

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛАЗАРЄВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.3.016.35;621.3.088.3

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА ЧУТЛИВОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИКИ НА БАЗІ
L-, C-НЕГАТРОНІВ**

Спеціальність 05.13.05 – Елементи та пристрої обчислювальної техніки
та систем керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Вінницькому державному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Філинюк Микола Антонович,
Вінницький державний технічний університет,
завідувач кафедри проектування комп'ютерної
та телекомунікаційної апаратури.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Багацький Валентин Олексійович,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН
України, провідний науковий співробітник відділу
перетворювачів форм інформації, м. Київ.

доктор технічних наук, професор
Готра Зенон Юрійович,
Національний університет "Львівська політехні-
ка", завідувач кафедрою електронних апаратів,
м. Львів.

Провідна установа: Науково-виробнича корпорація "Київський інсти-
тут автоматки" Міністерства промислової полі-
тики України, м. Київ.

Захист відбудеться 27.06.2003р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 05.052.01 у Вінницькому державному технічному університеті за адре-
сою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького державного тех-
нічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий 27.05.2003р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Захарченко С.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність сучасних елементів автоматики базується на ряді факторів, таких як наявність нових алгоритмів, використання досягнень технології, використання нових принципів, і т.д. Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності елементів автоматики є використання при їх розробці сучасних досягнень нових напрямків електроніки. Одним із таких напрямків є "Негатроніка". Цей напрямок електроніки пов'язаний з теорією та практикою створення та використання негатронів – електронних приладів, що в деякому режимі роботи мають від'ємне значення основного диференційного параметра (від'ємні активний опір, індуктивність, ємність). Використання досягнень негатроніки вже на даний час дало результати, які визначають розвиток ряду електронних систем. Тільки напівпровідникових негатронів створено більше двох десятків різновидів. Серед них найпотужніші надвисокочастотні прилади – лавинно-пролітні діоди, найшвидкодійні ключі на лавинних транзисторах, найпотужніші напівпровідникові струмові перемикачі на динисторах та тиристорах.

Науковий напрямок "Негатроніка" був вперше визначений д.т.н., професором М.А. Філінюком в 1985 році. Цьому передувала публікація ряду робіт радянських та закордонних авторів, таких як О.В. Лосєв, У. Шоклі (W. Shockley), Ганн (J.V. Gunn), Л. Есакі (L. Esaki), С.А. Гаряїнов, І.Д. Абезгауз, Ф. Бенінг, В.П. Дьяконов, А.С. Тагер, Л.Н. Степанова, О.Н. Негоденко, Ф.Д. Касимов, В.С. Осадчук, П.А. Молчанов та ін., в яких узагальнені результати як теоретичних так і практичних досліджень. Кожна з цих публікацій внесла значний вклад в розвиток негатроніки. Однак необхідно зауважити, що більшість робіт присвячені R-негатронам, і значно менша частина – теорії та практиці створення та використання елементів на базі L-, C-негатронів. L-, C-негатрони являються багатofункціональними електронними приладами, використання яких дозволяє покращити техніко-економічні показники елементів автоматики, підвищити їх ефективність та створити якісно нові елементи на базі L-, C-негатронів. Проте на даний час відсутні систематичні теоретичні основи побудови елементів автоматики на базі L-, C-негатронів, зокрема не досліджені такі важливі питання як енергетичні властивості L-, C-негатронів, стійкість і чутливість електронних схем з L-, C-негатронами, елементів автоматики на їх основі. Проблеми стійкості та чутливості актуальні для елементів на базі L-, C-негатронів ще й тому, що вони є потенційно-нестійкими, і взагалі є більш чутливими до зміни різних параметрів схеми.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури Вінницького державного технічного університету згідно з планом наукових досліджень Вінницького державного технічного університету і Міністерства освіти і науки України в рамках держбюджетних тем: 50-Д-223 "Розробка теоретичних основ негатроніки та математичного моделювання електронних кіл обробки сигналів" (2000-2001pp.), номер державної реєстрації 0100U002932; 50-Д-259 "Дослідження фізико-технічних процесів в багатоелектродних потенційно-нестійких структурах і розробка методів та засобів моделювання енерге-

тично-ефективних інформаційних пристроїв на базі принципів динамічної негatronіки” (2002р.), номер державної реєстрації 0102U002259, у виконанні яких автор брав безпосередню участь в якості відповідального виконавця, і відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки та техніки в Україні "5. Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства".

Мета і задачі досліджень. Метою досліджень є покращення технічних характеристик елементів автоматики за рахунок використання L-, C-негатронів.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються наступні **задачі**:

1. Дослідження енергетичних властивостей L-, C-негатронів N- та S-типів та визначення взаємозв'язку між видом вебер-амперної, кулон-вольтної характеристик та еквівалентними схемами L-, C-негатронів.

2. Дослідження стійкості та визначення можливих режимів роботи електронних схем з L-, C-негатронами в залежності від співвідношення параметрів елементів еквівалентних схем L-, C-негатронів та параметрів навантаження.

3. Дослідження чутливості електронних схем з L-, C-негатронами в залежності від виду включення L-, C-негатронів в електронне коло та співвідношення параметрів елементів електронного кола та L-, C-негатронів.

4. Дослідження динамічних негатронів на базі біполярних і польових транзисторів як базових елементів при створенні ряду пристроїв автоматики на базі динамічних RLC-негатронів.

5. Дослідження коливальних контурів з L-, C-негатронами, що є базовими елементами при створенні ряду пристроїв автоматики.

6. Розробка та дослідження ряду елементів автоматики на базі L-, C-негатронів (індуктивних та ємнісних сенсорів на базі L-, C-негатронів, аналогових високочастотних ключів на C-негатронах).

Об'єктом досліджень є процес створення високоефективних елементів автоматики на базі L-, C-негатронів.

Предметом досліджень є стійкість та чутливість елементів автоматики на базі L-, C-негатронів.

Методи досліджень. Використані в дисертаційній роботі методи базуються на: теорії апроксимації для апроксимації вебер-амперних і кулон-вольтних характеристик L-, C-негатронів N-, S-типів; теорії стійкості для визначення умов стійкості та можливих режимів роботи навантажених L-, C-негатронів та елементів автоматики на їх основі; теорії чутливості для визначення абсолютних та відносних чутливостей електронних схем з L-, C-негатронами та елементів автоматики на їх основі; теорії аналізу електронних схем для визначення основних параметрів елементів автоматики на базі L-, C-негатронів; теорії планування експерименту та комп'ютерному моделюванні для експериментальної перевірки одержаних теоретичних положень.

Наукова новизна одержаних результатів. В роботі отримані наступні наукові результати:

1. Вперше визначенні енергетичні властивості L-, C-негатронів, що дозволило визначити взаємозв'язок між видом вебер-амперної, кулон-вольтної характеристик та еквівалентними схемами L-, C-негатронів.

2. Вперше визначені умови стійкості та можливі режими роботи електро-

них схем з L-, C-негатронами N- і S-типів, що дозволило показати, що L-, C-негатрони є універсальними багатофункціональними елементами, і, в залежності від параметрів навантаження, та положення робочої точки L-, C-негатронів, можна одержати такі режими роботи електронних схем з L-, C-негатронами: генерація релаксаційних коливань, робота в якості нелінійного елемента (детектування, змішування, обмеження) з підсиленням, перемиканням, підсиленням.

3. Вперше визначена чутливість електронних схем з L-, C-негатронами в залежності від типу включення L-, C-негатронів в електронне коло та співвідношення параметрів елементів електронного кола та L-, C-негатронів, що дозволило показати, що наявність в колі від'ємної індуктивності (ємності) призводить до збільшення чутливості сумарної індуктивності (ємності) схеми. Використання даної властивості електронних схем з L-, C-негатронами зокрема дозволяє підвищити чутливість індуктивних та ємнісних сенсорів, а відповідно і точність вимірювання неелектричних фізичних величин.

4. Дістало подальший розвиток дослідження впливу зворотного зв'язку на параметри динамічних негатронів на біполярному та польовому транзисторах в схемах включення з спільним емітером та спільним витоком, визначені умови стійкості та чутливість вихідного опору таких динамічних негатронів, що дало необхідне теоретичне підґрунтя для використання їх як базових елементів при створенні ряду пристроїв автоматики на базі динамічних RLC-негатронів.

