

враховуючи рівняння (23) рівняння (24) переписується:

$$F_0 = \left[2p \left(LC \left[\int_0^{+\infty} \frac{U}{gSR_E \left(1 - e^{-t/R_E C_E} \right)} dt \right] \right)^{1/2} \right]^{-1}. \quad (25)$$

Висновки

1. Представлені рівняння можуть бути використані для прогнозування потенціалу та поля в однокристальному та двокристальному піроелектричному перетворювачі температури.
2. Було проведено перевірку побудованих математичних моделей піроелектричного матеріалу LiTaO₃ шляхом розрахунку його ключових параметрів (еквівалентної ємності, еквівалентного опору та напруги на ньому), що підтвердили адекватність розроблених математичних моделей.
3. Було виведено функцію перетворення теплової енергії в електричну, яка, на відміну від існуючих, враховує вплив зміни температури, пірокоефіцієнт, габарити матеріалу, еквівалентну ємність та еквівалентний опір на значення напруги, що існує на виході піроелектрика.
4. Було досліджено залежність напруги на піроелектричному матеріалі від часу.
5. Було виведено функцію перетворення для радіовимірювального приладу на основі оптико-частотного температурного перетворювача з чутливим елементом у вигляді піроелектрика.

Література

1. Гаврилова Н. Д. Пироэлектричество / Гаврилова Н. Д., Данилычева М. Н., Новик В. К. – М.: Сов. рад., 1989. – 154 с.
2. Новик В. К. Пироэлектрическиепреобразователи / Новик В. К., Гаврилова Н. Д., Фельдман Н. Д. – М.: Советскоерадио, 1979. – 176 с.
3. Струков Б. А. Пироэлектрические материалы: свойства и применение / Б. А. Струков // Соросовский образовательный журнал. – 1988. – № 6. – С. 96– 101.
4. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / Осадчук О. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 302 с.

Надійшла 6.3.2011 р.

УДК 621.382: 681.586.776

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

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ СЕГНЕТОКОНДЕНСАТОРА

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

The theoretical and experimental studies of the frequency temperature converter based on ferroelectric condenser and transistor structure with negative resistance (TSNR) are presented, the possibility of constructing such measuring transducers is shown, method of circuit identifiers for research oscillators schemes based on TSNR is suggested to use.

Ключові слова: сегнетоконденсатор, частотний перетворювач температури, транзисторна структура з від'ємним опором, символна схемна функція, від'ємна диференційна провідність.

Вступ

Новим і перспективним напрямком в області прецизійного і малоінерційного вимірювання температури є використання термодіелектричних властивостей сегнетоелектриків. В якості перетворювачів застосовують ємнісні термочутливі елементи, які є реактивними елементами коливальних контурів. Фізичні основи принципу дії сегнетоелектричних вимірювань температури забезпечують більш високі метрологічні показники, ніж ті, що забезпечують існуючі в наш час резистивні і термоелектричні прилади.

Для сегнетоелектриків залежність діелектричної проникності від температури описується законом

Кюрі-Вейса за рівнянням: $e = \frac{A}{(T - T_K)}$, де e – діелектрична проникність; A – константа для даного

сегнетоелектрика; T_K – температура фазового переходу сегнетоелектрика (температура Кюрі); T – температура сегнетоелектрика [1].

Таким чином, функція $e = f(T)$ 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 само розігріву, 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 реалізуєма діелектрична проникність (порядку 10⁵) при температурі Кюрі дозволяє отримувати більші значення ємності при малих габаритах, що забезпечує малу інерційність перетворювачів [1].

Сегнетоелектричний перетворювач температури представляє собою термозалежну ємність, його зручно використовувати в пасивних і активних вимірювальних схемах ввімкнення з амплітудним, частотним, часовим і фазовим виходом. В повній степені метрологічні можливості сегнетоелектричних термоперетворювачів можуть бути використані в схемах з частотним виходом, який дозволяє здійснити перетворення в цифровий код.

