

9. Позументов И.Е. О статистических характеристиках адаптивных антенных систем. – Радиотехника и электроника т. 35, № 6, 1980, с. 1186-1191.
10. Поляков П.Ф. Адаптивный прием АМ – сигналов. – Радиотехника, т. 35, № 5, 1980, с. 56-58.
11. Фрост Ш. Алгоритм линейно – ограниченной обработки сигналов в адаптивной решетки. – ТИИЭР, 1972, т.60, № 8, с. 5-16.
12. Widrow B. Comparison of adaptive algorithm based on the methods of steepest descent and random search. – IEEE Trans., 1976, Ap-24, № 5, p.685.
13. Уидроу Б., Стиркз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.

Надійшла 20.3.2005 р.

УДК 621.38

О.В. ОСАДЧУК, А.О. СЕМЕНОВ
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ШИРОКОДІАПАЗОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ТРАНЗИСТОРНІЙ СТРУКТУРІ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ

Проведено дослідження роботи широкодіапазонного генератора з електронною перебудовою частоти генерації на транзисторній структурі з від'ємним опором. Теоретично отримані й експериментально перевірені аналітичні залежності активної і реактивної складової повного опору транзисторної структури. Отримані експериментальні результати залежності частоти генерації від керуючих напруг та перевірені температурні режими роботи генератора. Дослідження показали, що на основі запропонованої транзисторної структури з від'ємним опором можна побудувати генератор електричних коливань з ефективною перебудовою частоти генерації в широкій смузі частот.

Вступ

Створення нового класу перетворювальних пристроїв можна здійснювати на принципово новій елементній базі або шляхом нових схемотехнічних рішень. Розвиток сучасної елементної бази пов'язаний з багатьма труднощами, основною з яких є необхідність використання складного і дорогого технологічного обладнання. Тому постає питання на основі відомих фізичних процесів в існуючих напівпровідникових елементах за рахунок введення нових зв'язків або додаткових елементів отримати прилади з необхідними параметрами та характеристиками.

Останнім часом для побудови інформаційних пристроїв і функціональних частотних перетворювачів широке застосування отримали напівпровідникові прилади, які мають від'ємний диференційний опір [1-4]. Основним недоліком твердотільних напівпровідникових негатронів є фіксована статична ВАХ [5], що не дозволяє змінювати величину від'ємного диференційного опору (провідності). Тому перспективним напрямком досліджень є застосування транзисторних структур з від'ємним опором, які в науковій літературі також отримали назву транзисторних аналогів негатронів [1, 6, 7, 8].

Аналіз наукових робіт [1-4] показав можливість побудови широкодіапазонних генераторів НВЧ з електронною перебудовою частоти генерації на основі транзисторних структур з від'ємним опором, які будуть характеризуватися покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками.

Розробка широкодіапазонних генераторів з електронною перебудовою частоти генерації є актуальною задачею при проектуванні як окремих радіотехнічних пристроїв, так і цілих радіотехнічних систем. Застосування напівпровідникових негатронів для побудови широкодіапазонних генераторів дозволяє покращити їх основні показники і характеристики [9]. Основною задачею є створення діапазонного генератора з ефективною перебудовою частоти генерації в широкій смузі частот.

Метою даної роботи є обґрунтування вибору схеми побудови і дослідження широкодіапазонного генератора на основі транзисторної структури з від'ємним опором.

Дослідження широкодіапазонного генератора

В роботах [1-4] частотні перетворювачі фізичних величин побудовані на основі двотранзисторних активних елементів, які мають ряди Λ -подібних статичних вольт-амперних характеристик (ВАХ). Дані транзисторні структури характеризуються від'ємним диференційним активним опором і реактивною складовою повного опору емнісного характеру. Для утворення генератора електричних коливань необхідно підключити зовнішню індуктивність, яка утворює коливний контур з емнісною складовою повного опору на вихідних електродах обраної транзисторної структури з від'ємним опором. Потужність генерованих електричних коливань залежить від величини від'ємного диференційного опору обраної транзисторної структури [10-12]. З метою розширення діапазону перебудови частоти генерації в схемі генератора доцільно використати транзисторний аналог індуктивності [13]. При обранні такого схемотехнічного рішення є можливість побудови генератора в інтегральному виконанні [3, 4].

На рис. 1 представлена електрична схема широкодіапазонного генератора з активним індуктивним елементом.

