

# РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.382: 681.586.776

**В. С. Осадчук**, д-р техн. наук, проф.;

**О. В. Осадчук**, д-р техн. наук, проф.;

**С. В. Барабан**, асп.

## ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ СЕГНЕТОКОНДЕНСАТОРА

*Подано теоретичні та експериментальні дослідження частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора і транзисторної структури з від'ємним опором (ТСВО), показано можливість побудови вимірювальних перетворювачів цього класу, запропоновано використовувати метод схемних визначників для дослідження схем автогенераторів на основі ТСВО.*

### Вступ

Новим і перспективним напрямком в області прецизійного і малоінерційного вимірювання температури є використання термодіелектричних властивостей сегнетоелектриків. Як перетворювачі застосовують ємнісні термочутливі елементи, які є реактивними елементами коливальних контурів. Фізичні основи принципу дії сегнетоелектричних вимірювань температури забезпечують вищі метрологічні показники, ніж існуючі резистивні і термоелектричні прилади.

Для сегнетоелектриків залежність діелектричної проникності від температури описується законом Кюри–Вейса за рівнянням  $\varepsilon = \frac{A}{(T - T_K)}$ , де  $\varepsilon$  — діелектрична проникність;  $A$  — константа

для даного сегнетоелектрика;  $T_K$  — температура фазового переходу сегнетоелектрика (температура Кюри);  $T$  — температура сегнетоелектрика [1].

Таким чином, функція  $\varepsilon = f(T)$  має гіперболічний характер, що дозволяє отримати лінійну залежність провідності на змінному струмі ємнісного сегнетоелектричного елемента. Це, в свою чергу, забезпечує лінійність шкали. Оскільки сегнетоелектричний чутливий елемент є параметричним перетворювачем, а його опір має реактивний характер, то це дозволяє суттєвим чином зменшити активні втрати в перетворювачі за рахунок саморозігріву, тим самим зменшується вплив перетворювача на поле вимірюваних температур. Крім того реактивний характер опору чутливого елемента дозволяє збільшити вимірювані струми, які протікають через елемент, що суттєво підвищує чутливість схем.

Висока діелектрична проникність (порядку  $10^5$ ) при температурі Кюри дозволяє отримувати більші значення ємності за малих габаритів, що забезпечує малу інерційність перетворювачів [1].

Сегнетоелектричний перетворювач температури є термозалежною ємністю, його зручно використовувати в пасивних і активних вимірювальних схемах ввімкнення з амплітудним, частотним, часовим і фазовим виходом. Повною мірою метрологічні можливості сегнетоелектричних термoperетворювачів можуть бути використані в схемах з частотним виходом, який дозволяє здійснити перетворення в цифровий код.

### Частотний перетворювач температури на основі сегнетоконденсатора

На рис. 1 показана електрична схема частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора.

Робота пристрою базується на основі автогенератора, утвореного транзисторною структурою  $VT_1$  і  $VT_2$  та індуктивністю  $L$ . Сегнетоконденсатор увімкнено в схему перетворювача паралельно до транзисторної структури з ВО. Таким чином, ємність сегнетоконденсатора впливає на транзисторну структуру, змінюючи її ємність, а також напругу, яка падає на структурі. Автогенератор на рис. 1 не є параметричним, оскільки

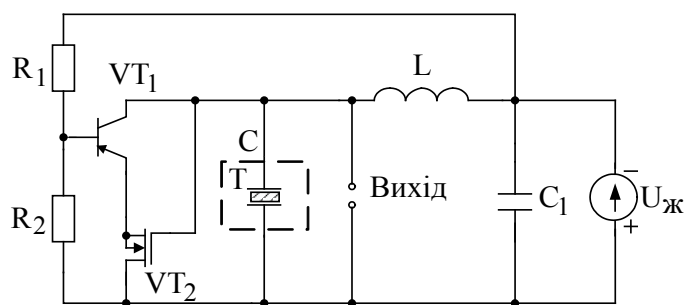


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора

коливання в ньому утворюються не завдяки внутрішній ємності сегнетоконденсатора і пасивній індуктивності, а через позитивний зворотний зв'язок, який виникає в Бі-МОН напівпровідниковій структурі і зумовлює появу ділянки з від'ємним диференціальним опором на вольт-амперній характеристиці пристрою.

### Аналіз схеми автогенератора на основі транзисторної структури з ВО методом схемних визначників

Узагальнена еквівалентна схема автогенератора на основі ТСВО подана на рис. 2.

