

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

М. А. Філинюк, Л. Б. Ліщинська

АКТИВНІ УВЧ І НВЧ ФІЛЬТРИ

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.396.6
ББК 32.844
Ф 53

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 27.05.2010р.)

Рецензенти:

В. П. Манойлов, доктор технічних наук, професор

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

Філінюк, М. А.

Ф 53 Активні УВЧ і НВЧ фільтри : монографія / М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 396 с.

ISBN 978-966-641-376-8

В монографії розглядаються питання створення УВЧ і НВЧ активних фільтрів на базі біполярних та польових транзисторів. Проведено порівняльний аналіз узагальнених перетворювачів імітансу на основі цих транзисторів як базового елемента УВЧ і НВЧ активних фільтрів. Розглянуті основні напрями реалізації фільтрів і особливості їх розрахунку. Досліджено шумові параметри, питання забезпечення стабільності і вимірювання параметрів узагальнених перетворювачів імітансу та фільтрів.

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

УДК 621.396.6

ББК 32.844

ISBN 978-966-641-376-8

© М. Філінюк, Л. Ліщинська, 2010

50-річчю Вінницького
національного технічного
університету присвячується

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ АКТИВНИХ УВЧ ТА НВЧ ФІЛЬТРІВ	12
1.1. Визначення і класифікація.....	12
1.2. Узагальнений перетворювач імітансу – основний елемент активних УВЧ і НВЧ фільтрів	17
1.3. Математична модель узагальненого перетворювача імітансу	20
1.4. Каскадне з'єднання узагальнених перетворювачів імітансу	26
РОЗДІЛ 2. УЗАГАЛЬНЕНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІМІТАНСУ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ.....	32
2.1. Узагальнений перетворювач імітансу на транзисторі зі спільним колектором.....	32
2.2. Узагальнений перетворювач імітансу на транзисторі зі спільною базою	44
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІМІТАНСУ НА ОДНОЗАТВОРНИХ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ ШОТТКІ ..	51
3.1. Узагальнений перетворювач імітансу на транзисторі зі спільним стоком.....	51
3.2. Узагальнений перетворювач імітансу на транзисторі зі спільним витоком.....	64
3.3. Узагальнений перетворювач імітансу на транзисторі зі спільним затвором	68
3.4. Залежність імітансних параметрів УПІ від режиму роботи при постійному струмі	74
3.4.1. Дослідження УПІ зі спільним витоком	75
3.4.2. Дослідження УПІ зі спільним затвором.....	79
3.4.3. Дослідження УПІ зі спільним стоком	82
РОЗДІЛ 4. ЧОТИРИПОЛЮСНИКИ НА ОСНОВІ ДВОЗАТВОРНОГО ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА ШОТТКІ	87
4.1. Узагальнена математична модель ПТШ2	87

4.2. Математична модель чотириполюсника на базі ПТШ2 при включенні його за схемою (31, 32).....	91
4.3. Математична модель чотириполюсника на базі ПТШ2 при включенні його за схемою (31, В).....	93
4.4. Математична модель чотириполюсника на базі ПТШ2 при включенні його за схемою (В, С)	96
РОЗДІЛ 5. УЗАГАЛЬНЕНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІМІТАНСУ НА ДВОЗАТВОРНИХ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ ШОТТКІ	98
5.1. Метод дослідження імітансних характеристик чотириполюсників	98
5.2. Імітансні параметри чотириполюсників на базі ПТШ2	101
5.3. Дослідження інваріантного коефіцієнта стійкості.....	115
5.4. Максимально досяжний коефіцієнт передачі по потужності на межі стійкості	119
5.5. Максимально досяжне значення негативної дійсної складової перетвореного імітансу.....	123
5.6. Коефіцієнт невзаємності.....	130
5.7. Граничні та оптимальні частоти перетворення імітансу.....	131
РОЗДІЛ 6. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ІНДУКТИВНОСТІ.....	136
6.1. Класифікація і основні параметри	136
6.2. Схемотехнічні аналоги котушки індуктивності.....	138
6.3. Напівпровідникові індуктивності на базі біполярних транзисторів	144
6.4. Напівпровідникові індуктивності на базі ПТШ1	161
6.5. Напівпровідникові індуктивності на базі ПТШ2	163
6.6. Інтегральні активні коливальні контури.....	171
РОЗДІЛ 7. ВЗАЄМНІ АКТИВНІ УВЧ і НВЧ ФІЛЬТРИ	176
7.1. Принципи побудови	176
7.2. Чутливість	178
7.3. Стійкість	180
7.4. Шуми	184
7.5. Різновиди схемотехнічної реалізації	189
7.6. Розрахунок	204
РОЗДІЛ 8. НЕВЗАЄМНІ АКТИВНІ УВЧ І НВЧ ФІЛЬТРИ.....	212
8.1. Принципи побудови	212

8.2. Чутливість	214
8.3. Стійкість	216
8.4. Шуми	219
8.5. Різновиди схемотехнічної реалізації	222
8.6. Розрахунок	231
РОЗДІЛ 9. КЕРОВАНІ УВЧ І НВЧ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ	236
9.1. Класифікація і особливості.....	236
9.2. Різновиди схемотехнічної реалізації	240
РОЗДІЛ 10. ПРОЕКТУВАННЯ УВЧ І НВЧ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ.....	256
10.1. Загальні положення	256
10.2. Синтез взаємних активних УВЧ і НВЧ фільтрів.....	257
10.3. Синтез невзаємних активних УВЧ і НВЧ фільтрів.....	262
10.3.1. Постановка задачі синтезу.....	262
10.3.2. Синтез для режиму узгодженого виходу УПІ	267
10.3.3. Синтез для режиму узгодження входу УПІ	273
10.3.4. Синтез для режиму неузгодженого УПІ	275
10.4. Температурна нестабільність	280
10.5. Вплив імітансу генератора і навантаження	283
10.6. Залежність параметрів від рівня сигналу.....	285
РОЗДІЛ 11. КОНСТРУЮВАННЯ АКТИВНИХ УВЧ І НВЧ ФІЛЬТРІВ.....	291
11.1. Керуючі елементи.....	291
11.2. Ефективність керуючих елементів на базі УПІ.....	305
11.3. Ефективність керуючих елементів на базі ПТШ1	310
11.4. Ефективність керуючих елементів на базі ПТШ2	316
11.5. Лінії передачі і пасивні елементи активних УВЧ і НВЧ фільтрів	321
РОЗДІЛ 12. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРОБКИ АКТИВНИХ УВЧ І НВЧ ФІЛЬТРІВ	334
12.1. Методи і засоби вимірювання параметрів безструктурних моделей потенційно нестійких чотириполіусників.....	334
12.2. Методи і засоби вимірювання робочих параметрів.....	349
12.2.1. Вимірювання інваріантного коефіцієнта стійкості.	349

12.2.2. Вимірювання максимально досяжного коефіцієнта передачі за потужністю на межі стійкості	356
12.2.3. Визначення шумових параметрів.....	358
12.3. Методи і засоби вимірювання параметрів фізичних моделей багатоелектродних напівпровідникових структур.....	363
12.3.1. Вимірювання параметрів активної області кристала біполярного транзистора.....	363
12.3.2. Визначення параметрів активної області кристала ПТШ1	367
12.3.3. Визначення параметрів активної області кристала ПТШ2	368
ЛІТЕРАТУРА	374

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АФ – активний фільтр
АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
АЕ – активний елемент
Б – база
В – виток
ВДО – від’ємний диференціальний опір
З – затвор
Е – емітер
ІІ – інформаційний пристрій
ІС – інтегральна схема
К – колектор
КЕ – керуючий елемент
КЗ – коротке замикання
НВЧ – надвисокі частоти
ПАХ – поверхневі акустичні хвилі
ПТ – польовий транзистор
ПТШ – польовий транзистор Шоттки
ПТШ1 – однозатворний ПТШ
ПТШ2 – двозатворний ПТШ
С – сток
СЗФ – смуго-запірний фільтр
СПФ – смуго-пропускний фільтр
СЧ – складно-частотний фільтр
УВЧ – ультрависокі частоти
УПІ – узагальнений перетворювач імітансу
ХХ – холостий хід
ФАР – фазована антенна решітка
ФВЧ – фільтр верхніх частот
ФНЧ – фільтр нижніх частот

ВСТУП

Безперервний процес ускладнення радіоелектронних пристроїв та їх застосування на ультрависоких і надвисоких частотах (УВЧ і НВЧ) поставили перед розробниками апаратури два завдання першочергової важливості: підвищення надійності і зменшення габаритних розмірів при збереженні високих електричних параметрів. При вирішенні цих задач найбільш значні труднощі виникли на етапі створення частотно-вибіркових фільтрів в інтегральному виконанні. Частотна вибірковість фільтрів залежить від добротності їх елементів. З підвищенням частоти добротність реактивних елементів зменшується, що призводить до погіршення вибірковості. Особливо сильно зменшується добротність котушок індуктивності.

У низькочастотному діапазоні частот ці труднощі успішно подолані шляхом створення активних RC-фільтрів. Область застосування цих фільтрів обмежена частотами, на яких можна знехтувати частотною залежністю коефіцієнта передачі струму транзистора (до сотень кілогерц).

У діапазоні УВЧ і НВЧ високовибіркові мініатюрні фільтри будуються на основі мікросмугових ліній, спіральних резонаторів, феритів, сегнетоелектричних резонаторів і сегнетоелектричних елементів, що використовують поверхневі акустичні хвилі (ПАХ). Кожна з цих груп фільтрів має свої специфічні переваги. Наприклад, фільтри на мікросмугових лініях і спіральних резонаторах є найбільш стабільними; фільтри на феритах і сегнетоелектриках можуть електрично перебудовуватись у широкому діапазоні частот; фільтри на основі ПАХ мають амплітудно-частотну характеристику з високою крутизною скатів. Проте всі ці фільтри мають два недоліки: залежність добротності від геометричних розмірів і наявність втрат енергії у смузі пропускання. Наприклад, власна добротність об'ємного резонатора Q_0 оберненопропорційна кореню квадратному з робочої частоти, тобто $Q_0 \sim 1/\sqrt{f}$, і пропорційна відношенню його об'єму до площі поверхні. Це вказує на принципову важкість мініатюризації коаксіальних і смугових фільтрів. Аналогічні труднощі виникають і при мініатюризації інших видів пасивних фільтрів.

Отже, для мініатюризації фільтрів УВЧ і НВЧ діапазонів доцільне використання методів і засобів побудови фільтрів, електричні параметри яких (перш за все добротність) не залежать від геометричних розмірів елементів. Таким вимогам відповідають активні фільтри, що створюються на основі транзисторних узагальнених перетворювачів імітансу (УПІ). Цей напрям відноситься до області негatronіки, що використовує негативний опір різних твердотільних структур [1, 2].

