

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ДЕУНДЯК МАРИНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 621.382.8

**РАДІОВІМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ
ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ПРОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРВИННИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

Спеціальність 05.11.08 - Радіовимірювальні прилади

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Осадчук Олександр Володимирович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри радіотехніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Бондарєв Андрій Петрович,
Національний університет "Львівська політехніка",
професор кафедри теоретичної радіотехніки та
радіовимірювань

доктор технічних наук, професор
Троцишин Іван Васильович,
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова,
професор кафедри теорії електричного зв'язку ім. А.Г.
Зюко

Захист відбудеться « 05 » жовтня 2013 року о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий « 02 » вересня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.М. Злепко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

В Україні та світі існує потреба вимірювати потужність оптичного випромінювання (ПОВ) у технологічних процесах, промислових установках, системах керування та управління, медичній апаратурі, комп'ютерній техніці, засобах зв'язку та волоконно-оптичних системах передачі інформації, сонячних батареях тощо.

Існуючим радіовимірвальним приладам потужності оптичного випромінювання притаманні такі недоліки: незначне абсолютне значення вихідного сигналу та повна шкала його зміни. Тому в тих випадках, коли необхідно забезпечити високу точність вимірювань, необхідно здійснити підсилення сигналу, лінеаризацію передатної характеристики, компенсацію початкового зміщення та похибок, які виникають у зв'язку зі зміною потужності оптичного випромінювання навколишнього середовища та часового дрейфу.

До того ж, часто відомі прилади для вимірювання потужності оптичного випромінювання характеризуються недостатньою чутливістю і точністю та не широким діапазоном вимірюваних потужностей. Наприклад, відомі прилади мають чутливість порядку 33 дБ, що буває недостатньо для задач, які ставляться для волоконно-оптичних систем передачі інформації, у вимірвальній техніці та вентиляційних системах.

Нині існує стійка тенденція щодо зменшення вартості радіовимірвальних приладів обробки інформації, зокрема, на основі мікропроцесорних систем, внаслідок чого первинні вимірвальні перетворювачі (ПВП) поступово набувають визначальної ролі з точки зору вартості інформаційно-вимірвальної системи. Тому тривають дослідження і вивчення напівпровідникових приладів, які можна використовувати як перетворювачі різних форм інформації. При цьому, значний вклад у розвиток теорії і практичного застосування радіовимірвальних приладів потужності оптичного випромінювання внесли такі вчені: Г. Віглеб, А. А. Поскачей, Е. П. Чубаров, І. М. Вікулін, З. Ю. Готра, В. Л. Костенко, Ж. Аш, Ю. Р. Носов, С. В. Свечников, Х. Шаумбург, Я. Т. Луцик, Б. І. Стадник, Ю. О. Скрипник, В. С. Осадчук, О.В. Осадчук, Ф. Д. Касимов, П. В. Новицький та інші.

Подальшим розвитком наукових досліджень цього напрямку для поліпшення метрологічних параметрів радіовимірвальних приладів є застосування реактивних властивостей транзисторних структур. У приладах, побудованих на таких структурах, значно підвищується чутливість, розширюється діапазон вимірюваних величин, поліпшується надійність та стабільність параметрів. Використання частотного принципу роботи приладів виключає застосування аналогово-цифрових перетворювачів для обробки інформації, що знижує собівартість приладів та інформаційно-вимірвальної систем на їхній основі. Таким чином, широке застосування напівпровідникових матеріалів, групової інтегральної технології та розробка на їх основі радіовимірвальних первинних перетворювачів (ПП), сумісних з цифровими пристроями останнього покоління, є основним напрямком розвитку сучасної, в тому числі і радіовимірвальної техніки.

Проблема створення радіовимірвальних приладів потужності оптичного випромінювання, зокрема на основі частотних піроелектричних перетворювачів (ЧПП) з оптимальними метрологічними характеристиками та вихідним сигналом, який можна перетворити у форму коду з незначними похибками, залишається досить актуальною. При цьому використання реактивних властивостей транзисторних структур для перетворення напруги в частоту є одним із найефективніших шляхів розв'язання наукової задачі.

