

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

**ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВУЗЛИ
РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ
НА ОСНОВІ РЕАКТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР
З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2011

УДК 621.317
ББК 32.842-5
Ф94

Автори:

В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 3 від 28.10.2010 р.)

Рецензенти:

Р. Н. Квєтний, доктор технічних наук, професор;

В. Ю. Кучерук, доктор технічних наук, професор;

А. П. Бондарєв, доктор технічних наук, доцент.

Функціональні вузли радіовимірювальних приладів на ос-
Ф94 нові реактивних властивостей транзисторних структур з
від'ємним опором : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук,
А. О. Семенов та ін. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 336 с.

ISBN 978-966-641-405-5

В монографії розглядаються питання побудови функціональних вузлів перетворення спектрального складу сигналів радіовимірювальних приладів на основі реактивних ефектів транзисторних структур з від'ємним опором. Запропоновано нові технічні рішення побудови функціональних вузлів в діапазоні низьких, високих і надвисоких частот. Отримано нові співвідношення розрахунку статичних і динамічних характеристик активних елементів радіовимірювальних приладів на основі транзисторних структур з від'ємним опором, які можна використовувати для їхнього інженерного розрахунку.

УДК 621.317
ББК 32.842-5

ISBN 978-966-641-405-5

© В. Осадчук, О. Осадчук, А. Семенов, К. Коваль, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ.....	10
1.1. Класифікація радіовимірювальних приладів та аналіз вимог до їх складових (функціональних вузлів).....	10
1.2. Ємнісний ефект напівпровідникових приладів.....	15
1.3. Індуктивний ефект у біполярних транзисторів.....	24
1.4. Гіраторні аналоги індуктивності.....	30
1.5. Помножувачі частоти на структурах з від'ємним опором.....	42
1.6. Пристрої генерації на структурах з від'ємним опором.....	45
1.7. Електрично керовані фазообертачі та фільтри на структурах з від'ємним опором.....	48
1.8. Активні фільтри на структурах з від'ємним опором.....	50
1.9. Висновки до розділу.....	53
2. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНО КЕРОВАНИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ ЄМНОСТЕЙ НА ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУРАХ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ.....	54
2.1. Розробка і дослідження еквівалента ємності на біполярній транзисторній структурі з від'ємним опором.....	55
2.2. Дослідження еквівалента ємності на біполярній статично-індукованій транзисторній структурі.....	72
2.3. Розробка і дослідження еквівалентної ємності на МДН транзисторній структурі з від'ємним опором.....	74
2.4. Розробка і дослідження еквівалента ємності на біполярно- польовій транзисторній структурі.....	91
2.5. Висновки до розділу.....	107

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАНЗИСТОРІВ І ТРАНЗИСТОРНИХ СХЕМ.....	108
3.1. Визначення формули індуктивності низькочастотних транзисторів.....	108
3.2. Частотна залежність параметрів транзисторної індуктивності.....	115
3.3. Залежність параметрів транзисторної індуктивності від режиму живлення з постійного струму.....	119
3.4. Залежність індуктивності від зміни величини базового опору, температури і величини вхідного сигналу.....	124
3.5. Дослідження індуктивних властивостей транзистора з пози- тивною реактивністю в колі бази.....	129
3.6. Дослідження індуктивних властивостей складених транзисторів.....	133
3.7. Індуктивні властивості транзистора з додатковою ємністю.....	142
3.8. Питання стійкості напівпровідникових індуктивностей.....	150
3.9. Чутливість схем з еквівалентною індуктивністю.....	154
3.10 Висновки до розділу.....	157
4. ПОМНОЖУВАЧІ ЧАСТОТИ НА ЄМНІСНОМУ ЕФЕКТІ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ.....	158
4.1. Помножувач частоти на біполярній транзисторній структу- рі з від'ємним опором.....	158
4.2. Помножувач частоти на польовій транзисторній структурі з від'ємним опором.....	165
4.3. Помножувач частоти на біполярно-польовій транзисторній структурі з від'ємним опором.....	173
4.4. Автодинний помножувач частоти на транзисторній структурі з від'ємним опором.....	180
4.5. Висновки до розділу.....	182

5. ГЕНЕРАТОРНІ ПРИСТРОЇ НА ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУРАХ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ.....	183
5.1. Низькочастотні генератори на основі індуктивного ефекту транзисторних схем.....	183
5.2. НВЧ-генератор на індуктивному транзисторі.....	191
5.3. Електрично керований НВЧ-генератор на ємнісному ефекті біполярно-польової транзисторної структури.....	193
5.4. Електрично керований генератор лінійно-змінної напруги на біполярній транзисторній структурі.....	197
5.5. Генератор прямокутних імпульсів на польовій транзисторній структурі з від'ємним опором.....	203
5.6. Багаточастотний генератор на основі польової транзисторної структури з від'ємним опором.....	212
5.7. Висновки до розділу.....	223
6. НВЧ ФАЗООБЕРТАЧІ, КОМУТАТОРИ І ВИМИКАЧІ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ.....	224
6.1. НВЧ-фазообертач на основі ємнісного ефекту транзисторних структур з від'ємним опором.....	224
6.2. НВЧ-фазообертач на основі індуктивного ефекту транзисторних структур з від'ємним опором.....	229
6.3. НВЧ-комутатори і НВЧ-вимикачі.....	233
6.4. НВЧ-підсилювачі.....	240
6.5. Висновки до розділу.....	247
7. ЕЛЕКТРИЧНІ ФІЛЬТРИ НА ОСНОВІ РЕАКТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ.....	248
7.1. Електричні фільтри на основі ємнісного ефекту транзисторних структур з від'ємним опором.....	248
7.2. Транзисторний коливальний НВЧ-контур.....	257

7.3. НВЧ-фільтри на транзисторах.....	262
7.4. Висновки до розділу.....	275
8. РАДІОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ НА ОСНОВІ ГІРАТОРІВ...	276
8.1. Підсилювачі електричних коливань на гіраторах.....	276
8.2. Активні фільтри на гіраторах	287
8.3. Транзисторний трансформатор ємності.....	290
8.4. Нелінійний контур на основі гіратора.....	294
8.5. Узгоджувальний пристрій на основі гіратора.....	301
8.6. Транзисторний терморегулятор.....	304
8.7. Перетворювач постійної напруги в змінну.....	306
8.8. Гіраторний трансформатор.....	309
8.9. Пристрій для вимірювання параметрів реактивних елементів з низькою добротністю в діапазоні НВЧ.....	313
8.10. Висновки до розділу.....	315
ЛІТЕРАТУРА.....	316

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БТ	–	біполярний транзистор
БСІТ	–	біполярний статично індукований транзистор
БТСВО	–	біполярна транзисторна структура з від'ємним опором
ВАХ	–	вольт-амперна характеристика
ВО	–	від'ємний опір
ВП	–	від'ємна провідність
ВЧ	–	високі частоти
ГЕК	–	генератор електричних коливань
ГЛЗН	–	генератор лінійно змінної напруги
ЕКЕС	–	електрично керований еквівалент ємності
ІПТ	–	інжекційно-польовий транзистор
ККД	–	коефіцієнт корисної дії
МДН	–	метал-діелектрик-напівпровідник
НВЧ	–	низькі частоти
НВЧ	–	надвисокі частоти
ПТ	–	польовий транзистор
ПТСВО	–	польова транзисторна структура з від'ємним опором
ПТШ	–	польовий транзистор Шотткі
РВП	–	радіовимірjuвальні прилади
СІТ	–	статично індукований транзистор
СФ	–	смуговий фільтр
ТКЧ	–	температурний коефіцієнт частоти
ТСВО	–	транзисторна структура з від'ємним опором
ФВЧ	–	фільтр високих частот
ФНЧ	–	фільтр низьких частот
НЕМТ	–	high electron mobility transistor (транзистор з високою рухомістю електронів)

ВСТУП

Сучасний стан розвитку радіовимірювальної техніки досить істотно залежить від новітніх досягнень в області розробки методів та засобів радіовимірювань та визначається використанням вдосконалених або принципово нових приладів. Тому актуальною науково-технічною задачею є розробка нових підходів до побудови радіовимірювальних приладів, дія яких базується на процесах генерування, перетворення й обробки електричних коливань.

Складовими функціональними вузлами сучасних радіовимірювальних приладів є електричні фільтри, фазообертачі, помножувачі частоти, синусоїдальні та імпульсні генератори. Конструкторське виконання фільтрів, фазообертачів, помножувачів частоти, синусоїдальних та імпульсних генераторів можна істотно спростити за рахунок реалізації функції селекції частоти з підсиленням сигналу у вигляді інтегральних схем. Перспективним напрямком побудови таких інтегральних схем є використання реактивних ефектів транзисторних структур з від'ємним опором.

Питаннями, пов'язаними з вказаним науковим напрямком, активно займались наукові школи радянського та пострадянського простору. Найбільший вклад в цьому напрямку зробили відомі радянські та українські вчені: Гаряїнов С. А. [1, 2], Бібірман Л. І. [3, 4], Степанова Л. Н. [5 – 7], Негоденко О. П. [8, 9], Ауен Л. Ф. [10, 11], Андреев В. С. [12, 13], Осадчук В. С. і Осадчук О. В. [14 – 23], Філінюк М. А. [24 – 29]. Особлива увага була приділена спеціальним пристроям, що призначені для компенсації не тільки активних, але і реактивних, і навіть комплексних опорів [28]. Можливість розраховувати та досліджувати такі схеми дозволяє проектувати складові частини радіовимірювальної апаратури з потрібними характеристиками. Серед досягнень закордонних науковців варті уваги розробки Бенинга Ф. [30], Dutta Roy [31, 32], Saito T. [33], Adams D. K., Ho R. Y. [34, 35], Josephs H. C. [36], Lindmauer I. [37], Fujimura I. [38].