При створенні активних УВЧ і НВЧ фільтрів використовується частотна залежність коефіцієнта передачі струму транзистора і вплив зворотних зв'язків у транзисторі. Це дозволяє у широкому діапазоні частот використовувати транзистор як УПІ для синтезу високодобротних реактивних і негативних активних динамічних опорів, а також управляти положенням полюсів функції передачі на комплексній площині. У порівнянні з пасивними УВЧ і НВЧ фільтрами активні мають більшу добротність, кращі масогабаритні характеристики і розширені функціональні можливості. Важливою перевагою цих фільтрів є можливість реалізації їх не тільки у вигляді гібридних мікросхем, але і у вигляді напівпровідникових мікросхем на базі арсенід-галієвих структур із затвором Шоттки.

Проектування активних УВЧ і НВЧ фільтрів багато у чому відрізняється від проектування активних низькочастотних фільтрів. Це пов'язано з особливостями УВЧ і НВЧ діапазонів, а також складністю вирішення задач отримання необхідної стабільності і коефіцієнта шуму.

У основу монографії покладені результати досліджень, які раніше опубліковані у монографіях [3, 4], а також більш сучасні результати, зокрема, – створення УВЧ і НВЧ активних фільтрів на базі одностаторних (ПТШ1) і двостаторних (ПТШ2) транзисторів Шоттки. Проведений порівняльний аналіз УПІ на базі біполярних і польових транзисторів як базового елемента активних УВЧ і НВЧ фільтрів. Особлива увага приділена питанням синтезу взаємних і невзаємних активних УВЧ і НВЧ фільтрів у різних режимах узгодження. Розглянуті основні напрями реалізації фільтрів і особливості розрахунку. Враховуючи, що транзистори використовуються у частотній області їх потенційної нестійкості, особлива увага приділена питанням забезпечення необ-

хідного запасу стійкості. Досліджено шумові параметри, а також питання забезпечення стабільності у діапазоні зміни температур, потужності сигналу, опорів навантаження і генератора.

Як показали дослідження авторів, ефективність проектування активних УВЧ і НВЧ фільтрів багато у чому визначається їх метрологічним забезпеченням. У зв'язку з чим, у монографії значна увага приділена питанням вимірювання різних параметрів транзисторів, УПІ на їх основі і активних УВЧ і НВЧ фільтрів з урахуванням їх потенційної нестійкості. Розглядаючи питання проектування, автори свідомо обходили питання програмного забезпечення проектування активних УВЧ і НВЧ фільтрів, оскільки широко використовувані на даний час програмні пакети HSpice, PSpice, Micro-Cap, Microwave Office ін., як правило, задовольняють вимоги проектування.

При написанні монографії автори розуміли, що у виданні такого обмеженого об'єму неможливо детально розглянути всі питання теорії і практики створення активних УВЧ і НВЧ фільтрів. Вони прагнули від загальних понять переходити до окремих випадків. Тому основна увага приділена смугово-проникним фільтрам на базі узагальнених конверторів імітансу, що отримали найбільш широке застосування. При цьому більшість наведених схемотехнічних вирішень є концептуальними і при їх реалізації звичайно вимагається доопрацювання, що пов'язано з необхідністю підвищення температурної і режимної стабільності.

Автори висловлюють щире подяку редактору С. А. Малішевській за доброзичливість та професіоналізм при підготовці цієї книги до видання.

РОЗДІЛ 1.

ОСНОВИ ПОБУДОВИ АКТИВНИХ УВЧ ТА НВЧ ФІЛЬТРІВ

1.1. Визначення і класифікація

Електричним фільтром називається лінійний чотирьополіусник, призначений для виділення зі складного коливання частотних складових, розміщених у заданій області частот, і придушення частотних складових, розміщених в іншій, також заданій області частот. Фільтри, що містять активні елементи (транзистори, діоди з негативним опором), є активними. Фільтри, що призначені для роботи на частотах від 300 мГц до 3000 мГц відносяться до фільтрів ультрависокочастотного (УВЧ) діапазону, а від 3 ГГц до 30 ГГц – до надвисокочастотних (НВЧ). Активні фільтри цього діапазону частот називають НВЧ активними фільтрами (НВЧ АФ).

В літературі, де розглядаються частотно-вибіркові ланцюги, немає чіткого розмежування між активними фільтрами і вибірконими підсилювачами. Наприклад, в [5] під активними фільтрами розуміють пасивні вибіркові RLC-ланцюги у поєднанні з електронними (зазвичай транзисторними) підсилювачами. Аналогічно визначаються і резонансні підсилювачі. Наприклад, в [6] резонансним називають підсилювач, що містить вибіркові ланцюги. Така неоднозначність у визначенні цих пристроїв призводить до того, що методи розрахунку вибіркових підсилювачів використовуються для розрахунку активних фільтрів, що не завжди виправдано, оскільки низка вимог, що висуваються до активних фільтрів та вибіркових підсилювачів, різні. Наприклад, модуль коефіцієнта передачі вибіркового підсилювача на квазірезонансній частоті K_0 повинен бути більшим одиниці. Ця вимога не є обов'язковою для активного фільтра. Він може мати $K_0 \geq 1$ і $K_0 \leq 1$. При розрахунку вибіркових підсилювачів не завжди задається модуль коефіцієнта передачі (затухання) поза смугою пропускання K_f , що є обов'язковим при розрахунку активних фільтрів. Тому слід дати визначення активним фільтрам.

Перш за все відмітимо, що активний фільтр є функціонально закінченим електронним пристроєм, основне призначення якого – забезпечувати потрібну форму амплітудно-частотної характеристики (АЧХ). Форма АЧХ реалізується як пасивними, так і активними елементами. Враховуючи, що модуль коефіцієнта передачі активного фільтра може бути як більшим, так і меншим одиниці, його слід віднести до групи квазіактивних пристроїв, оскільки до нього не завжди можна застосувати відомий принцип активності багатополосників [7]. Згідно з цим принципом багатополосник M називається активним, якщо для будь-якого кінцевого часу t енергія сигналу, що надходить до нього, негативна: $\xi_a(t) = \int_{-\infty}^t X^T(\tau)Y(\tau)d\tau < 0$ для всіх $(X, Y) \in M$, де

X, Y – вектори вхідної та вихідної функцій багатополосника; τ – координата часу.

В той же час, на відміну від багатополосника на пасивних елементах, в якому енергія, що надходить $\xi_{II}(t) \geq 0$, енергія, яка надходить в активний фільтр, $\xi_{a.ф.}(t) < \xi_{II}(t)$. Для підсилювача завжди справедлива нерівність $\xi_Y(t) < 0$. Враховуючи, що $\xi_Y(t) < \xi_{II}(t)$, тоді за енергетичною ознакою будь-який підсилювач можна розглядати як окремий випадок активного фільтра $\xi_Y(t) \leq \xi_{a.ф.}(t) < \xi_{II}(t)$.

Електронний частотно-вибірковий ланцюг можна розглядати як активний фільтр за виконання двох умов: по-перше, у формуванні нулів і полюсів функції передачі беруть участь як пасивні так і активні елементи; по-друге, високочастотна енергія, яку використовує фільтр $\xi_{a.ф.}(t)$, менша за енергію, яка розсіюється у пасивному пристрої $\xi_{II}(t)$.

Використовуючи ці дві умови, проведемо аналіз вибіркового підсилювача. Відомо [6], що його можна розглядати як пасивний фільтр, який з'єднаний з ідеальним активним приладом. Враховуючи, що для такого підсилювача $\xi_Y(t) < 0$, друга умова виконується. Проте при виконанні першої умови помітно, що нулі і полюси функції передачі визначаються пасивним частотно-вибірковим ланцюгом, а активний елемент визначає постійний множник цієї функції. Тому перша умова не виконується і такий пристрій не можна віднести до класу активних

фільтрів. Він складається з функціонально самостійних вузлів, таких як пасивний фільтр і підсилювач.

У реальних схемах, особливо НВЧ діапазону, активний елемент (АЕ) впливає на розподіл нулів та полюсів функції передачі підсилювача внаслідок частотної залежності параметрів АЕ. Проте при створенні таких підсилювачів частотна залежність параметрів активного елемента є негативним фактором, який ускладнює розрахунки, а у низці випадків і погіршує параметри пристрою. В УВЧ і НВЧ АФ спостерігається протилежна тенденція. При їх розробці використовуються частотні властивості транзисторів, що дозволяє спільно з пасивними елементами формувати задану функцію передачі.

У наш час УВЧ та НВЧ АФ розробляються як на основі діодів з негативним опором (діодні АФ), так і на основі біполярних і польових транзисторів (транзисторні АФ) (рис. 1.1).

Якщо значення коефіцієнта передачі НВЧ АФ у прямому і зворотному напрямку рівні, фільтр називають взаємним. При невиконанні цієї умови НВЧ АФ відносять до групи невзаємних фільтрів.

Можна виділити три основні напрями їх створення:

1) побудова класичних РС-фільтрів на основі різних перетворювачів імітансу [7] з дійсним коефіцієнтом перетворення. При цьому зі зростанням частоти виникають значні технічні труднощі, пов'язані з необхідністю компенсації фазових зіткнень в активних приладах і пасивних ланцюгах. Експериментальні зразки таких фільтрів реалізовані на частотах до 1,3 ГГц [8];

2) використання пасивних фільтрів, в які включені негативні опори для компенсації дисипативних втрат [9, 10]. Ці фільтри мають взаємні властивості;

3) побудова УВЧ і НВЧ АФ на основі узагальнених перетворювачів імітансу (УПІ) з комплексним коефіцієнтом перетворення [11]. Фільтри цієї групи можуть мати як взаємні, так і невзаємні властивості.

Основними характеристиками будь-якого фільтра є смуги пропускання і затримання.

Між ними лежить так звана перехідна смуга, у межах якої модуль коефіцієнта передачі фільтра змінюється від допустимих значень у смузі пропускання до необхідних значень у смузі затримання.