Частотний перетворювач температури на основі сегнетоконденсатора

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

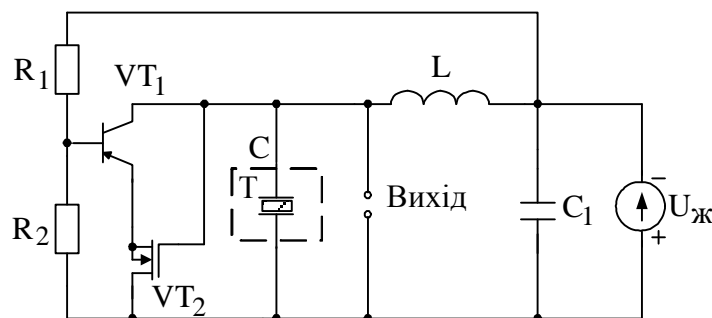


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора

Робота пристрою базується на основі автогенератора, утвореного транзисторною структурою VT1 і VT2 і індуктивністю L. Сегнетоконденсатор C ввімкнено 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 коливання в ньому утворюються не завдяки внутрішній ємності сегнетоконденсатора і пасивній індуктивності, а позитивному зворотному зв'язку, який виникає в Бі-МОН напівпровідниковій структурі і призводить до появи 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.

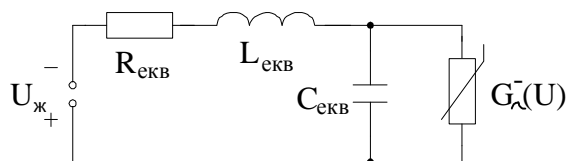


Рис. 2. Еквівалентна схема автогенератора на основі ТСВО

На рис. 2 використанні такі позначення: $R_{екв}$ – еквівалентний опір втрат; $L_{екв}$ – еквівалентна індуктивність пасивної індуктивності; $C_{екв}$ – еквівалентна ємність транзисторної структури з ВО; $G_{\lambda}^{(-)}$ – диференціальна 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 при заданому впливі. Основні риси процесу аналізу.

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 при використанні операторного методу можна підрозділити на два етапи:

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

Розв'язок задачі аналізу завжди існує. Аналіз дає єдиний розв'язок.

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 реакції і джерел впливу розрізняють чотири типи ССФ [2]. У тому числі передавальні ССФ по напрузі і струму, що не мають розмірності, а також передавальні опір і провідність, які мають відповідно розмірність опору і провідності. В окремих випадках ССФ, коли чотириполюсника 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 представлена на рис. 2, а відповідна їй комплексна схема на рис. 3.

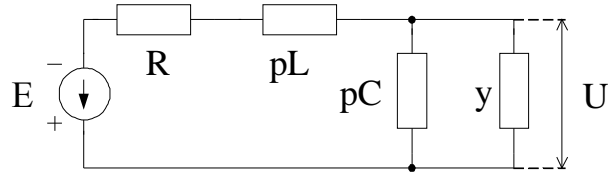


Рис. 3. Комплексна схема заміщення автогенератора на основі транзисторної структури з ВО

Для знаходження діючого значення напруги на провідності необхідно провести аналіз комплексної схеми заміщення (рис. 2) і знайти комплексний коефіцієнт передачі по напрузі [3]:

$$K_U = \frac{U_H}{E} = \frac{\Delta N}{\Delta D} \quad (1)$$

Операції по формуванню чисельника ΔN і знаменника ΔD (1) зведені в табл. 1 і 2 відповідно.

