei X. B., Deal W. R. and other]. – P. 609–611. – ISBN 978–1–4244–1507–6.

206. Chaivipas W. A 80GHz voltage controlled oscillator utilizing a negative varactor in 90nm CMOS technology / Chaivipas W., Okada K., Matsuzawa A. // Solid-State Circuits Conference, A-SSCC '08. IEEE Asian. (3–5 Nov. 2008, Fukuoka). – Fukuoka, 2008. – P. 133–136. – ISBN 978–1–4244–2604–1.

207. Лазарев О. О. Аналіз методів та засобів з схмотехнічної реалізації негатронів на перетворювачах імпедансу / Лазарев О. О., Ліщинська Л. Б., Войцеховська О. В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 6. – С. 49–55.

208. Patent 29080 USA, МПК H03H 7/00, H03H 11/00. Compensated transformer circuit utilizing negative capacitance simulating circuit / F. J. Kiko ; assignee Lorain products corporation. – № 05/582858 ; filed 02.06.1975 ; issued 14.12.1976.

209. Лазарев О. О. Дослідження схмотехнічних реалізації С-негатронів на інверторах від'ємного опору / О. О. Лазарев,

К. В. Огородник, Р. Ю. Чехместрук, М. А. Філінюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 2 – С. 72–76.

210. Shem-Tov B. A high-speed CMOS Op-Amp design technique using negative Miller capacitance / Shem-Tov B., Kozak M., Friedman E. G. : in Proceedings of 2004 11th IEEE International Conference of Electronics, Circuits and Systems, (December 2004). – P. 623–626.

211. Лазарєв О. О. Взаємозв'язок типу внутрішнього зворотного зв'язку з типом С-негатрона / О. О. Лазарєв, М. А. Філінюк // Вісник ВПІ. – 2009. – № 5. – С. 127–133.

212. Філінюк М. А. Дослідження стійкості навантажених С-негатронів / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв // Вісник ВПІ. – 2003. – № 3. – С. 90–96.

213. Лазарєв О. О. Дослідження схемотехнічних реалізацій С-негатронів на конверторах від'ємного опору [Електронний ресурс] / О. О. Лазарєв, К. В. Огородник, Р. Ю. Чехместрук, М. А. Філінюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 4. – 2011. Режим доступу до журн. : [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011\\_4/2011-4.files/uk/11oolnrc\\_ua.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011_4/2011-4.files/uk/11oolnrc_ua.pdf).

214. Patent 3881149 USA, МПК H01F 27/42 (20060101). Compensated transformer circuit / Kiko F. J. ; assignee Lorain Products Corporation. – filed 2.06.1975 ; issued 29.04.1975. – 7 p.

215. Кнорре К. Г. Фазовые и частотные СВЧ элементы / Кнорре К. Г., Тузов В. М., Шур Г. И. – М. : Сов. радио, 1975. – 352 с.

216. Кичак В. М. Радіоімпульсні логічні НВЧ елементи / Кичак В. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 240 с.

217. Непман М. С. О сверхвысокочастотной вычислительной прерывной автоматике / Непман М. С. // Электронные радиоимпульсные вычислительные системы дискретного действия. Труды МАИ. – Вып. 149. – С. 3–8.

218. Проектирование многофункциональных интегральных схем / Молчанов А. А., Волконогов В. П., Лоза Ю. Х. [и др.] – К. : Техніка, 1984. – 143 с.

219. А. с. 863132 СССР, МПК<sup>5</sup> H 03 K19/20. Радиочастотный логический элемент / Н. А. Філінюк, Ю. Г. Калиниченко– № 3211372 ;

заявл. 03.12.80. ; опубл. 30.09.82., Бюл. № 36. – 6 с.

220. Оптоэлектронная схемотехника / Кожемяко В. П., Натрошвили О. Г., Мартынюк Т. Б. [и др.] – К. : УМК, 1988. – 276 с.

221. Сигорский В. П. Основы теории электротехнических схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко. – К. : Техника, 1967. – 609 с.

222. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно-нестійких узагальнених перетворювачів імітансу / Філінюк М. А. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 85 с.