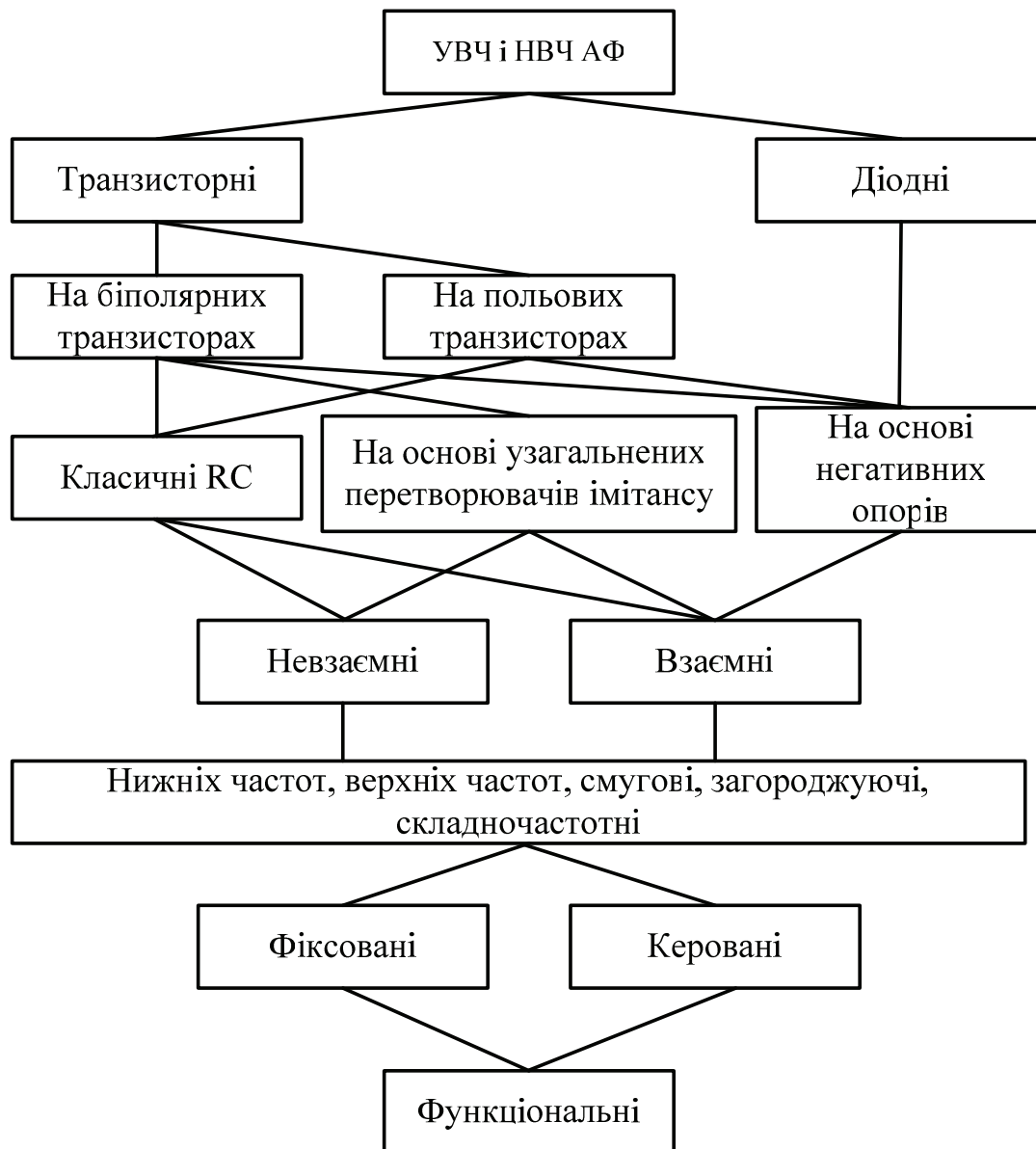


Рис. 1.1. Класифікація активних УВЧ і НВЧ фільтрів

Залежно від взаємного розташування смуг пропускання і затримання розрізняють такі типи фільтрів (рис. 1.2): фільтри нижніх частот (ФНЧ); фільтри верхніх частот (ФВЧ); смугові (смуго-пропускні) фільтри (СПФ); заперні (смуго-заперні) фільтри (СЗФ).

Крім того, спостерігається тенденція побудови фільтрів з АЧХ складного виду. Назвемо їх складно-частотними фільтрами.

Всі перераховані типи фільтрів можуть виконуватися як з фіксованими параметрами – фіксовані активні фільтри (ФАФ) [10], так і з керованими параметрами – керовані активні фільтри (КАФ) [12].

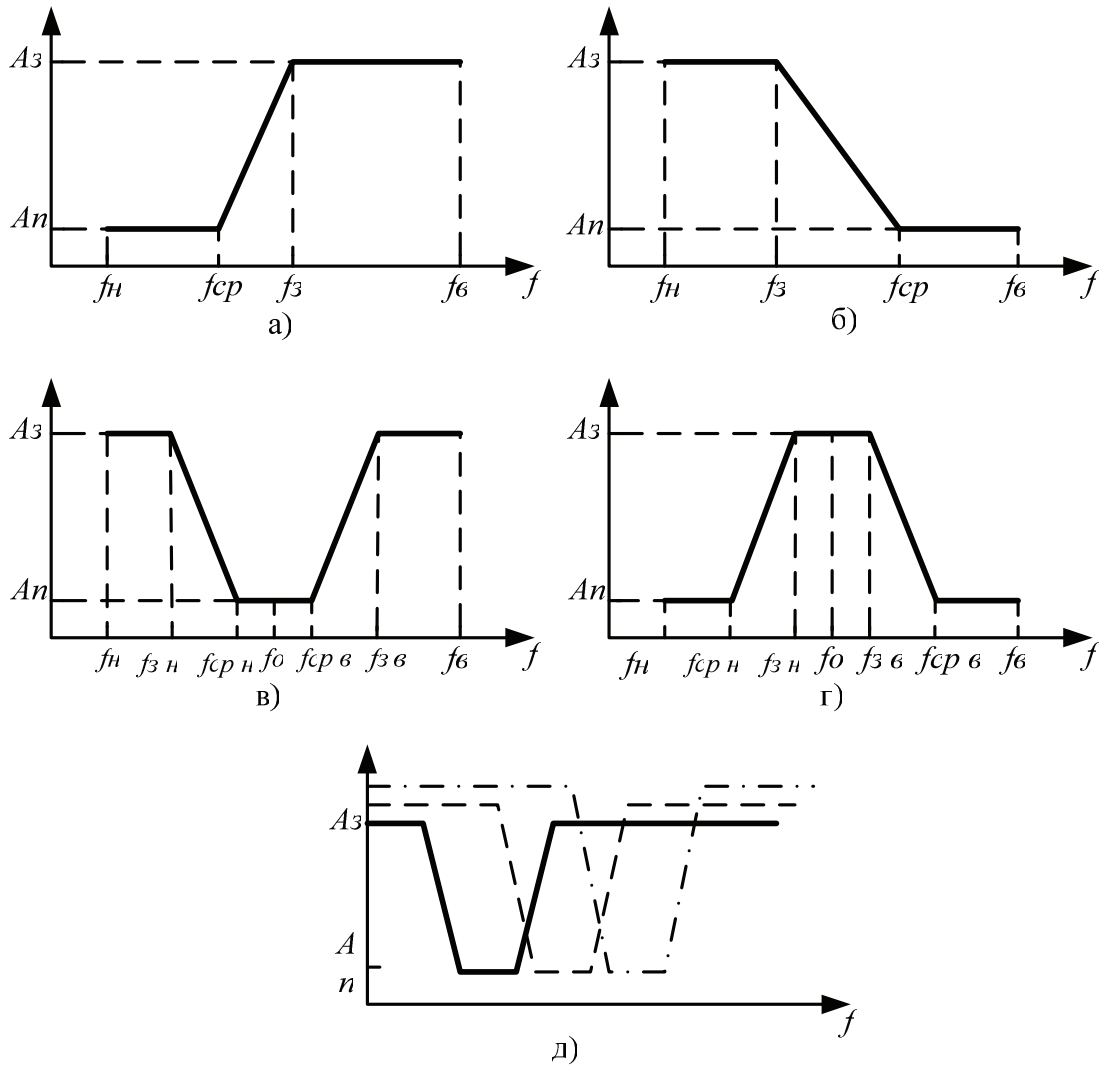


Рис. 1.2. Частотні характеристики різних типів фільтрів:
 а – ФНЧ; б – ФВЧ; в – СПФ; г – СЗФ; д – багатосмуговий

Використання у НВЧ АФ активних приладів (зокрема, транзисторів) дозволяє за допомогою однієї схеми вирішити декілька функціональних завдань, наприклад, об'єднати функції перетворення частоти і фільтрації [13], логічної функції і фільтрації [14] тощо. Такі фільтри можна віднести до функціональних НВЧ АФ.

УВЧ і НВЧ АФ підрозділяються також на вузькосмугові (відносна смуга пропускання $\Delta f / f < 10\%$) і широкосмугові ($\Delta f / f > 10\%$). Керовані АФ з малим діапазоном управління відносяться до електрично підналагоджувальних фільтрів, а з великим діапазоном управління — до переналагоджувальних фільтрів.

В залежності від технології виготовлення УВЧ і НВЧ АФ підрозділяються на фільтри з дискретними елементами, гібридні інтегральні АФ [15] і напівпровідникові інтегральні АФ [16].

1.2. Узагальнений перетворювач імітансу – основний елемент активних УВЧ і НВЧ фільтрів

Основним елементом УВЧ і НВЧ АФ на основі транзисторів є узагальнений перетворювач імітансу (УПІ). Це чотиріполюсник, імітанс між однією парою клем якого $W_{вх}$ ($W_{вих}$) є функцією імітансу W_H (W_G), підключеного до іншої пари його клем (рис. 1.3а): $W_{вх} = f(W_H)$, $W_{вих} = f(W_G)$.

Всі типи УПІ можна розділити на конвертори та інвертори імітансу [17]. Конвертором імітансу називається чотиріполюсник, імітанс між однією парою клем якого прямопропорційно залежить від імітансу, підключеного до іншої пари клем. Наприклад, у разі перетворення конвертором імітансу повного опору Z_H (пряме перетворення) його вхідний повний опір $Z_{вх} = (A/D)Z_H$, де A і D — елементи [ABCD]-ланцюгової матриці УПІ (у загальному випадку комплексні), які пов'язують струм і напругу на його клеммах [18] (див. рис. 1.3а):

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U \\ -I_2 \end{bmatrix}. \quad (1.1)$$

Для ідеального конвертора імітансу матриця (1.1) має вигляд

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}. \quad (1.2)$$

З (1.2) випливає, що ідеальний конвертор імітансу невзаємний і активний, якщо $A \cdot D = 1$ [19]. Відношення

$$A \cdot D = T_K \quad (1.3)$$

називається коефіцієнтом конверсії прямого перетворення імітансу W_H , а $T'_K = 1/T_K$ — коефіцієнтом конверсії зворотного перетворення W_G .

