

УДК 621.38

**В. С. Осадчук, д. т. н., проф.; О. В. Осадчук, д. т. н., проф.; В. П. Деундяк;
М. В. Деундяк**

ОПТИКО-ЧАСТОТНИЙ ТЕМПЕРАТУРНИЙ СЕНСОР

У статті розглянуто оптико-електронні прилади для вимірювання температури, які об'єднують чималий клас пристроїв. Високі технічно-експлуатаційні характеристики оптичних сенсорів температури дозволяють їхнє використання в різних галузях господарства, науки і техніки.

Ключові слова: *Оптико-частотний температурний сенсор, від'ємний опір, сенсор температури, перетворювач напруга-частота, температура, опір з ємнісним характером, пасивна індуктивність.*

Удосконалення напівпровідникової технології дозволяє розширити сферу застосування сенсорів, а також підвищити точність вимірювання, швидкодію, надійність, довгостроковість, зручність узгодження з електронними вимірювальними схемами. Масовий характер виробництва сенсорів сприяє зниженню ціни на них, що зумовлює їх широке практичне використання. Крім того, шляхом вимірювання температури можна визначити й інші параметри такі як потік, рівень та ін.

Використання досягнень сучасної мікроелектронної технології привело до значних успіхів у створенні різноманітних пристроїв контролю й управління. Проте часто отримання високих метрологічних характеристик апаратури досягається за допомогою підвищення її складності, габаритів, маси і вартості. Для подальшого суттєвого підвищення якості первинних перетворювачів необхідно використовувати нові фізичні явища і пошук нових принципів реалізації пристроїв, які відзначаються багатофункціональністю, мало споживаною потужністю, стабільністю характеристик, високою чутливістю, підвищеною швидкодією і надійністю.

Важливим різновидом сенсорів є сенсори температури адже багато процесів регулюється відповідно до значення температури. Для виміру температури в цей час використовуються напівпровідникові або мікроелектронні сенсори, які виконані у вигляді мікросхем, інфрачервоні сенсори, термометри опору, термістори, термопари. Використання температурних сенсорів, як правило, ґрунтується на вимірюванні залежності електричного опору від температури, за винятком сенсорів на основі термопар, де виникає електрорушійна сила (ЕРС), пропорційна температурі.

Принцип дії оптико-частотного температурного сенсора ґрунтується на дії зміни температури, яка приймається температурним сенсором IRA-E420S1 фірми Murata (фотоелектричний, інфрачервоний сенсор). Таким чином змінюється вихідна напруга на сенсорі, що приводить до зміни ємнісної складової повного опору на електродах колектор-колектор пари біполярних транзисторів, що викликає зміну резонансної частоти коливального контуру (рис. 1). Запропонований пристрій складається з сенсора температури та перетворювача напруга-частота.

Коли не змінюється температура, тоді вимірювання не відбуваються. У момент, коли на електродах колектор-колектор пари біполярних транзисторів виникає негативний опір, який призводить до виникнення електричних коливань у контурі (контур утворений паралельним включенням повного опору з ємнісним характером на електродах колектор-колектор пари біполярних транзисторів VT1, VT2 та пасивною індуктивністю L). Під час наступної зміни температури, яка приймається сенсором, змінюється вихідна напруга на ньому, яка змінює ємнісну складову повного опору на електродах колектор-колектор пари біполярних транзисторів, а це викликає зміну резонансної частоти коливального контуру.

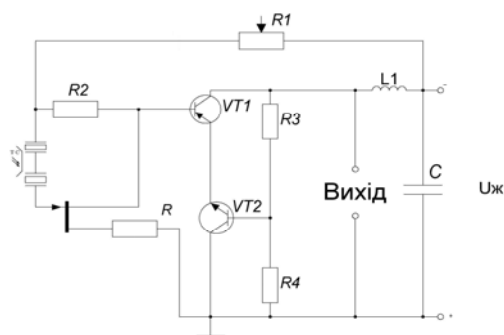


Рис. 1. Електрична схема оптико-частотного температурного сенсора

Ефективно вирішити проблему дистанційного вимірювання температури дозволяє пристрій зображений на рис. 1. Є потреба в теоретичному і практичному доведенні того, що на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів є опір, який відповідає спадній ділянці вольт-амперної характеристики (ВАХ). Крім того, для вивчення роботи оптико-частотного температурного сенсора в динамічному режимі необхідно отримати залежність активної та реактивної складової комплексного опору електродів колектор-колектор структури. Щоб це здійснити, наведемо схему пристрою, враховуючи еквівалентне схеми транзисторів. Отримаємо схему на рис. 2.