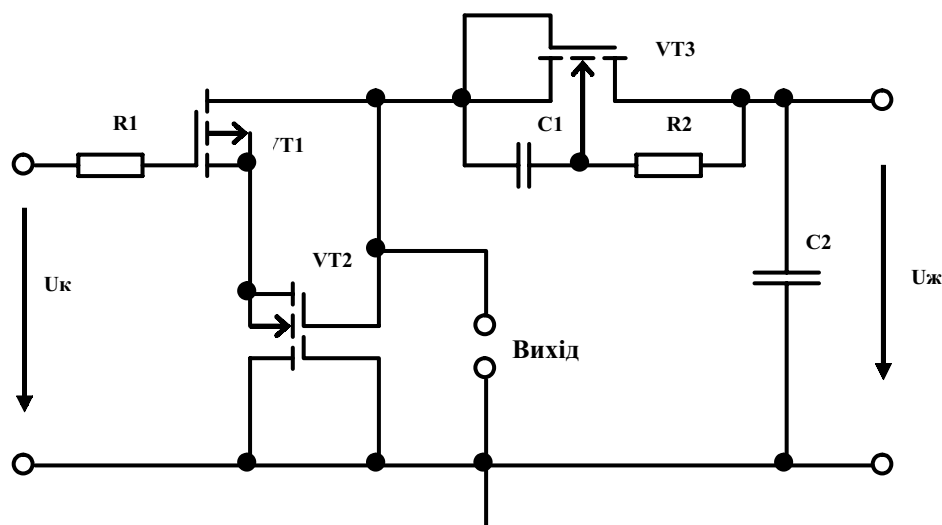


Рис. 1. Схема електрична принципова генератора на основі транзисторної структури з від'ємним опором

Широкодіапазонний генератор працює таким чином. Підвищення напруги джерел постійної напруги U_k і U_j до величини, коли на електродах стік-стік польових транзисторів VT1 і VT2 виникає від'ємний диференціальний опір, призводить до виникнення коливань у контурі, що утворений ємнісною складовою повного опору транзисторної структури і транзисторним аналогом індуктивності. Транзисторний аналог індуктивності побудований на основі польового транзистора VT3 і фазозсуваючого кола R2C1. Частота генерованих коливань залежить від величини ємнісної складової повного опору, а потужність – від величини від'ємного диференціального опору повного опору транзисторної структури. Наступна зміна напруги джерел U_k і U_j призводить до зміни частоти генератора.

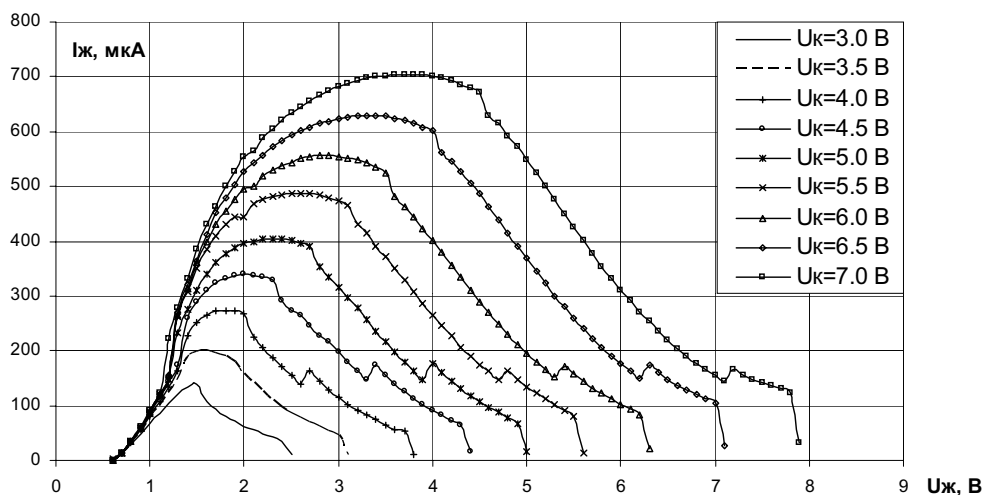


Рис. 2. ВАХ транзисторної структури з від'ємним опором широкодіапазонного генератора

Для дослідження роботи генератора з електронною перебудовою частоти генерації на транзисторній структурі з від'ємним опором був створений експериментальний макет. В якості польових транзисторів використані дискретні польові транзистори (VT1, VT3 – КП301В, VT2 – КП359АІ). Параметри пасивних елементів: $R_1=1$ кОм, $R_2=25$ кОм, $C_1=7$ пФ.

На рис. 2 зображена експериментально виміряна статична ВАХ транзисторної структури широкодіапазонного генератора (залежність струму $I_{ж}$ від напруги $U_{ж}$ при різних значеннях напруги U_k). Аналіз ряду статичних ВАХ на рис. 2 показує, що транзисторна структура генератора має від'ємний диференціальний опір в широких межах зміни напруги $U_{ж}$ при різних значеннях напруги U_k . Спадаюча ділянка статичної ВАХ має лінійний характер, що дає змогу побудувати генератор електричних коливань з лінійним законом перебудови частоти генерації. З рис. 3 видно, що на спадній ділянці ВАХ є точки екстремумів. Це можна пояснити наявністю в схемі транзисторного аналогу індуктивності.