Україна займає одну з провідних позицій з розробки фільтрів, фазообертачів, помножувачів частоти та імпульсних генераторів на основі транзисторних структур з від'ємним опором. Сучасні наукові досягнення, в напрямку розробки пристроїв та систем з використанням ефекту від'ємного опору напівпровідникових приладів та їх ємнісного ефекту були отримані в наукових школах Вінницького національного технічного університету. Дослідження реактивних властивостей транзисторів і

транзисторних схем з від'ємним опором були проведені професором Осадчуком В. С. у роботах [14, 17 – 23], розробка теорії мікроелектронних частотних перетворювачів фізичних величин на основі транзисторних структур з від'ємним опором та їх метрологічних характеристик була виконана професором Осадчуком О. В. у роботах [15 – 23], теорія приладів з негатронами та оцінка метрологічних характеристик і ефективності пристроїв автоматики на їх основі були розроблені професором Філінюком М. А. в роботах [24 – 29], розробка теорії створення та дослідження частотно-імпульсних і радіо-імпульсних логічних і операційних елементів цифрової техніки була виконана професором Кичаком В. М. в роботах [39 – 41], удосконалено та розроблено методи компенсації динамічних похибок вимірювальних каналів [42].

Використання ємнісного ефекту транзисторних структур з від'ємним опором дозволяє істотно спростити конструктивне виконання електрично керованих еквівалентних ємностей та індуктивностей. При цьому, на базі конкретного схмотехнічного рішення залежно від поставленої задачі можна реалізувати електрично керовані еквівалентні ємності та індуктивності на біполярній, біполярній статично індукованій, польовій, та біполярно-польовій транзисторних структурах з від'ємним опором. Застосовуючи розроблені електрично керовані ємності, стає можливим виготовлення в інтегральному виконанні радіовимірювальних приладів: помножувачів частоти, генераторів спеціальної форми, електричних фільтрів та фазообертачів.

При написанні монографії автори ставили за мету надати допомогу в розробці аналітичних і експериментальних методів з реалізації радіовимірювальних приладів у інтегральному виконанні. В роботі розглянуті два напрямки, які мають спільну мету, це – використання фізичних явищ у напівпровідникових приладах, які приводять до появи індуктивних та ємнісних властивостей, а також схмотехнічні методи реалізації функції індуктивності та ємності. Систематизовано матеріал теоретичних та експериментальних досліджень, які проводяться на кафедрі радіотехніки та кафедрі електроніки Вінницького національного технічного університету в цьому напрямку.

Автори вдячні рецензентам: доктору технічних наук, професору В. Ю. Кучеруку, доктору технічних наук, професору В. М. Кичаку, доктору технічних наук, професору В. П. Манойлову, корисні зауваження яких сприяли поліпшенню змісту книги.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИБАДІВ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ

Значні зміни в більшості сфер науки і техніки стимулюють стрімкий розвиток радіовимірювальних приладів та їх функціональних частин. В даний час не можливо знайти виробництво, у якому б не використовувались електронні пристрої радіовимірювальної техніки.

Створення нових функціональних вузлів радіовимірювальних приладів з розширеними технічними характеристиками можливо за рахунок використання нових підходів та схмотехнічних рішень. Значною мірою такі підходи реалізуються при використанні достатньо вартісного обладнання або елементної бази. Тому постає задача, спираючись на відомі фізичні процеси та використовуючи нові принципи функціонування отримати радіовимірювальні прилади з покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками.

У першому розділі монографії проведено аналіз сучасного стану функціональних вузлів радіовимірювальних приладів, що володіють властивістю електричного керування параметрами або використовують фізичні явища від'ємного опору в напівпровідникових приладах та їх транзисторних схмотехнічних аналогах. Здійснено класифікацію таких приладів і проаналізовано вимоги до них.

1.1. Класифікація радіовимірювальних приладів та аналіз вимог до їх складових (функціональних вузлів)

Підвищений запит на високоточні та надійні вимірювання, широке використання сучасної елементної бази і сучасних підходів при конструюванні апаратури сприяє створенню нових вимірювальних пристроїв. Використовувані радіовимірювальні прилади можуть бути поділені на такі групи [43]:

- прилади загального використання – найбільш поширені прилади, які призначені для використання в різноманітних радіовимірювальних пристроях, незалежно від призначення останніх;
- спеціальні прилади – вузького призначення, для використання виключно в певних вимірювальних системах;

– вбудовані прилади – вимірювальні прилади, що конструктивно входять до складу радіотехнічних пристроїв;

– зразкові прилади – вимірювальні прилади високої точності, що призначені для перевірки та градування вимірювальних приладів більш низької точності;

– вимірювальне обладнання – відрізки передавальних ліній, трансформатори, контури, атенюатори, навантажувальні опори, випромінювачі та всі інші калібрувальні елементи з відомими характеристиками.

Крім того, радіовимірювальні прилади також класифікуються (рис. 1.1) за: призначенням, принципом дії, умовами експлуатації, конструкцією, точністю та способом відліку.



Рис. 1.1. Класифікації радіовимірювальних приладів

За призначенням вимірювальні прилади поділяються на дві групи:

1) для вимірювання радіотехнічних величин – призначені для вимірювання струму, напруги, потужності, частоти, фази тощо.

2) відповідно до цілей використання – вимірювальні генератори і підсилювачі, прилади для імпульсних вимірювань, для вимірювання параметрів дискретних елементів.

За принципом дії радіовимірювальні прилади поділяються відповідно до використовуваного методу і схеми вимірювання (резонансні або гетеродинні вимірювачі частоти, калориметричні або термісторні вимірювачі потужності, тощо).

За умовами експлуатації і конструкції – на прилади лабораторні, польові, переносні, пересувні та стаціонарні.

За точністю вимірювань поділяються на класи, які визначаються відповідними нормативними документами.

Радіовимірювальні прилади на основі транзисторних структур з від'ємним опором являють собою складні пристрої, ефективність ро-

боти яких залежить від багатьох показників якості. Ці показники є типовими для всіх радіовимірювальних приладів з електронною перебудовою робочих параметрів і поділяються на дві великі групи, перша з яких об'єднує електричні, а друга – конструктивні, технологічні, експлуатаційні й економічні.

Розглянемо приклади структурних та функціональних схем радіовимірювальних приладів, в яких використовуються електричне керування параметрами або явища від'ємного опору. Електрична структурна схема кварцових стандартів частоти подана на рис. 1.2, до складу якої входить блок 8 – помножувач частоти [44].

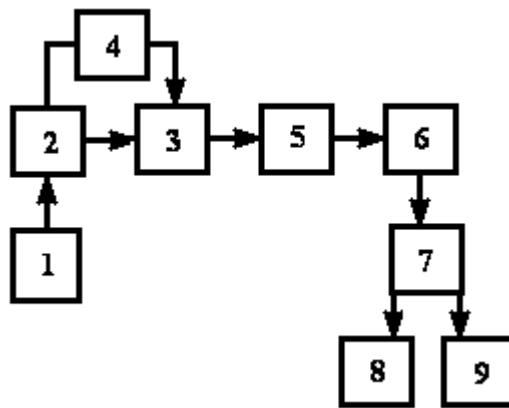


Рис. 1.2. Електрична структурна схема кварцових стандартів частоти: 1 – система термокомпенсації; 2 – кварцовий резонатор; 3 – збуджувач; 4 – фазова автонастройка частоти; 5 – система автоматичного налаштування рівня коливань збуджувача; 6 – підсилювач потужності; 7 – вузькосмуговий фільтр; 8 – помножувач частоти; 9 – подільник частоти

В [45] наведено схему електричну структурну перетворювача частоти (рис. 1.3). Цей радіовимірювальний прилад містить функціональні вузли – блоки 4, 10, 14, які є вхідним ФНЧ, смуговим фільтром та помножувачем частоти, відповідно.

На рис. 1.4 подана структурна схема вимірювача глибини амплітудної модуляції [46]. У фільтра нижніх частот, що входить до складу цього радіовимірювального приладу, відсутня можливість електричного керування його частотою зрізу, що обмежує частотний діапазон вимірюваних сигналів.

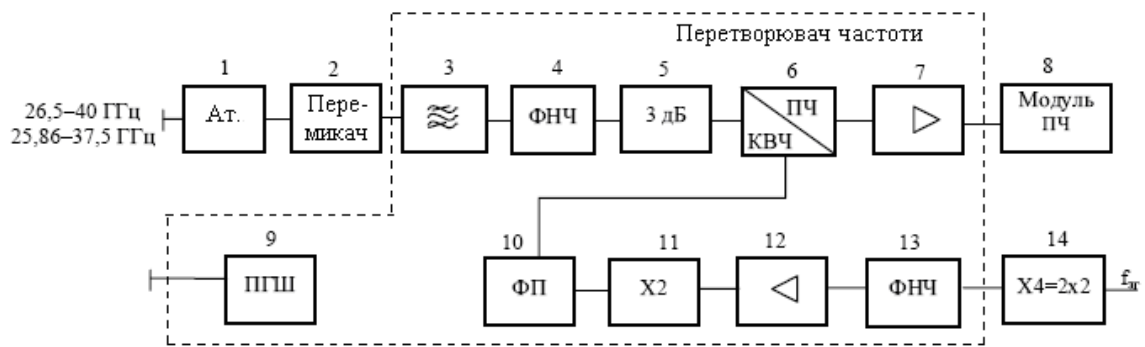


Рис. 1.3. Електрична структурна схема перетворювача частоти:
 1, 5 – атенюатори; 2 – перемикач коаксіальний; 3 – YIG-преселектор коаксіальний; 4 – вхідний ФНЧ; 6 – балансний змішувач; 7 – підсилювач; 8 – модуль ПЧ; 9 – генератор шуму; 10 – смуговий фільтр; 11 – помножувач частоти хвилеводно-коаксіальний; 12 – підсилювач середньої потужності; 13 – ФНЧ коаксіальний; 14 – помножувач частоти

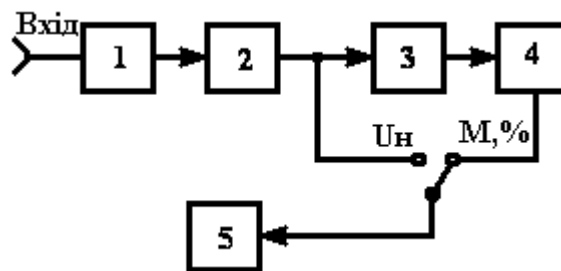


Рис. 1.4. Електрична структурна схема вимірювача коефіцієнта амплітудної модуляції: 1 – детектор; 2 – фільтр нижніх частот; 3 – підсилювач; 4 – піковий детектор; 5 – мікроамперметр

Прикладами використання імпульсних генераторів, або, як їх ще називають, генераторами розгортки, можуть бути часто використовувані радіовимірвальні прилади – осцилографи, аналізатори спектра, тощо. Серед імпульсних генераторів найчастіше використовується генератор лінійно змінної напруги або струму. Широко генератор лінійно-змінної напруги використовується в аналізаторі спектра послідовного аналізу [46], структурна схема якого наведена на рис. 1.5.