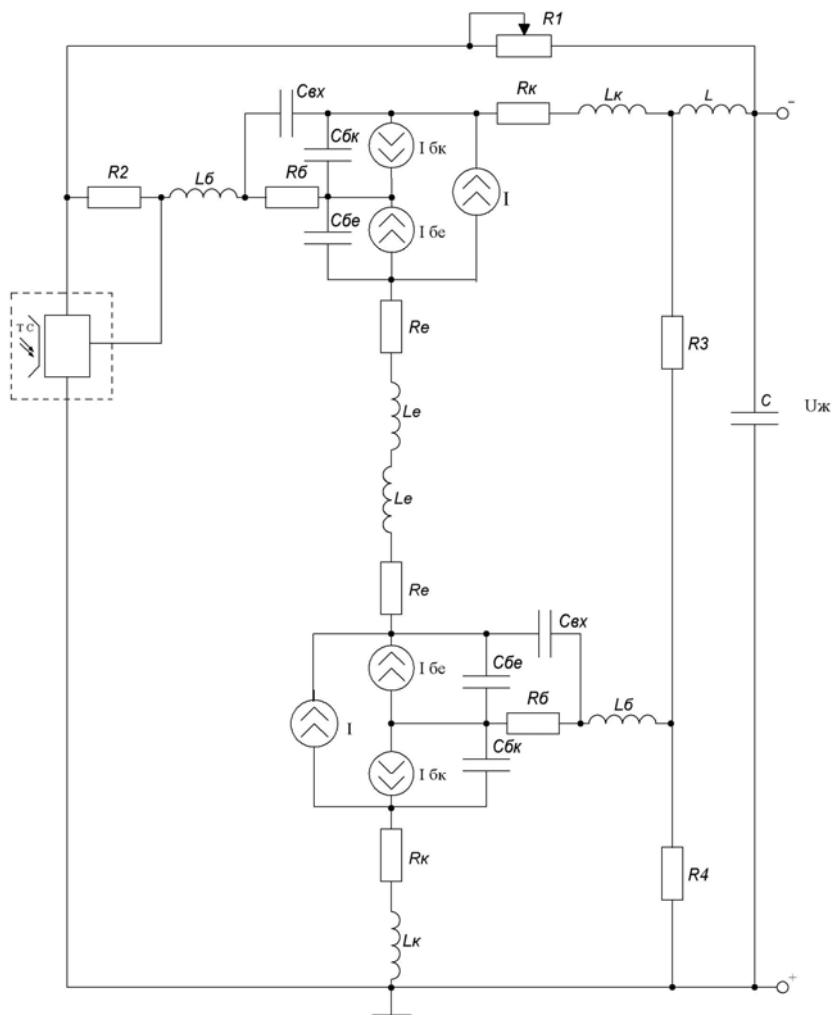


Рис. 2. Еквівалентна схема оптико-частотного температурного сенсора

Для зручності розрахунків спрощену еквівалентну схему оптико-частотного

$$\text{де } Z_{R2} = R_2; Z_{R3} = R_3; Z_{R4} = R_4; Z_{RB} = R_B; Z_{LB} = j\omega L_B; Z_{CBX} = \frac{-j}{\omega C_{BX}}; Z_{RLK} = R_K + j\omega L_K;$$

$$Z_{CBK} = \frac{-j}{\omega C_{BK}}; Z_{CBE} = \frac{-j}{\omega C_{BE}}; Z_{RLE} = R_E + j\omega L_E.$$