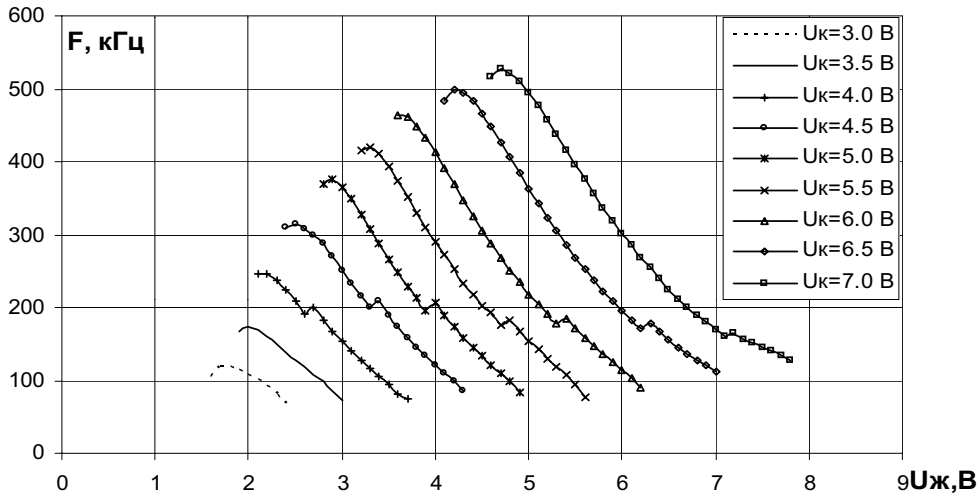


Рис. 3. Залежність частоти генерації широкодіапазонного генератора на транзисторній структурі з від'ємним опором

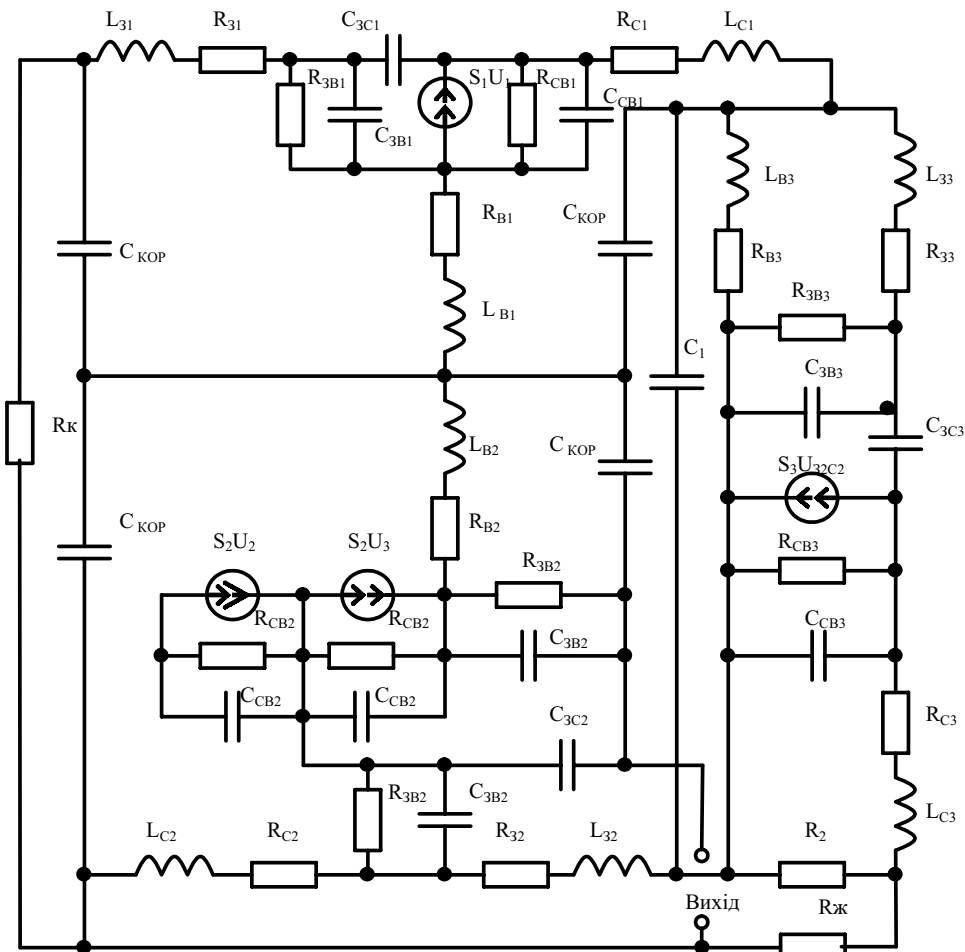


Рис. 4. Еквівалентна схема широкодіапазонного генератора на транзисторній структурі з від'ємним опором

На рис. 3 зображені експериментально отримані залежності частоти генерації від напруги $U_{ж}$ при різних значеннях напруги $U_{к}$. З рис. 3 видно, що зміна частоти генерації має лінійний характер при зміні напруги $U_{ж}$ в широких межах. Точки екстремумів графіка в нижній частині залежності пояснюються впливом транзисторного аналогу індуктивності (переважає індуктивна складова повного опору транзисторної структури).