5. Вперше визначені характеристики послідовного та паралельного коливальних контурів з L-, C-негатронами, визначені умови стійкості та чутливість, що дозволяє створювати нові високоефективні пристрої автоматики на їх основі.

Практичне значення одержаних результатів. Використання одержаних результатів дозволяє покращити характеристики існуючих елементів та пристроїв автоматики та розробити нові високоефективні пристрої на базі L-, C-негатронів.

На основі одержаних теоретичних положень розроблені схеми високочутливих індуктивних та ємнісних негасенсорів на схемотехнічних аналогах L-, C-негатронів, чутливість яких більша в 20 - 40 разів у порівнянні до прототипів. При цьому крутизна перетворення даних негасенсорів є частотонезалежною в широкому діапазоні частот.

В результаті проведених досліджень запропоновано схеми широкосмугових високочастотних аналогових ключів на C-негатронах, що характеризуються малими втратами сигналу в режимі "відкрито" або підсиленням, малими габаритами та вагою, електричним керуванням та надмалими керуючими потужностями, можливістю виготовлення в напівпровідниковій інтегральній схемі. Відносна смуга пропускання розроблених ключів становить понад 160% і якість понад 800. Залежність коефіцієнтів затухання ключів від напруги зміщення C-негатронів дозволяє використовувати їх в якості атенюаторів з електронним керуванням.

Результати досліджень проваджені та використовуються в НДІ "Гелій" (м. Вінниця), ВАТ "Укртелеком" – Центр інформаційних технологій та технічного забезпечення (м. Хмельницький), а також в навчальному процесі в Вінницькому державному технічному університеті на кафедрі проектування

комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури при вивченні дисциплін "Основи негатроніки" та "Електронні пристрої на елементах з негативним опором", в навчальному процесі Технологічного університету Поділля (м. Хмельницький) при вивченні дисципліни "Основи негатроніки". Впровадження підтверджуються відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належить: дослідження енергетичних властивостей L- [1] та C-негатронів [2]; визначення математичних виразів для оцінки впливу кола зворотного зв'язку на параметри динамічних негатронів на польовому [3] біполярному [7] транзисторах; схеми високочастотних аналогових ключів на C-негатронах, визначення їх основних параметрів, умов стійкості та чутливості [4, 5]; визначення основних параметрів параметричних стабілізаторів на негатронах [6]; аналіз чутливості електронних кіл з L-, C-негатронами, схеми індуктивних та ємнісних негасенсорів, визначення їх чутливості та умов стійкості [8, 9, 13].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи обговорювалися на: міжнародних науково-технічних конференціях: "Контроль і управління в складних системах" (м. Вінниця, 1999р.); "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" (м. Хмельницький, 2001р.); "Людина і космос" (м. Дніпропетровськ, 2001р.); "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке" (м. Харків, 2001р.); "Optoelectronic Information-Energy Technologies" (м. Вінниця, 2001р.); "Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе" (Баку-Сумгаїт, Азербайджан, 2001р.); "Контроль і управління в складних системах" КУСС-2001 (м. Вінниця, 2001р.); щорічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників і студентів ВДТУ (1999-2002рр.); наукових семінарах кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури ВДТУ.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 15 друкованих праць, з яких 5 статей у наукових журналах, що відповідають переліку ВАК України, 2 депоновані статті, 7 публікацій у збірниках наукових праць міжнародних науково-технічних конференцій, один патент України.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, що містять 88 рисунків і 6 таблиць, основних висновків по роботі, списку використаних джерел (199 найменування) і 7 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 246 сторінок, з яких основний зміст викладено на 153 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відображені актуальність проблеми, мета і задачі дослідження, наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення, наведені відомості про публікації, впровадження, обсяг та апробацію роботи.

В першому розділі розглянуті фізико-технічні рішення побудови фізичних негатронів та їх схемотехнічних аналогів. Проаналізовані методи дослідження стійкості та чутливості негатронів і елементів автоматики на їх основі.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми визначені основні напрямки досліджень.

В другому розділі досліджені стійкість та чутливість навантажених С-негатронів. Визначені енергетичні властивості С-негатронів, стійкість, можливі режими роботи та чутливість електронних схем з С-негатронами.

Існує клас ємнісних елементів та їх схемотехнічних аналогів, у яких спостерігається від'ємне значення диференційної ємності ($C^{(-)} = dq/du < 0$). Такі елементи одержали назву С-негатрони. Їх можна поділити на статичні та динамічні. Статичні С-негатрони мають кулон-вольтні характеристики (КВХ) N- та S-типів, на яких спостерігається падаюча ділянка, де значення диференційної ємності є від'ємним. З практичної точки зору реалізації таких елементів або проектування пристроїв автоматики на їх основі виникає задача представлення С-негатронів еквівалентними схемами. Це можливо зробити шляхом аналізу енергетичних властивостей таких елементів.

Застосувавши кусочно-лінійну апроксимацію (рис. 1а, 2а) були одержані аналітичні вирази для кулон-вольтних характеристик С-негатронів N-типу

$$q(u) = \begin{cases} k_1 u, & \text{якщо } u < U_{\Pi}; \\ -k_2 u + (k_2 U_{\Pi} + Q_{\Pi}), & \text{якщо } U_{\Pi} \leq u \leq U_3; \\ k_3 u - (k_3 U_3 - Q_3), & \text{якщо } u > U_3, \end{cases}$$

та S-типу

$$u(q) = \begin{cases} k_1 q, & \text{якщо } q < Q_{\Pi}; \\ -k_2 q + (k_2 Q_{\Pi} + U_{\Pi}), & \text{якщо } Q_{\Pi} \leq q \leq Q_3; \\ k_3 q - (k_3 Q_3 - U_3), & \text{якщо } q > Q_3, \end{cases}$$

де k_1 , k_2 і k_3 - модулі куткових коефіцієнтів прямих, що апроксимують КВХ відповідно на ділянках 1, 2 і 3; U_{Π} - напруга піка, тобто напруга в точці максимуму кулон-вольтної характеристики; U_3 - напруга западини, тобто напруга в точці мінімуму кулон-вольтної характеристики; Q_{Π} - піковий заряд - заряд, що відповідає піковій напрузі U_{Π} ; Q_3 - заряд западини - заряд, що відповідає напрузі западини U_3 .

Виходячи з яких, з урахуванням відомої формули для енергії нелінійної ємності $W_C = \int_0^q u dq$, були одержані аналітичні вирази для енергії С-негатронів N-типу

$$W_C = \begin{cases} \frac{1}{2} k_1 u^2, & \text{якщо } u < U_{\Pi}; \\ -\frac{1}{2} k_2 u^2 + \frac{1}{2} U_{\Pi}^2 (k_1 + k_2), & \text{якщо } U_{\Pi} \leq u \leq U_3; \\ \frac{1}{2} k_3 u^2 - \frac{1}{2} U_{\Pi}^2 (k_1 + k_2) - \frac{1}{2} U_3^2 (k_2 + k_3), & \text{якщо } u > U_3. \end{cases}$$

S-типу

$$W_C = \begin{cases} \frac{1}{2}k_1q^2, & \text{якщо } q < Q_{\text{п}}; \\ -\frac{1}{2}k_2q^2 + (k_2Q_{\text{п}} + U_{\text{п}})q + \frac{1}{2}k_1Q_{\text{п}}^2 - \frac{1}{2}k_2Q_{\text{п}}^2 - Q_{\text{п}}U_{\text{п}}, & \text{якщо } Q_{\text{п}} \leq q \leq Q_3; \\ \frac{1}{2}k_3q^2 - (k_3Q_3 - U_3)q + Q_3\left(\frac{1}{2}k_3Q_3 - U_3 - \frac{1}{2}k_2Q_3 + U_{\text{п}}\right) + \\ + Q_{\text{п}}\left(Q_3k_2 + \frac{1}{2}k_1Q_{\text{п}} - \frac{1}{2}k_2Q_{\text{п}} - U_{\text{п}}\right), & \text{якщо } q > Q_3. \end{cases}$$