Струми база-емітера I_{BE} і база-колектора I_{BK} описуються виразами:

$$I = \frac{I_{BE} - I_{BK}}{Q}, \quad (2)$$

$$I_{BE} = I_S \exp\left(\frac{U_{BE}}{NE \cdot V_t} - 1\right), \quad (3)$$

$$I_{BK} = I_S \exp\left(\frac{U_{BK}}{NC \cdot V_t} - 1\right), \quad (4)$$

$$I_S = I_{SS} \exp\left(\frac{U_{JS}}{NS \cdot V_t} - 1\right), \quad (5)$$

де Q – заряд у базі; $V_t = kT/q$; I_{SS} – зворотний струм р-п переходу підкладки; U_{BE} – напруга база-емітера; U_{BK} – напруга база-колектора; U_{JS} – контактна різниця потенціалів переходу колектор-підкладка; NE – коефіцієнт неідеальності емітерного переходу; NC – коефіцієнт неідеальності колекторного переходу; NS – коефіцієнт не ідеальності переходу підкладки.

Розв'язавши отриману систему рівнянь, визначимо вираз для повного опору оптико-частотного сенсора температури, який матиме вигляд:

$$Z = \frac{U_{Ж}}{\frac{Z_{R2} + Z_{RLE}}{Z_{LB} - Z_{RLE}} \cdot \left[U_{Ж} \left(\frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_{R3}} \right) - 2I_{BE} - I + I_{BK} - \frac{Z_{CBK} + Z_{CBX}}{Z_{CBK} \cdot Z_{CBX}} \left(U_{Ж} \left(\frac{1}{Z_C + Z_L} - \frac{1}{Z_{R3}} \right) - I - I_{BK} \right) \right]} \quad (6)$$

Підставивши в отриманий вираз значення параметрів еквівалентної схеми, отримаємо числове значення повного опору $Z = -20 + j4,5$ кОм (для $U_{Ж} = 8$ В). Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що активна складова повного комплексного опору кола приймає від'ємне значення, що подано на рис. 4. У свою чергу, а реактивна складова повного комплексного опору кола має ємнісний характер (рис. 5).

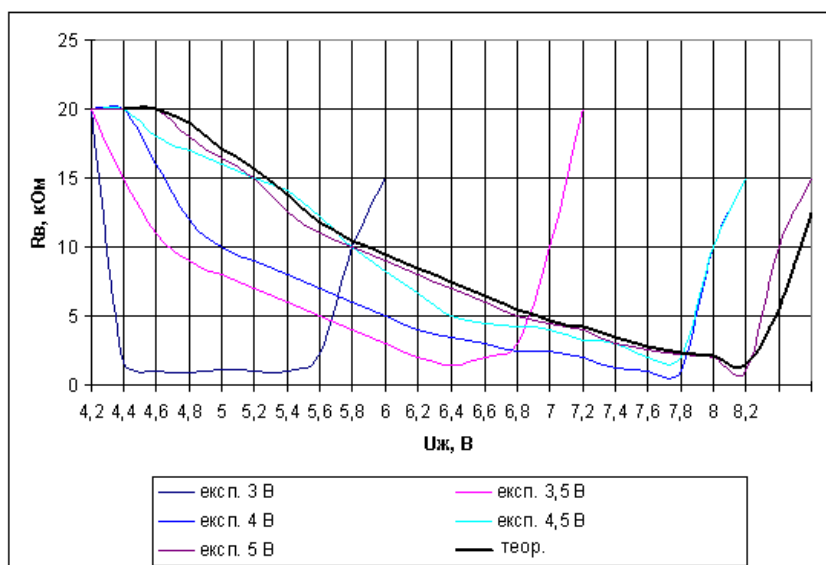


Рис. 4. Теоретична й експериментальна (за різних напруг керування 3 В; 3,5 В; 4 В; 4,5 В; 5 В) залежності активної складової повного комплексного опору від напруги живлення

Як видно з графіка рис. 4, експериментальна залежність активної складової повного комплексного опору від напруги живлення має вигляд кривої, яка спадає, а потім знов зростає, в той час, як теоретична зростає майже і спадає майже за лінійним законом.