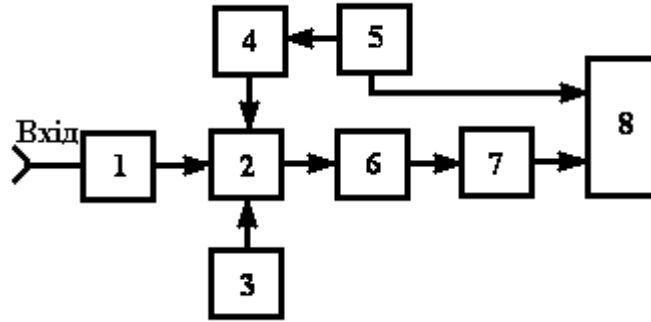


Рис. 1.5. Електрична структурна схема аналізатора спектра послідовного аналізу: 1 – вхідний атенюатор; 2 – змішувач; 3 – частотний калібратор; 4 – частотно-модульований гетеродин; 5 – генератор розгортки; 6 – підсилювач проміжної частоти; 7 – детектор; 8 – індикаторний пристрій

Структурна схема вимірювача флуктуації фази в НВЧ-підсилювачах [47] подана на рис. 1.6, до складу якої входить блок 11 – фазообертач. Як видно з рис. 1.6, сигнал на фазообертач 11 надходить зі спрямованого відгалужувача 6.

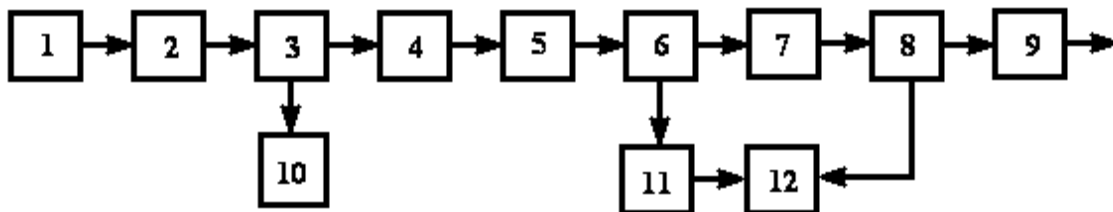


Рис. 1.6. Функціональна схема вимірювання флуктуації фази підсилювачів методом прямого детектування:

1 – збуджувач; 2 – регульований атенюатор; 3, 6, 8 – спрямовані відгалужувачі; 4 – розв’язка; 5 – вимірювач прохідної потужності; 7 – досліджуваний підсилювач; 9 – узгоджене навантаження; 10 – частотомір; 11 – фазообертач; 12 – вимірювач фазових флуктуацій

На рис. 1.7 наведено структурну схему компенсаційного фазометра [47], першим функціональним блоком якого слугує калібрований фазообертач.

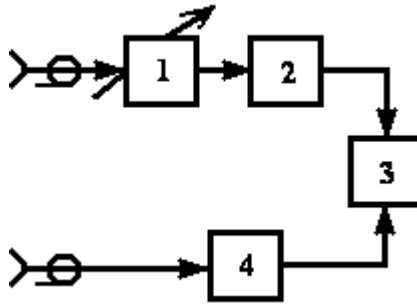


Рис. 1.7. Електрична структурна схема компенсаційного фазометра:
 1 – калібрований фазообертач; 2, 5 – пристрої обробки сигналів;
 3 – індикатор рівності фаз

Наведені вище приклади структурних та функціональних схем радіовимірювальних приладів засвідчили, що їх основними складовими частинами є помножувачі частоти, імпульсні генератори, електричні фільтри та фазообертачі.

Основними напрямками розвитку радіовимірювальних приладів та основними вимогами до них є [43, 48]:

- покращення технічних та експлуатаційних характеристик приладів за рахунок використання сучасної елементної бази та раціональних методів конструювання;
- створення приладів за видами вимірювань з максимальним використанням уніфікованих вузлів та модулів;
- автоматизація процесів вимірювання та обробки даних;
- підвищення надійності, в тому числі метрологічної.

1.2. Ємнісний ефект напівпровідникових приладів

Завдяки вагомим досягненням в наукових напрямках фізики твердого тіла, електроніки, схемотехніки, технології продовжується стрімкий розвиток пристроїв з електричною перебудовою ємності [43, 49], які використовуються в радіовимірювальних приладах [50, 51]. Електрично керовані еквіваленти ємності можна поділити на ті, що створюються технологічно, та ті, що створюються в результаті схемотехнічної розробки. Такі еквіваленти при виборі раціонального поєднання керованих активних та реактивних опорів розроблюються з позицій

підвищення загального показника їх ефективності. Будь-який напівпровідниковий прилад з одним або декількома $p-n$ переходами може використовуватись як еквівалент електрично керованої ємності [4, 11].

Відомі технологічні електрично керовані еквіваленти ємності: реактивні лампи, сегнетокерамічні конденсатори (варіконди), напівпровідникові діоди – діоди Шоттки, $p-i-n$ діоди, варікапи (варактори).

При використанні реактивних ламп суттєвим недоліком є велика потужність та непридатність їх використання для роботи в діапазоні НВЧ, великі габарити та малий строк роботи [52].

Варіконди мають низьку добротність, їх параметри нестабільні в часі та мають суттєву температурну залежність [4, 45, 52, 53].

Широко у мікроелектронній схемотехніці в якості електрично керованих еквівалентів ємностей застосовують ємність, яка утворюється в зворотно зміщеному діоді Шоттки [54, 55]. Особливість таких діодів полягає в тому, що значне перелаштування ємності досягається за рахунок зміни ефективної площі переходу. Оскільки збіднена область при від'ємній напрузі зміщення поширюється крізь n -шар, вона досягає напівізолювальної підкладки або буферного шару. Для цього товщину n -шару та величину, на яку заглиблюється анод, обирають такою, щоб збіднена область досягала підкладки при напругах, менших за напругу пробою. При від'ємних напругах, більших за напругу зміщення, ефективна площа переходу зменшується до величини, що визначається бічними межами збідненої області між анодом та катодом. Максимальна зміна ємності задається відношенням довжини анодного штиря та товщини n -шару [55].

Вольт-амперна характеристика діода з бар'єром Шоттки на відміну від характеристик $p-n$ переходу мають більш круту пряму ділянку, що зумовлює дуже малий струм при зворотньому включенні напруги. Тому доцільність використання таких діодів обмежується схемами імпульсної техніки – перемикачі, обмежувачі, детектори, змішувачі [56].

$P-i-n$ діоди у $p-n$ переході мають збіднений i -прошарок великої товщини (до 0,5 мм). Опір $p-i-n$ діода майже повністю визначається провідністю i -прошарку, який при зворотньому включенні володіє, в основному, ємнісним характером, а при прямому – чисто активним. Ємність $p-i-n$ діода внаслідок великої товщини i -прошарку досить мала та

не залежить від прикладеної напруги. *P-i-n* діоди використовуються в НВЧ-техніці як керуючі елементи (аттенюатори, комутатори та обмежувачі) [56].

Діоди, які спеціально виготовлені для зміни ємності шляхом зміни значення напруги запирання, мають назву варікапи [54, 57]. Ємність закритого *p-n* переходу є бар'єрною і використовується як змінний параметр. Дифузійна ємність варікапів не використовується як змінний параметр, оскільки вона низькодобротна. При збільшенні напруги запирання товщина збідненого шару збільшується (1.1), тому бар'єрна ємність, що обумовлена нерухожими зарядами, при цьому також зменшується [53]:

$$C(u) = C(0) \left(\frac{u_k}{u_k + u} \right)^{1/n}, \quad (1.1)$$

де $C(0)$ – ємність при $u = 0$; u_k – контактна різниця потенціалів; u – напруга запирання; коефіцієнт n в показнику дорівнює 2 для різних *p-n* переходів і 3 для плавних *p-n* переходів.

Важливим параметром варікапів є їх добротність, яка залежить від робочої частоти. Нелінійно ємнісні напівпровідникові діоди, призначені для роботи переважно в діапазоні НВЧ та з відносно великими рівнями потужності, називаються варакторами [58]. Принциповою відмінністю від варикапа є використання ємності варактора як нелінійної реактивності, а не як елемента схеми – змінної ємності.

У роботі [59] досліджено експериментальні прилади у вигляді керованих ємностей з різними домішковими профілями. Довжину L області змінювали від 10 до 50 мкм, площу від 0,6 до 1 мм², а ступінь легування зменшувався вздовж осі X (рис. 1.8). Прилади виготовлялись на шести кремнієвих пластинах з орієнтацією (100), які являють собою сильно леговані ($5 \cdot 10^{19}$ см⁻³) сурмою підкладки з епітаксialним покриттям товщиною 12 мкм та рівнем легування *n*-типу 10^{15} см⁻³.