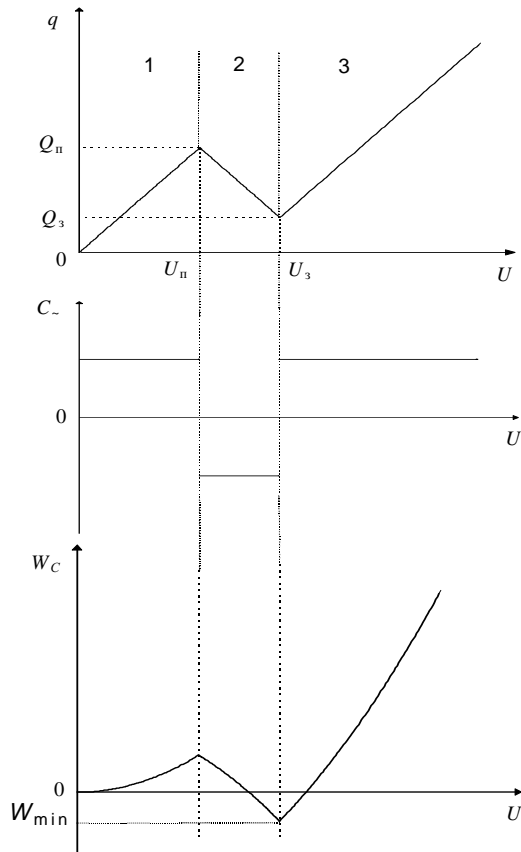


Рис. 1. Апроксимація кулон-вольтової характеристики N-типу (а); залежність диференційної ємності від напруги (б) та енергії C-негатрона N-типу від напруги (в)

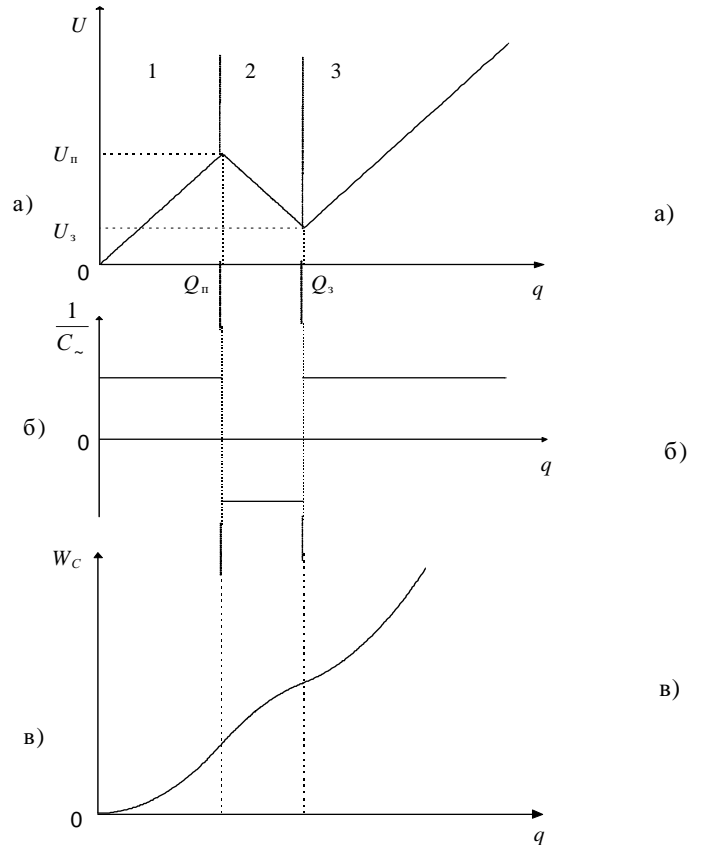


Рис. 2. Апроксимація кулон-вольтової характеристики S-типу (а); залежність оберненої диференційної ємності від заряду (б) та енергії C-негатрона S-типу від заряду (в)

З одержаних графіків для енергії C-негатронів (рис. 1в, 2в) видно, що в інтервалі значень напруги ($U_{\text{п}}, U_3$) енергія C-негатрона N-типу зменшується і може стати від'ємною за виконання певних умов. Тобто при цьому C-негатрон віддає енергію в зовнішнє коло, для чого він повинен містити внутрішнє джерело живлення, і таким чином є активним елементом. Його еквівалентна схема для ділянки КВХ, де диференційна ємність є від'ємною, складається з послідовного з'єднання від'ємної ємності $C^{(-)}$ та від'ємного активного опору $R^{(-)}$. C-негатрон S-типу є пасивним елементом, так як енергія, що ним споживається, є додатною на всьому проміжку значень заряду, і його еквівалентна схема для ділянки КВХ, де значення диференційної ємності є від'ємним, складається з послідовного з'єднання від'ємної ємності $C^{(-)}$ та додатного активного опору R .

Одним з центральних питань теорії кіл з С-негатронами є визначення умов стійкості, так як наявність від'ємної ємності робить такі кола потенційно нестійкими. Задача визначення умов стійкості С-негатрона без наявності інших додаткових елементів схеми немає сенсу. Проблема стійкості виникає тільки тоді, коли С-негатрон працює разом із зовнішнім колом, тобто є навантаженим. У цьому випадку необхідно з'ясувати при яких опорах навантаження схема з С-негатроном залишається стійкою.

Найпростішу еквівалентну схему навантаженого С-негатрона N-типу, з урахуванням його еквівалентної схеми, можна представити в вигляді рис. 3, де

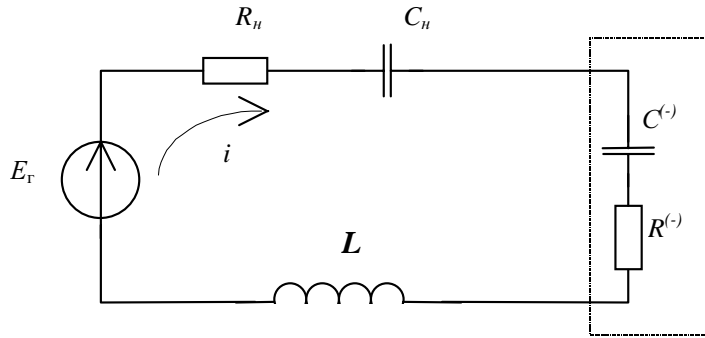


Рис. 3. Еквівалентна схема навантаженого С-негатрона N-типу

враховані: R_n - загальний активний опір навантаження та внутрішнього опору джерела живлення; C_n - ємність навантаження; L - сумарна індуктивність навантаження та С-негатрона; $C^{(-)}$, $R^{(-)}$ - від'ємні диференційні ємність і активний опір С-негатрона N-типу; $E_Г$ - електрорушійна сила джерела живлення.

Схема на рис. 3 описується диференціальним рівнянням:

$$E_Г = iR + u_C + L \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

$$\text{де } R = R_n + R^{(-)}, u_C = u_{C_n} + u_{C^{(-)}}, i = C \frac{du_C}{dt}, C = \frac{C_n \cdot C^{(-)}}{C_n + C^{(-)}},$$

u_{C_n} - напруга на ємності навантаження, $u_{C^{(-)}}$ - напруга на від'ємній диференційній ємності С-негатрона.

Вважаючи елементи $C^{(-)}$, $R^{(-)}$ лінійними, що справедливо для режиму малого сигналу, характеристичне рівняння схеми, виходячи з (1), становить:

$$\lambda^2 + \sigma\lambda + p = 0,$$

$$\text{де } \sigma = \frac{R_n + R^{(-)}}{L}, p = \frac{C_n + C^{(-)}}{LC_n C^{(-)}}, \lambda_{1,2} = -\frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} - p},$$

$\lambda_{1,2}$ - корені характеристичного рівняння.