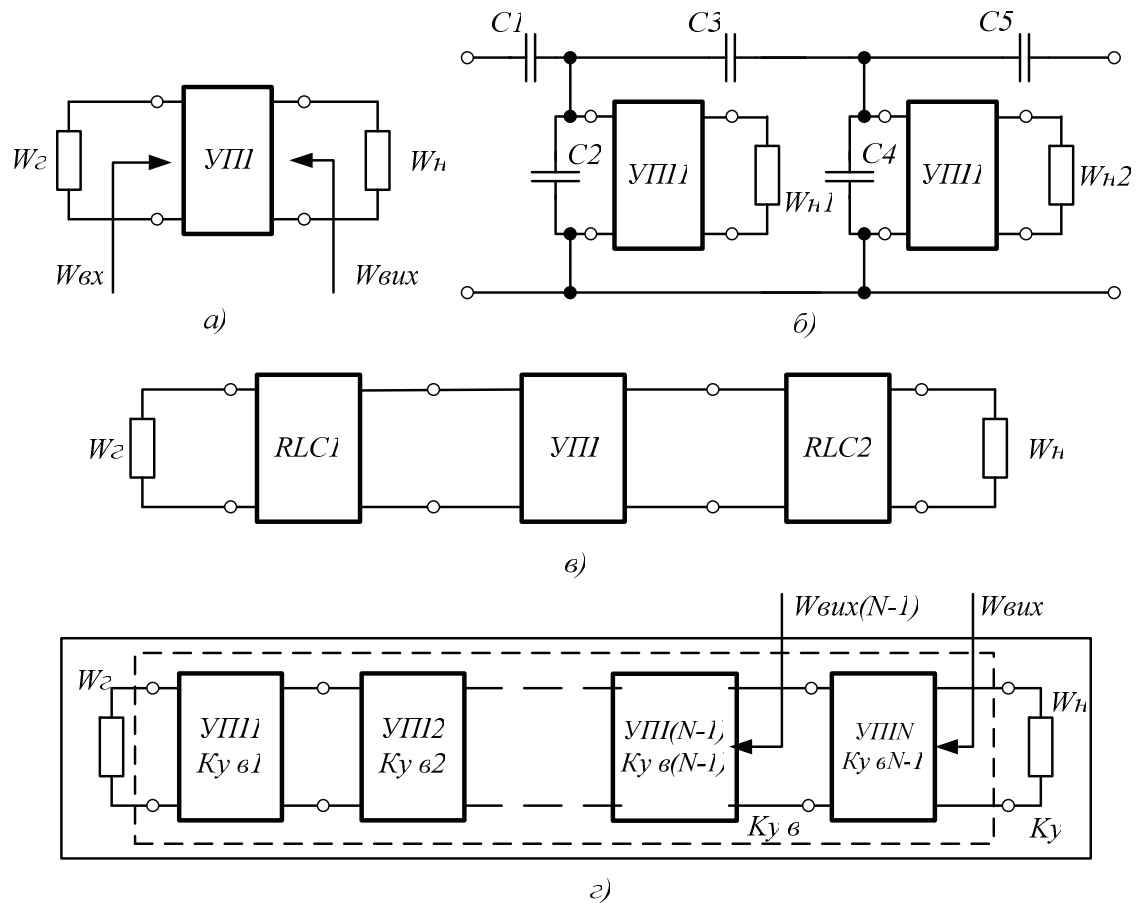


Рис. 1.3. Схеми застосування узагальненого перетворювача імітансу

У загальному випадку коефіцієнт конверсії – комплексна величина. В окремому випадку, коли параметри ланцюгової матриці (1.2) є дійсними числами, коефіцієнт конверсії також дійсна величина. Конвертори імітансу, що характеризуються таким коефіцієнтом конверсії, відносяться до дійсних конверторів імітансу. Якщо параметри ланцюгової матриці (1.2) характеризуються уявними числами, коефіцієнт конверсії також є уявною величиною, а відповідні конвертори імітансу називаються уявними.

Ідеальним конвертором імітансу називається чотиріполюсник, коефіцієнт конверсії якого не залежить від перетворюваного імітансу. Властивості і реалізація ідеальних дійсних конверторів імітансу розглянуті в [7, 20]. Уявні конвертори імітансу перетворюють імітанс одного виду в імітанс іншого виду, що характерний для мутаторів [21].

Інвертором імітансу називається чотиріполюсник, імітанс між однією парою клем якого оберненопропорційно залежить від імітансу, підключеного до другої пари клем. Наприклад, у випадку перетворен-

ня інвертором імітансу повного опору навантаження Z_n (пряме перетворення) його вхідний повний опір $Z_{ex} = B / CZ_H$.

Ланцюгова матриця ідеального імітансу має вигляд

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & B \\ C & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}. \quad (1.4)$$

З (1.4) випливає, що ідеальний інвертор імітансу є невзаємним і активним чотириполюсником [19].

Відношення $B / C = T_i$ називається коефіцієнтом інверсії прямого перетворення імітансу, а величина $W_{zip} = \sqrt{T_i}$ – імітансом гірації прямого перетворення. У загальному випадку це комплексні величини. В окремому випадку, коли параметри матриці у рівнянні (1.4) є дійсними числами, імітанс гірації також дійсна величина: опір гірації R_{zip} при перетворенні повного опору Z_n , або провідність гірації G_{gir} , при перетворенні повної провідності Y_n . Інвертори імітансу, що характеризуються дійсним імітансом гірації (R_{zip} або G_{gir}), називаються дійсними. Властивості і реалізація ідеальних дійсних інверторів імітансу розглянуті в [7, 17]. Якщо параметри матриці (1.4) характеризуються уявними числами, то відповідні інвертори імітансу називаються уявними.

Використовуючи набір дійсних і уявних перетворювачів імітансу, можна реалізувати комплексний коефіцієнт перетворення або, навпаки, перетворювач імітансу, що має комплексний коефіцієнт перетворення, можна представити у вигляді дійсних і уявних перетворювачів імітансу. Як показано в [7], за допомогою розглянутих типів перетворювачів імітансу виявляється можливим реалізувати у якості вхідних функцій або функцій передачі будь-який раціональний дріб з дійсними коефіцієнтами і з будь-яким співвідношенням ступенів чисельника і знаменника. Але при практичному використанні УПІ в УВЧ і НВЧ АФ необхідна не тільки реалізація необхідної функції передачі, але і забезпечення певних експлуатаційних вимог щодо стабільності, рівня шумів, коефіцієнта передачі тощо. Вибір виду УПІ в цьому випадку не може бути виконаний тільки за коефіцієнтом перетворення, необхідна система параметрів. Основні вимоги до цієї системи параметрів полягають в її повноті, тобто вона повинна бути достатньою для визначен-

ня основних експлуатаційних параметрів УПІ, а також в її об'єктивності, тобто кожен параметр цієї системи повинен бути вимірним або розрахованим, виходячи з реальних початкових умов.

1.3. Математична модель узагальненого перетворювача імітансу

Виходячи з досвіду проектування УВЧ і НВЧ АФ на основі УПІ, цим вимогам відповідає така система параметрів УПІ [12]: прямий коефіцієнт перетворення T ; зворотний коефіцієнт перетворення T' ; інваріантний коефіцієнт стійкості $K_{y, \phi}$, чутливість (або якість перетворення) $S_{\alpha i}^T$; максимально досяжний коефіцієнт передачі потужності на межі стійкості K_m ; коефіцієнт невзаємності K_n ; мінімальне досяжне значення коефіцієнта шуму F_{min} ; гранична частота f_z ; максимально досяжне значення негативного дійсного імітансу $\text{Re} W_{\text{макс}}^{(-)}$; коефіцієнт енергетичної ефективності E ; оптимальна частота перетворення f_{opt} .

За визначенням, для конвертора імітансу прямий коефіцієнт конверсії імітансу навантаження W_n у вхідний імітанс $W_{\text{вх}}$

$$T_K = W_{\text{вх}} / W_n. \quad (1.5)$$

Якщо конвертор імітансу навантажений імітансом з боку вхідних клем, то він характеризується зворотним коефіцієнтом конверсії

$$T'_K = W_{\text{вих}} / W_z. \quad (1.6)$$

Перетворюючи елементи ланцюгової матриці (1.1) в елементи імітансної W -матриці і підставляючи їх в (1.3), отримуємо узагальнений вираз для коефіцієнтів прямої і зворотної конверсії

$$T_K = W_{11} / W_{22}; \quad (1.7)$$

$$T'_K = W_{22} / W_{11}. \quad (1.8)$$

Використовуючи (1.5) і (1.6), враховуючи (1.7) і (1.8) знаходимо вирази для перетвореного імітансу ідеального конвертора імітансу

$$W_{\text{ВХ.К}} = T_K W_n = W_{11} W_n / W_{22}; \quad (1.9)$$

$$W_{\text{ВИХ.К}} = T'_K W_z = W_{22} W_z / W_{11}. \quad (1.10)$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Філінюк М. А. Основи негatronіки / М. А. Філінюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. – Т. 1. – 456 с.
2. Негатроника / А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова, Н. А. Филинчук, О. Н. Негоденко – Новосибирск : Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 315 с.
3. Филинчук Н. А. Активные УКВ фильтры / Филинчук Н. А. – М. : Радио и связь, 1984. – 56 с.
4. Филинчук Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах / Н. А. Филинчук. – М. : Радио и связь, 1987. – 112 с.
5. Маклюков М. И. Инженерный синтез активных RC-фильтров низких и инфранизких частот / М. И. Маклюков. – М. : Энергия, 1971. – 184 с.
6. Смогилев К. А. Резонансные усилители на трехполюсниках. – М. : Сов. радио, 1972. – 304 с.
7. Ионкин П. А. Синтез RC-схем с активными невзаимными элементами / П. А. Ионкин, В. Г. Миронов. – М. : Энергия, 1976. – 240 с.
8. Podell A. F. Negative impedance convertors (NIC) for UHF through microwave circuits applications. / Podell A. F., Cristal B. G. // GMTT Interna. Microwave. Symp. – Washington, 1971. – P. 182–183.
9. Берман Л. С., Тагер А. С. Полупроводниковые диоды в режиме лавинного пробоя как управляемая реактивность. / Берман Л. С., Тагер А. С. // Полупроводниковые приборы и их применение / под ред. Я. А. Федотова. – М. : Сов. радио, 1970. – Вып. 24. – С. 149–154.
10. Филинчук Н. А. Современные достижения в области создания активных СВЧ фильтров / Филинчук Н. А., Молчанов П. А. // Материалы XXII Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню Радио. – М. : Сов. радио, 1977. – С. 89–90.
11. Филинчук Н. А. Активные СВЧ фильтры на основе транзисторных преобразователей иммитанса / Филинчук Н. А. // Радиотехника и электроника. – М. : Наука, АН СССР. – 1983. – Т. 28, № 5. – С. 817–833.
12. Филинчук Н. А. К вопросу построения перестраиваемых активных СВЧ фильтров / Филинчук Н. А. // Труды 38-й Всесоюзной научной сессии, посвященной дню Радио. – М., 1981. – С. 36–37.

13. Adams D. K. Filtering, frequency multiplexing and other microwave applications with inverted-common-collector transistor circuits. / Adams D. K., Ho R. Y. C. // Intern. Microwave Symp., May 1969. – Dallas, 1969. – P. 14–20.

14. А. с. 647851 СССР, МКИ H03H7/8. Полосовой активный фильтр./ Н. А. Филинюк, П. А. Молчанов (СССР). – № 2379048 ; заявл. 01.07.76 ; опубл. 15.02.79 ; Бюл. № 6

15. Осадчук В. С. СВЧ фильтры на транзисторах / Осадчук В. С., Филинюк Н. А. // Полупроводниковые приборы в технике электро-связи; под ред. И. Ф. Николаевского. – М., 1974. – Вып. 13. – С. 27–29.

16. Филинюк Н. А. Анализ параметров активных СВЧ фильтров на основе полевых транзисторов. / Филинюк Н. А., Семеренко М. М., Павлов С. Н. // Проблемы интегральной электроники СВЧ. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – Л. : ЛЭТИ, 1984. – 69 с.