У роботі [60] продемонстровано перспективність використання електрофізичних властивостей кремнієвих метал-напівпровідник-варикапів з діелектриком з оксиду ітербію як метал-напівпровідникових варикапів з малими керуючими напругами та високою добротніс-

тю. Недоліком такого пристрою є низький коефіцієнт перекриття 2,5...3 за ємністю. Подальша робота цих авторів [61] засвідчила використання властивостей структури алюміній-оксид ербія-кремнію ($Al-Er_2O_3-Si$) як МДН-варикапів з підвищеним коефіцієнтом перекриття ємності. Величина коефіцієнта перекриття за ємністю для досліджуваних структур знаходиться в межах 12–13 одиниць. Однак технологія їх виготовлення погано поєднується з технологією виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем.

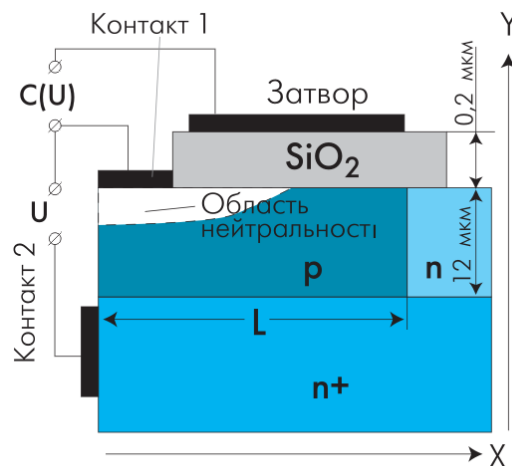


Рис. 1.8. Структура електрично керованої ємності

Внаслідок розвитку технологій виробництва радіовимірювальних функціональних вузлів постало питання про можливість створення електрично керованих ємностей за планарною технологією в єдиному технологічному циклі [62]. Основними вимогами, що висувуються до таких електрично керованих еквівалентів ємностей є:

- малий температурний коефіцієнт;
- широкий частотний діапазон застосування;
- простота реалізації мікроелектронними методами;
- висока добротність.

Як активні елементи для побудови еквівалентів ємностей відомими є схеми з операційними підсилювачами та транзисторами [5, 7, 25]. Аналоги ємності великої та малої величин отримують шляхом включення конденсатора в коло зворотного зв'язку активних елементів, керування величиною еквівалентної ємності C_e виконується за допо-

могою змінного резистора [25]. Керування величиною еквівалентної ємності для такого типу схем можливе лише механічним шляхом, що позбавляє використання такого схемотехнічного рішення для автоматизованих схем радіовимірювальних приладів.

Транзисторні аналоги електричних ємностей можна поділити за типом провідності: схеми транзисторів різної провідності [7], схеми біполярних або польових транзисторів однакової провідності [25] та транзисторні схемотехнічні аналоги *p-n-p-n* структур [5]. Транзисторні еквіваленти електрично керованих ємностей всіх трьох груп володіють від'ємним диференціальним опором – позитивному приросту напруги (струму) відповідає від'ємний приріст струму (напруги).

Наявність ділянки з від'ємним опором на вольт-амперній характеристиці транзисторної структури дозволяє використовувати його як активний елемент, який може компенсувати втрати у зовнішньому колі [1]. Тобто, до такого транзисторного еквівалента достатньо підключити навантаження та забезпечити необхідний режим живлення за постійним струмом, щоб реалізувати потрібний функціональний вузол радіовимірювального приладу з суттєво спрощеною схемотехнічною реалізацією порівняно з класичною схемою.

Кожен еквівалент транзисторної структури з від'ємним опором в середині має внутрішнє джерело енергії, на рис. 1.9 а, б показані схеми включення навантаження R_H з додатним та з від'ємним диференціальним опорами.

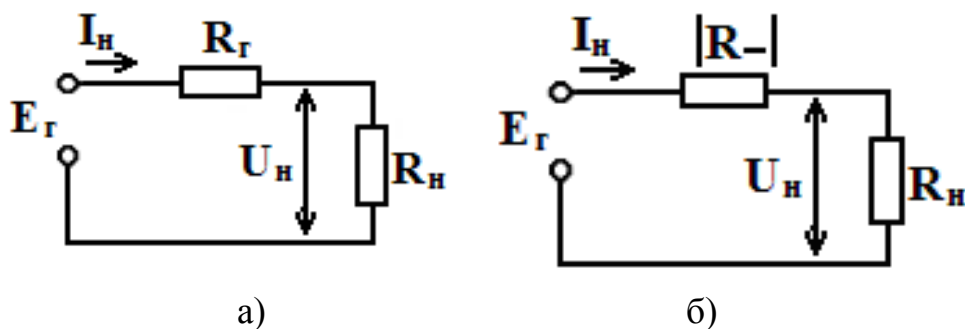


Рис. 1.9. Схема підключення навантаження R_H :
а) додатній опір, б) від'ємний опір

Оскільки енергія джерела вичерпна, відповідно динамічний опір може бути отриманий лише в обмеженій частині ВАХ приладів на

основі транзисторної структури з від’ємним опором [7, 25]. Пристрої з від’ємним диференціальним опором мають ємнісний характер реактивності, якщо їх вольт-амперна характеристика *N*-типу, що дозволяє використовувати їх для синтезу аналогів ємності.

Недоліками існуючих еквівалентних ємностей є відносно великі напруги керування, порівняно малі значення їх ємностей до 50 пФ, та малі коефіцієнти перекриття (2–12 одиниць) за ємністю.

В біполярних напівпровідникових інтегральних схемах функцію ємностей виконують зворотньоозміщені р-п переходи. У таких конденсаторах один з шарів є дифузійним, а тому їх називають дифузійними конденсаторами. Типова структура дифузійного конденсатора [63], в якому використовується перехід колектор-база показана на рис. 1.10.

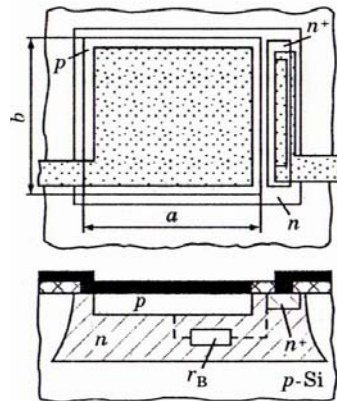


Рис. 1.10. Дифузійний конденсатор на переході база-колектор

Ємність такого конденсатора в загальному випадку має вигляд

$$C = C_{01}(ab) + C_{02}2(a + b)d, \quad (1.2)$$

де C_{01} і C_{02} – питома ємність донної і бокової частин р-п переходу. Співвідношення суми в правій частині рівності залежить від співвідношення a/b , тобто від конфігурації дифузійного конденсатора. Оптимальною конфігурацією такого конденсатора є квадрат, при цьому бокова складова в десятки разів менша за донну. Нехтуючи нею, та враховуючи, що $a = b$, отримуємо:

$$C = C_{01}a^2. \quad (1.3)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаряинов С. А. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением / С. А. Гаряинов, И. Д. Абезгауз. – М. : Энергия, 1970. – 319 с.
2. Гаряинов С. А. Физические модели полупроводниковых приборов с отрицательным сопротивлением / С. А. Гаряинов, Ю. С. Тиходеев. – М. : Радио и связь, 1997. – 276 с.
3. Биберман Л. И. Широкодиапазонные генераторы на негatronах / Л. И. Биберман. – М. : Радио и связь, 1982. – 88 с.
4. Биберман Л. И. Электронная настройка (диапазонные генераторы и усилители синусоидальных колебаний) / Л. И. Биберман. – М. : Знание, 1980. – 64 с.
5. Арефьев А. А. Радиотехнические устройства на транзисторных эквивалентах р-п-р-п-структуры / А. А. Арефьев, Е. Н. Басканов, Л. Н. Степанова. – М. : Радио и связь, 1982. – 104 с.
6. Арефьев А. А. Эквиваленты приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением / А. А. Арефьев, А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова. – М. : Знание, 1987. – 64 с.
7. Полупроводниковые аналоги реактивностей / [А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова, О. Н. Негоденко, В. П. Путилин]. – М. : Знание, 1990. – 64 с.
8. Негоденко О. Н. Генераторы с электромеханическими преобразователями на транзисторных аналогах негatronов / О. Н. Негоденко, В. А. Воронин, Д. В. Заруба // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – № 2. – С. 5–8.
9. Схемотехника, моделирование и применение транзисторных устройств с отрицательным сопротивлением / [О. Н. Негоденко, К. Е. Румянцев, Л. А. Зинченко, С. И. Липко]. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 214 с.
10. Ауэн А. Ф. Полупроводниковые системы с лямбда-характеристикой / А. Ф. Ауэн, А. В. Тараха. – М. : Знание, 1979. – 64 с.
11. Ауэн Л. Ф. Проектирование дискретных устройств автоматики / Л. Ф. Ауэн. – Л. : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. – 88 с.
12. Генераторы гармонических колебаний на туннельных диодах. Под общ. ред. В. С. Андреева. – М. : Энергия, 1972. – 213 с.

13. Андреев В. С. Теория нелинейных электрических цепей : Учебное пособие для вузов / В. С. Андреев. – М. : Радио и связь, 1982. – 280 с.
14. Осадчук В. С. Индуктивный эффект в полупроводниках / В. С. Осадчук. – К. : Вища школа, 1987. – 155 с.
15. Осадчук А. В. Фоточувствительные преобразователи на основе структур с отрицательным сопротивлением / А. В. Осадчук. – Винница : Континент, 1998. – 130 с.
16. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором : монографія / О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 303 с.
17. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 275 с.
18. Осадчук В. С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. Монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, В. Г. Вербицький. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 195 с.
19. Осадчук В. С. Сенсори вологості : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 208 с.
20. Осадчук В. С. Сенсори тиску і магнітного поля / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
21. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором : навчальний посібник / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 162 с.
22. Осадчук В. С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Н. С. Кравчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 163 с.
23. Осадчук В. С. Генератори електричних коливань на основі транзисторних структур з від'ємним опором : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 183 с.
24. Филинюк Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах / Н. А. Филинюк. – М. : Радио и связь, 1987. – 112 с.