Виходячи з (1) і умови рівноваги $\frac{di}{dt} = 0$ і $\frac{du}{dt} = 0$, знайдемо рівняння прямої навантаження: $q(u) = (E_Г - u)C_n$. Таким чином, положення рівноваги є точками перетину кулон-вольтової характеристики С-негатрона N-типу з прямою навантаження. Таких точок перетину може бути або одна, або три (рис. 4). Для випадку, коли $|C^{(-)}| > C_n$, пряма навантаження (рис. 4,а) перетинає кулон-вольтову характеристику в трьох точках (три положення рівноваги). Якщо

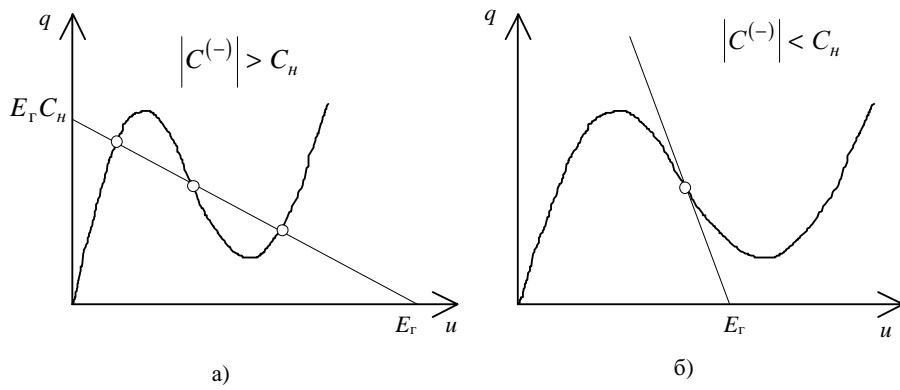


Рис. 4. Можливі положення прямої навантаження для С-негатронів N-типу

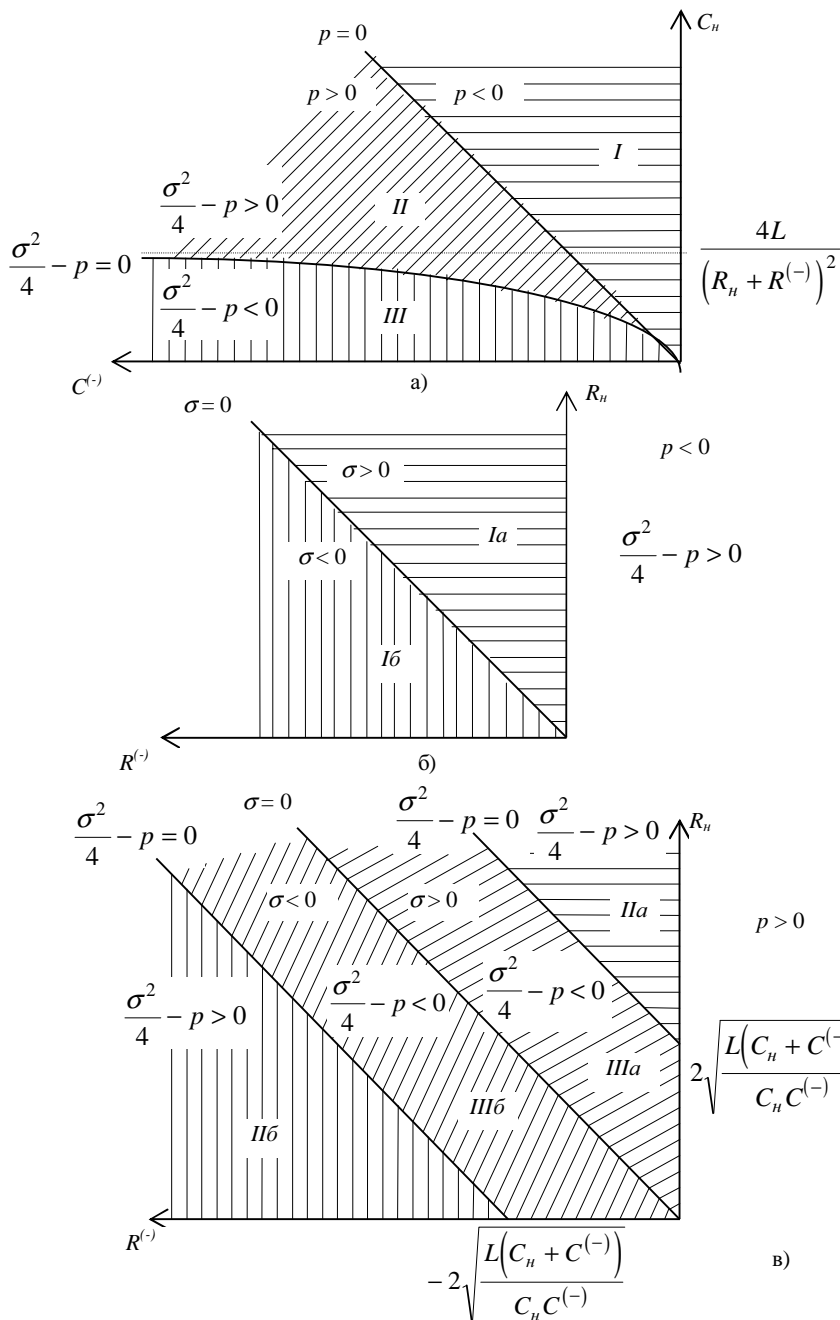


Рис. 5. Діаграми стійкості, що визначають режим роботи навантаженого С-негатрона N-типу

$|C^{(-)}| < C_n$, маємо тільки одне положення рівноваги (рис. 4,б).

Для стійкості систем другого порядку за алгебраїчним критерієм стійкості Рауса-Гурвіца необхідно та достатньо, щоб виконувалися одночасно дві умови: $\sigma > 0$; $p > 0$. Значення коефіцієнтів σ і p залежать від параметрів елементів схеми. Тому при зміні активного опору та ємності навантаження або напруги зміщення С-негатрона N-типу, змінюється режим роботи схеми. Виходячи з граничних умов при яких коефіцієнти характеристичного рівняння (1) та підкореновий вираз для коренів характеристичного рівняння звертаються в нуль можна побудувати діаграми стійкості (рис. 5), які ділять площину параметрів $C^{(-)}C_n$, $R^{(-)}R_n$ на шість областей (Ia - IIIб), що будуть визначати можливі режими роботи навантаженого С-негатрона N-типу. З наведеного аналізу стійкості видно, що схема з С-негатроном N-типу буде стійкою за одночасного виконання умов:

$$C_n < |C^{(-)}|; R_n > |R^{(-)}|.$$

Аналогічно було проведено дослідження стійкості навантаженого С-негатрона S-типу. Результати досліджень зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

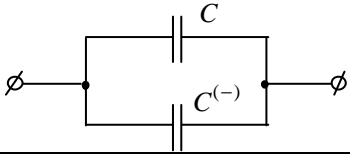
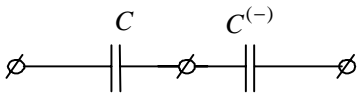
Можливі режими роботи електронних схем з С-негатронами

Область	p	σ	$\frac{\sigma^2}{4} - p$	Режим роботи
1	2	3	4	5
С-негатрон N-типу				
1	2	3	4	5
<i>Ia</i>	< 0 $C_n > C^{(-)} $	> 0 $R_n > R^{(-)} $	$> \frac{\sigma^2}{4}$	Генерація релаксаційних коливань
<i>Iб</i>	< 0 $C_n > C^{(-)} $	< 0 $R_n < R^{(-)} $	$> \frac{\sigma^2}{4}$	Генерація релаксаційних коливань
<i>IIa</i>	> 0 $C_n < C^{(-)} $	> 0 $R_n > R^{(-)} $	$\frac{\sigma^2}{4} > \frac{\sigma^2}{4} - p > 0$	Робота в якості нелінійного елемента (перетворення, змішування) з підсиленням
<i>IIб</i>	> 0 $C_n < C^{(-)} $	< 0 $R_n < R^{(-)} $	$\frac{\sigma^2}{4} > \frac{\sigma^2}{4} - p > 0$	Перемикання
<i>IIIa</i>	> 0 $C_n < C^{(-)} $	> 0 $R_n > R^{(-)} $	< 0	Підсилення
<i>IIIб</i>	> 0 $C_n < C^{(-)} $	< 0 $R_n < R^{(-)} $	< 0	Перемикання
С-негатрон S-типу				
1	2	3	4	5
<i>I</i>	< 0 $C_n > C^{(-)} $	> 0	$> \frac{\sigma^2}{4}$	Перемикання
<i>II</i>	> 0 $C_n < C^{(-)} $	> 0	$\frac{\sigma^2}{4} > \frac{\sigma^2}{4} - p > 0$	Робота в якості нелінійного елемента (перетворення, змішування)
<i>III</i>	> 0 $C_n < C^{(-)} $	> 0	< 0	Робота в якості нелінійного елемента

Чутливість є одним з основних питань синтезу електронних пристроїв. Потенційна-нестійкість елементів на базі L-, С-негатронів робить питання чутливості ще більш актуальним, внаслідок їх більшої чутливості до зміни різних параметрів елементів схеми.