17. Филяновский Н. М. Схемы преобразователей сопротивления. / Филяновский Н. М., Персианов А. Ю., Рыбин В. К. – Л. : Энергия, 1973. – 192 с.

18. Маттей Г. Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / Маттей Г. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. : пер. с англ. ; под ред. Л. В. Алексеева и Ф. В. Кушнера. – М. : Связь, 1971. – Т.1. – 439 с.

19. Хейнлейн В. Е. Активные фильтры для интегральных схем. / Хейнлейн В. Е., Холмс В. Х. – М. : Сов. радио, 1975. – 288 с.

20. Беннинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах / Беннинг Ф. : пер. с нем. ; под ред. Д. П. Линде. – М. : Сов. радио, 1975. – 288 с.

21. Основы анализа и синтеза электронных цепей / Под ред. П. А. Ионкина. – М. : Высшая школа, 1972. – 634 с.

22. Филинюк Н. А. Система рабочих параметров обобщенных преобразователей иммитанса / ВПИ. – Винница, 1983. – 16 с. Деп. в НИИНТИ Украины 24.11.83, №1384 Ук-Д83.

23. Rollett J. Stability and power gain invariants of linear two-ports / J. Rollett // IRE Trans. Circuit Theory. – 1962. – Vol. CT-9, № 3. – P. 29–32.

24. Куликовский А. А. Устойчивость активных линеаризованных цепей с усилительными приборами новых типов / А. А. Куликовский. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 192 с.

25.Филинюк Н. А. Анализ максимальной частоты генерации транзисторной схемы с общим коллектором с учетом лавинного умножения / Филинюк Н. А. // Радиотехника и электроника – 1982. – Т. 27, № 8. – С. 1571–1576.

26.Богачев В. М. Транзисторные усилители мощности. / В. М. Богачев, В. В. Никифоров – М. : Энергия, 1978. – 334 с.

27.Шварц Н. З. Линейные транзисторные усилители СВЧ / Н. З. Шварц. – М. : Сов. радио, 1980. – 368 с.

28.Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизации АСКУ. / Кузьмин И. В. – М. : Сов. радио, 1971. – 296 с.

29.Філінюк М.А. Моделювання багатокаскадних однокристальних УПІ / М.А.Філінюк, Л.Б. Ліщинська // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: Матеріали ІV між нар. наук.–техн. конф. 8 – 10 жовтня 2009. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 26.

30.Гиллемин Е. А. Синтез пассивных цепей / Гиллемин Е. А. : пер. с англ. ; под. ред. М. М. Айзинова. – М. : Связь, 1970. – 370 с.

31.Филинюк Н. А. Анализ устойчивости устройств управления на основе комплексных преобразователей сопротивления / Филинюк Н. А. // Методы анализа и синтеза нелинейных цепей. – К. : Наукова думка, АН УССР. – 1982. – С. 152–156.

32.Осадчук В. С. Активные СВЧ фильтры / Осадчук В. С., Филинюк Н. А. // Полупроводниковые аналоги индуктивности. – К. : РДЭНТП. – 1974. – С. 11–17.

33.Филинюк Н. А. Активные частотно-избирательные устройства СВЧ диапазона / Филинюк Н. А., Семеренко М. М., ВПИ. – Винница, 1984. – 48 с. Деп. в НИИНТИ Украины 30.01.84, №140 к-Д84.

34.Но R. Y. C. Have you tried active microwave filter? Но R. Y. C., Adams D. K. // Microwave. – 1969. – V. 8. – P. 18–24.

35.Кремниевый малошумящий биполярный транзистор КТ3115 / И. П. Андрюхов, Ю. П. Докучаев, Г. Э. Корнильев и др. // Микроэлектроника и полупроводниковые приборы ; под ред. А. А. Васенкова и Я. А. Федотова. – М. : Сов. радио, 1980. – Вып. 5, – С. 43–53.

36.Филинюк Н. А. Синтез активных СВЧ фильтров на основе однотранзисторных преобразователей импеданса / Филинюк Н. А. //

Машинное моделирование электрических и электронных цепей. – К. : Наукова думка, АН УССР. – 1981. – С. 72–77.

37. Adams D. Active filter for UHF and microwave frequencies / D. Adams, R. Ho // IEEE Trans. – 1969. – Vol. MСC–17, № 9. – P. 662–670.

38. Валиев К. А. Применение контакта металл–полупроводник в электронике / К. А. Валиев, Ю. И. Пашинцев, Г. В. Петров. – М. : Сов. радио, 1981. – 304 с.

39. Филинюк Н. А. Определение параметров физической эквивалентной схемы активной области кристалла полевого транзистора / Н. А. Филинюк // Изв. Вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1983. – № 7. – С. 90–92.

40. Филинюк Н. А. Анализ ОПИ на основе полевых транзисторов / Филинюк Н. А., Семеренко М. М. // Полупроводниковая электроника в технике электросвязи. / Под ред. И. Ф. Николаевского. – М. : Радио и связь, 1984. – Вып. 24. – С. 51–57.

41. Физико-технологические и схемотехнические основы негэлектроники. / Пашаев А. М., Касимов Ф. Д., Филинюк Н. А., Негоденко О. Н. – Баку : Элм, 2008. – 433 с.

42. Бронштейн Н. Н. Справочник по математике / Н. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : 1957. – 608 с.

43. Филинюк Н. А. Малосигнальные модели четырехполюсников на базе двухзатворного транзистора Шоттки / Н. А. Филинюк, Салех М. М. Журбан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Т. 1, №. 4, Ч. 1. – С. 112–115.

44. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1978. – 528 с.

45. Салех М. М. Журбан. Элементы и устройства автоматики на базе потенциально неустойчивых двухзатворных полупроводниковых структур Шоттки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.05 «Елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування» / Салех М. М. Журбан; Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2007. – 20 с.

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

47. Спиридонов Н. С. Основы теории транзисторов / Н. С. Спиридонов. – К. : Техника, 1975. – 360 с.

48. Schoon M. A novel, bias-dependent, small-signal model of the dual-gate MESFET / M. Schoon // IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. – 1994. – Vol. 42. – P. 212–216.

49. Ліщинська Л. Б. Узагальнена математична модель ПТШ 2 при включенні його по схемі (31,32). / Ліщинська Л. Б., Барабан М. В., Філінюк М. А. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 60–63.

50. Филинук Н. А. Обобщенная математическая модель ПТШ2 при включении его по схеме (31И) / Н. А. Филинук, М. М. Салех Журбан, А. М. Куземко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1(11). – С. 102–106.

51. Лищинская Л. Б. Математическая модель четырёхполюсника на базе ПТШ2, включённого по схеме с общими истоком и стоком / Л. Б. Лищинская // Актуальные проблемы физики. – Баку : АНУ, 2008. – Т. 2. – С. 61–63.

52. Пат. 11967 Україна, МПК G01R 27/28. Спосіб вимірювання параметрів чотирьохполюсника з використанням діаграми Вольперта–Смітта / М. А. Філінюк, К. В. Огородник, С. Журбан ; заявник і патенто власник ВНТУ. – № u 200507033 ; заявл. 15.07.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. №1.

53. Смит Ф. Круговые диаграммы в радиоэлектронике / Ф. Смит. – М. : Сов. радио, 1976. – 142 с.

54. Філінюк М. А. Метрологічні основи негатроніки / М. А. Філінюк, Д. В. Гаврилов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 188 с

55. Гаврилов Д. В. Радіочастотні вимірювання робочих параметрів потенційно-нестійких чотирьохполюсників : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук : спец. 05.11.08 «Радіовимірювальні прилади» / Гаврилов Дмитро Володимирович ; – Вінниця, 2004. – 20 с.

56. Ліщинська Л.Б. Дослідження УПІ на основі двозатворної напівпровідникової структури / Л.Б. Ліщинська // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: Матеріали ІV між нар. наук.–техн. конф. 8 – 10 жовтня 2009. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 91.

57. Пат. 11679 Україна, МКІ G 05 В 23/02. Спосіб визначення оптимальної частоти перетворення імпедансу потенційно-нестійкого чотирьополосника / М. А. Філінюк, Д. В. Гаврилов, С. Є. Швейкіна.; заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200504156 ; заявл. 29.04.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. №1.

58. Toroidal inductors for radio-frequency integrated circuits / W. Liu, J. Suryanarayanan, J. Nath [et al.] // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. – 2004. – Vol. 52, № 2. – P. 646–654.

59. Design and simulation of active spiral inductors for RF integrated circuits / G. D'Angelo, A. Granchi, A. Monochio, B. Neri // IEEE Antennas and Propagat. Soc. Int. Symposium. – 1999. – Vol. 3. – P. 1836–1839.

60. Філінюк Н. А. Полупроводниковые индуктивности для СВЧ-диапазона / Н. А. Філінюк, А. М. Куземко, Салех М. М. Журбан. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – № 5. – С. 9–13.

61. Microwave synthesis techniques / E. G. Crystal, R. Y. C. Ho, D. K. Adams, S. B. Cohn. – 1968.

62. Snyder R. Analysis and design of a microwave transistor active filter / R. Snyder, D. Bozarth // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1970. – Vol. MTT-18, № 1. – P. 2–9.

63. Flieger E. Operating criteria for microwave inductors / E. Flieger // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1971. – Vol. MTT-19, № 1. – P. 89–91.

64. Broad band monolithic microwave active inductor and its application to miniaturise wide band amplifiers / S. Hara, T. Tokumitsu, T. Tanaka, M. Aikawa // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1988. – Vol. MTT-36. – P. 1920–1924.

65. Hara S. Lossless, broadband monolithic microwave active inductors / S. Hara, T. Tokumitsu, M. Aikawa // IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. – 1989. – P. 955–958.

66. Lucyszyn S. Monolithic narrow-band filter using ultrahigh-Q tunable active inductors / S. Lucyszyn, I. D. Robertson // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1994. – Vol. 42. – P. 2617–2622.

67. Alinikula P. Q-enhancing technique for high speed active inductors / P. Alinikula, R. Kaunisto, K. Stadius // IEEE Int. Circuits Syst. Symp. Dig. – 1994. – P. 735–738.

68. Haigh D. G. GaAs MESFET active resonant circuit for microwave filter applications / D. G. Haigh // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1994. – Vol. 42. – P. 1419–1422.

69. Yong-Ho C. A novel active inductor and its application to inductance-controlled oscillator / C. Yong-Ho, H. Song-Cheol, K. Young-Se // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1997. – Vol. 45. – P. 1208–1213.

70. Leifso C. A fully integrated active inductor with independent voltage tunable inductance and series-loss resistance / C. Leifso, J. W. Haslett // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2001. – Vol. 49, № 4. – P. 671–676.

71. Leifso C. Monolithic tunable active inductor with independent Q control / C. Leifso, J. Haslett, J. McRory // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2000. – Vol. 48, № 6. – P. 1024–1029.