25. Негатроника / [А. Н. Серьёзов, Л. Н. Степанова, Н. А. Филинюк и др.]. – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 315 с.
26. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно-нестійких узагальнених перетворювачів імітансу / М. А. Філінюк – Вінниця : ВДГУ, 1998. – 238 с.
27. Філінюк М. А. Основи негатроніки. Том I. Теоретичні і фізичні основи негатроніки : монографія / М. А. Філінюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 456 с.
28. Філінюк М. А. Основи негатроніки. Том II. Прикладні аспекти негатроніки : монографія / М. А. Філінюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 306 с.
29. 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.
30. Бенинг Ф. Отрицательное сопротивление в электронных схемах / Ф. Бенинг. – М. : Сов. радио, 1975. – 288 с.
31. Dutta Roy S. C. The inductive transistor / Roy S. C. Dutta // IEEE Trans. Circuit Theory (Correspondence), Vol. CT-10, March, 1963. – P. 113–115.
32. Dutta Roy S. C. A novel high Q inductance and tuned oscillator for Microminiature circuits / Roy S. C. Dutta // Preceedings of the IEEE. – 1964. – Vol. 52, February. – P. 215–214.
33. Saito T. A high Q temperature insensitive inductive transistor circuit / T. Saito et all // Solid-State Electronics. – 1968. – № 11. – P. 553.
34. Adams D. K. The transistor a microwave filter element / D. K. Adams, R. Y. Ho // presented at the G-MTT Internatl. Microwave Symp. Detroit, Mich. – 1968. – May. – P. 325–332.
35. Adams D. K. Application of inverted common-collector transistor circuits to microwave filtering, frequency multiplexing, and impedance matcing / Adams D. K., Ho R. Y. // G-MMT Internal Microwave Symp. Dallas, Tex. – 1969. – May. – P. 345.
36. Josephs H. C. Geoege and Billete Soil-State inductors / Josephs H. C. // Solid-State Electronics, 8–10 October, 1965. – 775 p.
37. Lindmayer I. The inductive effect in transistors / Lindmayer I., North W. // Solid-State Electronics. – 1965. – Vol. 8. – 409 p.

38. Fulimyra J. Reactance transistor / Fulimyra J. // Proceedings IRE. – 1969. – Vol. 14, N5. – P. 118.
39. Кичак В. М. Радіоімпульсні логічні НВЧ елементи / Кичак В. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 240 с.
40. Кичак В. М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки. [Монографія] / В. М. Кичак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 266с.
41. Кичак В. М. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки. Монографія / В. М. Кичак, О. О. Семенова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 162 с.
42. Кичак В. М. Методи компенсації динамічних похибок вимірювальних каналів. Монографія / В. М. Кичак, В. Д. Рудик, С. Ф. Гончар. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 128 с.
43. Метрология и радиозмерения : Учеб. Пособие для вузов / [В. И. Нефедов, А. С. Сигов, В. К. Битюков, В. И. Хахин]. – М. : Высш. шк., 2006. – 526 с.
44. Чернушеко А. М. Измерение параметров электронных приборов дециметрового и сантиметрового диапазонов волн / А. М. Чернушеко, А. В. Майбороди. – М. : Радио и связь, 1986. – 336 с.
45. Анисимов Л. А. Приоритетные направления разработки панорамных измерительных приемников СВЧ и КВЧ-диапазонов для контроля электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Л. А. Анисимов // Радиоизмерения и электроника, 2007. – № 13. – С. 28–36.
46. Справочник по радиоизмерительным приборам / [Ю. С. Гаврилов, А.С. Еременко, Л.Ю. Зубилечев и др.]. – М. : Энергия, 1976. – 624 с.
47. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы / [А. М. Кудрявцев, А. Е. Львов, И. Г. Мальтер и др.] – М. : Радиотехника, 2006. – 534 с.
48. Николаєнко М. Н. Самоучитель по радиоелектронике / М. Н. Николаєнко. – М. : НТ Пресс, 2006. – 224 с.
49. Грабовски Б. Краткий справочник по электронике / Б. Грабовски; Пер. с фр. Хаванов А. В. – 2-е изд., испр. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 416 с.
50. Валитов Р. А. Радиотехнические измерения. Методы и техника измерения в диапазоне от длинных до оптических волн /

- Р. А. Валитов, В. Н. Сретенский. – М. : Советское радио, 1970. – 712 с.
51. Основы метрології та вимірювальної техніки / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, та ін.] (в двох томах). – Львів : 2005. – 656 с.
 52. Булыбенко В. Ю. Вариконды в электронных импульсных схемах / Под. ред. В. Ю. Булыбенко. – М. : Сов. Радио, 1971. – 272 с.
 53. Берман Л. С. Нелинейная полупроводниковая емкость / Л. С. Берман. – М. : Физматиздат, 1963. – 135 с.
 54. Лабутин В. К. Частотно-избирательные цепи с электронной настройкой / В. К. Лабутин – М.-Л. : Энергия, 1966. – 198 с.
 55. Осадчук В. С. Напівпровідникові діоди / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 162 с.
 56. Даналин В. Н. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В. Н. Даналин, А. И. Кушниренко, Г. В. Петров – М. : Радио и связь, 1985. – 192 с.
 57. Берман Л. С. Введение в физику варикапов / Л. С. Берман – Л. : Наука, 1968. – 254 с.
 58. Красноголовый Б. Н. Варакторные умножители частоты / Б. Н. Красноголовый, Л. Г. Плавский – Мн. : БГУ, 1979. – 288 с.
 59. Иоффе В. Управляемые ёмкости (особенности создания) / В. Иоффе // Электроника : Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – № 5. – С. 60–63.
 60. Рожков В. А. Кремниевые металл-диэлектрик-полупроводник варикапы с диэлектриком из оксида иттербия / В. А. Рожков, А. Ю. Трусова // Письма в ЖТФ. – 1997. – № 12, том 23. – С. 50–55.
 61. Рожков В. А. Электрофизические свойства структур металл-оксид эрбия-кремний / В. А. Рожков, М. А. Родионов // Вестник СамГУ Естественнонаучная серия. – 2004. – № 2. – С. 94–99.
 62. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : Учебное пособие / К. С. Петров. – СПб.: Питер, 2003. – 512 с.
 63. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники / И. П. Степаненко. – М. : Лаборатория базових знаній, 2003. – 488 с.
 64. Електроніка і мікросхемотехніка : Підручник у 4т. Т. 1. Аналогові та імпульсні пристрої / [В. І. Сенько, М. В. Панащенко, Є. В. Сенько та ін.] – Харків: Фоліо, 2002. – 510 с.

65. Горячова Г. А. Конденсаторы / Г. А. Горячова, Е. Р. Добромыслов. – М. : Радио и связь, 1984. – 90 с.
66. Линн Д. Анализ и расчет интегральных схем. Часть 1 / Д. Линн, И. Майер, Д. Гамильтон. – М. : Мир, 1969. – 368 с.
67. Трутко А. Ф. Методы расчета транзисторов / А. Ф. Трутко. – М. : Энергия, 1971. – 270 с.
68. Спиридонов Н. С. Основы теории транзисторов / Н. С. Спиридонов. – М. : Техника, 1969. – 299 с.
69. Пауль Р. Транзисторы. Физические основы и свойства / Р. Пауль. – М. : Сов. радио, 1973. – 312 с.
70. Хьюлсман Л. П. Активные фильтры / Л. П. Хьюлсман. – М. : Мир, 1972. – 485 с.
71. Patranabis D. A single transistor realization of bilinear RL impedance / D Patranabis. // Proc. IEEE, Vol. 60. – 1972. – P. 1012–1014.
72. Telegen B. D. H. The gyrator, a new network element / B. D. H. Telegen. // Philips. Res. Rev. – Vol. 3. – 1948. – P. 81–101.
73. Петров Б. Е. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах / Б. Е. Петров, В. А. Романюк. – М. : Выш. школа, 1989. – 232 с.
74. Харкевич А. А. Основы радиотехники / А. А. Харкевич. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 512 с.
75. Жаботинский М. Е. Основы теории и техники умножения частоты / М. Е. Жаботинский, Ю. Л. Свердлов. – М. : Совеское радио, 1964. – 328 с.
76. Буревич А. Н. Умножители частоты / А. Н. Буревич. – М. : Советское радио, 1970. – 248 с.
77. Дворниченко В. П. Преобразователь-умножитель частоты на основе управляемого лавинного пробоя / В. П. Дворниченко, А. Е. Колошинский, В. Е. Чайка // Радиоэлектроника. – 2000. – № 9 – С. 62–66.
78. Касаткин Л. В. Радиоимпульсное преобразование частоты на лавинно-пролетных диодах / Л. В. Касаткин, В. В. Новожилов // Радиоэлектроника. – 2002. – № 1. – С. 39–46.
79. А. с. 306544 СССР, МПК Н 03 В 19/00. Умножитель частоты квазигармонических колебаний / В. П. Сыромятников, Г. В. Симонова (СССР). – № 1147277/26-9; заявл. 12.04.67; опубл. 11.06.71, Бюл. № 19.