Аналіз фізичних процесів в транзисторній структурі виконують за допомогою еквівалентних схем. На рис. 4 зображена еквівалентна схема генератора, яка припустима для робочих частот до 100 МГц [15]. Для розрахунків складемо систему рівнянь рівноваги методом контурних струмів.

$$\begin{cases}
0 = \dot{I}_1(Z_7 + Z_9) - \dot{I}_9 Z_7 - \dot{I}_{10} Z_7 - \dot{I}_{11} Z_7, \\
\dot{I}_3(Z_{18} + Z_{26}) = \dot{I}_2(Z_{17} + Z_{18} + Z_{26} + R_2) - \dot{I}_5 Z_{18} - \dot{I}_8 R_2, \\
\dot{I}_3 Z_{26} = \dot{I}_4(Z_{13} + Z_{16} + Z_{26}) - \dot{I}_2 Z_{26} - \dot{I}_5 Z_{16}, \\
\dot{I}_3 Z_{26} = \dot{I}_5(Z_8 + Z_{10} + Z_{15} + Z_{16} + Z_{18} + Z_{19}) - \dot{I}_2 Z_{18} - \dot{I}_4 Z_{16} - \dot{I}_6 Z_{15} - \dot{I}_7 Z_8 - \dot{I}_{11} Z_8 - \\
- \dot{I}_{12} Z_{10} - \dot{I}_{13} Z_{19}, \\
0 = \dot{I}_4(Z_{12} + Z_{14} + Z_{15}) - \dot{I}_5 Z_{15} - \dot{I}_7 Z_{12}, \\
- \dot{I}_3(Z_6 + Z_{11}) = \dot{I}_7(Z_5 + Z_6 + Z_8 + Z_{10} + Z_{11} + Z_{12}) - \dot{I}_5(Z_8 + Z_{10}) - \dot{I}_6 Z_{12} - \dot{I}_9 Z_6 - \dot{I}_{10} Z_6 - \\
- \dot{I}_{11}(Z_8 + Z_5) - \dot{I}_{12}(Z_8 + Z_{10}), \\
0 = \dot{I}_8(R_2 + Z_{24} + Z_{25}) - \dot{I}_2 R_2 - \dot{I}_{12} R_2 - \dot{I}_{15} Z_{24}, \\
\dot{I}_3 Z_6 = \dot{I}_9(Z_1 + Z_2 + Z_6 + Z_7) - \dot{I}_1 Z_7 - \dot{I}_7 Z_6 + \dot{I}_{10}(Z_1 + Z_6 + Z_7) + \dot{I}_{11}(Z_1 + Z_7), \\
\dot{I}_3 Z_6 = \dot{I}_{10}(Z_1 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7) - \dot{I}_1 Z_7 - \dot{I}_7 Z_6 + \dot{I}_9 Z_1 + \dot{I}_{11}(Z_1 + Z_3), \\
- \dot{I}_3 Z_5 = \dot{I}_{11}(Z_1 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8) - \dot{I}_1 Z_7 - \dot{I}_5 Z_8 + \dot{I}_7(Z_5 + Z_8) + \dot{I}_9 Z_1 + \dot{I}_{10}(Z_1 + Z_3) - \dot{I}_{12} Z_8, \\
0 = \dot{I}_{12}(R_2 + Z_8 + Z_{10} + Z_{20}) + \dot{I}_5(Z_8 + Z_{10}) - \dot{I}_7(Z_8 + Z_{10}) - \dot{I}_8 R_2 - \dot{I}_{11} Z_8 + \dot{I}_{13} Z_{20} - \dot{I}_{14} Z_{20}, \\
0 = \dot{I}_{13}(Z_{19} + Z_{20}) - \dot{I}_5 Z_{19} - \dot{I}_{14} Z_{20}, \\
- \dot{I}_3 Z_{21} = \dot{I}_{14}(Z_{20} + Z_{21} + Z_{22}) - \dot{I}_{12} Z_{20} - \dot{I}_{13} Z_{20} + \dot{I}_{13} Z_{21}, \\
0 = \dot{I}_{15}(Z_{20} + Z_{21} + Z_{23} + Z_{24}) + \dot{I}_3(Z_{21} + Z_{23}) - \dot{I}_8 Z_{24} - \dot{I}_{12} Z_{20} - \dot{I}_{13} Z_{20} + \dot{I}_{14} Z_{21}, \\
\dot{I}_3 = S_1 \dot{U}_1 + S_2 \dot{U}_2 + S_2 \dot{U}_3 + S_{31C1} \dot{U}_{32C2},
\end{cases}$$