72. Kunikiyo T. Active inductor / T. Kunikiyo // United States Patent Application. – 2002. – № 20020047760.

73. Redoute J. M. Active inductor / J. M. Redoute, Vladimir, J. Sevenhans, J. Mathilda // United States Patent Application. – 2004. – № 20040212462.

74. Forbes L. Monolithic inductance-enhancing integrated circuits, complementary metal oxide semiconductor (CMOS) inductance-enhancing integrated circuits, inductor assemblies, and inductance-multiplying methods / Forbes L. // United States Patent Application. – 2001. – № 20010002060.

75. Grozing M. A 2.5 v CMOS differential active inductor with tunable L and Q for frequencies up to 5 GHz / M. Grozing, A. Pascht, M. Berroth // 2001 International Microwave Symposium Digest. – 2001. – Vol. 1. – P. 575–578.

76. Bulchis E. W. Voltage tunable active inductorless filter / E. W. Bulchis // United States Patent Application. – 2001. – № 20010009848.

77. Forbes L. Voltage tunable active inductorless filter / L. Forbes // United States Patent Application. – 2001. – № 20010005672.

78. Filinyuk N. A. Development microwave active devices based on optically-controlled impedance element / N. A. Filinyuk, A. M. Kuzemko, Slesh M. M. Jourban // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2. – С. 87–90.

79.Филинюк Н. А. Моделювання та синтез активних НВЧ-фільтрів на базі транзисторного оптодегатора / Н. А. Филинюк, С. Е. Швейкіна, О. М. Куземко // Вісник національного Хмельницького університету. – 2005. – Т. 1, Ч. 1, № 4. – С. 208–212.

80.Пат. 13261 Україна, МКИ Н03Н 11/54. Схемотехнічний аналог котушки індуктивності / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Салех М. М. Журбан. ; заявник і патентовласник – Вінницький національний технічний університет. – № u200509739 ; заявл. 17.10.93 ; опубл. 15.03.06, Бюл. №4.

81.Куземко О. М. Керовані активні індуктивності / О. М. Куземко, М. А. Філінюк, І. В. Булига // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 2(9). – С. 137–140.

82.Kanai Y. On the inductive part in the a c characteristic of the semiconductor diodes. / Kanai Y. // J. Phys. Soc. of Japan. – 1955. – V.10. – P. 718–720.

83.Nishizava J. Simplified theory on the inductive impedance of p-n junction. / Nishizava J., Iwasa S., Watanabe J. // Rep. Res. Inst. Tohoku Univ. – 1958. – V.10, N 1. – P. 45–47.

84.Yamaguchi B. Y. On the inductive reactance and negative resistance in the transistor. / Yamaguchi B. Y // J. Phys. Soc. of Japan, – 1956. – V. 11. – P. 717–718.

85.Dill H. G. Inductive semiconductor elements and their application in bandpass amplifiers. / Dill H. G. // IRE Transactions on military electronics. – 1961. – July, – V. MIL-5. – P. 239–250.

86.Archer L. A. Use of transistor-simulate inductance as an interstage in element in broadband amplifiers. / Archer L. A., Gibbons J. F., Purnaya G. M. // IEEE Journal of solid-state circuits, – 1968. – March. – V. SC-3, No. 1. – P. 12–21.

87.Dill H. G. Semiconductor inductive elements. / Dill H. G. // Semiconductor Products, – 1962. – V. 5, No. 5, – P. 28–31.

88.Dutta Roy S.C. An exact circuit analogue of Transistor alpha. / Dutta Roy S.C. // Electron and Control. – V. XIX, No. 4. – 1963. – P 445–457.

89.Dutta Roy S.C. A novel high-Q inductive and tuned oscillator for microminiature circuits. / Dutta Roy S.C. // Proc. IEEE. – 1964. – February. – V. 52. – P. 214–215.

90. Sen Sudie Kumar. Inductive behavior of a transistor circuit comprising n-transistors. / Sen Sudie Kumar, Sen Dsim. // Proc. IEEE. – 1966. – V. 54, No. 12. – P. 1978–1979.

91. Saito T., Miyakawa T., Ikeda T., Tahira K., Ando J. A high Q temperature insensitive transistor circuit. // Solid-State Electronics. – 1969. – V. 11. – P. 553.

92. Kohm M. Inductive transistors in integrated circuits. / Kohm M. // Electrotechnology. – 1966. – January. – V. 77, No. 1. – P. 89–90.

93. Lindmayer J., North W. The inductive effect in transistors. / Lindmayer J., North W. // Solid-State Electronics, – 1965. – V. 8. – P. 409.

94. Vliet K.M. van. Current-voltage relations and equivalent circuit of transistors at high injection levels. / Vliet K.M. van, Min H. S. // Solid-State Electronics. – 1974. – V. 17. – P. 267–284.

95. Josephs H. G. Solid-state inductors. / Josephs H. G., George R. I., Billette R. // Solid-State Electronics, – 1965. – V. 8. – P. 775–785.

96. Lloret Sebastian J. Comportamiento inductivo de un circuito transistorado. / Lloret Sebastian J., Espi Lopez J. // Anales de fisica. – 1970. – V. 66, No. 1. – P. 187–193.

97. Adams D. K. The transistor, a microwave filter element. / Adams D. K., Ho R. Y. C. // Internate Microwave Symp., Detroit, May 1968. – V. G-MTT. – P. 184–189.

98. Филинюк Н. А. Схемотехническое моделирование и синтез активных СВЧ фильтров на полевых транзисторах Шоттки / Н. А. Филинюк, А. М. Куземко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. – № 3. – С. 49–54.

99. Ліщинська Л.Б. Метод синтезу динамічних негатронов на базі активних багатополосників / Л. Б. Ліщинська, К. В. Огородник, Н. А. Филинюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – №3. – С. 27–34.

100. Shoon M. A. Novel, bias-dependent, small-signal model of the dual-gate MESFET / M. A. Shoon // IEEE Trans Microwave Theory Tech. – 1994. – Vol. 42. – P. 212–216.

101. Активні НВЧ фільтри на базі двозатворних транзисторів Шоттки / Н. А. Филинюк, А. М. Куземко, Салех М. М. Журбан, Л. Б. Ліщинська // Вісник Вінницького політехнічного університету. – 2006. – № 3(66). – С. 43–53.

102. Пат. 17276 Україна, МКИ Н03Н 11/00. Схемотехнічний аналог котушки індуктивності / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200603492 ; заявл. 31,03,06 ; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.

103. Горяинов С. А. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. / Горяинов С. А., Абезгауз И. Д. – М. : Энергия, 1970. – 320 с.

104. СВЧ устройства на полупроводниковых диодах / Под ред. И. В. Мальского, Б. В. Сестрорецкого. – М. : Сов. радио, 1969. – 580 с.

105. Snuder R. K., Bozarth D. L. Analysis and design of a microwave theory transistor active filter./ Snuder R. K., Bozarth D. L. // IEEE Trans. – 1970. – V. MTT-18, No. 1. – P. 2–9.

106. Осадчук В. С. Некоторые вопросы построения СВЧ устройств на индуктивном эффекте составного транзистора / Осадчук В. С., Филинчук Н. А. // Радиотехника и электроника. – М. : Наука, АН СССР, 1973. – Т. 18, вып. 9. – С. 1983–1985.

107. А. с. 1012423 СССР, МКИ Н03Н 11/00. Активный СВЧ фильтр: / Н. А. Филинчук (СССР). – № 2888614 ; заявл. 15.02.80 ; опубл. 15.04.93 ; Бюл. №. 14.

108. Wolff I. Complanar microwave integrated circuits. / I. Wolff. – New Jersey: WILEY–INTERSCIENCE. – 2006. – 575p. – ISBN 13978-0-471-12101-5

109. Гиббонс. Анализ видов работы простой схемы генератора на транзисторах. / Гиббонс. // ТИРИ. – 1961. – Т. 49, № 9. – P. 1606–1614.

110. Філінюк М. А. Активний дворезонаторний НВЧ-фільтр підвищеної стабільності / М. А. Філінюк, Салех М. М. Журбан, О. М. Куземко // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування. – 2005. – С. 178–179.

111. Філінюк М. А. Активний дворезонаторний НВЧ-фільтр / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, О. В. Войцеховська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 2. – С. 71–73.

112. Филинчук Н. А. Расчет транзисторного активного СВЧ фильтра // Радиотехника. Известия ВУЗов. – 1980. – № 3. – С. 82–83.

113. Ho R. Y. C. Subminiature microwave active filter manifolds. / Ho R. Y. C., Battensby B. // GMTT Intern. Microwave. – Symp. Newport Beach, Calif., 1970. – P. 62–65.

114. Sussman-Fort S. A realisation of a GaAs microwave active filter / S. Sussman-Fort / Sussman-Fort S. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1990. – Vol. MMT-38, № 10. – P. 1524–1526.

115. Bonetti R. An MMIC active filter with 60-dB rejection / R. Bonetti // IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. – 1992. – P. 1195–1198.

116. Chang C. Microwave active filters based on coupled negative resistance method / C. Chang, T. Itoh // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1990. – Vol. MMT-38, № 12. – P. 1879–1884.

117. Fast tuneable GaAs MMIC band stop filter with a novel active inductor: Tech. rep.: TNO Physics and Electronics Laboratory, 2002. – №9.

118. Narrow-band GaAs MMIC tuneable filter at X/Ku band: Tech. rep.: TNO Physics and Electronics Laboratory, 2002. – № 9.

119. Ishikawa, Youhei H., Seiji. Active-type band-pass filter // United States Patent. – 1995. – № 5379009.

120. Jutzi W. Microwave bandwidth active transversal filter concept with MESFETs / W. Jutzi // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1971. – Vol. MMT-19, № 9. – P. 760–767.

121. Rauscher C. Microwave active filters based on transversal and recursive principles / C. Rauscher // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1985. – Vol. MMT-33, № 12. – P. 1350–1360.

122. Schindler M. A novel active filter with lumped and transversal elements / M. Schindler, Y. Tajima // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1989. – Vol. MMT-37, № 12. – P. 2148–2153.

123. Kuhn W. Q-enhanced LC bandpass filters for integrated wireless applications / W. Kuhn, N. Yanduku, A. Wyszynski // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1998. – Vol. II, № 12. – P. 2577–2586.

124. A compact LTCC bandpass filter using resonators loaded with spiral-shaped open-circuited stubs / K.-H. Park, H.-S. Song, Y.-S. Lee, Y.-C. Jeong // Microwave Journal. – 2005. – Vol. 48, No. 10. – P. 128–134.