80. Артюшенко С. Многофазные умножители частоты / С. Артюшенко // Схемотехника. – 2006. – № 8. – С. 56–57.
81. Лимаренко П. В. Умножитель частоты несущего колебания фазоманипулированного сигнала / П. В. Лимаренко, А. Н. Зеленин // Радиотехника. – 2007. – Вып. 148. – С. 224–227.
82. Генераторы высоких и сверхвысоких частот : Учеб. Пособие / [О. В. Алексеев, А. А. Головков, Л. В. Митрофанов и др.]. – М. : Высш. шк., 2003. – 326 с.
83. Меерсон А. М. Радиоизмерительная техника / А. М. Меерсон. – Л. : Энергия, 1978. – 408 с.
84. Яковлев В. Н. Импульсные генераторы на транзисторах / В. Н. Яковлев. – Киев : Техніка, 1968. – 443 с.
85. Електроніка і мікросхемотехніка : Підручник у 4 т. – Т.2. Аналогові та імпульсні пристрої / [В. І. Сенько, М. В. Панасенко, Є. В. Сенько та ін.]. – Харків : Фоліо, 2002. – 510 с.
86. Основы теории колебаний / [В. В. Мигулин, В. И. Медведев, Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин]. – М. : Наука, 1978. – 392 с.
87. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники / Е. И. Манаев. – М. : Радио и связь, 1990. – 512 с.
88. Філінюк М. А. Теоретичні основи негatronіки / М. А. Філінюк. – Вінниця : ВДГУ, 2002. – 105 с.
89. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин / [О. А. Агаев, В. М. Мамиконова, В. В. Петров и др.]. – Учебное пособие. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. – 153 с.
90. Викулин И. М. Физика полупроводниковых приборов / И. М. Викулин, В. И. Стафеев. – М. : Радио и связь, 1990. – 264 с.
91. Дослідження електрично керованого НВЧ генератора на основі транзисторної структури з від'ємним опором / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль] // Датчики, прилади та системи – 2008 : міжнародна науково-технічна конференція, 10-12 вересня 2008 р. : матеріали конф. – Черкаси–Гурзуф, 2008. – С. 42–43.
92. Пат. 34249 Україна, по класу Н 03 В 7/00. Напівпровідниковий генератор електричних коливань / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Ковальчук О. М., Семеренко М. М. (Україна). – №99063411; Заявлено 18.06.99; Опубл. 15.02.01, Бюл. №1. – 2 с.

93. Пат. 40298 Україна, по класу Н 03 В 7/00. Генератор електричних коливань / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук (Україна). – №2000116705; Заявлено 27.11.00; Опубл. 16.07.01, Бюл. №6. – 3 с.
94. Николаев И. М. Микроэлектронные устройства и основы их проектирования / И. М. Николаев, Н. А. Филинюк. – М. : Энергия, 1979. – 335 с.
95. Масленников В. В. Активные звенья второго порядка на фазовращателях, выполненных на биполярных и МДП-транзисторах / В. В. Масленников, Аунг Мин // Научная сессия МИФИ-2005. Том 1. – С. 271–273.
96. 60 ГГц фазовращатель на основе (Ba, Sr) TiO сегнетоэлектрической пленки / [А. Б. Козырев, А. В. Иванов, О. И. Солдатенко и др.] // Письма в ЖТФ, 2001, том 27. Вып. 24. – С. 16–21.
97. Некрасов М. М. Зависимость выходного сопротивления индуктивного СВЧ транзистора от сопротивления базы / М. М. Некрасов, В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк // Полупроводниковая техника и микроэлектроника – К. : Наукова думка, 1975. – Вып. 20. – С. 11–13.
98. Осадчук В. С. Исследование входного импеданса транзистора с индуктивностью в цепи базы / В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк // Радиотехника, 1974. – Т. 29, № 3. – С. 95–96.
99. Archer L. A. Use of transistor-simulate inductance as an integrate element in broad band amplifiers / Archer L. A., Cobbons I. F., Purnaiya G. M. – IEEE Journal of Solid-state Circuits, 1968, March – V.sl-3, N1. – P. 12–21.
100. А. с. 309420 СССР, МПК Н 01 Р 1/18. Электронноуправляемый фазовращатель / В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк (СССР). – № 1381550/26-9; заявл. 02.12.69; опубл. 09.07.71, Бюл. № 22.
101. Касимов Ф. Д. Физико-технические особенности проектирования кремниевых микроэлектронных преобразователей на основе негетронов / Ф. Д. Касимов, Ф. Г. Агав, Н. А. Филинюк. – Баку, 1999. – 234 с.
102. А. с. 1277253 СССР, МПК Н 01 Р 1/18. Фазовращатель / В. С. Осадчук, С. И. Одобецкий (СССР). – № 3745794/24-09; заявл. 29.05.84; опубл. 15.12.86, Бюл. № 46.

103. А. с. 476627 СССР, МПК Н 01 Р 1/18. СВЧ Фазовращатель / В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк (СССР). – № 1892408/26-9; заявл. 02.03.73; опубл. 05.07.75, Бюл. № 25.
104. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры / Г. Лэм – М. : Мир, 1982. – 595 с.
105. Наундорф У. Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование / У. Наундорф. – М. : Техносфера, 2008. – 472 с.
106. Ленк Дж. Д. Справочник по проектированию электронных схем / Пер. с англ В. И. Зубкова, В. П. Сигорского. Под ред. Сигорского В. П. – К. : Техника, 1979. – 208 с.
107. Филинюк Н. А. Активные УКВ фильтры / Н. А. Филинюк – М. : Радио и связь, 1984. – 56 с.
108. Chen Wai-Kai. The circuits and filters handbook / Wai-Kai Chen et al. // IEEE Press, 1995. – P. 102.
109. Dostal T. Functional blocks and biquadratic ARC filters using transimpedance amplifiers / T. Dostal, R. Prokop, R. Sarman // Radioengineering. – Vol 6. – № 6. – 1997. – P. 9–15.
110. Dostal T. ARC biquads using current conveyors / T. Dostal, A. I. Rubin, Sallen-Key // Sbornik mezinarodni vedecke conference Radioelektronika 97, FEI SUT UREL, Bratislava. – 1997. – P. 17–20.
111. Рыбин А. И. Фильтры с транскондуктивными усилителями / А. И. Рыбин, Т. Достал // Радиоэлектроника. – 1999. – № 3. – С. 42–45.
112. Хейлейн В. Е. Активные фильтры для интегральных схем. Основные методы проектирования / В. Е. Хейлейн, В. Х. Холмс. – М. : Связь, 1980. – 656 с.
113. Ebers J. J. Large-signal behavior of junction transistors / J. J. Ebers, J. L. Moll - Proc. IRE, vol.42, N 12, 1954. P. 1761–1772.
114. Осадчук О. В. Транзисторний еквівалент керуваної ємності / О. В. Осадчук, К. О. Коваль // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : міжнародна науково-технічна конференція, 31 травня – 02 червня 2007 р. : матеріали конф. – Вінниця, 2007. – С. 136–137.
115. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. / М. А. Амелина, С. А. Амелин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 464 с.

116. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей / А. Д. Мышкис // Изд. 3-е, исправленное. – М. : КомКнига, 2007. – 192 с.
117. Коваль К. О. Імітаційне моделювання активного елементу радіовимірювальних приладів на біполярній транзисторній структурі з від'ємним опором / К. О. Коваль // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : міжнародна науково-технічна конференція, 08-10 жовтня 2009 р. : матеріали конф. – Вінниця, 2009. – Ч 2. – С. 69.
118. Koval K. O. Active component of radiomeasuring devices on bipolar transistor structure with negative resistance / K. O. Koval // Scientific works of Vinnytsia National Technical University. Electronic scientific specialized edition – 2010. – №1. – http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2010_1/2010-1_en.files/en/10kokwnr_en.pdf.
119. Хауэса М. Полупроводниковые приборы в схемах СВЧ / М. Хауэса, Д. Моргана. – М. : Мир, 1979. – 386 с.
120. Киреев П. С. Физика полупроводников / П. С. Киреев. – М. : Высшая школа, 1975. – 583 с.
121. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. 2-е перераб. и доп. изд. / С. Зи. – М. : Мир, 1984. – 456 с.
122. Патент 41665 Україна, МКИ Н 03 С 7/00. Мікроелектронний генератор електричних коливань / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук (Україна). – №2001010067; Заявлено 03.01.01; Опубл. 17.09.01, Бюл. №8. – 5 с.
123. 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, 2008. – P. 35–36.
124. Хохлов А. В. Полупроводниковые усилители и автогенераторы / А. В. Хохлов. – Саратов : Изд-во Саратов. Ун-та, 1979. – 355 с.
125. Осадчук О. В. Електрично керована еквівалентна ємність на основі транзисторної структури з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль // Автоматика 2007 : міжнародна конференція з автоматичного управління, 10-14 вересня 2007 р. Матеріали конф. – Севастополь, 2007. – С. 172–175.

126. Осадчук О. В. Электрично керована еквівалентна ємність на основі транзисторної структури з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. – 2008. – Вип. 1(25). – С. 159–164.
127. Миддлбрук Р. Д. Введение в теорию транзисторов / Р. Д. Миддлбрук. – М. : Атомиздат, 1960. – 304 с.
128. Федотов Я. А. Основы физики полупроводниковых приборов / А. Я. Федотов. – М. : Сов. радио, 1970. – 590 с.
129. Пейдж Ч. Алгебра электроники / Ч. Пейдж. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 350 с.
130. Некрасов М. М. Некоторые вопросы управления индуктивностью транзистора / М. М. Некрасов, В. С. Осадчук // Сб. Вопросы микроэлектроники. – К. : Наукова думка, 1971. – С. 120–126.
131. Linvill J. G. Lumped models of transistors and diodes / J. G. Linvill // Proc. IRE. – 1958. – Vol. 46, № 6. – P. 1141–1152.
132. Early J. Effects of space charge layer widening in junction transistor. / J. Early // Proc. IRE. – 1952. – Vol. 40, № 11. – P. 1400–1406.
133. Аронов В. Л. Расчет нелинейного режима работы генераторного СВЧ транзистора в схеме с общей базой / В. Л. Аронов // Электронная техника. Полупроводниковые приборы. – 1973. – Серия 2, вып. 9. – С. 34–47.
134. Исследование оптически управляемых индуктивных свойств некоторых транзисторов / [В. С. Осадчук, В. Н. Носолюк, В. Ф. Яремчук, Л. В. Черныш]. – Кишинев : Штиинца, 1987. – С. 51–64.
135. Осадчук В. С. Физическое обоснование индуктивных свойств р-п структур / В. С. Осадчук, В. Н. Носолюк, В. Ф. Яремчук // Радиоэлектроника. Известия ВУЗов Лит.ССР. – 1987. – № 3, т. 23. – С. 114–129.
136. Осадчук В. С. Моделирование функционального конвертера импеданса на основе МДП транзистора / В. С. Осадчук, С. И. Одобецкий // Радиоэлектроника. Известия ВУЗов Лит ССР. – 1987. – № 3, т. 23. – С. 83–86.
137. Осадчук В. С. Фотореактивный эффект в транзисторах со структурой металл-диэлектрик-полупроводник / В. С. Осадчук, С. И. Одобецкий // Радиотехника и электроника. – 1989. – № 11, т. 34. – С. 2387–2393.