У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове розв'язання наукової задачі, що виявляється в створенні та дослідженні радіовимірвального приладу потужності оптичного випромінювання на основі піроелектричних частотних перетворювачів, дія яких ґрунтується на піроелектричному ефекті та функціональній залежності імпедансу напівпровідникових приладів від оптичного випромінювання, що дозволяє підвищити точність вимірювання і чутливість радіовимірвального приладу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Основний зміст роботи складають результати наукових розробок та експериментальних

досліджень, які проводилися протягом 2008-2013 років відповідно плану наукових досліджень Вінницького національного технічного університету та Міністерства освіти і науки в рамках фундаментальних держбюджетних науково-дослідних робіт «Математичне моделювання генераторів електричних коливань з широкосмуговою перебудовою частоти генерації на основі транзисторних структур з від'ємним опором» (№ держ. реєстрації 0102 U 002420), «Розробка математичних моделей і принципів схем радіовимірвальних оптико-частотних перетворювачів» (№ держ. реєстрації 0112 U 001057), а також відповідно Програмі розвитку електронної промисловості України на 2005-2012 р.р. «Електроніка України-2012», у яких здобувач брала участь безпосередньо, а також була відповідальним виконавцем тематики «Розробка математичних моделей і принципів схем радіовимірвальних оптико-частотних перетворювачів» (№ держ. реєстрації 0112 U 001057).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є покращення метрологічних параметрів чутливості та точності вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі піроелектричного первинного перетворювача та у складі радіовимірвального приладу.

Об'єктом дослідження є процес перетворення оптичного випромінювання в частотний сигнал у транзисторних структурах.

Предметом дослідження є метрологічні характеристики та параметри радіовимірвального приладу потужності оптичного випромінювання та піроелектричного частотного перетворювача.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язуються наступні завдання:

1. Аналіз сучасних радіовимірвальних приладів з метою обґрунтування їхніх переваг та недоліків для вимірювання потужності оптичного випромінювання.

2. Дослідження властивостей піроелектричного кристалу і транзисторних структур та розробка їх математичної моделі, які дозволяють враховувати зміну активної та реактивної складових повного опору від дії потужності оптичного випромінювання, а також дозволяють дослідити її вплив на активну і реактивну складові повного опору.

3. Експериментальна перевірка математичних моделей піроелектричного кристалу та транзисторних структур для створення на їхній основі радіовимірвального приладу для визначення потужності оптичного випромінювання.

4. Отримання аналітичних виразів для розрахунку повного опору частотних перетворювачів.

5. Проектування радіовимірвального приладу для визначення потужності оптичного випромінювання, дія якого базується на використанні залежності імпедансу транзисторних структур від дії потужності оптичного випромінювання, що дозволяє підвищити його чутливість і точність вимірювання ПОВ.

6. Аналіз похибок та експериментальне дослідження основних метрологічних характеристик перетворювачів та радіовимірвального приладу, а також розрахунок економічного ефекту від його впровадження.

Методи дослідження. Під час виконання роботи використовувались методи аналізу та синтезу, які ґрунтуються на використанні: основних положень теорії функції комплексної змінної; диференціального та інтегрального числення (створення математичних моделей МДН-структури, розрахунок похибок вимірювання); методів розрахунку лінійних електричних кіл з використанням матричного апарату; теорії ймовірності (оцінювання похибок вимірювань); тощо.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше запропоновано метод вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі піроелектричного елемента та реактивних властивостей транзисторних структур, які базуються на використанні залежності імпедансу напівпровідникових структур від впливу потужності оптичного випромінювання, що дозволяє значно підвищити його чутливість та точність вимірювання.

2. Вперше розроблено аналітичні вирази для розрахунку параметрів піроелектричного частотного перетворювача, які, на відміну від існуючих, враховують залежність активної і

реактивної складової повного опору від дії потужності оптичного випромінювання, що дозволяє суттєво підвищити чутливість радіовимірювального приладу та точність вимірювання ПОВ.

3. Удосконалено математичну модель процесів, що перебігають в частотних перетворювачах під дією потужності оптичного випромінювання, яка, на відміну від існуючих, дає можливість врахувати вплив на активну і реактивну складові повного опору, що дозволяє оцінити дію зовнішніх інформаційних параметрів на елементи нелінійних еквівалентних схем.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Математичні моделі, отримані в роботі, можуть бути використані для інженерного розрахунку повного імпедансу транзисторних структур, функції перетворення, чутливості приладів.

2. Створено програмне забезпечення, яке може бути використано при проектуванні споріднених радіовимірювальних приладів.

3. Розроблені частотні перетворювачі та радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання мають метрологічні характеристики (чутливість 11,2 кГц/мВт, сумарна похибка 0,18 %), сумісні з цифровими системами обробки інформації. Максимальна чутливість перетворювача на біполярній транзисторній парі становить 10 кГц/мВт, перетворювача на біполярній транзисторній парі з активним індуктивним елементом становить 8,5 кГц/мВт, максимальна чутливість перетворювача на біполярно-польовій транзисторній парі 11,2 кГц/мВт, а перетворювача біполярно-польовій транзисторній парі з активним індуктивним елементом складає 9,2 кГц/мВт при амплітуді вихідного сигналу 20 В.