Основним параметром С-негатронів є величина від'ємної диференційної ємності $C^{(-)}$. Взагалі можливі два включення від'ємної ємності в електричне коло: паралельно та послідовно до додатної ємності кола C . Основний параметр, яким буде характеризуватися таке коло - це сумарна ємність C_{Σ} . Основні результати дослідження чутливості таких кіл зведені в табл. 2.

Чутливості електронних ємнісних кіл з С-негатронами

Схема електрична		
Сумарна ємність кола	$C_{\Sigma} = C + C^{(-)}$	$C_{\Sigma} = \frac{C \cdot C^{(-)}}{C + C^{(-)}}$
Абсолютна чутливість	$S(C_{\Sigma}, C) = \frac{dC_{\Sigma}}{dC} = 1$	$S(C_{\Sigma}, C) = \frac{dC_{\Sigma}}{dC} = \left(\frac{C^{(-)}}{C + C^{(-)}} \right)^2$
Відносна чутливість	$S_C^{C_{\Sigma}} = \frac{C}{C_{\Sigma}} = \frac{C}{C + C^{(-)}}$	$S_C^{C_{\Sigma}} = \frac{C^{(-)}}{C + C^{(-)}}$

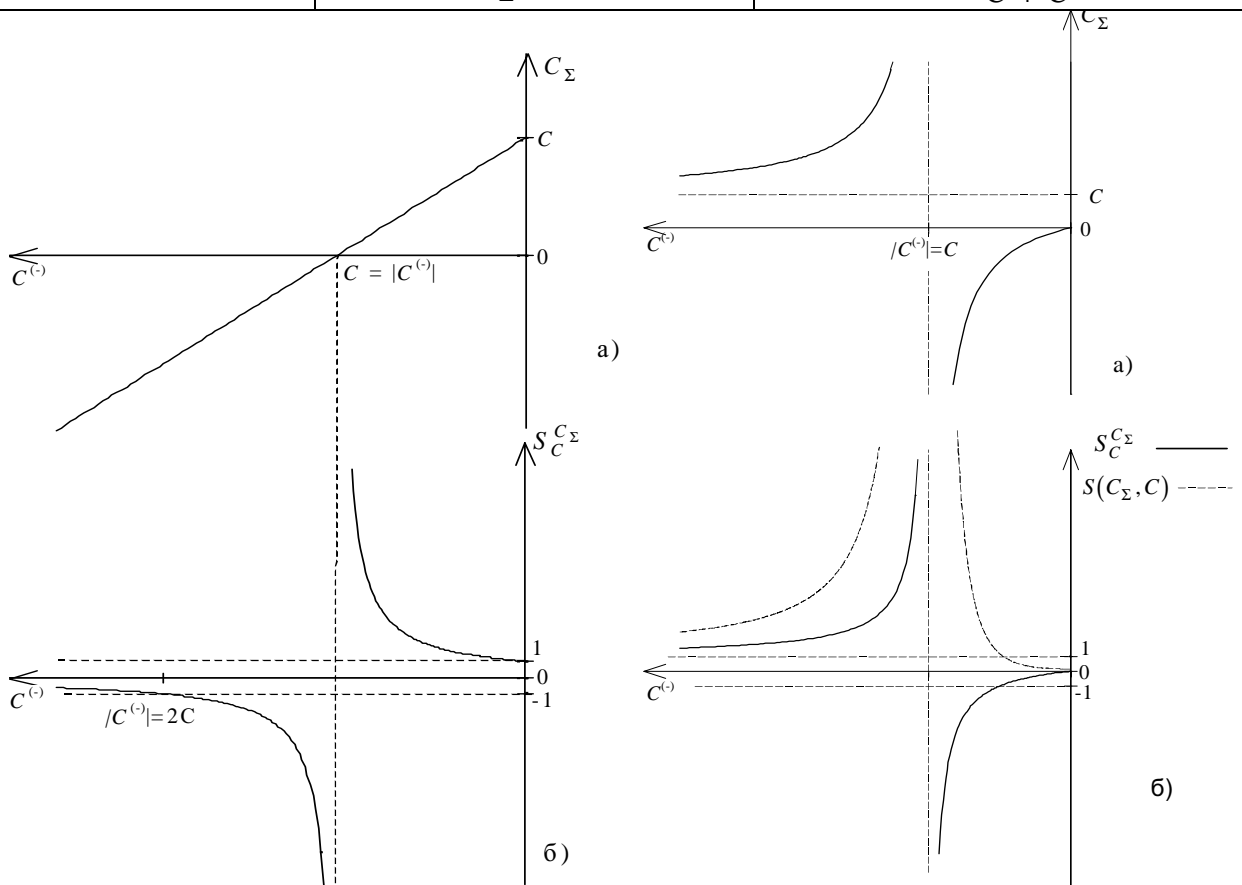


Рис. 6. Залежність сумарної ємності C_{Σ} паралельного з'єднання додатної C та від'ємної $C^{(-)}$ ємностей (а) та залежність відносної чутливості сумарної ємності $S_C^{C_{\Sigma}}$ (б) від значення $C^{(-)}$

Рис. 7. Залежність сумарної ємності C_{Σ} послідовного з'єднання додатної C та від'ємної $C^{(-)}$ ємностей (а) та залежність абсолютної відносної чутливості сумарної ємності $S(C_{\Sigma}, C)$ та відносної $S_C^{C_{\Sigma}}$ чутливостей сумарної ємності до зміни додатної ємності C (б)

З графіків на рис. 6, 7 видно, що включення від'ємної ємності призводить до збільшення чутливості сумарної ємності кола C_{Σ} . За умови $C^{(-)} = -C$ відносна чутливість сумарної ємності кола прямують до нескінченності. Фактично це свідчить про те, що схема набуває значної чутливості і переходить в нестійкий режим роботи.

Третій розділ присвячений дослідженню стійкості та чутливості навантажених L-негатронів. Визначені енергетичні властивості L-негатронів, стійкість, можливі режими роботи та чутливість електронних схем з L-негатронами.

Існує клас елементів та їх схемотехнічних аналогів, у яких спостерігається від'ємне значення диференційної індуктивності ($L^{(-)} = d\psi/di < 0$). Такі елементи одержали назву L-негатрони. Їх можна поділити на статичні та динамічні. Статичні L-негатрони мають вебер-амперні характеристики N- та S-типу, на яких спостерігається падаюча ділянка, де значення диференційної індуктивності є від'ємним. З практичної точки зору реалізації таких елементів та пристроїв автоматики на їх основі виникає задача представлення L-негатронів еквівалентними схемами. Це можливо зробити шляхом аналізу енергетичних властивостей таких елементів. Проведене дослідження енергетичних властивостей L-негатронів аналогічно до дослідження енергетичних властивостей C-негатронів показало, що енергія L-негатрона N-типу зменшується на ділянці від'ємної індуктивності і за певних умов може стати від'ємною, тобто такий негатрон має містити внутрішнє джерело живлення, є активним приладом і його еквівалентна схема для ділянки вебер-амперної характеристики, де диференційна індуктивність є від'ємною, складається з паралельного з'єднання від'ємної індуктивності $L^{(-)}$ та від'ємного активного опору $R^{(-)}$. L-негатрон S-типу є пасивним елементом і його еквівалентна схема для ділянки вебер-амперної характеристики, де значення диференційної індуктивності є від'ємним, складається з паралельного з'єднання від'ємної індуктивності $L^{(-)}$ та додатного активного опору R .

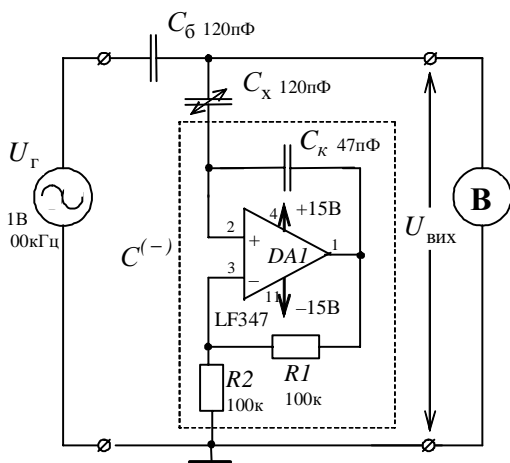
Виходячи з принципу дуальності L- та C-негатронів N-, S-типів, та зробивши підстановки за правилами дуального переходу змінних та коефіцієнтів при них, було проведено аналогічне дослідження стійкості навантажених L-негатронів. Еквівалентна схема навантаженого L-негатрона N-типу є дуальною еквівалентній схемі навантаженого C-негатрона N-типу. Еквівалентна схема навантаженого L-негатрона S-типу є дуальною еквівалентній схемі навантаженого C-негатрона S-типу. Проведено дослідження показало, що можливі режими роботи навантажених L-негатронів не відрізняються від можливих режимів роботи навантажених C-негатронів у відповідних областях на діаграмі стійкості.