Таблиця 1

Формування виразу чисельника комплексного коефіцієнта передачі по напрузі еквівалентної схеми автогенератора на основі транзисторної структури з від'ємним опором (ВО)

№	Найменування операцій і схемно-алгебраїчні вирази (САВ)
1	Побудова вихідного САВ чисельника $\Delta N =$
2	Видалення провідності у паралельно під'єднаної до приймача НКД [2], а також стягування опору R послідовно під'єднаного до генератора НКД $\Delta N =$
3	Стягування z-гілки pL послідовно під'єднаної до генератора НКД, а також видалення y-гілки pC паралельно під'єднаної до приймача НКД $\Delta N =$
4	Використання відомого визначника контуру, який складається з генератора і приймача однойменного невидяємого керованого джерела [3]. Отримання остаточного алгебраїчного виразу чисельника $\Delta N = 1$

Вираз знаменника комплексного коефіцієнта передачі по напрузі є характеристичним рівнянням для контуру. Розкриємо дужки і перепишемо у зручному для подальшого аналізу вигляді.

$$pRC + G^{(-)}R + p^2LC + pLG^{(-)} + 1 = 0,$$

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

де $a = \frac{RC + G^{(-)}L}{2LC}$ – коефіцієнт згасання; $w_0 = \sqrt{\frac{G^{(-)}R + 1}{LC}}$ – кутова резонансна частота контуру.

Таблиця 2

Формування виразу знаменника комплексного коефіцієнта передачі по напрузі еквівалентної схеми автогенератора на основі транзисторної структури з ВО

№	Найменування операцій і схемно-алгебраїчні вирази (САВ)
1	Побудова вихідного САВ знаменника $\Delta D =$ 
2	Знаходження визначника послідовно з'єднаних z-гілок R і pL, а також визначника паралельно з'єднаних y-гілок pC і y [3]. $\Delta D =$ 
3	Обрахунок визначника контуру з опору z і провідності y [3]. Запис визначника контуру з опору і провідності $\Delta D = (R + pL)(pC + y) + 1$

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

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

При 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.

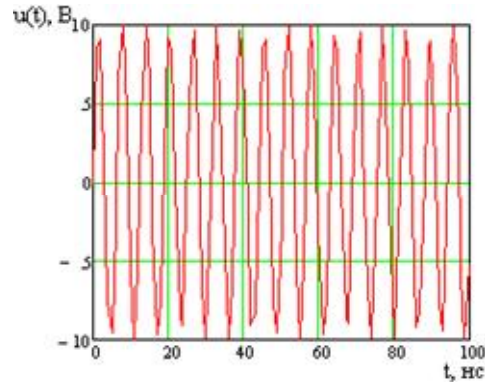


Рис. 4. Генерований електричний сигнал, отриманий у вікні програми MathCad 11.0

Експериментальні дослідження

При проведенні експериментальних досліджень було використано сегнето-електричний конденсатор, виготовлений з ВаТіО₃, розміром 10x10x1 мм, ємністю 1,2 нФ. В якості біполярного і польового транзисторів використовувалися іноземні транзистори BF240 і BF998 відповідно. Під час проведення експерименту використовувались джерела постійної напруги (ДПН) типу ВИП009, Б5-43, міліамперметр типу УТ70В, вольтметри типу В7-35, частотомір електроннолічильний ЧЗ-35, осцилограф С1-93. Вимірювання температури проводилось за допомогою переносного пірометра типу Смотрич-4ПМ1. Напруга живлення схеми частотного перетворювача становила 4 В.