4. Розробка радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання на основі частотного принципу роботи дозволяє значно знизити вартість систем контролю ПОВ, повною мірою реалізувати переваги радіовимірювальних приладів (висока надійність, малі габарити та маса, взаємозамінність і стабільність характеристик).

5. Розроблений прилад має підвищену чутливість, ширший діапазон вимірюваних потужностей, незначну граничну похибку, більшу точність вимірювання, а також ширший робочий діапазон частот, який дозволяє вимірювати одночасно в різних точках простору і отримувати дані на дисплеї персонального комп'ютера та зберігати вимірювану інформацію у окремий файл, що, в свою чергу, дає змогу вважати його ефективним для вимірювання потужності оптичного випромінювання. Матеріали дисертації по розробці частотних перетворювачів (розрахунку схем, методів розрахунку параметрів) впроваджено у виробництво ТОВ «НВП «Укртерм», (м. Вінниця від 9.07.2012), а теоретичні основи впливу потужності оптичного випромінювання на елементи схем, математичні моделі та експериментальні методи дослідження впливу потужності оптичного випромінювання – в навчальний процес Вінницького національного технічного університету (від 13.07.2012).

6. Впровадження нового приладу супроводжується зниженням витрат по капітальних вкладеннях при економії на експлуатаційних витратах. Він має суттєву умовно-річну економію, передбачуваний річний економічний ефект в 50 761,25 грн., термін окупності 1,2 роки (при середньогалузевому показникові 2-5) та коефіцієнт ефективності 9,85. Саме це дозволяє вважати його впровадження у профільні галузі доцільним з точки зору економії ресурсів та максимізації прибутку.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: проектування радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання на основі частотного перетворювача і технології ZigBee [2], розробка методики аналізу похибок радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання [4], розробка математичної моделі частотного перетворювача [5, 7, 9-11, 23], експериментальне дослідження оптико-частотних перетворювачів [6], запропоновано методику верифікації вимірювачів [8, 24], запропоновано математичну модель чутливого елементу у вигляді піроелектричного кристалу [12], запропоновано оригінальне поєднання частотного перетворювача з різними приймачами випромінювання [13-18], аналіз сучасних приладів та перетворювачів [19, 20], використано

метод змінних станів для створення математичних моделей радіовимірювальних приладів [21], дослідження чутливості радіовимірювальних приладів на основі частотних перетворювачів [22].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 18 науково-технічних конференціях, зокрема на IV-й міжнародній науково-практичній конференції «NOWOCZESNYCH NAUKOWYCH OSIĄGNIĘĆ - 2008» (м. Перемишль, 2008 р.); на IV-й міжнародній молодіжній науково-технічній конференції РТ-2008 (м. Севастополь, 2008 р.); на IX міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2008, м. Вінниця, 2008 р.); на II-му Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю 2009 (м. Вінниця, 2009 р.); на IV-й Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП – 2009, м. Вінниця, 2009 р.); на V-й міжнародній науково-практичній конференції «NASTOLENÍ MODERNÍ VĚDY - 2009» (Praha, 2009 р.), на V-й міжнародній науково-практичній конференції «ZPRÁVY VĚDECKÉ IDEJE - 2009» (Praha, 2009 р.); на XI-й міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2010, м. Вінниця, 2010 р.); на III-му Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю 2011 (м. Вінниця, 2011 р.) на VI-й Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП – 2011, м. Вінниця, 2011 р.); на VII-й Міжнародній науковій конференції «НАСТОЯЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И РАЗВИТИЕ- 2011» (Софія, 2011); на VIII-й Міжнародній науково-технічній конференції «VĚDECKÉ POKROK NA PŘELOMU TYSYACHALETY - 2012» (Praha, 2012); на XII міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2012, м. Вінниця, 2012 р.); на XXXVII-й, XXXVIII-й, XXXIX-й, XL-й та XLI-й науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області в 2008-2012 рр.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 25 наукових праці, з них 12 – статті в журналах з переліку ВАК України, 5 – у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 6 – патенти України, 2 – публікації у збірниках тез міжнародних конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел (165 найменувань). Загальний обсяг дисертації складає 172 сторінки, містить 6 таблиць та 54 рисунки, основний зміст роботи викладений на 140 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету та задачі, визначено об'єкт та предмет дослідження, висвітлено наукову новизну одержаних результатів та їхнє практичне значення, наведені дані щодо особистого внеску здобувача та апробації роботи.