138. Осадчук В. С. О влиянии некоторых физико-технологических параметров составного транзистора на его индуктивность и добротность / В. С. Осадчук, В. Н. Носолюк, В. Ф. Яремчук // Электронная техника. Микроэлектронные устройства. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1992. – Сер.10, вып.5(89). – С. 36–40.
139. Осадчук В. С. Дослідження впливу оптичного випромінювання на параметри р-п переходу / В. С. Осадчук, В. Н. Носолюк, В.Ф. Яремчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1996. – № 3. – С. 63–65.
140. Дослідження температурної залежності імпедансу польових транзисторів / [В. С. Осадчук, В. Ф. Яремчук, Н. С. Кравчук, В. Н. Носолюк] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1996. – № 4. – С. 65–68.
141. Onoe M. Inductive a.c. admittance of junction transistor / M. Onoe, A. Ushirokawa // Proc. IRE. – 1956. – Vol. 44, № 10. – P. 1475.
142. Yamaguchi Y. On the inductive reactance and negative resistance in the transistor / Y. Yamaguchi // Journal Physical Society of Japan. – 1956. – Vol. 11. – P. 717–718.
143. Draganescu H. The inductistor – a proposed inductive transistor / H. Draganescu // Wireless World. – 1962. – Vol. 68, № 6. – P. 286–287.
144. Yoneda Shojiro. Inductive elements with negative conductance in transistor / Shojiro Yoneda, Hiroji Kusaka, Zichi Taki // Bull. Univer. Osaka Prefect. – 1963. – Vol. A–12, № 1. – P. 55–66.
145. Jorgan A. G. A note on the inductive properties of filamentary transistors / A. G. Jorgan // Appl. Scient. Res. – 1963. – Vol. B–10, № 2. – P. 129–136.
146. Josephs H. G. Solid state inductors / H. G. Josephs, R. T. George, R. Billete // Solid State Electronics. – 1965. – Vol. 8, № 4. – P. 775–788.
147. Индуктивный характер выходной проводимости дрейфовых транзисторов / [В. И. Кузнецов, Б. С. Муравский, С. А. Еремин, Д. П. Федоров] // Радиотехника и электроника. – 1972. – Т. 17, № 8. – С. 1778–1780.
148. Draganescu H. Inductance solid plane / H. Draganescu, G. Samachisa // Telecommicatii. – 1965. – Vol. 9, № 3. – P. 70–76.

149. Lindmayer J. The inductive effects in transistor / J. Lindmayer, U. North // *Solid State Electronics*. – 1965. – Vol. 8, № 4. – P. 409–415.
150. Осадчук В. С. Полупроводниковые индуктивные элементы / В. С. Осадчук // *Вестник Киевского политехнического института, сер. Радиоэлектроника*. – 1965. – Вып. 2. – С. 156–165.
151. Осадчук В. С. Индуктивные свойства плоскостных транзисторов / В. С. Осадчук // *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*. – К. : Наукова думка, 1966. – Вып. 1. – С. 170–174.
152. Осадчук В. С. Индуктивные свойства транзисторов / В. С. Осадчук // *Информ. научно-техн. сборник «Автоматика и приборостроение»*. – 1965. – № 3. – С. 56–57.
153. Jindal G. H. A high-Q single inductive transistor arrangement / G. H. Jindal // *Proc. IEEE*. – 1967. – Vol. 57, № 1. – P. 105–107.
154. Осадчук В. С. Транзисторный индуктивный элемент / В. С. Осадчук // *Известия ВУЗов. Радиоэлектроника*. – 1972. – Т. 15, № 12. – С. 1514–1515.
155. Saito T. A high Q temperature insensitive inductive transistor circuit / T. Saito, T. Miyakawa, T. Ikeda, J. Ando // *Solid State Electronics*. – 1968. – Vol. 11. – P. 553–560.
156. Dutta Roy S. C. A novel high-Q inductance and tuned oscillator for microminiature circuits / Roy S. C. Dutta // *Proc. IEEE*. – 1964. – Vol. 52, № 2. – P. 214–215.
157. Осадчук В. С. Зависимость индуктивности и добротности составного транзистора от температуры / В. С. Осадчук // *Сборник «Вопросы микроэлектроники»*. – К. : Наукова думка, 1971. – С. 61–64.
158. Николаенко Н. С. Синтез транзисторных усилителей и фильтров / Н. С. Николаенко. – М. : Энергия, 1970. – 238 с.
159. Сигорский В. П. Основы теории электронных схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко. – М. : Техника, 1967. – 609 с.
160. Траксел Дж. Г. Синтез систем автоматического регулирования / Дж. Г. Траксел. – М. : Машгиз, 1959. – 614 с.
161. Mcvey P. L. Sensitivity in some simple RC active networks / P. L. Mcvey // *Proc. IEEE*. – 1965. – Vol. 112, № 7. – P. 1263–1269.
162. Kerwin W. J. State variable synthesis for insensitive integrated circuit transfer function / W. J. Kerwin, L. P. Huelsman, R. W. Newcomb // *IEEE J. Solid State Circuits*. – 1967. – Vol. 5c-2, № 9. – P. 87–92.

163. Пат. 38347 України, МПК⁸ Н 03 В 19/00. Мікроелектронний електрично керований помножувач частоти / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, О. О. Семенова, К. О. Коваль; заявник Вінницький національний технічний університет – № u200812443; подано 23.10.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.
164. Семенов А. О. Квазілінійна математична модель помножувача частоти на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором / А. О. Семенов, О. В. Осадчук, К. О. Коваль // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 4. – С. 244–249.
165. Семенов А. О. Узагальнене диференційне рівняння ГЕК на основі ТСВО / А. О. Семенов // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007). Матеріали III МНТК. м. Вінниця, 31 травня – 2 червня 2007 року. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 140–141.
166. Акчурин Э. А. Туннельные диоды в технике связи / Э. А. Акчурин, В. В. Рудь, В. Я. Спирин. – М. : Связь, 1971. – 136 с.
167. Молотков В. И. Исследования ВАХ маломощных полевых транзисторов и лямбда-диодов и расчёт амплитуд автогенератора на лямбда-диоде / В. И. Молотков, Е. И. Потапов // Радиоэлектроника, 1991. – № 11. – С. 108–110.
168. Семенов А. О. Апроксимація ВАХ двоелектродної транзисторної структури з від'ємним диференційним опором / А. О. Семенов // Сборник трудов МНТК Приборостроение 2004. – Винница–Ялта, 2004. – С. 49–53.
169. Игнатов А. Н. Полевые транзисторы и их применение / А. Н. Игнатов – М. : Радио и связь, 1984. – 216 с.
170. Семенов А. О. Помножувач частоти на основі польової транзисторної структури з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 3(112), Т. 1. Технічні науки. – С. 139–144.
171. Пат. 38506 України, МПК⁸ Н 03 В 19/00. Електрично-керований помножувач частоти / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Семенов А. О., Коваль К. О.; заявник Вінницький національний технічний університет – № u200810040; подано 04.08.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

172. Семенов А. О. НВЧ помножувач частоти на основі транзисторної структури з від'ємним опором / А. О. Семенов, О. В. Осадчук, К. О. Коваль // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 52–55.
173. Семенов А. О. Генератор гармонічних коливань НВЧ діапазону на основі транзисторної структури з від'ємним опором / А. О. Семенов // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2(10). – С. 124–131.
174. Осадчук О. В. Математичне моделювання генератора НВЧ на основі транзисторної структури з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4, Ч. 1, Т. 2. – С. 256–259.
175. Семенов А. О. Автодинний перетворювач частоти на транзисторній структурі з від'ємним опором / А. О. Семенов, М. А. Шутило // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009). Матеріали IV МНТК. м. Вінниця, 8–10 жовтня 2009 року. Частина 1. – Вінниця, 2009. – С. 107.
176. Осадчук В. С. Генератор на составном транзисторе / В. С. Осадчук, Б. М. Ковальчук. // Сб. Электронная техника в автоматике. – М. : Сов. радио, 1973. – Вып. 5. – С. 118–120.
177. Осадчук В. С. Дослідження фотоемісії електронів з металу у напівпровідник при опромінюванні бар'єру Шоттки / В. С. Осадчук, Н. Г. Тарновский, О. В. Осадчук. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – №1. – С. 110–117.
178. Кремниевые планарные транзисторы / под ред. Я. А. Федотова. – М. : Сов. радио, 1973. – 335 с.
179. Осадчук О. В. Теоретичні основи побудови генераторів електричних коливань на транзисторних структурах з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – Т. 1. – С. 147–151.
180. Осадчук В. С. Исследование транзисторного автогенератора СВЧ диапазона / В. С. Осадчук, П. А. Молчанов // Радиотехника и электроника. – 1977. – т. 22, № 5. – С. 1081–1084.
181. Осадчук О. В. Математичне моделювання генератора НВЧ на основі транзисторної структури з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4, Ч. 1, Т. 2. – С. 256–259.