З рис. 5 випливає, що зі збільшенням напруги живлення реактивна складова повного комплексного опору поступово зменшується (приблизно до рівня 4 кОм).

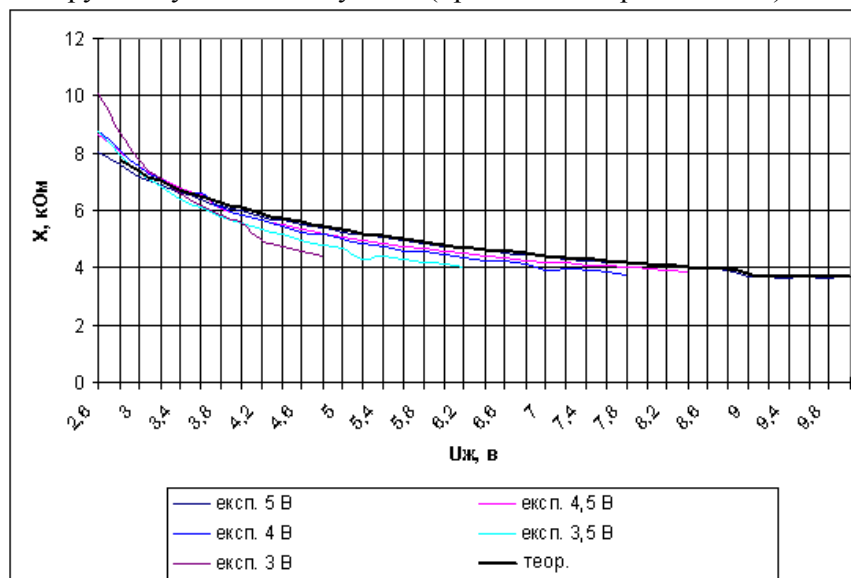


Рис. 5. Теоретична і експериментальна (при різних напругах керування 3 В; 3,5 В; 4 В; 4,5 В; 5 В) залежності реактивної складової повного комплексного опору від напруги живлення

Підключення пасивної індуктивності до виводів колектор-колектор структури за від'ємних значень повного комплексного опору (за компенсації втрат енергії в коливальному контурі), дозволяє створити генератор електричних коливань. При дії зміни температури на сенсор здійснюється зміна активної та реактивної складової повного комплексного опору, що в свою чергу, змінює частоту генерації. Експериментальна залежність частоти генерації від напруги живлення наведена на рис. 6 і має майже лінійний характер.