125. А. с. 435576 СССР, МКИ H01P 1/15. Коаксиальный выключатель./ В. С. Осадчук, Н. А. Филинюк (СССР). – № 1872778 ; заявл. 15.01.73 ; опубл. 05.07.74 ; Бюл. № 25.
126. А. с. 932579 СССР, МКИ H01P 1/15. Аттентуатор./ Н. А. Филинюк (СССР). – № 2962846 ; заявл. 21.07.80 ; опубл. 30.05.82 ; Бюл. № 20.
127. Знаменский А. Е., Попов Е. С. Перестраиваемые электрические фильтры. – М. : Связь, 1979. – 129 с.
128. Ильченко М. Е. Твердотельные СВЧ фильтры. / Ильченко М. Е., Мелков Г. А., Мирских Г. А. – К. : Техника, 1977. – 120 с.
129. Мостыко В. С. Регулировка полосы пропускания избирательных усилителей. – М. : Энергия, 1979. – 111 с.
130. А. С. 913595, СССР, МКИ H01P 1/15. Электрически управляемый выключатель. / Н.А. Филинюк (СССР). – № 2962497 ; заявл. 21.07.80 ; опубл. 16.11.81. Бюл. №10.
131. Осадчук В. С. Исследование входного импеданса транзистора с индуктивностью в цепи базы / Осадчук В. С., Филинюк Н. А. // Радиотехника. – 1974. – Т. 29, №3. – С. 95–96.
132. Tolson James N. Voltage controlled band-pass filter / James N. Tolson // United States Patent. – 2004. – № 6813484.
133. Славский Г. Н. Активные RC- и RCL-фильтры и избирательные усилители. / Славский Г. Н. – М. : Связь, 1966. – 216 с.
134. Филинюк Н. А. Определение параметров физической эквивалентной схемы ВЧ транзисторов / Филинюк Н. А., Песков С. Н., Павлов С. Н. // Радиоэлектроника. Изв. вузов СССР. – 1982. – Т. 25, № 12. – С. 38–43.
135. Филинюк Н. А. Измерение Y-параметров матрицы проводимости СВЧ транзисторов / Филинюк Н. А. // Радиоэлектроника. Изв. вузов СССР. – 1984. – № 3. – С. 81–82.
136. Филинюк Н. А. Метод плавающих нагрузок – путь повышения точности определения параметров СВЧ транзисторов / Филинюк Н. А. // Труды всесоюзной НТК «Радиотехнические измерения в диапазонах высоких частот (ВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ)». – Новосибирск, 1984. – С. 30–31.

137. Филинюк Н. А. Метод определения инвариантного коэффициента устойчивости СВЧ-четырёхполюсников / Н. А. Филинюк // Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. – 1983. – Т. 7. – С. 245–250.
138. Основы проектирования микросхемной аппаратуры / Под ред. Б. Ф. Высоцкого. – М. : Сов. радио, 1977. – 372 с.
139. Николаев И. М. Интегральные микросхемы и основы их проектирования. / Николаев И. М., Филинюк Н. А. – М. : Радио и связь, 1992. – 424 с.
140. Wolff Ingo. Coplanar microwave integrated circuits / Ingo Wolff. – New Jersey : Hoboken, 2006. – 545 p.
141. Филинюк Н. А. Определение параметров транзисторного аналога индуктивности на основании S-параметров транзистора / Н. А. Филинюк // Радиоизмерения. – 1975. – Т.3. – С. 28.
142. Active microwave filters based on the combined dynamic negatrans / N. A. Filinyuk, A. M. Kuzemko, M. M. Jourban Salech and ot. // German microwave conference. – Karlsruhe, 2006. – P. 24–28.
143. Касимов Ф. Д. Синтез полупроводниковой индуктивности / Ф. Д. Касимов, Р. А. Ибрагимов, Н. А. Филинюк // Научно-технический прогресс и современная авиация. – Баку : НАА, 2009. – Т.1. – С. 303–305.
144. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно-нестійких узагальнених перетворювачів імітанса / Філінюк М. А. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 85 с.
145. Машинная оптимизация электронных узлов РЭА / А. Г. Ларин, Д. И. Томашевский, Ю. М. Шумков, В. М. Эйдельмант. – М. : Сов. Радио, 1978. – 192 с.
146. Моделирование и оптимизация на ЭВМ радиоэлектронных устройств / З. М. Бенинсон, М. Р. Елистратов, Л. К. Ильин и др. – М. : Радио и связь, 1981. – 272 с.
147. Филинюк Н. А. Невзаимный активный СВЧ фильтр / Филинюк Н. А. // Радиотехника. – 1982. – Т. 37, № 10. – С. 67–70.
148. Филинюк Н. А. Температурная стабильность активных СВЧ фильтров / Филинюк Н. А., Молчанов П. А., Павлов С. Н. // Радиотехника. – М. : Связь. – 1980, – № 12. – С. 47–49.

149. А. с. № 1566466 СССР, МКИ G03H 11/00. Активный СВЧ фильтр / Н. А. Филинук., С. Н. Павлов, А. И. Никольский, В. В. Глинский (СССР). – № 4366900 ; заяв. 18.01.88 ; опубл. 23.05.90, Бюл. № 19.

150. Некрасов М. М. Работа индуктивного СВЧ транзистора в лавинном режиме / Некрасов М. М., Осадчук В. С., Филинук Н. А. // Полупроводниковая техника и микроэлектроника. – К. : Наукова думка, АН УССР. – 1974. – Вып. 16. – С. 66–67.

151. Dill H. Inductive semiconductor elements and their application in band-pass amplifiers. // IRE Trans. – 1961. – V. MIE-5, No. 53, – P. 235–250.

152. А. с. 559310 СССР, МКИ H01P 1/10. Коаксиальный выключатель. / В. С. Осадчук, Н. А. Филинук, П. А. Молчанов (СССР). – № 2178194 ; заявл. 03.10.75 ; опубл. 25.05.77, Бюл. № 19.

153. Осадчук В. С. Исследование колебательного контура на транзисторах / Осадчук В. С., Филинук Н. А. // Радиотехника. – 1975. – Т. 30. – № 1. – С. 100–101.

154. А. с. 625274 СССР, МКИ H01P 1/20. Сверхчастотный пере-страиваемый активный фильтр. / Н. А. Филинук, П. А. Молчанов, В. С. Осадчук, В. М. Кичак, О. О. Щербицкий (СССР). – № 2335894 ; заявл. 22.03.76 ; опубл. 25.09.78, Бюл. № 35.

155. Филинук Н. А. Использование паразитных реактивностей выводов транзистора при построении резонансных СВЧ выключателей / Филинук Н. А. // Радиотехника и электроника. – 1976. – Т. 21. – С. 1125–1128.

156. Филинук Н. А. Высокодобротный управляемый реактивный элемент на полевом транзисторе с инвертируемым током канала / Филинук Н. А. // Труды Всесоюзной НТК «Специальные коммутаторные элементы». – Рязань, 1984. – С. 22–23.

157. Аронов В. Л. О системе параметров переключательных р-і-п-диодов / В. Л. Аронов // Полупроводниковые приборы и их применение. – 1969. – Т. 21. – С. 171–182.

158. Бова Н. Т. Управляющие устройства СВЧ / Н. Т. Бова, П. А. Стукало, В. А. Храмов. – К. : Техніка, 1973. – 164 с.

159. Філінюк М. А. Оцінка ефективності елементів керування на базі транзисторних узагальнених перетворювачів імітансу / М. А. Філінюк, С. М. Павлов, Ле Туан Ту. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 4. – С. 85–90.

160. Филинюк Н. А. Аналитические требования к критериям эффективности информационных устройств / Н. А. Филинюк, Ле Туан Ту, Р. А. Анфилов // Контроль і управління в технічних системах. – 1997. – Т. 2. – С. 56–62.

161. Филинюк Н. А. Определение параметров математических моделей информационных устройств на основе негатронов / Н. А. Филинюк // Негатроника. – Новосибирск : Наука, 1995. – 315 с.

162. Филинюк Н. А. Управляющие элементы на транзисторах Шоттки / Н. А. Филинюк, А. М. Куземко, Салех М. М. Журбан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 5(85). – С. 233–238.

163. Изюмова Т. Н. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии. / Изюмова Т. Н., Свиридов В. Т. – М. : Энергия, 1975 – 112 с.

164. Глушеченко Э. Н. Упрощенный метод анализа цепочечного соединения СВЧ четырехполюсников / Глушеченко Э. Н. // Технология и конструирование электронной аппаратуры. – 2003. – №3. – С. 44–45.

165. Зелях Э. В., Кисель В. А. Об измерении параметров n-полюсников // Автометрия. – 1966. – №3. – С. 3–10.

166. Фельдштейн А. Л. Синтез четырехполюсников и восьмиполюсников на СВЧ. / Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р. – М. : Связь, 1971. – 338 с.

167. А. с. № 1095102 СССР, МКИ G01R 27/28. Устройство для измерения параметров матрицы Y -проводимости четырехполюсника: / Н. А. Филинюк (СССР). – № 3487978 ; заяв. 19.08.82; опубл. 30.05.84, Бюл. № 20.

168. Філінюк М. А. Методи і засоби вимірювання параметрів безструктурних моделей багатоелектродних напівпровідникових структур. / Філінюк М. А., Гаврилов Д. В., Ліщенко С. А. // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – Спеціальний випуск. – 2002. – С. 6–10.

169. Мальтер Т. З. Параметры рассеяния высокочастотных транзисторов и методы их измерения // Средства связи. – 1978. – № 3. – С. 29–34.

170. Шварц Н. З. Система нестандартных S-параметров. / Шварц Н. З. // Микроэлектроника и полупроводниковые приборы / под ред. А. А. Васенкова, Я. А. Федотова. – М. : Сов. радио, – 1976. – Вып. 1. – С. 302–310.

171. Чернушенко А. М. Измерение параметров электронных приборов дециметрового и сантиметрового диапазонов волн / Чернушенко А. М., Майбородин А. В. ; под ред. А. М. Чернушенко. – М. : Радио и связь, 1986. – 33 с.

172. А. с. № 1141346 СССР, МКИ G01R 27/28. Устройство для измерения полных сопротивлений многополюсников: / Н. А. Филинюк (СССР). – № 3453753 ; заяв. 25.05.82; опубл. 23.02.85, Бюл. № 7.

173. Бахтин Н. А. Измерение S-параметров СВЧ транзисторов / Бахтин Н. А., Шварц Н. З. // Полупроводниковые приборы и их применение. ; под ред. Я. А. Федотова. – М. : Сов. радио, – 1970. – Вып. 23. – С. 276–284.

174. Пат. 7267. Україна, МКИ G01R 27/28. Спосіб вимірювання нестандартної системи S-параметрів в чотиріполюсника / Філінюк М. А., Огородник К. В., Лазарев О. О. заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 20041109340 ; заявл. 15.11.04 ; опубл. 15.06.05, Бюл. № 6.

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

176. Шварц Н. З. К определению инвариантного коэффициента устойчивости четырехполюсника / Н. З. Шварц // Полупроводниковые приборы и их применение. – 1972. – № 26. – С. 245–248.

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

178. Філінюк М. А. Вимірювання інваріантного коефіцієнта стійкості чотиріполюсника. / Філінюк М. А., Гаврилов Д. В., Огородник К. В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : збірник матеріалів конференції –Хмельницький, 2003. – Вип. № 10. – С. 37.