де $Z_1 = R_{31} + j\omega L_{31}$; $Z_2 = \frac{R_{3B1}/j\omega C_{3B1}}{R_{3B1} + 1/j\omega C_{3B1}}$; $Z_3 = \frac{1}{j\omega C_{C31}}$; $Z_4 = \frac{R_{CB1}/j\omega C_{CB1}}{R_{CB1} + 1/j\omega C_{CB1}}$;

$Z_6 = R_{B1} + j\omega L_{B1}$; $Z_7 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = \frac{1}{j\omega C_{КОР}}$; $Z_{11} = R_{B2} + j\omega L_{B2}$;

$Z_{12} = \frac{R_{3B2}/j\omega C_{3B2}}{R_{3B2} + 1/j\omega C_{3B2}}$; $Z_{13} = Z_{14} = \frac{R_{3B1}/j\omega C_{3B1}}{R_{3B1} + 1/j\omega C_{3B1}}$; $Z_{15} = \frac{1}{j\omega C_{C32}}$;

$Z_{16} = \frac{R_{3B2}/j\omega C_{3B2}}{R_{3B2} + 1/j\omega C_{3B2}}$;

$Z_{17} = R_{C2} + j\omega L_{C2}$; $Z_{18} = R_{32} + j\omega L_{32}$; $Z_{19} = \frac{1}{j\omega C_1}$; $Z_{20} = R_{B3} + j\omega L_{B3}$;

$Z_{21} = R_{33} + j\omega L_{33}$;

$Z_{22} = \frac{R_{3B3}/j\omega C_{3B3}}{R_{3B3} + 1/j\omega C_{3B3}}$; $Z_{23} = \frac{1}{j\omega C_{C33}}$; $Z_{24} = \frac{R_{CB3}/j\omega C_{CB3}}{R_{CB3} + 1/j\omega C_{CB3}}$; $Z_{25} = R_{C3} + j\omega L_{C3}$.

Розрахунок параметрів транзисторного аналогу індуктивності можна виконати за допомогою методики, що наведена в роботі [8]. В схемі генератора, що досліджується, еквівалентна індуктивність для заданого діапазону регулювання знаходиться в межах від 120 до 240 мкГн. На рис. 5 наведені графічні залежності активної і на рис. 6 – реактивної складової повного опору транзисторної структури, що розраховані за [3, 4, 8]. З рис. 5 видно, що запропонована транзисторна структура має значний по величині диференційний опір, що забезпечує необхідну потужність генерованих коливань. Графік зміни реактивної складової повного опору розрахований для лінійної ділянки статичної ВАХ.

Основним недоліком роботи генератора на транзисторній структурі з від'ємним опором є залежність параметрів напівпровідникових транзисторів від температури. На рис. 7 (а-в) наведені графіки зміни частоти генерації від температури залежно від U_k при різних значеннях $U_{ж}$. Температуру навколишнього середовища змінювали в межах від 25 до 100 °С з кроком 5°С. На рис.7 (г-е) зображені графіки залежності частоти генерації від температури навколишнього середовища при тих же умовах.

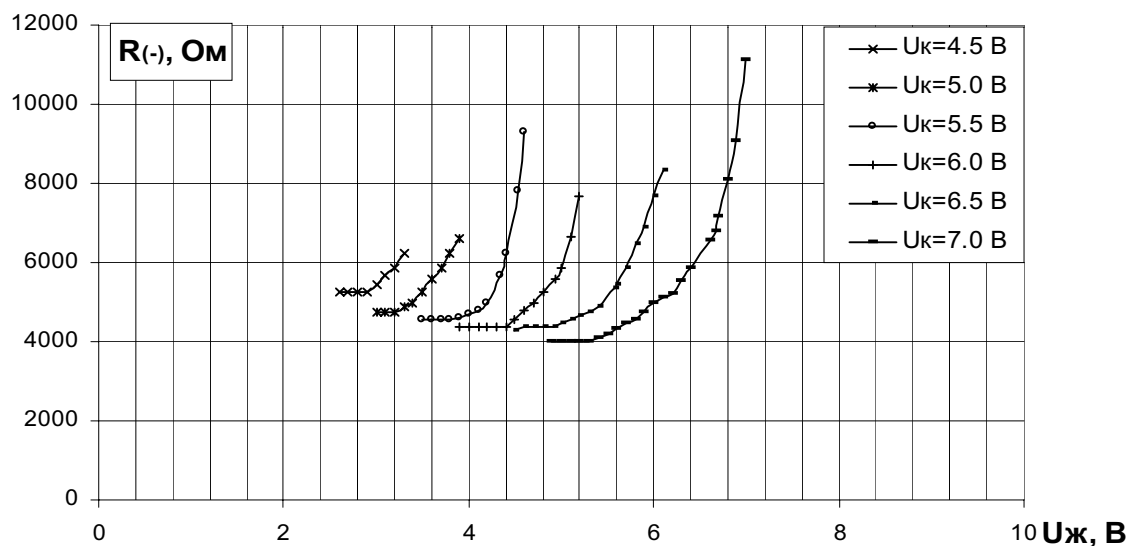


Рис. 5. Графіки залежностей активного від'ємного диференційного опору транзисторної структури від напруг U_k і $U_{ж}$

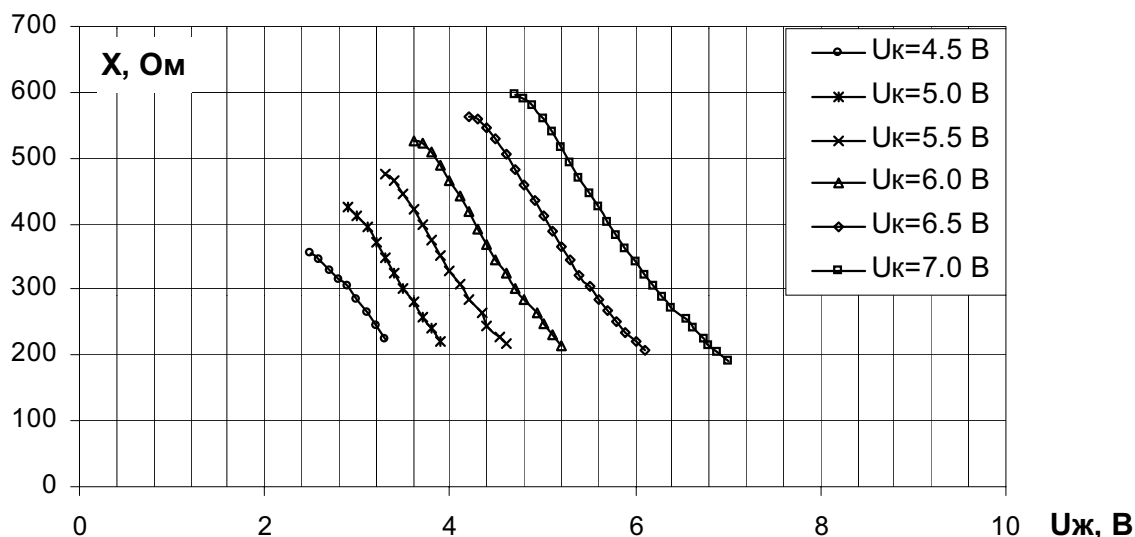


Рис. 6. Графіки залежностей реактивної складової повного опору транзисторної структури від напруг U_k і $U_{ж}$

Як видно з графіків на рис. 7, при зростанні температури навколишнього середовища частота генерації лінійно зростає.

3. Висновки

Розглянутий мікроелектронний широкодіапазонний генератор на транзисторній структурі з від'ємним опором має такі переваги:

Виконання емнісного й індуктивного елементів на основі реактивних властивостей транзисторів і транзисторних схем дає можливість виготовляти пристрій за інтегральною технологією.

Здійснювати електричну перебудову частоти генерації можна шляхом зміни напруг $U_{ж}$ і U_k , що розширює функційні можливості пристрою.

На основі запропонованої транзисторної структури з від'ємним опором можна побудувати широкодіапазонний генератор з коефіцієнтом перекриття по частоті $D=3$ і більше.

Запропоновану конструкцію можна використати для побудови генераторів НВЧ з широкою смугою перебудови частоти генерації.

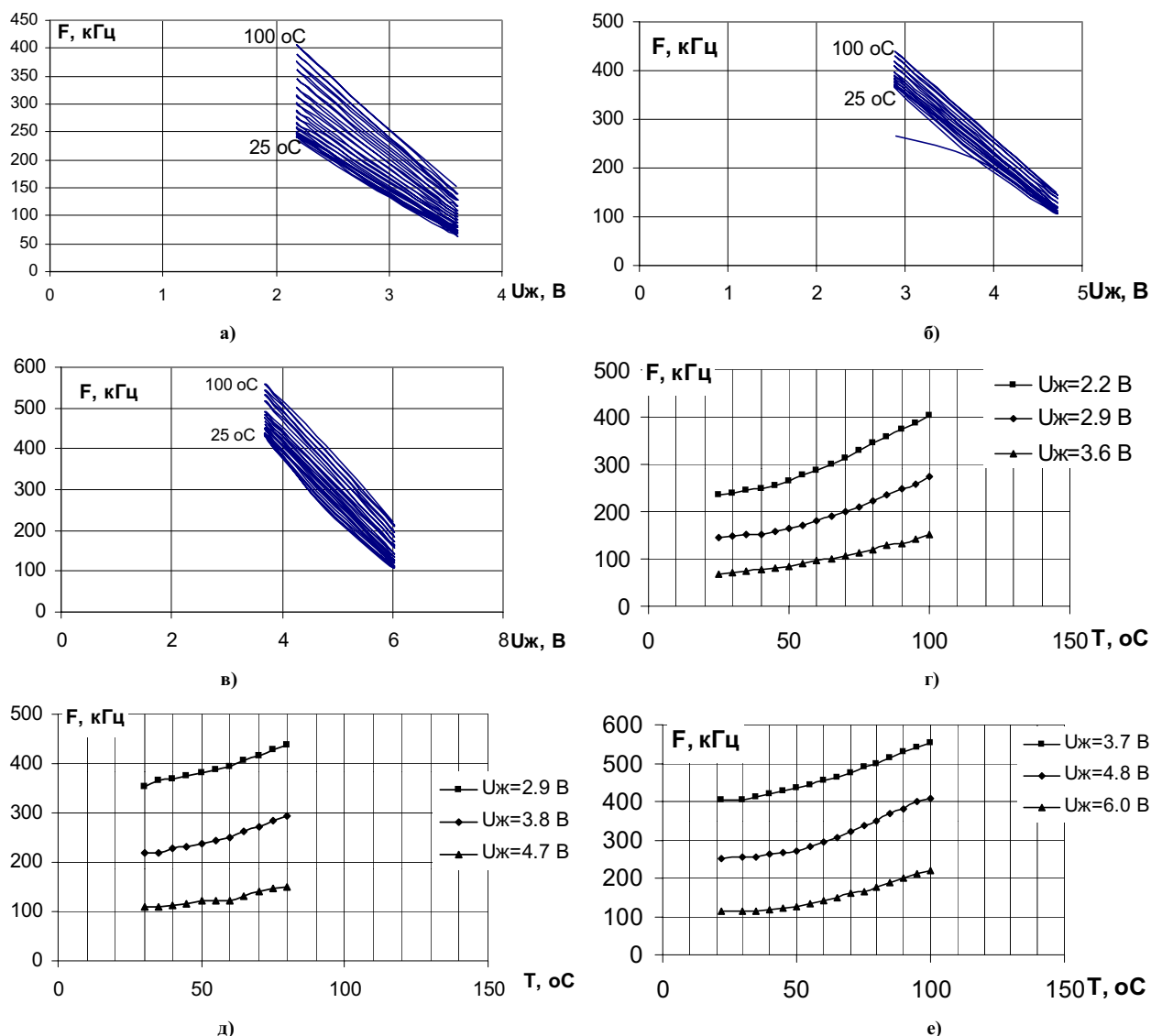


Рис. 7. Графіки залежності частоти генерації при різних значеннях температури навколишнього середовища при а) $U_k=4$ В, б) $U_k=5$ В, в) $U_k=6$ В і залежність частоти генерації від температури при г) $U_k=4$ В, д) $U_k=5$ В, е) $U_k=6$ В

Література

- Осадчук А.В. Фоточувствительные преобразователи на основе структур с отрицательным сопротивлением. – Винница: Континент, 1998. – 130 с.
- Осадчук О.В. Микроэлектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 303 с.
- Осадчук В.С., Осадчук О.В., Вербицький В.Г. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 195 с.
- Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 208 с.
- Філінюк М.А. Теоретичні основи негatronіки. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 105 с.
- Гаряинов С.А. Перспективы использования полупроводниковых приборов и устройств с отрицательным сопротивлением в интегральных схемах. Сб. статей: Полупроводниковая электроника в технике связи / Под ред. И.Ф. Николаевского, 1986. – Вып. 26. – 80 с.
- Негоденко О.Н., Воронин В.А., Заруба Д.В. Генераторы с электромеханическими преобразователями на транзисторных аналогах негatronов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – № 2.
- Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 275 с.
- Бибрман Л.И. Широкодиапазонные генераторы на негatronах. – М.: Радио и связь, 1982. – 88 с.
- Пат. № 24375А. Н03В7/00. Україна. Електричнокерований генератор гармонійних коливань //

Осадчук В.С., Осадчук О.В., Осадчук О.В. – 1998. Бюл. № 5.

11. Пат. № 34249А. Н03В7/00. Україна. Напівпровідниковий генератор електричних коливань // Осадчук В.С., Осадчук О.В., Ковальчук О.М., Семеренко М.М. – 2001. Бюл. № 1.

12. Пат. № 40298А. Н03В7/00. Україна. Генератор електричних коливань // Осадчук В.С., Осадчук О.В. – 2001. Бюл. № 6.

13. Пат. № 41665А. Н03В7/00. Україна. Мікроелектронний генератор електричних коливань // Осадчук В.С., Осадчук О.В. – 2001. Бюл. № 8.

14. Негоденко О.Н., Зинченко Л.А. Численно-символьний аналіз частотних характеристик транзисторних аналогов негетронов // Радиотехніка, 1999. – № 9.

15. Осадчук О.В., Державець О.І., Тарновський М.Г. Математичне моделювання структури з від'ємним опором на основі двозатворного МДН-транзистора // Вісник ВПІ, 1998, № 3. – с. 59-62.

Надійшла 17.3.2005 р.

УДК 621.317

С.М. КВАТЕРНЮК, С.П. КОНОНОВ

Вінницький національний технічний університет

ВПЛИВ ФІЛЬТРІВ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРУ СТРОБОСКОПІЧНИМ МЕТОДОМ ЧАСТОТИ СВП-ГЕНЕРАТОРА

Досліджується вплив фільтрів на методичну похибку виміру частоти НВЧ свп-генератора ширококутовим багатоканальним стробоскопічним частотоміром. Експериментально визначені максимальні похибки виміру частоти при застосуванні фільтра Чебишева

Для дослідження НВЧ вузлів зручно використовувати панорамну вимірювальну апаратуру. Ця апаратура, як правило, забезпечує частотну розгортку за допомогою свп-генераторів. У роботах [1, 2] розглянуто способи виміру частоти свп-генераторів, що працюють у режимі безперервної та ручної розгортки. Структурна схема пристрою, за допомогою якого реалізуються ці способи, наведена на рис. 1.

Основою пристрою є стробоскопічний змішувач (ЗМ) навантажений на фільтр нижніх частот (ФНЧ) з частотою зрізу, яка дорівнює половині опорної частоти, що подається на вхід стробування змішувача з синтезатора частоти (СЧ). В обчислювальному блоці (ОБ), оперуючи значеннями частоти сигналів на виходах ФНЧ, визначають частоту вхідного сигналу. Для виміру частоти свп-генератора у режимі безперервної розгортки достатньо двох каналів перетворення. У режимі ручної розгортки виникає невизначеність підрахунку частоти, що усувається введенням третього каналу перетворення.

У випадку використання ідеального ФНЧ різницева частота F_p сигналу на його виході пов'язана з вимірюваною частотою f таким співвідношенням:

$$f = nf_0 \pm F_p, \quad (1)$$

де n – номер гармоніки.

У реальному випадку, за рахунок обмеженої крутості зрізу АЧХ, у вихідній напрузі ФНЧ присутні декілька складових. Найбільший вплив з них мають основна складова, що потрапляє у смугу прозорості фільтра, та сусідня з нею складова, частота якої знаходиться в межах від $f_0/2$ до f_0 . Сусідня складова утворюється у стробоскопічному змішувачі при взаємодії вхідного сигналу з $n+1$ чи $n-1$ гармонікою опорної частоти. Наявність биття двох гармонік на виході ФНЧ призводить до виникнення методичної похибки виміру різницевої частоти. Метою даної роботи є дослідження впливу на цю похибку форми АЧХ ФНЧ, та часу виміру.

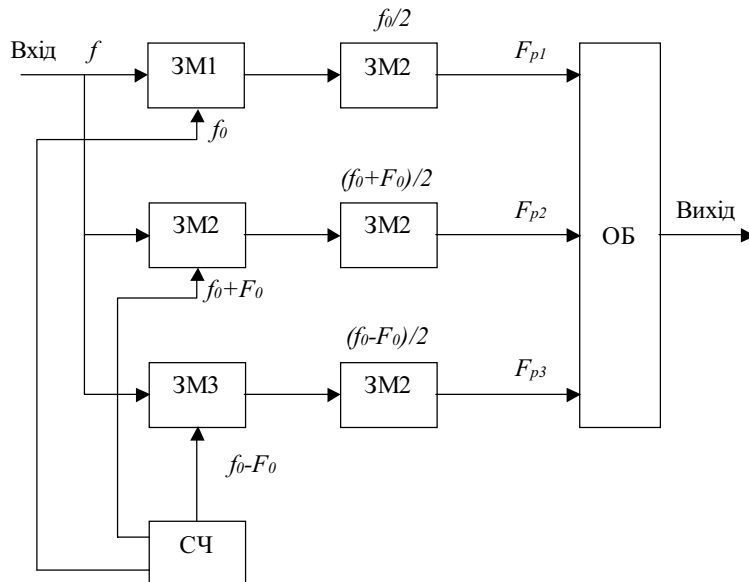


Рис. 1. Пристрій для вимірювання частоти свп-генераторів у режимі безперервної та ручної розгортки