Аналогічно до проведеного дослідження чутливості електронних кіл з C-негатронами, було проведено дослідження чутливості електронних кіл з L-негатронами. Результати досліджень є дуальними. Показано, що наявність в колі від'ємної індуктивності призводить до збільшення чутливості сумарної індуктивності кола, до дозволяє використовувати дану властивість для збільшення чутливості індуктивних сенсорів.

Четвертий розділ присвячений розробці та дослідженню елементів автоматики на L-, C-негатронах. Дослідженні динамічні негатрони на біполярних та польових транзисторах в схемах включення з спільним емітером і спільним витоком, коливальні контури на L-, C-негатронах як базові елементи для створення ряду пристроїв автоматики. Розроблені та досліджені індуктивні та ємнісні негасенсори на схемотехнічних аналогах L-, C-негатронів, результати досліджень яких зведені в табл. 3.

Основні параметри ємнісних та індуктивних сенсорів на базі L-, C-негатронів

Схема сенсора	Основні параметри
	$U_{\text{вих}} = U_r \frac{C_6 (C^{(-)} + C_x)}{C_6 (C^{(-)} + C_x) + C_x C^{(-)}};$ $S(U_{\text{вих}}, C_x) = -U_r \frac{C_6 C^{(-)2}}{(C_x C^{(-)} + C_6 C^{(-)} + C_6 C_x)^2};$ $S_{C_x}^{U_{\text{вих}}} = -\frac{C_x C^{(-)2}}{(C_x C^{(-)} + C_6 C^{(-)} + C_6 C_x)(C^{(-)} + C_x)}.$
	$U_{\text{вих}} = U_r \frac{C_6}{C_x + C_6 + C^{(-)}};$ $S_{C_x}^{U_{\text{вих}}} = -\frac{C_x}{C_x + C_6 + C^{(-)}};$ $S(U_{\text{вих}}, C_x) = -U_r \frac{C_6}{(C_x + C_6 + C^{(-)})^2}.$
	$U_{\text{вих2}} = U_r \frac{L^{(-)} + L_x}{L_6 + L_x + L^{(-)}};$ $K_{\text{пер2}} = \frac{dU_{\text{вих2}}}{dL_x} = U_r \frac{L_6}{(L_x + L_6 + L^{(-)})^2};$ $S_{L_x}^{U_{\text{вих2}}} = \frac{dU_{\text{вих2}}}{dL_x} \frac{L_x}{U_{\text{вих2}}} = -\frac{L_x L_6}{(L_x + L_6 + L^{(-)})(L^{(-)} + L_x)}.$
	$U_{\text{вих3}} = U_r \frac{L_x L^{(-)}}{L_x L_6 + L_6 L^{(-)} + L_x L^{(-)}};$ $K_{\text{пер3}} = \frac{dU_{\text{вих3}}}{dL_x} = U_r \frac{L_6 L^{(-)2}}{(L_x L_6 + L_6 L^{(-)} + L_x L^{(-)})^2};$ $S_{L_x}^{U_{\text{вих3}}} = -\frac{L_6 L^{(-)}}{L_6 (L^{(-)} + L_x) + L_x L^{(-)}}.$



На рис. 8 приведена схема ємнісного сенсора на схемотехнічному аналогу C-негатрона реалізованому на конверторі від'ємного опору мостового типу на операційному підсилювачі. Для даної схеми максимальна одержана крутизна перетворення склала -70,2 мВ/пФ, тобто вдалося збільшити крутизну перетворення в 33,7 разів в порівнянні до прототипу (схеми без C-негатрона). Основні параметри даного негасенсора є частотнезалежними в широкому діапазоні частот

Рис. 8 Схема ємнісного сенсора на схемотехнічному аналогу C-негатрона

($\approx 0,1 f_{gp}$, де f_{gp} - гранична частота операційного підсилювача), і зведені в табл. 4.

Розроблені та досліджені схеми аналогових високочастотних ключів на C-негатронах, що характеризуються малими втратами сигналу в режимі “від-

Основні параметри ємнісного сенсора на схемотехнічному аналогу С-негатрона

	$U_{\text{вих}}, \text{В}$	$K_{\text{пер}}, \text{МВ/пФ}$	$S_{C_{\text{к}}}^{U_{\text{вих}}}$		$U_{\text{вих}}, \text{В}$	$K_{\text{пер}}, \text{МВ/пФ}$	$S_{C_{\text{к}}}^{U_{\text{вих}}}$
Для прототипу	0,5	-2,08	-0,5				
Для негасенсора							
Теоретично: якщо $C_{\text{к}}=33\text{пФ}$	1,61	-3,11	-0,23	Експеримент: якщо $C_{\text{к}}=33\text{пФ}$	1,59	-3,01	-0,23
$C_{\text{к}}=47\text{пФ}$	2,81	-27,23	-1,16	$C_{\text{к}}=47\text{пФ}$	2,61	-23,2	-1,07
$C_{\text{к}}=53\text{пФ}$	4,76	-119,43	-2,99	$C_{\text{к}}=53\text{пФ}$	3,74	-70,2	-2,25

крито" або підсиленням, малими габаритами та вагою, електричним керуванням та надмалими керуючими потужностями, можливістю виготовлення в напівпровідниковій інтегральній схемі. Досліджені їх основні параметри, умови стійкості та чутливість, визначений час перемикування. Необхідна характеристика керуючого елемента одержується шляхом включення паралельно лінійної ємності (рис. 9). Застосування аналогічного принципу дозволяє одержати параметричні стабілізатори напруги, заряду, струму, потокощеплення на L-, C-негатронах. Досліджені ключі з послідовним та паралельним включенням керуючого елемента на C-негатронах N-типу. Показано, що такі ключі є широкомуговими, дозволяють отримати коефіцієнт згасання в режимі "закрито" 30 - 40 дБ в діапазоні частот 100 -

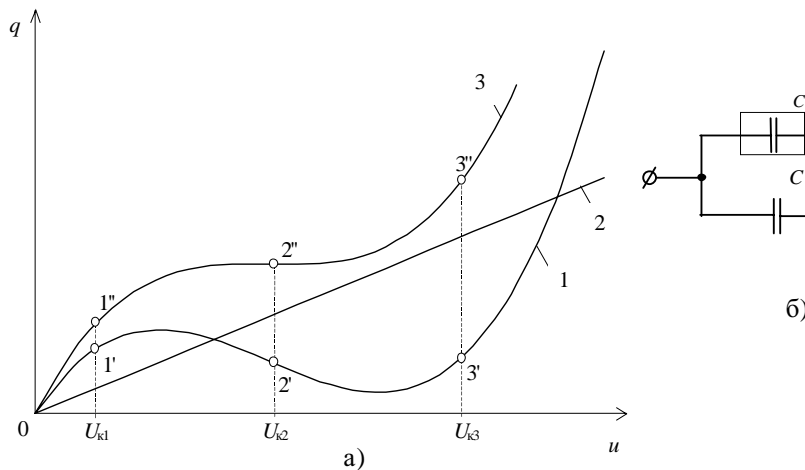


Рис. 9. Кулон-вольтні характеристики (а): 1 – С-негатрона N-типу, 2 – лінійної ємності C , 3 – керуючого елемента; схема керуючого елемента на С-негатроні N-типу (б)

1000 МГц, в режимі "відкрито" 0,01 дБ або підсилення до 15 дБ. Час перемикування складає 0,4...0,6 мс, тобто дані ключі мають відносно низьку швидкодюю, що можна вважати їх недоліком.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі покращення технічних характеристик елементів автоматики, що виявляється в використанні L-, C-негатронів. В роботі вперше досліджені енергетичні властивості, стійкість та чутливість навантажених L-, C-негатронів. Показано, що L-, C-негатрони є багатофункціональними електронними приладами, використання яких дозволяє підвищити ефективність елементів автоматики. Розроблено та досліджено ряд елементів автоматики на базі L-, C-негатронів, що мають кращі технічні характеристики, у порівнянні до прототипів, визначені їх основні параметри, умови стійкості та чутливість. Достовірність одержаних результатів підтверджується коректним застосуванням математичного апа-

рату, чисельними та натурними експериментами.