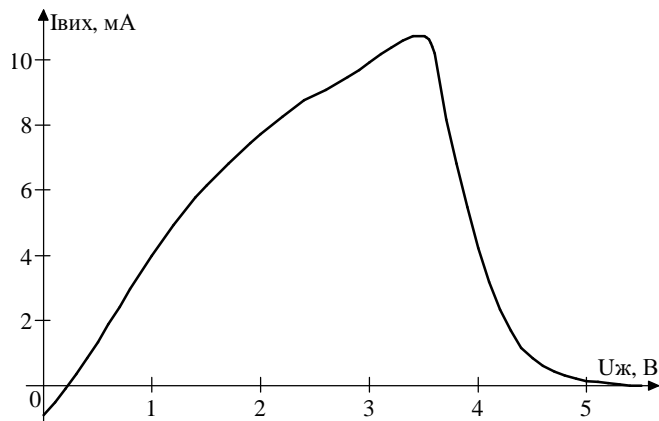


Рис. 5. Експериментальна статична ВАХ перетворювача

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

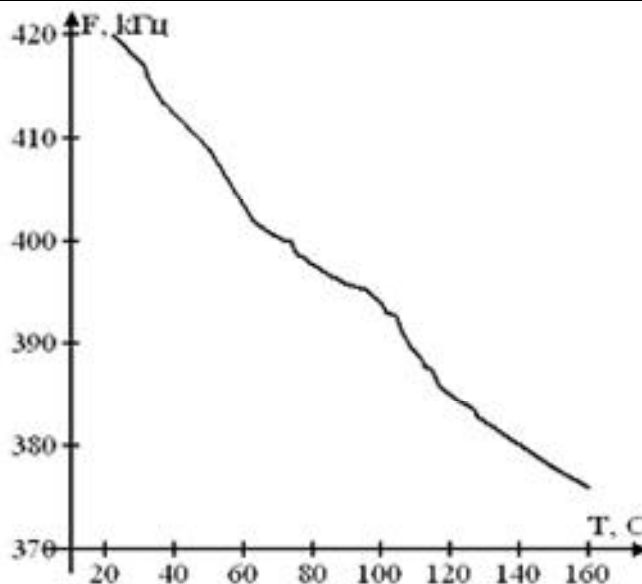


Рис. 6. Експериментальна функція перетворення

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. Проведені експериментальні дослідження, завдяки чому отримано ВАХ і функцію перетворення частотного перетворювача температури.

Література

1. Желудев И. С. Физика кристаллических диэлектриков / Желудев И. С. – М.: Изд-во "Наука", 1968. – 462 с.
2. Курганов С. А. Анализ установившихся режимов линейных электрических цепей методом схемных определителей: [учеб. пос.] / Курганов С. А. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 148 с.
3. Курганов С. А. Схемно-алгебраическое моделирование и расчет линейных электрических цепей: [учеб. пос.] / Курганов С. А. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 319 с.
4. Осадчук В. С. Генераторы электрических колебаний на основе транзисторных структур с від'ємним опором: [моног.] / Осадчук В. С. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 184 с.

Надійшла 4.3.2011 р.

УДК 621.382

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА

Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОХЗАТВОРНОГО ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА У РЕЖИМІ ВІДКРИТОГО ПЕРШОГО І ЗАКРИТОГО ДРУГОГО ПЕРЕХОДІВ

Розроблена математична модель двохзатворного польового транзистора для режиму відкритого першого і закритого другого переходів, у якості якої можливе використання параметрів його невизначеної матриці, для формулювання яких достатньо визначити параметри матриць провідності трьох чотириполюсників, що реалізуються на основі ПТ2.

The mathematical model of two brench-block field transistor is developed for the mode opened first and closed second transitions, in quality of which the possible use of parameters of him indefinite matrix, for determination of which it is enough to define the parameters of matrices of conductivity of three quadripoles which are realized on the basis of FIT2.

Ключові слова: двохзатворний польовий транзистор, матриця провідності.

Вступ

Двохзатворні польові транзистори (ПТ2) можуть забезпечувати реалізацію на одному кристалі напівпровідника двох інформаційних пристроїв (ІП). Наприклад, генератора і змішувача, підсилювача і атенюатора тощо [1,2], що свідчить про їх широкі функціональні можливості. При цьому зазвичай вони використовуються у режимах зворотного зміщення на затворах. Двохзатворні ПТ2 з *p-n* переходами і переходами Шотткі можуть працювати також при прямому зміщенні одного із затворів, що розширює