На рис. 2 використанні такі позначення:  $R_{\text{екв}}$  — еквівалентний опір втрат;  $L_{\text{екв}}$  — еквівалентна індуктивність пасивної індуктивності;  $C_{\text{екв}}$  — еквівалентна ємність транзисторної структури з ВО;  $G_{\lambda}^{(-)}$  — диференціальна

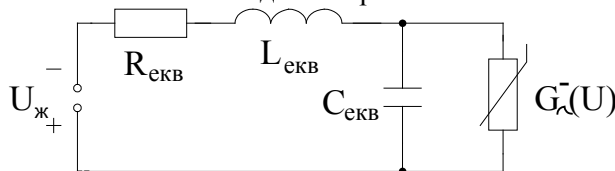


Рис. 2. Еквівалентна схема автогенератора на основі ТСВО

провідність транзисторної структури з ВО (транзисторний аналог лямбда-діода з від'ємною диференціальною провідністю зображений на схемі у вигляді нелінійного опору). Від'ємна диференціальна провідність транзисторної структури утворює внутрішній позитивний зворотний зв'язок, який компенсує втрати в коливальному контурі генератора. Необхідно провести аналіз електричної схеми автогенератора на основі транзисторної структури з ВО.

Ціль аналізу полягає в знаходженні реакції заданого кола за заданого впливу.

Аналіз кола може проводитись з ціллю визначення характеристик усталеного режиму (частотних характеристик) або характеристик перехідного процесу (часових характеристик).

В задачі аналізу передбачаються заданими електричне коло (схема зі значеннями елементів) і зовнішні впливи. Необхідно знайти реакцію кола-напруги і струми в гілках, що нас цікавлять.

Аналіз кола з використанням операторного методу можна поділити на два етапи:

- 1) складання операторних рівнянь і визначення функції кола-опору або функції передачі;
- 2) знаходження за отриманим зображенням шуканої реакції: частотної характеристики або оригіналу, тобто часової функції.

Відношення значення реакції електричного кола до заданого значення впливу, виражене через параметри елементів кола, називається символічною схемною функцією (ССФ) [2]. Чисельне значення ССФ отримується в результаті підстановки замість позначень параметрів їх дійсних або комплексних значень. Залежно від виду реакцій і джерел впливу розрізняють чотири типи ССФ [2]. У тому числі передавальні ССФ за напругою і струмом, що не мають розмірності, а також передавальні опір і провідність, які мають відповідно розмірність опору і провідності. В окремих випадках ССФ, коли чотириполюсник розглядається щодо однієї пари своїх полюсів, говорять про ССФ вхідного опору або ССФ вхідної провідності [3].

Для побудови комплексної схеми заміщення заданого кола необхідно всі елементи замінити на відповідні комплексні схеми, знайти комплексні діючі (або амплітудні) напруги або струм джерел і комплексні опори (провідності) пасивних елементів. Еквівалентна схема автогенератора на основі транзисторної структури з ВО показана на рис. 2, а відповідна їй комплексна схема на рис. 3.

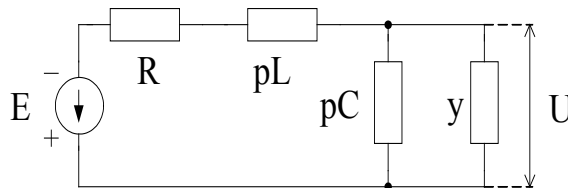


Рис. 3. Комплексна схема заміщення автогенератора на основі транзисторної структури з ВО



$$p^2 + p \left( \frac{R}{L} + \frac{G^{(-)}}{C} \right) + \frac{G^{(-)}R + 1}{LC} = 0,$$

де  $\alpha = \frac{RC + G^{(-)}L}{2LC}$  — коефіцієнт згасання;  $\omega_0 = \sqrt{\frac{G^{(-)}R + 1}{LC}}$  — кутова резонансна частота кон-  
туру.

Характеристичне рівняння можна звести до диференціального рівняння другого порядку відносно генерованої напруги

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \left( \frac{R}{L} + \frac{G^{(-)}}{C} \right) \frac{du}{dt} + \frac{G^{(-)}R + 1}{LC} u = 0. \quad (2)$$

У розрахунках для від'ємної провідності було використано математичні вирази у [4].

На рис. 4 зображено генеровані коливання напруги у нормованому часі, побудовані у програмі MathCad 11.0.