1. Визначені енергетичні властивості L-, C-негатронів. Знайдено взаємозв'язок між видом вебер-амперної, кулон-вольтної характеристик та еквівалентними схемами L-, C-негатронів. Показано, що C-негатрон S-типу є елементом, що керується зарядом, є пасивним елементом, і його еквівалентну схему для ділянки кулон-вольтної характеристики, де диференційна ємність C-негатрона є від'ємною, можна представити в вигляді послідовного з'єднання від'ємної ємності $C^{(-)}$ та додатного активного опору R . C-негатрон N-типу є елементом, що керується напругою, і, в залежності від форми кулон-вольтної характеристики, може бути пасивним або активним елементом, тобто містити внутрішнє джерело живлення. Еквівалентну схему даного C-негатрона для ділянки від'ємної ємності можна представити в вигляді послідовного з'єднання від'ємної ємності $C^{(-)}$ та від'ємного активного опору $R^{(-)}$. Показано, що L-негатрон S-типу є елементом, який керується потокощепленням, є пасивним елементом, і його еквівалентну схему для ділянки вебер-амперної характеристики, де значення диференційної індуктивності L-негатрона є від'ємним, можна представити в вигляді паралельного з'єднання від'ємної індуктивності $L^{(-)}$ та додатного активного опору R . L-негатрон N-типу є елементом, який керується напругою, і в залежності від виду вебер-амперної характеристики, може бути пасивним або активним елементом. Еквівалентну схему даного L-негатрона для ділянки від'ємної диференційної індуктивності можна представити в вигляді паралельного з'єднання від'ємної індуктивності $L^{(-)}$ та від'ємного активного опору $R^{(-)}$.

2. Досліджена стійкість навантажених L-, C-негатрона N-типу та визначенні можливі режими роботи. Показано, що навантажений C-негатрон N-типу є стійким, за виконання умови: $C_n < |C^{(-)}|$, $R_n > |R^{(-)}|$. Умовою стійкості навантаженого L-негатрона N-типу є: $L_n < |L^{(-)}|$, $R_n < |R^{(-)}|$. Вибираючи відповідним чином параметри навантаження та робочу точку L-, C-негатрона N-типу, можна одержати такі режими роботи схеми: генерація релаксаційних коливань; робота в якості нелінійного елемента (детектування, змішування, обмеження) з підсиленням; перемикування; підсилення.

3. Досліджена стійкість навантажених L-, C-негатронів S-типу та визначенні можливі режими роботи. Показано, що навантажений C-негатрон S-типу буде стійким за виконання умови $C_n < |C^{(-)}|$. Навантажений L-негатрон S-типу буде стійким за умови $L_n < |L^{(-)}|$. Вибираючи відповідним параметри навантаження та робочу точку L-, C-негатронів S-типу, можна одержати один з таких режимів роботи електронної схеми: перемикування ; робота в якості нелінійного елемента (детектування, перетворення, змішування, обмеження).

4. Досліджена чутливість електронних кіл з L-, C-негатронами. Показано, що включення в коло від'ємної ємності (індуктивності) призводить до збільшення чутливості сумарної ємності (індуктивності) кола. Так включення від'ємної ємності $C^{(-)}$ послідовно до додатної ємності кола C призводить до

зміни відносної чутливості $S_C^{C_\Sigma}$ в $\frac{C^{(-)}}{C + C^{(-)}}$ разів, а абсолютної чутливості

$S(C_\Sigma, C)$ - в $\left(\frac{C^{(-)}}{C + C^{(-)}}\right)^2$ разів. Властивість збільшення чутливості сумарної єм-

ності (індуктивності) кола можна використовувати для побудови високочутливих ємнісних (індуктивних) сенсорів на базі L-, C-негатронів.

5. Розроблені та досліджені схеми індуктивних та ємнісних негасенсорів на схемотехнічних аналогах L-, C-негатронів, які дозволяють збільшити крутизну перетворення в 20 - 40 разів у порівнянні до прототипів. При цьому основні параметри таких негасенсорів є частотонезалежними в широкому діапазоні частот. Визначені умови стійкості даних негасенсорів.

6. Досліджені послідовний та паралельний коливальні контури на L-, C-негатронах. Визначені їх умови стійкості та чутливість. Показано, що необхідною умовою стійкості коливального контуру з L-, C-негатронами є від'ємне значення повного активного опору кола на резонансній частоті. Визначені частотні та фазочастотні характеристики контурів. Одержані результати є необхідною теоретичною базою для створення ряду елементів автоматики на базі коливальних контурів з L-, C-негатронами.

7. Досліджено вплив зворотного зв'язку на параметри динамічних негатронів на біполярному та польовому транзисторах в схемах включення з спільним емітером та спільним витоком. Показано, що розглянуті схеми динамічних негатронів дозволяють отримати від'ємний активний опір в НВЧ діапазоні, при цьому реактивний опір має індуктивний характер. Розглянуті умови стійкості електронних кіл з даними динамічними негатронами. Досліджена чутливість вихідного опору динамічних негатронів до зміни параметрів кола зворотного зв'язку та параметрів транзисторів. Розглянуті негатрони можна вважати динамічними RLC-негатронами, і використовувати як базові елементи при створенні ряду пристроїв автоматики.

8. Розроблені та досліджені схеми аналогових високочастотних ключів на C-негатронах, що характеризуються малими втратами сигналу в режимі "відкрито" або підсиленням, малими габаритами та вагою, електричним керуванням та надмалими керуючими потужностями, можливістю виготовлення в напівпровідниковій інтегральній схемі. Досліджені їх основні параметри, умови стійкості та чутливість, визначений час перемикання. Показано, що такі ключі є широкосмуговими, дозволяють отримати коефіцієнт затухання в режимі "закрито" 30 – 40 дБ в діапазоні частот 100 – 1000 МГц, в режимі "відкрито" – 0,01 дБ або підсилення до 15 дБ. Час перемикання складає 0,4...0,6 мс, тобто дані ключі мають відносно низьку швидкодію, що можна вважати їх недоліком.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

2. Філінюк М.А., Лазарев О.О. Дослідження енергетичних властивостей нелінійної ємності // Вісник ВПІ. - 2000. - №4. - С. 94-97.

3. Філінюк М.А., Лазарев О.О. Аналіз впливу зворотного зв'язку на параметри динамічного негatrona на польовому транзисторі // Вісник ВПІ. - 2000. - №6 - С. 94-97.

4. Філінюк М.А., Лазарев О.О., Кравцов Ю.І. Дослідження аналогового ключа з паралельним включенням керуючого елемента на С-негатроні N-типу // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – №1. – С. 60-61.

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

6. Пат. 49976 Україна, МКИ₇ H02M3/10. Параметричний стабілізатор напруги / Філінюк М.А., Ліщинська Л.Б., Лазарев О.О. (Україна); Вінницький державний технічний університет. - №2000052653; Заявл. 11.05.2000; Опубл. 15.10.2002. Бюл. №10.

7. Філінюк М.А., Лазарев О.О. Аналіз впливу зворотного зв'язку на параметри динамічного негatrona // Труды Міжнародн. конф. "Контроль і управління в складних системах" (КУСС-99). - Том 2. - Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1999. - С. 221-227.

8. Філінюк М.А., Нікольський О.І., Лазарев О.О., Ліщенко С.А. Аналіз чутливості сенсорів на базі LC-негатронів. // Збірник праць міжнародн. конф. "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". - Хмельницький. - 2001. - С.239-242.

9. Філінюк М.А., Лазарев О.О. Вимірювальні перетворювачі на базі LC-негатронів // Збірник праць міжнародн. конф. "Контроль і управління в складних системах" КУСС-2001. - Вінниця, 2001. - С. 92.

10. Лазарев А.А. Новые методы измерения инвариантного коэффициента устойчивости потенциально-неустойчивых четырехполюсников // Сборник научных трудов международного форума "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". - Харьков 24-26 апреля 2001р., - С. 87-88.

11. Лазарев О.О. Досягнення напівпровідникової негatronіки та перспективи їх використання в системах супутникових телекомунікацій // Збірник тез міжнародн. кофн. "Людина і космос". - Дніпропетровськ 18-20 квітня 2001р., - С. 337.

12. Лазарев О.О. Дослідження інформаційних пристроїв на базі динамічних негatronів з оптоелектронним керуванням // Збірник тез доповідей міжнародн. конф. "Optoelectronic Information-Energy Technologies", м. Вінниця, 24-26 квітня 2001р., -С. 151.

13. Філінюк Н.А., Лазарев А.А., Гаврилов Д.В. Негасенсоры на базе схемотехнических аналогов негatronов // Труды Междунар. кофн. "Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе" (МЭПП-2001). - Баку-Сумгаит (Азербайджан). - 2001. – С. 174-175.

АНОТАЦІЯ

Лазарев О.О. Дослідження стійкості та чутливості елементів автоматики на базі L-, C-негатронів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування. – Вінницький державний технічний університет, Вінниця, 2003.

В дисертаційній роботі дослідженні енергетичні властивості L-, C-негатронів, що дозволило визначити взаємозв'язок між видом вебер-амперної, кулон-вольтної характеристик та еквівалентними схемами L-, C-негатронів. Визначені умови стійкості та можливі режими роботи навантажених L-, C-негатронів N- і S-типів. Визначена чутливість електронних кіл з L-, C-негатронами. Показано, що L-, C-негатрони є багатофункціональними елементами, використання яких дозволяє покращити технічні характеристики елементів автоматики. Дослідженні динамічних негатронів на базі біполярних і польових транзисторів в схемах включення з спільним емітером і спільним витоком. Дослідженні коливальні контури з L-, C-негатронами. Розроблені та дослідженні ряд елементів автоматики на базі L-, C-негатронів (індуктивні та ємнісні сенсорів на базі L-, C-негатронів, що мають в 20-40 разів більшу чутливість, у порівнянні до прототипів; широкосмугові високочастотні аналогові ключі на C-негатронах).

Ключові слова: негатроніка, негатрон, від'ємна ємність, від'ємна індуктивність, стійкість, чутливість, елементи автоматики на потенційно-нестійких приладах.

АННОТАЦИЯ

Лазарев А.А. Исследование устойчивости и чувствительности элементов автоматики на базе L-, C-негатронов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. – Винницкий государственный технический университет, Винница, 2003.

Диссертационная работа посвящена исследованию устойчивости и чувствительности нагруженных L-, C-негатронов и элементов автоматики на их основе. Исследованы энергетические свойства L-, C-негатронов, что позволило определить взаимосвязь между видом вебер-амперной, кулон-вольтной характеристик и эквивалентными схемами L-, C-негатронов. Показано, что энергия, которая потребляется L-, C-негатрона N-типа от электрической цепи, уменьшается на падающем участке характеристики и может стать отрицательной, то есть они должны содержать внутренний источник энергии. Такие негатроны являются активными элементами, и их эквивалентные схемы состоят из: параллельного соединения отрицательной индуктивности и отрицательного активного сопротивления для L-негатронов N-типа, последовательного соединения отрицательной емкости и отрицательного активного сопротивления для C-негатронов N-типа. L-, C-негатроны S-типа являются пассивными элементами,

так как энергия, которая потребляется такими негатронами от электрической цепи, всегда положительна, и их эквивалентные схемы состоят из: параллельного соединения отрицательной индуктивности и положительного активного сопротивления для L-негатронов S-типа, последовательного соединения отрицательной емкости и положительного активного сопротивления для C-негатронов S-типа.

Определены условия устойчивости и возможные режимы работы нагруженных L-, C-негатронов N-, S-типов, что позволило показать, что L-, C-негатроны являются универсальными многофункциональными элементами, и в зависимости от параметров нагрузки и положения рабочей точки L-, C-негатронов, можно получить такие режимы работы: генерация релаксационных колебаний, работа в качестве нелинейного элемента (детектирование, преобразование, ограничение) с усилением, переключение, усиление.

Определена чувствительность электронных цепей с L-, C-негатронами в зависимости от включения L-, C-негатронов и соотношения параметров элементов электрической цепи и L-, C-негатронов, что позволило показать, что наличие в цепи отрицательной индуктивности (емкости) приводит к увеличению чувствительности суммарной индуктивности (емкости) цепи. Использование данного свойства позволяет повысить чувствительность индуктивных и емкостных датчиков, и, соответственно, точность измерения неэлектрических физических величин.

Исследовано влияние обратной связи на параметры динамических негатронов на биполярном и полевом транзисторах в схемах включения с общим эмиттером и общим истоком. Показано, что рассмотренные схемы динамических негатронов позволяют получить отрицательное активное сопротивление в СВЧ диапазоне, при этом реактивное сопротивление имеет индуктивный характер. Определены условия устойчивости и чувствительность таких негатронов. Исследованные негатроны можно считать динамическими RLC-негатронами, и использовать в качестве базовых элементов при построении ряда устройств автоматики.

Исследованы последовательный и параллельный колебательные контуры на L-, C-негатронах. Определены их условия устойчивости и чувствительность. Показано, что необходимым условием устойчивости колебательных контуров с L-, C-негатронами является отрицательное значение полного активного сопротивления цепи на резонансной частоте. Определены частотные и фазочастотные характеристики контуров. Полученные результаты дают необходимой теоретическую базу для создания ряда элементов автоматики на базе колебательных контуров с L-, C-негатронами.

На основе полученных теоретических положений разработаны и исследованы индуктивные и емкостные датчики на схемотехнических аналогах L-, C-негатронов, реализованных на конверторах отрицательного сопротивления на операционных усилителях. Показано, что чувствительность рассмотренных датчиков в 20 - 40 раз больше в сравнение с прототипами (схем без L-, C-негатронов). При этом крутизна преобразования таких датчиков является частотнонезависимой в широком диапазоне частот.

Предложены схемы широкополосных высокочастотных аналоговых ключей на С-негатронах, которые характеризуются небольшими потерями сигнала в режиме "открыто" или усилением, небольшими габаритами и массой, электрическим управлением и сверхмалыми управляющими мощностями, возможностью изготовления в интегральной схеме. Показано, что такие ключи позволяют получить коэффициент затухания в режиме "закрыто" 30 – 40 дБ в диапазоне частот 100 – 1000 МГц, в режиме "открыто" – 0,01 дБ или усиление до 15 дБ. Относительная полоса пропускания разработанных ключей составляет более 160% и качество ключа выше 800. Зависимость коэффициента затухания ключей от напряжения позволяет использовать их в качестве аттенуаторов с электронным управлением. Использование рассмотренного принципа получения необходимой характеристики рабочего элемента путем параллельного или последовательного включения с L-, С-негатронами приборов с линейной характеристикой (индуктивности или емкости соответственно) позволяет создавать параметрические стабилизаторы напряжения, заряда, тока, потокосцепления на базе L-, С-негатронов.

Ключевые слова: негатроника, негатрон, отрицательная емкость, отрицательная индуктивность, устойчивость, чувствительность, элементы автоматики на потенциально-неустойчивых приборах.

ABSTRACT

Lazarev A.A. Research of stability and sensitivity of elements of automatics on the basis of L-, C-negatrons. - Manuscript.

Thesis for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences on the 05.13.05 - Elements and Devices for Computer Facilities and Control Systems. - Vinnytsia State Technical University, Vinnytsia, 2003.

The thesis deals with the stability and sensitivity of elements of automatics on the basis of L-, C-negatrons. The energy properties of L-, C-negatrons are investigated in the work, that has allowed to define interrelation between a kind of flux-current, charge-voltage characteristics and the equivalent circuits of L-, C-negatrons. Conditions of stability and possible modes of operation of loaded L-, C-negatrons N- and S-types are determined. Sensitivity of electronic circuits with L-, C-negatrons is determined. It is shown, that L-, C-negatrons are multipurpose elements which use allows to improve characteristics of elements of automatics. The dynamic negatrons on the basis of bipolar and field transistors in circuits with common emitter and common source are investigated. Oscillatory contours with L-, C-negatrons are investigated. A number of elements of automatics on the basis of L-, C-negatrons (inductive and capacitor sensors which have the sensitivity at 20-40 time more in comparison to prototypes; broadband high-frequency analog keys on C-negatrons) are developed and investigated.

Key words: negatronics, negatron, negative capacity, negative inductance, stability, sensitivity, elements of automatics on potential-unstable devices.

Підписано до друку __. __. 2003. Формат 29,7×42¹/₄

Наклад 100 прим. Зам. № _____

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького державного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел. (0432) 44-01-59