223. Ионкин П. А. Синтез РС схем с активными невзаимными элементами / П. А. Ионкин, В. Г. Миронов. – М. : Энергия, 1976. – 240 с.

224. Филинюк Н. А. Основы анализа и синтеза информационных устройств на базе инжекционно-пролетных эффектов : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.05 / Филинюк Николай Антонович ; Институт кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР. – К. : 1984. – 47 с.

225. Лищинская Л. Б. Обобщенные преобразователи иммитанса на основе инжекционно-пролётной транзисторной структуры с общим истоком [Электронный ресурс] / Л. Б. Лищинская, И. В. Булыга, А. Г. Шведюк, Н. А. Филинюк // Наукові праці ВНТУ.– № 2. – 2008. – С. 1–18. Режим доступа до журн. : [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-2/2008-2\\_ru.files/ru/08lblsts\\_ru.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-2/2008-2_ru.files/ru/08lblsts_ru.pdf)

226. Імітансні логічні схеми підвищеної завадостійкості / [Л. Б. Ліщинська, М. В. Барабан, О. В. Войцеховська та ін.] // Методи и средства кодирования, защиты и сжатия информации : збірник тез доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції : (20–22 квітня 2011, Вінниця) / ВНТУ. – Вінниця, 2011. – С. 200–201.

227. Лазарев А. А. Многофункциональный логический элемент на С-негатроне / Лазарев А. А., Филинюк Н. А., Басюк Т. В. // Научно-технический прогресс и современная авиация : сборник трудов международной науч.-техн. конференции : (12–14 февраля 2009, Баку). – Баку, 2009. – С. 328–331.

228. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры / Галушкин А. И. – М. : ИПРЖР, 2000. – 528 с.

229. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.

230. Пат. 6501294 В2 США, МПК Н03К 19/23. Neuron circuit / K. Bernstein, N. J. Rohrer. – № 09/842736 ; заявл. 26.04.2001 ; опубл. 31.12.2002. – 5 с.

231. Стафеев В. И. Нейристорные и другие функциональные схемы с объемной связью / Стафеев В. И., Комаровских К. Ф., Фурсин Г. И. – М. : Радио и связь, 1981. – 112 с.

232. Бардаченко В. Ф. Таймерні нейронні елементи та структури / Бардаченко В. Ф., Колесницький О. К., Василецький С. А. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 126 с.

233. Wu X. Negative capacitance at metal-semiconductor interfaces / Wu X., Yang E. S., Evans H. L // J. Appl. Phys. – 1990. – Vol. 68, № 6. – P. 2845–2848.

234. Эффекты накопления заряда и отрицательная емкость в гетероструктурах на основе кремния / [Болтаев А. П., Бурбаев Т. М., Курбатов В. А. и др.] // Известия академии наук. Серия физическая. – 1999. – № 2. – С. 312–318.

235. Отрицательная емкость в локально выращенных пленках поликристаллического кремния / [Абдулаев А. Г., Ветхов В. А., Касимов Ф. Д. и др.] // Электронная техника, Сер. 3. Микроэлектроника. – 1985. – Т. 116, Вып. 4. – С. 21–25.

236. Partenskii M. V. The question of negative capacitance and its relation to instabilities and phase transitions at electrified interfaces / Partenskii M. V., Dorman V. L., Jordan P. C. // Int. Rev. Phys. Chem. – 1996. – No. 11, – P. 153–181.

237. Лазарев О. О. Оптоэлектронный нейронный элемент на С-негатроні / Лазарев О. О., Басюк Т. В., Філінюк М. А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця, 2008. – № 2 (16). – С. 191–196.

*Наукове видання*

**Філінюк Микола Антонович  
Лазарєв Олександр Олександрович  
Войцеховська Олена Валеріївна**

## **ЛС–НЕГАТРОНИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ**

Монографія

Редактор С. Малішевська  
Оригінал-макет підготовлено О. Войцеховською  
Дизайн обкладинки – В. Чудак

Підписано до друку 05.10.2012 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 17,79  
Тираж 100 прим. Зам № 2012-154

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.