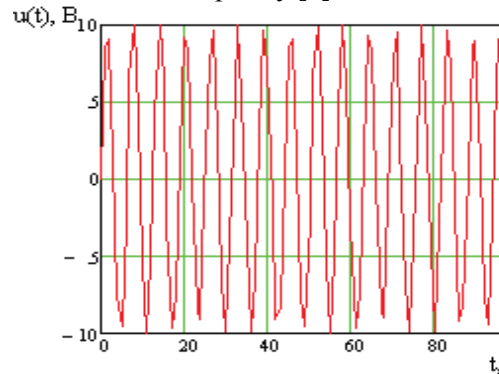


Рис. 4. Генерований електричний сигнал, отриманий у вікні програми MathCad 11.0

### Експериментальні дослідження

Під час проведення експериментальних досліджень використано сегнетоелектричний конденсатор, виготовлений з ВаТіО<sub>3</sub>, розміром 10 × 10 × 1 мм, ємністю 1,2 нФ. В якості біполярного і польового транзисторів використовувалися іноземні транзистори BF240 і BF998, відповідно. Під час проведення експерименту використовувалися джерела постійної напруги (ДПН) типу ВИП009, Б5-43, міліамперметр типу УТ70В, вольтметри типу В7-35, частотомір електронно-лічильний ЧЗ-35, осцилограф С1-93. Вимірювання температури проводилось за допомогою переносного пірметра типу Смотрич-4ПМ1. Напруга живлення схеми частотного перетворювача становила 4 В.

На рис. 5, 6 зображено отримані основні результати експериментальних досліджень.

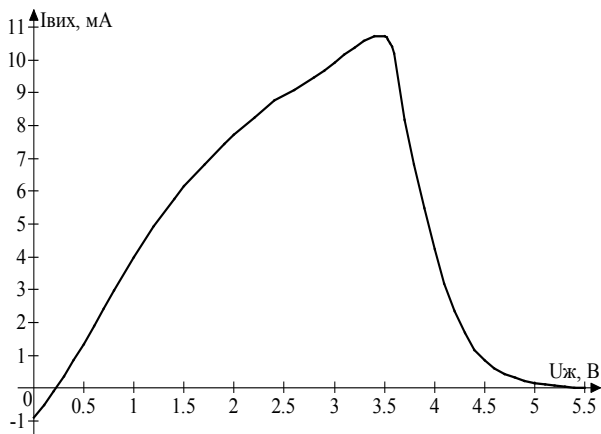


Рис. 5. Експериментальна статична ВАХ перетворювача

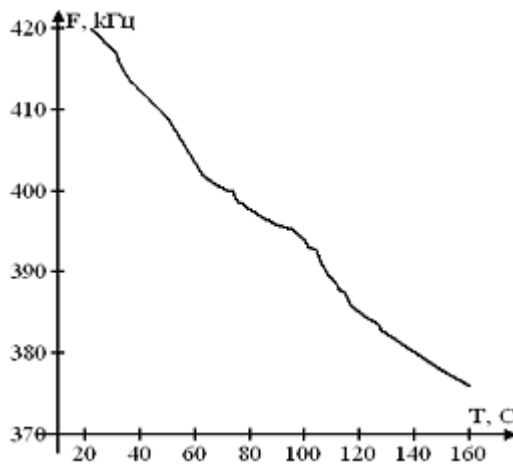


Рис. 6. Експериментальна функція перетворення

### Висновки

Запропоновано електричну схему перетворювача температури на основі сегнетоелектричного конденсатора і транзисторної структури з ВО. На основі методу схемних визначників проведено аналіз основної частини схеми — автогенератора синусоїдальних коливань, внаслідок чого отримано зображення вихідного сигналу пристрою у вікні програми MathCad 11.0. Проведено експериментальні дослідження, завдяки чому отримано ВАХ і функція перетворення частотного перетворювача температури.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Желудев И. С. Физика кристаллических диэлектриков / И. С. Желудев. — М. : Наука, 1968. — 462 с.
2. Курганов С. А. Анализ установившихся режимов линейных электрических цепей методом схемных определителей : учеб. пос. / С. А. Курганов, В. В. Филаретов. — Ульяновск : УлГТУ, 2002. — 148 с.
3. Курганов С. А. Схемно-алгебраическое моделирование и расчет линейных электрических цепей : учеб. пос. / С. А. Курганов, В. В. Филаретов. — Ульяновск : УлГТУ, 2005. — 319 с.
4. Осадчук В. С. Генератори електричних коливань на основі транзисторних структур з від'ємним опором : моног. / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, А. О. Семенов. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 184 с.

Рекомендована кафедрою радіотехніки

Стаття надійшла до редакції 11.02.11

Рекомендована до друку 1.03.11

**Осадчук Володимир Степанович** — професор кафедри електроніки;

**Осадчук Олександр Володимирович** — завідувач кафедри, **Барaban Сергій Володимирович** — аспірант.

Кафедра радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця