

Як видно із графіка, теоретичні та експериментальні залежності мають добрий збіг. Так при зміні масової вологості від 0 % до 20 % ємність збільшується від 145 пФ до 297 пФ. Адекватність математичної моделі можна оцінити за допомогою відносної похибки, яка складає 3 %.

Висновки

Розроблено математичну модель ємнісного сенсора вологості, яка описує залежність електричної ємності від величини вологості нафтопродукту. Вологомір являє собою систему електродів, що виконані у вигляді циліндричних пластин різного діаметру та закріплені у діелектричній трубі. Чутливість сенсора для мінерального масла складає близько 7 пФ/%. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 3 %.

Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / Вуйцік В., Готра З.Ю., Григор'єв В.В. і др. – Львів: Ліга-Прес, 2002. – 475 с.
2. Фрайден Дж.. Современные датчики. Справочник. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин / Агеев О.А., Мамиконова В.М., Петров В.В. и др. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 153 с.
4. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
5. Пат. 39894 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний сенсор для вимірювання вологості / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін (УКРАЇНА). – № 200814033; Заявл. 05.12.2008; Опубл. 10.03.2009; Бюл. № 5. – 2 с.
6. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В., Євсєєва М.В. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2 (12). – С. 229-234.
7. Теория диэлектриков / Н.П. Богородицкий, Ю.М. Волокобинский, А.А. Воробьев, Б.М. Таргев. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 344 с.

Надійшла до редакції
25.10.2009 р.

УДК 389.638.011

С.В. БЕХ, Ю.С. КУХАРЧУК

Хмельницький національний університет

КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДДАЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті приводиться класифікація оптико-електронних методів вимірювання температури віддалених об'єктів за різними ознаками. Розглядаються основні їхні переваги та недоліки.

In the article classification over of optical-electronic methods of measuring of temperature of remote objects is brought on different signs. Their basic advantages and failings are examined.

Ключові слова: вимірювання, температура віддалених об'єктів.

Вступ

В даний час в багатьох галузях промисловості використання високих температур являється невід'ємною частиною технологічного процесу та якість продукції в більшій степені визначається надійністю результатів вимірювань або регулювання температур. Аналогічна ситуація спостерігається в багатьох областях наукових досліджень, де надійність результатів вимірювань високих температур – один з факторів, що визначає успіх досліджень.

Надмірна різноманітність об'єктів дослідження, умов вимірювання температур в цих об'єктах, відмінність вимог до діапазону та точності вимірювання високих температур – все це виключає можливість створення універсальних пірометричних методів та приладів.

Тому є досить актуальним створення такого арсеналу методів та приладів для вимірювання високих температур, які в своїй сукупності змогли б охопити всю різноманітність об'єктів, умов та режимів вимірювання. Це є основною задачею пірометрії.

Об'єктом дослідження є існуючі оптико-електронні методи вимірювання температури.

Результати та їх обговорення

Про температуру нагрітого тіла можна судити на основі вимірювання параметрів його теплового випромінювання, що являє собою електромагнітні хвилі різної довжини. Чим вище температура тіла, тим більше енергії воно випромінює.

Термометри, дія яких заснована на вимірюванні теплового випромінювання, називають пірометрами. Вони дозволяють контролювати температуру від 100 до 6000 °С та вище. Одною з основних переваг даних приладів є відсутність впливу випромінювача на температурне поле нагрітого тіла, так як в процесі вимірювання вони вступають в безпосередній контакт один з

одним. Тому дані методи отримали назву безконтактних оптико-електронних методів вимірювання [2].

Оптико-електронні методи вимірювання температури – це методи безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл за їх енергетичним та спектральним характеристикам в різних діапазонах довжин хвиль та (або) на заданих довжинах хвиль. Необхідність безконтактного вимірювання виникає тоді, коли потрібно вимірювати високі температури (сотні та тисячі градусів) в жорстких умовах протікання технологічних процесів.

При розробці та реалізації того чи іншого методу вимірювання температури необхідно враховувати властивості досліджуваного об'єкту та його випромінюючу здатність. В зв'язку із цим, виділено три великі групи оптико-електронних методів вимірювання температури: методи, засновані на використанні характеристик теплового випромінювання чорного тіла, сірих тіл та селективних випромінювачів (рис. 1).

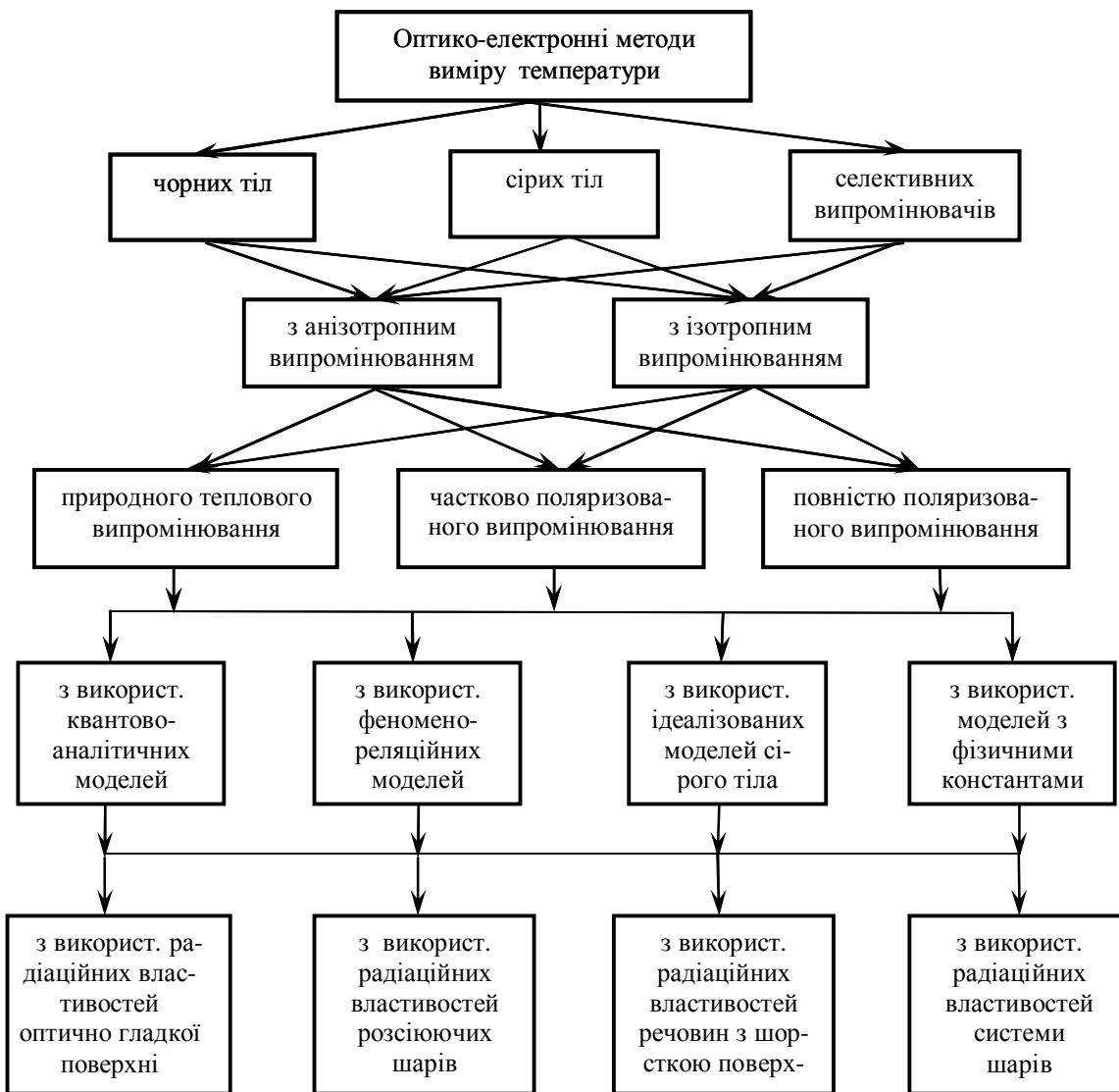


Рис. 1. Класифікація оптико-електронних методів вимірювання температури по характеристикам досліджуваного об'єкта

За ступенем анізотропії (чи по типу кутового розподілу випромінювання) оптико-електронні методи вимірювання температури досліджувані об'єкти (ДО) поділяються на методи вимірювання характеристик ентропійного рівно можливого теплового випромінювання, що підлягає закону Ламберта, і методи вимірювання характеристик анізотропного теплового випромінювання ДО [10].

За характером теплового випромінювання ДО розрізняють оптико-електронні методи визначення температури по результатам вимірювання характеристик природних теплових полів, частково поляризованих і повністю поляризованих теплових полів (рис. 1). Такий розподіл методів необхідний для чіткого розуміння та представлення вимірювальної задачі та характеру теплового випромінювання.

В результаті різноманітності радіаційних властивостей і характеристик ДО виникає необхідність в створенні відповідних моделей теплового випромінювання і їх використання в

рівняннях переносу випромінювання, а також необхідність створення відповідних оптико-електронних методів вимірювання температури, що використовують дані моделі. Тому був виділена така суттєва класифікаційна ознака як «вигляд використовуваних моделей теплового випромінювання».

Оптико-електронні методи у температурі по даній ознаці можуть бути розділені на методи і рівняння вимірювання з використанням квантово-аналітичних моделей теплового випромінювання, методи і рівняння вимірювання з використанням феномено-реляційних моделей, методи і рівняння з використанням математичних моделей на базі точних значень фізичних констант речовини ДО, а також методи і рівняння вимірювання з використанням ідеалізованих моделей сірих тіл (рис. 1).

В основу першої групи вказаних методів покладені квантово-механічний опис випромінювання окремих молекул – випромінювачів, їх статичне об'єднання в один випромінюючий осцилятор і сукупне визначення «сумарного» випромінювання з врахуванням геометричної структури ДО та рівнянь переносу випромінювання [1,5]. В цьому випадку вимірюванням підлягають сумарні випромінювання газів, їх сумішей, промислових газів, що містять трьохатомні молекули (H_2O , CO_2 , SO_2 та ін.), пило газованих сумішей з врахуванням їх квантово-механічних моделей.

Друга група оптико-електронних методів визначення температури зв'язана зі створенням і використанням феномено-реляційних моделей теплового випромінювання з врахуванням радіаційних властивостей реальних об'єктів та результатів експерименту. В цих моделях радіаційні властивості ДО описуються через відношення випромінюючих властивостей реального тіла і ЧТ. Іншими словами, випромінююча властивість реальних тіл визначається як доля випромінювання ЧТ при заданій температурі в будь-якому спектральному інтервалі [1]. В даній групі методів широко використовуються обидві властивості ЧТ:

спектральні радіаційні характеристики ЧТ визначаються тільки одним параметром стану ЧТ – температурою і не залежать від других параметрів системи;

всі спектральні розподіли для ЧТ відповідають максимально можливому тепловому випромінюванню тіл при заданій температурі.

Друга група методів використовується при вимірюваннях температури по тепловим випромінюванням в основному таких об'єктів як нагріті чисті метали, сплави, конгломерати, осколки метеоритів, комети і т.д.

В основі третьої групи оптико-електронних методів вимірювання температури – використання моделей, які поєднують фізичне описання радіаційних методів ДО за допомогою моделі речовини на базі значення точних фізичних констант та використання їх модельних характеристик в рівнянні переносу випромінювання [1]. Дана група методів використовується для визначення температури випромінювання як металів, так і дисперсних систем.

До третьої групи методів можна віднести метод, заснований на використанні моделей сірого тіла та ідеалізованих функціональних залежностей для спрощення розрахунків [1,11] (рис. 1). Відмітимо, що реальні тіла можуть розглядатися як сірі випромінювачі тільки в обмеженому спектральному діапазоні довжин хвиль $\Delta\lambda$, в якому коефіцієнт випромінювання ($\epsilon_T < 0,01$) не залежить від температури T [3].

Залежно від вимірювальних характеристик випромінювання (абсолютних значень теплового потоку випромінювання або його спектрального розподілу) оптико-електронні методи вимірювання температури, незалежно від характеру та використовуваної моделі випромінювання, діляться на дві великих групи – енергетичні та спектральні методи.

Енергетичні методи засновані на вимірюванні інтенсивності теплового випромінювання ДО в широкому та вузькому (відносно широкому) спектральному діапазоні довжин хвиль.

Спектральні методи засновані на вимірюванні випромінювання в неперервному або дискретному діапазонах довжин хвиль з врахуванням форми і ширини спектральних ліній, які залежать від температури безпосередньо (завдяки ефекту Доплера) чи побічно (завдяки ефекту Штарка).

В основу енергетичних методів вимірювання температури покладена залежність повної енергетичної яскравості ДО від його температури. Передача енергії теплового випромінювання ДО проводиться електромагнітними хвилями в широкому чи вузькому діапазоні частот. Тому оптико-електронні методи вимірювання температури відрізняються між собою по широті полоси пропускання ДО, тобто залежно від того, вимірюється сумарна (по всьому спектру частот) чи часткова (на обмеженій ділянці діапазону частот) енергетична яскравість ДО.

Енергетичні (радіаційні) оптико-електронні методи вимірювання температури за випромінюючою здатністю ДО (або по сумарній долі за спектром випромінювання енергетичної яскравості) діляться на енергетичні методи вимірювання температури при чотирьох, які залежать від стану поверхні, значеннях випромінюючої здатності ДО:

- а) при дуже малій випромінюючій здатності ($\epsilon_T < 0,01$);
- б) при малій випромінюючій здатності ($0,01 < \epsilon_T < 0,1$);
- в) при середній випромінюючій здатності ($0,1 < \epsilon_T < 0,5$);

г) при великій випромінюючій здатності ($0,5 < e_T < 1$).

Енергетичні методи визначення температури ДО за спектральним діапазоном енергії теплового випромінювання діляться на оптико-енергетичні методи вимірювання температури за сумарним (повним) випромінювань ДО або радіаційні методи, на оптико-електронні методи вимірювання температури по частковому (або виробній на одній або декількох ділянках спектру) випромінюванню або яскравістні методи, а також на методи вимірювання температури за монохроматичному випромінюванню ДО, що називаються монохроматичними методами [7,9].

Оптико-енергетичні методи вимірювання температури за сумарним (повним) випромінювань ДО – це методи вимірювання температури, основані на використанні залежності від температури повної енергетичної яскравості з сприймаючою поверхнею ДО в широкому спектральному діапазоні довжин хвиль ($\{\Delta l\} \rightarrow \infty$). В цьому випадку енергетична яскравість визначається згідно рівняння [4]:

$$B(T_x) = \int_0^{\infty} B(l, T_x) dl \quad (1)$$

де $B(T_x)$ – повна енергетична яскравість при температурі; T_x – спектральна енергетична яскравість, віднесена до дуже вузької області спектру dl ; l – довжина хвилі, м.

Для методів вимірювання температури по частковому випромінюванню залежність від температури повної енергетичної яскравості по всьому спектру частот випромінювання описується рівнянням величин (формулою Стефана – Больцмана) [1]:

$$B_0(T_x) = s_0' T_x^4 \quad (2)$$

де B_0 – енергетична яскравість; s_0' – постійна Стефана – Больцмана, причому $s_0' = s_0 / p = p^{-1} (5,6696 \pm 0,0029) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Методи вимірювання температури за монохроматичному випромінюванню ДО – це оптико-електронні методи вимірювання температури по результатам вимірювань неповної енергетичної яскравості при однорідному випромінювання ДО теплової енергії на заданій, але обмеженій по смузі частот ділянці спектрального діапазону. В цьому випадку енергетична яскравість [12]:

$$B(T_x) = \int_{l_1}^{l_2} B(l, T_x) dl_i \quad (3)$$

при $\{\Delta l\} = \{l_1\} - \{l_2\} = const$. Зазвичай обирають $\Delta l = 10 \text{ нм}$.

Відповідно оптико-електронні методи вимірювання температури за спектральною випромінюючою здатністю ДО можуть бути розділені на спектральні (кольорові) методи вимірювання температури при чотирьох значеннях спектральної випромінюючої здатності ДО:

- а) при дуже малих значеннях ($0,1 \leq e_{IT} < 0,1$);
- б) при малих значеннях ($0,1 \leq e_{IT} < 0,4$);
- в) при середніх значеннях ($0,4 \leq e_{IT} < 0,8$);
- г) при великих значеннях ($0,8 \leq e_{IT} < 0,99$).

За способом порівняння кольорів спектральні оптико-електронні методи вимірювання температури поділяються на колометричні методи, методи спектрального відношення та багато спектріві методи.

Колометричні методи – це методи вимірювання температури, засновані на зрівнянні кольору ДО з кольором, що отриманий за рахунок використання різноманітних (адитивних та субтрактивних) способів синтезу кольорів з наступним визначенням температури по градуйованій шкалі, перерахованим таблицям та графікам. Основні недоліки колометричних методів:

- а) необхідність вибору спектральних характеристик чутливості фотоелементів при реалізації цих методів;
- б) складність підбору характеристик спектральної чутливості світлофільтрів та фотоелементів;
- в) неможливість заміни елементів каналу, оскільки заміна фотоелементу приводить до заміни відповідного світлофільтра;
- г) необхідність при вимірюванні координати X підбору світлофільтрів двома максимумами, що лежать в різних частинах спектру.

Методи спектрального відношення визначення температури ДО основані на вимірюванні відношення двох потоків випромінювання з різноманітними спектральними складами. Цей метод припускає автоматичне спектрофотометричне зрівняння кольорів з використанням, наприклад

фотоприймача.

Багатоспектрові методи визначення температури основані на вимірюванні спектральних характеристик випромінювання. До m заданих спектральних ділянок з наступним визначенням відношення пар потоків і розрахунком кольору та температури ДО за відповідним рівнянням вимірювань [13].

За способом зрівняння кольорів коло метричні методи визначення температури поділяються на коло метричні методи візуального (суб'єктивного) зрівняння спектральних кольорів випромінювань та коло метричні методи фотометричного (об'єктивного) зрівняння кольорів випромінювань заданого спектрального складу в вузькому діапазоні довжин хвиль.

З позицій системного підходу класифікація методів вимірювання температури можлива і по фізичним характеристикам матеріалу ЧЕ (з відомими коефіцієнтами заломлення та переломлення) приймачів випромінювання, а краще – за численними значеннями комплексного показника заломлення. В її основу покладемо класифікацію матеріалів за значенням коефіцієнту поглинання [1].

За діапазоном числових значень коефіцієнту поглинання матеріалів ЧЕ приймачів випромінювання розрізняють чотири групи методів вимірювання температури: з високими ($N_v > 10$), з середніми ($0,1 < N_v < 10$), з малими ($0,01 < N_v < 0,1$) та дуже малими ($0,01 > N_v$) значеннями показника поглинання матеріалів ЧЕ.

Матеріали ЧЕ приймачів випромінювання, що характеризуються середніми значеннями показника поглинання, відносяться до проміжного класу [1].

За способом перетворення енергії випромінювання в електричний сигнал і в видиме око зображення оптико-електронні методи визначення температури ДО можуть бути розділені на методи з тепловим або термоелектричним перетворенням, на методи з фотометричним перетворенням на методи з фотохімічним перетворенням.

Теплове або термоелектричне перетворення енергії випромінювання в електричний сигнал використовується в енергетичних методах визначення температури. В основному, при створенні радіаційних пірометрів використовуються неселективні перетворювачі, такі як термомпари, болометри, термобатарей, терморезистори, піроелектричні детектори та інші, що реалізують вказаний спосіб перетворення енергії.

Фотоелектричне перетворення енергії випромінювання в електричний сигнал переважно використовується в спектральних методах визначення температури, за виключенням методів візуального порівняння кольорів. В основному, при будові оптичних пірометрів широко використовуються селективні однодіапазонні та багатодіапазонні фотоприймачі (з внутрішніми та зовнішніми фотоефектами): фотоелементи, фоторезистори, фотодіоди, фото транзистори та інші, в яких перетворення енергії випромінювання в електричний сигнал здійснюється за рахунок зміни електричних властивостей чутливих елементів фотоприймачів під дією випромінювання.

Фотохімічне випромінювання енергії випромінювання в електричний сигнал використовується переважно в коло метричних методах визначення температури у зрівнянні двох кольорів, один з яких отриманий шляхом перетворення енергії слабого випромінювання в видиме око зображення або в електричний сигнал в результаті хімічної реакції [13,8].

За характером рівнянь вимірювань оптико-електронні методи вимірювання температури поділяються на прямі, побічні та надлишкові.

Прямі оптико-електронні методи вимірювання – це методи безпосередньої зміни дійсного значення температури за характеристиками теплового випромінювання досліджуваного об'єкту згідно лінійному рівнянню зв'язку між величинами (рівнянню прямих вимірювань) [9].

Оптико-електронні методи надлишкових вимірювань температури – це методи, основані на виконанні кінцевої сукупності вимірювань контролюючої величини та декількох коректуючи величин, зв'язаний із контролюючій по відомому закону, при незмінних та дискретно змінних на нормовані значення параметрів нелінійної функції перетворення фотоприймача випромінювання з наступним визначенням дійсного значення температури згідно рівнянню надлишкових вимірювань [6].

За способом здійснення надлишковості оптико-електронні методи змінних вимірювань температури поділяються на багатократні та багатоканальні методи.

Багатократні методи – це методи надлишкових вимірювань однорідних фізичних величин (наприклад, випромінювання ДО та ЧТ) з часовим розділенням каналів при одному або декількох нормованих значеннях характеристик вимірювального каналу.