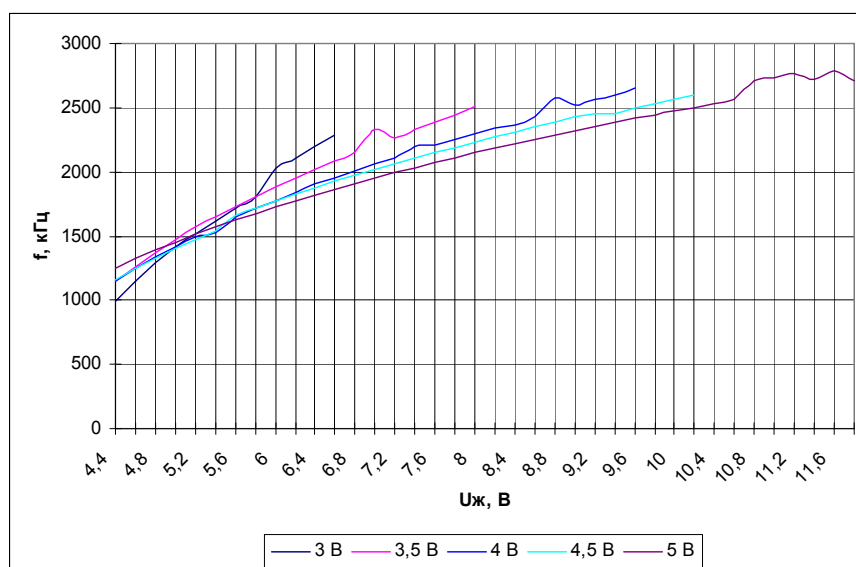


Рис. 6. Експериментальна залежність частоти генерації від напруги живлення

На рис. 7 наведено експериментальну залежність частоти генерації від температури (за різних напруг керування), яка має майже лінійний характер. Причому, коли напруга керування дорівнює 3,5 В, то ділянка від 100°C до 240°C є найстабільною, для напруги керування 4,5 В найстабільною є ділянка від 35°C до 180°C, а для 5 В – ділянка від 35°C до 160°C.

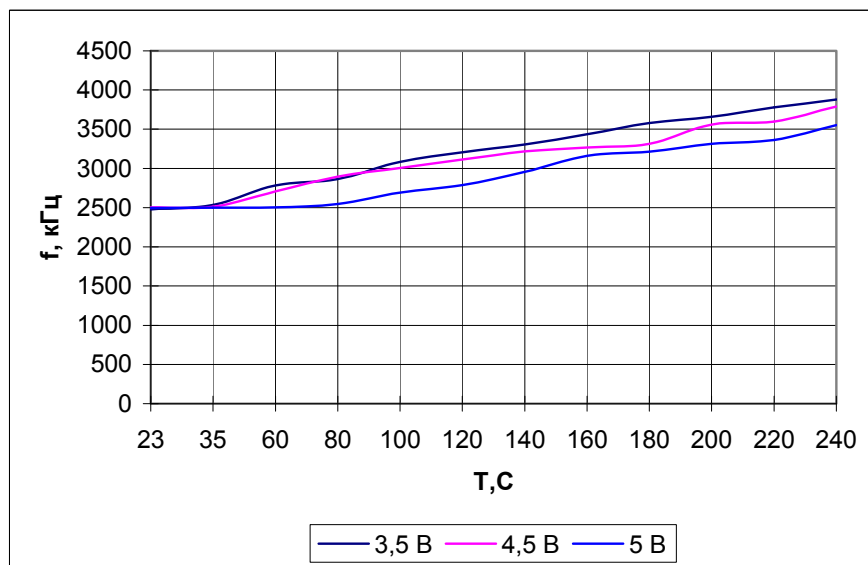


Рис. 7. Експериментальна залежність частоти генерації від температури

Здійснивши ряд досліджень та провівши розрахунок кола оптико-частотного температурного сенсора, визначено, що активна складова повного комплексного опору приймає від'ємне значення, а реактивна – ємнісний характер та залежить від напруги живлення. Встановлено ряд взаємозв'язків між частотою генерації та напругою живлення, частотою генерації та температурою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поскачей А. А., Чубаров Е. П. Оптико-електронные системы измерения температуры. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 246 с.
 2. Осадчук В. С., Осадчук О. В., Кравчук Н. С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним
- Наукові праці ВНТУ, 2009, № 3

виходом. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 163 с.

3. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 302 с.

4. Пат. 33239 Україна. МПК⁷ G 01 K 5/00. Оптичний сенсор температури з частотним виходом / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Деундяк В. П., Деундяк М. В.; власник Вінницький національний технічний університет. – № u200802333; заявл. 22.02.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

5. Пат. 33240 Україна. МПК⁷ G 01 K 11/00. Мікроелектронний оптичний сенсор температури з частотним виходом / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Деундяк В. П., Деундяк М. В.; власник Вінницький національний технічний університет. – № u200802335; заявл. 22.02.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

Осадчук Володимир Степанович – д. т. н., професор, завідувач кафедри електроніки, e-mail: osadchuk69@mail.ru, тел.: (0432)-598013.

Осадчук Олександр Володимирович – д. т. н., професор, завідувач кафедри радіотехніки

Деундяк Володимир Петрович – головний інженер НВП «Укртерм», м. Вінниця.

Деундяк Марина Володимирівна – студентка факультету радіотехніки та телекомунікацій. Вінницький національний технічний університет.