182. Семенов А. О. Дослідження оптично-керованого генератора на основі аналогу інжекційно-польового транзистора / А. О. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 4 (83). Технічні науки. – С. 153–158.
183. Яковлев В. Н. Микроэлектронные генераторы импульсов / В. Н. Яковлев – К. : Техніка, 1982. – 206 с.
184. Моругин Л. А. Вопросы синтеза нелинейных импульсных устройств / Л. А. Моругин, Л. С. Бартенев, Д. А. Кабанов. – М. : Сов. Радио, 1972. – 212 с.
185. Пат. 33041 України, МПК8 H03B7/01. Електрично керований генератор лінійно змінної напруги / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Семенов А.О., Коваль К.О., Мартинюк В.В. // Номер заявки u2008 01261. Дата подання 26.03.2008. Опубл. 10.06.2008. – Бюл. №11. – 5 с.
186. Семенов А. О. Генератор лінійно змінної напруги на основі транзисторної структури з від'ємним опором / А. О. Семенов, О. В. Осадчук, К. О. Коваль // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 71–75.
187. Пат. 38348 України, МПК⁸ H 03 B 7/00. Електрично керований генератор лінійно змінної частоти / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, О. О. Семенова, Коваль К. О.; заявник Вінницький національний технічний університет – № u200812442; подано 23.10.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.
188. Яковлев В. Н. Справочник по импульсной технике / В. Н. Яковлев, В. В. Воскресенский, А. А. Генис и др. – К. : Техніка, 1973. – 712 с.
189. Пат. 32335 України, МПК⁸ H 03 C 3/00. Оптично керований генератор електричних коливань / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, Коваль К. О.; заявник Вінницький національний технічний університет – № 200800389; подано 11.01.2008; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 09.
190. Осадчук О. В. Оптичний генераторний перетворювач на основі аналогу інжекційно-польового транзистора / О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль // Современные проблемы радиотехники та телекоммуникаций «РТ-2008» : междунар. молодёжная науч.-техн. конф., 21-25 апреля 2008 г. : материалы конф. – Севастополь, 2008. – С. 318.

191. Пат. 33049 України, МПК⁸ Н 03 В 7/00. Генератор прямокутних імпульсів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль; заявник Вінницький національний технічний університет – № u200801301; подано 03.03.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
192. Осадчук О. В. Генератор прямокутних імпульсів на основі польової транзисторної структур з від'ємними опором / А. О. Семенов, О. В. Осадчук, К. О. Коваль // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 1(82) – С. 92–97.
193. Курин В. Г. Получение многочастотных сигналов в генераторах дифракционного излучения / В. Г. Курин // Радиофизика и электроника. – Том 13, № 1. – 2008. – С. 110-113.
194. Максимов Н. А. Хаотическая и регулярная динамика автономных автоколебательных систем, содержащих р-п-переход / Н. А. Максимов, В. Я. Кислов // Радиотехника и электроника. – 1997. – № 12. – С. 1487–1492.
195. Осадчук О. В. Багаточастотний генератор на основі польової транзисторної структури з від'ємним опором / О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009). Матеріали ІV МНТК. м. Вінниця, 8–10 жовтня 2009 року. Частина 1. – Вінниця, 2009. – С. 96–97.
196. Помехозащищённость систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов и др. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
197. Пат. Российской Федерации RU2185032. Способ передачи информации с помощью хаотических сигналов / А. С. Дмитриев, А. И. Панас, С. О. Старков и др. // Опубл. 10.06.2000. – Бюл. №12.
198. Semenov A. A. Quasi-linear mathematical model of generators on the basis of transistor structures with negative resistance / A. A. Semenov // Scientific works of Vinnytsia National Technical University http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2009-4/2009-4_en.files/en/09aaswnr_en.pdf
199. Каганов В. И. Радиотехника + компьютер + Mathcad / В. И. Каганов. – М. : Горячая линия, 2001. – 416 с.
200. Пат. України на винахід №90435 по класу Н01Р 1/18. Електрично керований НВЧ фазообертач / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, О. О. Семенова, К. О. Коваль // Реєстр. номер за-

- явки а200806924. Дата подання заявки 19.05.2008. Дата публ. відомостей 26.04.2010. – Бюл. № 8. – 4 с.
201. Пат. 39839 України, МПК⁸ Н 03 В 19/00. Електрично керований фазообертач діапазону НВЧ / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль; заявник Вінницький національний технічний університет – № u200812834; подано 03.11.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
202. СВЧ устройства на полупроводниковых диодах. Проектирование и расчет / Под ред. И. В. Мальского, Б. В. Сестрорецкого. – М. : Сов. радио, 1969. – 579 с.
203. Антонов И. Н. Микрополосковый фазовращатель проходного типа на нелинейном диэлектрике / И. Н. Антонов // Известия ЛЭТИ. – 1971. – Вып. 97. – С. 59–63.
204. Бова Н. Т. Электрически управляемый фазовращатель СВЧ диапазона / Н. Т. Бова, П. А. Стукало // Известия ВУЗов СССР, Радиоэлектроника. – 1968. – Т. 11, № 9. – С. 1017.
205. Осадчук В. С. Некоторые вопросы управления фазой электромагнитных колебаний СВЧ при помощи индуктивного транзистора / В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк // Радиотехника и электроника. – 1972. – Т. 17, № 7. – С. 1538–1540.
206. Осадчук В. С. Некоторые вопросы построения СВЧ устройств на индуктивном эффекте составного транзистора / В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк // Радиотехника и электроника. – 1973. – Т. 18, № 9. – С. 1983–1985.
207. Бова Н. Т. Измерения параметров волноводных элементов / Н. Т. Бова, Н. Б. Лайхман. – М. : Техника, 1968. – 156 с.
208. Васильев Г. Ф. Расчет и проектирование диодных коммутационных устройств дециметрового диапазона / Г. Ф. Васильев, Ю. А. Евдокименко, В. Н. Гинзбург // Нелинейные и сверхвысокочастотные радиотехнические системы. Сб. трудов МАИ, Т. 2, вып. 215. – М. : Машиностроитель, 1970. – С. 265–284.
209. Некрасов М. М. Использование лавинного транзистора как аналога индуктивности в схемах / М. М. Некрасов, И. В. Кутовой, В. С. Осадчук // Сб. Механизация и автоматизация управления. – 1966. – № 3. – С. 47–48.

210. Осадчук В. С. СВЧ фильтры на транзисторах / В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк // Сб. Полупроводниковые приборы в технике электросвязи. – 1974. – Вып. 13. – С. 135–138.
211. Ladany I. An Analysis of Inertial Inductance in a Junction Diode / I. Ladany // IRE Trans. of Electron Devices. – 1960. – Vol. ED-7, № 10. – P. 303–310.
212. Босый Н. Д. Электрические фильтры / Н. Д. Босый. – К. : Госиздат тех. литературы, 1960. – 617 с.
213. Пат. 29421 України, МПК⁸ Н 03 Н 7/01. Електрично керований фільтр низьких частот / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль; заявник Вінницький національний технічний університет – № 200710779; подано 01.10.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.
214. Осадчук О. В. Активний фільтр на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від’ємним опором / О. В. Осадчук, К. О. Коваль // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : міжнародна науково-технічна конференція, 02–05 червня 2005 р. : матеріали конф. – Вінниця, 2005. – С. 167.
215. Пат. 30176 України, МПК⁸ Н 03 Н 7/01. Електрично керований фільтр високих частот / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль; заявник Вінницький національний технічний університет – № 200712797; подано 19.11.2007; опубл. 11.02.2008, Бюл. № 3.
216. Осадчук О. В. Активний фільтр високих частот на МДН-транзисторній структурній структурі / О. В. Осадчук, А. О. Семенов, К. О. Коваль // Радиоелектроника и молодежь в XXI веке : міжнародний молодіжний форум, 1-3 квітня 2008р. : мат. форуму. – Харків, 2008. – С. 67.
217. Аренов А. Б. Печатные и пленочные элементы радиоэлектронной аппаратуры / А. Б. Аренов. – М. : Энергия, 1971. – 316 с.
218. Adams D. K. Active filter for UHF and microwave frequencies / D. K. Adams, R. J. C. Ho // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. – 1969. – Vol. MTT-17, N 9. – P. 662–670.
219. Осадчук В. С. Использование полупроводникового аналога индуктивности в схеме резонансного усилителя / В. С. Осадчук,

- Б. М. Ковальчук // Сб. Полупроводниковые приборы в технике электросвязи. – М. : Связь, 1972. – Вып. 10. – С. 201–203.
220. Некрасов М. М. Применение полупроводникового аналога индуктивности в радиоэлектронных схемах / М. М. Некрасов, В. С. Осадчук, Б. М. Ковальчук // Сб. Полупроводниковая техника и микроэлектроника. – 1974. – Вып. 16. – С. 67–70.
221. Осадчук В. С. Перестраиваемые частотно-селективные цепи / В. С. Осадчук, В. А. Гикавый // Электронная техника в автоматике. – М. : Сов. радио., 1982. – Вып. 13. – С. 52–55.
222. Осадчук В. С. Гираторные фильтры верхних частот / В. С. Осадчук, В. А. Гикавый // Сб. Электронная техника в автоматике. – М. : Сов. радио, 1973. – Вып. 5. – С. 120–123.
223. Основы инженерной электрофизики / Под ред. проф. П. А. Ионкина. Часть 2. – М. : Высшая школа, 1972. – 628 с.
224. Осадчук В. С. Устройство преобразования постоянного напряжения в переменное / В. С. Осадчук, Б. М. Ковальчук // Материалы научно-технической конференции «Повышение эффективности устройств преобразовательной техники». Часть 2. – К. : Наукова думка, 1972. – С. 355–362.
225. Пат. РФ, №2086048. Полупроводниковый магнитооптический преобразователь / В. С. Осадчук, А. В. Осадчук, Е. В. Осадчук // Бюл. изобр. №21, 1997. – 5 с.
226. Плужников В. М. Пьезокерамические твердые схемы / В. М. Плужников, В. С. Семенов. – М. : Энергия, 1971. – 168 с.
227. Знаменский А. Е. Активные РС – фильтры / А. Е. Знаменский, И. Н. Теплюк. – М. : Связь, 1970. – 279 с.
228. А. с. №1468209 (СССР). Способ определения параметров транзистора / В. С. Осадчук, М. М. Семеренко (СССР). – 1988. – 3 с.

Наукове видання

**Осадчук Володимир Степанович,
Осадчук Олександр Володимирович,
Семенов Андрій Олександрович,
Коваль Костянтин Олегович**

**ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВУЗЛИ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ
ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ РЕАКТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено А. Семеновим

Підписано до друку 05.04.2011 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 19,4
Наклад 100 прим. Зам № 2011-084

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.