179. ГОСТ 13266-74. Измерение полных сопротивлений коаксиальных и волноводных трактов. – М. : Издательство стандартов. 1976. – 24 с.
180. А. с. № 1335892 СССР, МКИ G01R 23/02. Способ определения инвариантного коэффициента устойчивости четырехполосника / Н. А. Филинюк (СССР).– № 3993491 ; заяв. 16.12.85; опубл. 07.09.87, Бюл. № 33.
181. Філінюк М. А. Методи визначення параметрів потенційно нестійких чотириполосників / М. А. Філінюк, О. М. Возняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1995. – № 1. – С. 48–52.
182. Філінюк М. А. Визначення шумових коефіцієнтів інформаційного приладу / Філінюк М. А., Ле Туан Ту, Судакевич Д. Г. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 1. – С. 97–100.
183. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. / Степаненко И. П – М. : Энергия, 1977.
184. Транзисторы. Параметры, методы измерений и испытаний. Под ред. И. Г. Бергельсона, Ю. А. Каменецкого, И. Ф. Николаевского. – М. : Советское радио, 1968. – 504 с.
185. Аронов В. Л. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. / Аронов В. Л., Федотов Я. А. – М. : Высшая школа, 1975.
186. Шведюк А.Г. Измерение параметров физических моделей многоэлектродных полупроводниковых структур / А.Г. Шведюк, Н.А. Филинюк, Л.Б. Лищинская // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – Севастополь: СевНТУ, 2008. – С.704-705.
187. Шведюк А.Г. Експериментальний метод визначення параметрів транзистора / А.Г. Шведюк, М.А. Філінюк, Л.Б. Ліщинська // Контроль і управління в складних системах. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. – С. 10-14.
188. Man G. S. F. A microwave model for the dual-gate GaAs MESFET / Man G. S. F. // IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., Los Angeles, June. – 1981. – P. 43–45.
189. Філінюк М. А. Визначення параметрів фізичної моделі двозатворного польового транзистора Шоттки / Філінюк М. А., Гаврілов Д. В., Ліщинська Л. Б. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – №4. – С. 93–96.

ДОДАТКОВА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Філінюк М. А. Елементи та пристрої автоматики на основі не-лінійних властивостей динамічних негатронів. / Філінюк М. А., Войцеховська О. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 188 с.
2. Філінюк М. А. Практичні основи негатроніки. / Філінюк М. А., Лазарєв. О. О. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 142 с.
3. А. с. № 1038892 СССР, МКИ G01R 31/26. Способ определения максимальной частоты генерации транзистора / Н. А. Филинук (СССР). – № 3391015 ; заяв. 03.02.82 ; опубл. 30.08.83, Бюл. № 32.
4. Разевиг В. Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью MICROWAVE OFFICE. / В. Д. Разевиг, Ю. В. Потапов, А.А. Курушин. – М. : Солон–Пресс, 2003. – 496с. – ISBN 5-98003-089-1
5. А. с. № 1264115 СССР, МКИ G01R 31/26. Устройство для определения постоянной времени коллекторной цепи транзистора / И. В. Кузьмин, Н. А. Филинук, А. П. Шеремета (СССР). – № 3861825; заяв. 04.03.85 ; опубл. 15.10.86, Бюл. № 38.
6. А. с. № 1290204 СССР, МКИ G03H 11/00. Устройство для измерения полных сопротивлений многополюсников. / И. В. Кузьмин, Н. А. Филинук, А. П. Шеремета (СССР). – № 3864123 ; заяв. 04.03.85; опубл. 15.02.87, Бюл. № 6.
7. Пат. 5780. Україна, МКИ G06R 27/28. Спосіб вимірювання нестандартної системи імітансних параметрів чотиріполюсника / Лазарєв О.О., Філінюк М.А., Огородник К.В. заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u20040807002 ; заявл. 21.08.04 ; опубл. 15.03.05, Бюл. № 3.
8. Пат. 14554. Україна, МКИ G06F 17/00. Оптично керований активний НВЧ-фільтр / Філінюк М.А., Швейкіна С.Є.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200511486 ; заявл. 02.12.05 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5.
9. Пат. 14547. Україна, МКИ G06R 27/28. Активна індуктивність з оптичним керуванням / Філінюк М.А., Швейкіна С.Є.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200511460 ; заявл. 02.12.05 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5.

10. Пат. 16644. Україна, МКИ G06R 27/28. Спосіб вимірювання інваріантного коефіцієнта стійкості чотириполюсника / Огородник К.В., Філінюк М.А., Булига І.В.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200602161 ; заявл. 27.02.06 ; опубл. 15.08.06, Бюл. № 8.

11. Пат. 20993. Україна, МКИ G01R 27/28. Спосіб вимірювання коефіцієнта стійкості чотириполюсника / Філінюк М.А., Куземко О.М.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200609939 ; заявл. 18.09.06 ; опубл. 15.02.07, Бюл. № 2.

12. Пат. 38679. Україна, МКИ H03H 11/00. Активний коливальний контур / Філінюк М.А., Барабан М.В., Ліщинська Л.Б.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200808335 ; заявл. 20.06.08; опубл. 12.01.09, Бюл. № 1.

13. Пат. 42867. Україна, МКИ H03H 3/00. Реактивний елемент / Ліщинська Л.Б., Барабан М.В., Філінюк М.А.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200901538 ; заявл. 23.02.09; опубл. 27.07.09, Бюл. № 14.

14. Пат. 44300. Україна, МКИ G01R 27/28. Коливальний контур / Ліщинська Л.Б., Мірошникова С.В., Філінюк М.А.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200904771 ; заявл. 15.05.09; опубл. 25.09.09, Бюл. № 18.

15. Пат. 45889. Україна, МКИ G01R 27/28. Активний фільтр / Ліщинська Л.Б., Мірошникова С.В., Філінюк М.А.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200907332 ; заявл. 13.07.09; опубл. 25.11.09, Бюл. № 22.

16. Філінюк Н. А., Песков С. Н., Павлов С. Н. Метод определения коэффициента разделения коллекторной емкости транзистора // Электронная техника, серия 2 «Полупроводниковые приборы». – 1982. – Вып. 7 (158).

17. Філінюк Н. А. Определение максимальной частоты генерации транзистора // Электронная техника, серия 2 «Полупроводниковые приборы» – 1983. – Вып. 2.

18. Филинюк Н. А. Нестандартная система параметров четырех- полюсника / Филинюк Н. А. – Деп. в НИИНТИ Украины 13.01.84, №499 к–Д84. – 15 с.

19. Филинюк Н. А. Иммитационная модель обобщенных преобразователей иммитанса на основе многоэлектродных полупроводниковых структур : Программное средство (с реализованным алгоритмом). / Филинюк Н. А., Семеренко М. М. – Инв. № П6260 № ГР П 00 7988 от 15.10.84 ГФАП. –144 с.

20. Філінюк М. А. Критеріальна оцінка ефективності узагальнених перетворювачів імітансу / Філінюк М. А., Ле Туан Ту, Піддубний О. П. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – № 1. – С. 85–90.

21. Філінюк М. А. Вимірювання мінімально-досяжного дійсного імітансу потенційно-нестійкого чотиріполюсника. / Філінюк М. А., Гаврилов Д. В // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – №1. – С. 68–71.

22. Філінюк М. А. Аналіз методів вимірювання робочих параметрів узагальнених перетворювачів імітансу. / Філінюк М. А., Гаврилов Д. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 4. – С. 98–105.

23. Исследование максимально-достижимого коэффициента усиления двухзатворного полевого транзистора Шоттки. / Филинюк Н. А., Гаврилов Д. В., Темченко А. В., Куземко А. М. // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004, – С. 103–107.

24. Филинюк Н. А. Метод измерения нестандартной системы иммитансных параметров четырехполюсника. / Филинюк Н. А., Огородник К. В., Лазарев А. А. // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004, – С. 163–165.

25. Філінюк М. А. Спосіб вимірювання S-параметрів чотиріполюсника. / Філінюк М. А., Огородник К. В., Лазарев О. О. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 86–89.

26. Філінюк М. А. Аналіз методів вимірювання імітансних і хвильових параметрів активних чотиріполюсників. / Філінюк М. А., Ого-

родник К. В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Том 2, Ч. 1, № 4, – С. 207–209.

27. Способ измерения инвариантного коэффициента устойчивости четырехполюсника. / Филинюк Н. А., Огородник К. В., Лищинская Л. Б. и др. // Труды 16 МНТК «КРЕМИКО–2006», 11–15 сентября 2006, – Севастополь, 2007. – С. 791–792.

28. Aktive Microwave Filters based on the Combined Dynamic Negrans. / N. A. Filinyuk, A. M. Kuzemko, L. B. Lischinskaya u. o. // German Microwave Conference – GeMiC 2006 – Universitat Karlsruhe (TH) Mach 28–30, 2006.

29. Филинюк Н. А. Активные управляемые резонаторы на полевых транзисторах Шоттки. / Филинюк Н. А., Куземко А. М., Лищинская Л. Б. // 17-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 10–14 сентября 2007, – С. 535–536.

30. Vendelin G. D. Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques / Vendelin G. D., Pavio A. M., Ronde U. L. – New Jersey: Wiley–Interscience, 2005. – 1058p.

31. Обобщенные преобразователи иммитанса на основе инжекционно-пролетной транзисторной структуры с общим истоком. [Электронный ресурс] / Лищинская Л. Б., Булыга И. В., Шведюк А. Г., Филинюк Н. А. // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – 18 с. – Режим доступу до журн. : http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-2/2008-2_ru.htm

32. Пат. 9563. Україна, МКИ G01R 27/28. Спосіб визначення граничної частоти потенціально-нестійкого чотириполюсника / Філінюк М. А., Гаврилов Д. В., Швейкіна С. Є.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 20041210450 ; заявл. 20.12.04 ; опубл. 17.10.05, Бюл. № 10.

33. Пат. 20996. Україна, МКИ G01R 27/28. Спосіб вимірювання інваріантного коефіцієнта стікості чотириполюсника / Філінюк М.А., Куземко О. М.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200609943 ; заявл. 18.09.06 ; опубл. 15.02.07, Бюл. № 2.

34. Пат. 41314. Україна, МКИ G01R 27/28. Установа для вимірювання граничної частоти одноперехідного транзистора / Ліщинська Л. Б., Шведюк А. Г., Філінюк М. А.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200900490 ; заявл. 23.01.09 ; опубл. 12.05.09, Бюл. № 9.

35. Філінюк М.А. Метрологічні основи негatronіки : Монографія. / М.А. Філінюк, Д.В. Гаврилов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. – 188 с. – ISBN 966–641–168–7

36. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі.: Монографія. / Філінюк М. А., Куземко О. М., Ліщинська Л. Б. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 274 с. – ISBN 978–966–641-332–4

Наукове видання

**Філінюк Микола Антонович
Ліщинська Людмила Броніславівна**

АКТИВНІ УВЧ І НВЧ ФІЛЬТРИ

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено Л. Ліщинською

Підписано до друку 10.09.2010 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 22,87
Наклад 100 прим. Зам № 2010-155

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.