Багатоканальні методи – це методи вимірювання однорідних фізичних величин (в основному, потоку випромінювання) з просторовим розділенням каналів. В оптико-електронних методах – це багато спектральні методи визначення температури [8].

Висновки

Таким чином, оптико-електронні методи вимірювання температури відрізняються між собою великим числом класифікаційних ознак. Різноманітність даних методів обумовлена залежністю рівнянь вимірювань, що описують ці методи, від параметрів, що характеризують

випромінюючі властивості ДО, від параметрів вимірюваних характеристик випромінювання, від фізичних параметрів, що характеризують властивості матеріалів ЧЕ фотоприймачів тощо.

Література

1. Блох А.Г., Журавлєв Н.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
2. Гордов А. Н. Основы пирометрии. – М.: Metallургия, 1971. – 447 с.
3. Измерения в промышленности. Справизд.: В 3-х кн.
4. Карташова А.Н., Дунин – Браковский И.В. Технологические приборы и измерения в текстильной и легкой промышленности: Учебник для вузов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 312 с.
5. Кизель В.А. Отражение света. – М.: Наука, 1973. – 135 с.
6. Кондратов В.Т. Оптико-электронные методы измерения температуры: основные понятия, определения, классификация. – Киев, 2001. – 58 с.
7. Криксунов Л.З., Подалко Г.А. Тепловизоры: Справочник. – Киев: Техника, 1987. – 166 с.
8. Полянин О.В. Ушаков Е.В. Оптико-электронные устройства. – М.: Энергия, 1969. – 72 с.
9. Поскачей А.А. Чубарев Е.П. Оптико-электронные системы измерения температуры. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с.
10. Рибо Г. Оптическая пирометрия. – М.; Гостехтеориздат, 1934. – 455 с.
11. Суринов Ю.А. Методы определения и численного расчета локальных характеристик поля излучения // Энергия и экспорт. – 1965. – № 5. – С. 26-45.
12. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
13. Щепина Н.С. Основы светлотехники: учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.

Надійшла до редакції
21.10.2009 р.

УДК 621.38

О.В. ОСАДЧУК, В.П. ДЕУНДЯК, М.В. ДЕУНДЯК

Вінницький національний технічний університет

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИКО-ЧАСТОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ, ЩО СКЛАДАЄТЬСЯ З ПАРИ БІПОЛЯРНОГО І ДВОЗАТВОРНОГО ПОЛЬОВОГО МДН ТРАНЗИСТОРІВ ТА АКТИВНОЇ ІНДУКТИВНОСТІ

В статті розкрита проблема розробки та математичного моделювання оптико-частотного сенсора температури придатного для використання в умовах виробництва і безпосередньо на робочому місці.

The problem of development and mathematical design of optical frequency sensor of temperature suitable for the use in the conditions of production and directly in the workplaces showed in the lecture.

Ключові слова: моделювання, сенсор, температура.

Вступ

Потреба в швидкому безконтактному вимірюванні та контролюванні температури невинно зростає. Основними засобами для задоволення цієї потреби є оптико-електронні прилади для виміру температури, що об'єднують широкий клас пристроїв. Високі технічно-експлуатаційні характеристики оптичних сенсорів температури дозволяють їх використання в різних галузях господарства, науки і техніки.

1. Оптико-частотний сенсор температури та його схемна реалізація

Принцип дії оптико-частотного температурного сенсора ґрунтується на дії зміни температури, що приймається температурним давачем ІРА – Е420S1 фірми Murata (фотоелектричний, інфрачервоний давач), таким чином змінюється вихідна напруга на давачеві, що приводить до зміни смісної складової повного опору на електродах емітер-затвор біполярного та двозатворного польового МДН транзисторів та активною індуктивністю, що викликає зміну резонансної частоти коливального контуру.

В момент часу, коли на електродах емітер-затвор біполярного та двозатворного польового метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) транзисторів виникає від'ємний опір, який приводить до виникнення електричних коливачів в контурі (контур утворений паралельним включенням повного опору з смісним характером на електродах емітер-затвор біполярного та двозатворного польового МДН транзисторів VT1, VT2 та активною індуктивністю, що утворюється при спеціальному включенні транзистора VT3, конденсатора С2 та резистора R3). При наступній дії зміни температури, яка приймається давачем, змінюється вихідна напруга на