У першому розділі на основі аналізу літератури обґрунтована перспективність дослідження і розробки радіовимірювального приладу на основі піроелектричних перетворювачів, які могли б характеризуватися оптимальними метрологічними показниками і бути технологічно сумісними з цифровими пристроями обробки інформації. Аналіз сучасних засобів для вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі літературних джерел, дозволив уточнити їх класифікацію, сформулювати мету і задачі дослідження. В результаті аналізу сучасних засобів для вимірювання потужності оптичного випромінювання виявлено необхідність створення приладу, що усував би виявлені недоліки і характеризувався високою точністю і чутливістю, впровадження якого у виробництво було б доцільним.

У другому розділі наведено теоретичні основи піроелектричного ефекту та схеми приймачів на його основі. В результаті аналізу основних фізичних процесів та математичних перетворень в піроелектричних матеріалах доведено перспективність використання піроелектричних перетворювачів для розробки і проектування радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання.

Розглянуто два поширених різновиди піроелектричних вимірювачів: одно- і двокристалні (рис. 1).

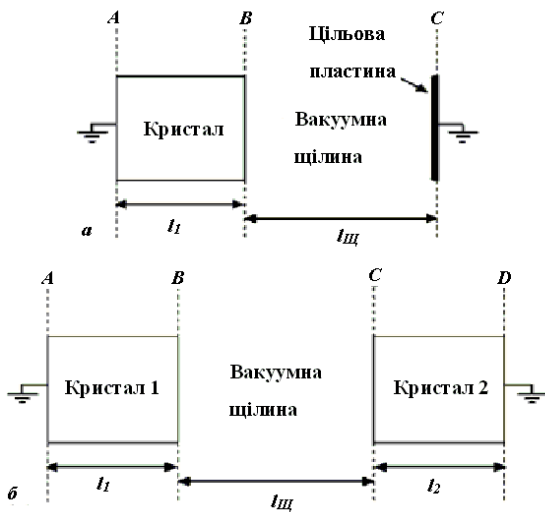


Рисунок 1 – Схема однокристалної (а), та двокристалної системи (б)

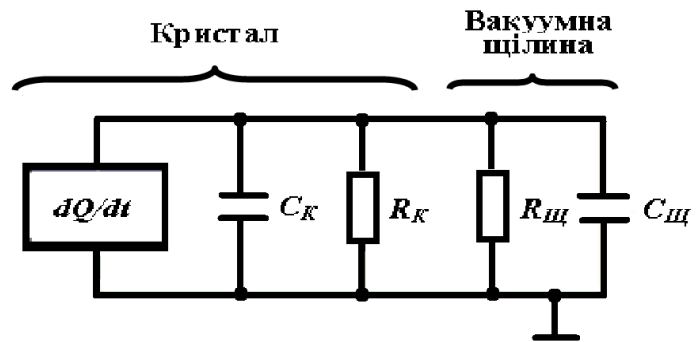


Рисунок 2 – Еквівалентна схема кристала і щілини як конденсаторів з втратами

Оскільки кристал і щілина є діелектриками, ця система може бути замінена моделлю з двох конденсаторів з'єднаних паралельно, причому поверхня В є спільною для обох конденсаторів. Еквівалентну схему наведено на рис. 2. В проведеному аналізі передбачається, що кристал і щілина ідеальні конденсатори; в той час як їх провідність мала, але не дорівнює нулю. Кристал і щілина можуть бути змодельовані як два конденсатори з втратами (паралельне з'єднання ідеального конденсатора і резистора) паралельно з ідеальним генератором заряду, як показано на рис. 2. Деякі заряди будуть протікати через кожен з конденсаторів. Ця система описується наступним диференціальним рівнянням

$$\frac{dq}{dt} = \gamma S \frac{dT}{dt} - \frac{U}{R_K} - \frac{U}{R_{щ}} = \gamma S \frac{dT}{dt} - \frac{q}{C_E} \left(\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_{щ}} \right), \quad (1)$$

де $R_{щ}$ і R_K – опори щілини і кристала, відповідно, і C_E – еквівалентна ємність щілини і кристала ($C_E = C_K + C_{щ}$). Це рівняння можна подати у вигляді:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\gamma S}{C_E} \frac{dT}{dt} - \frac{U}{R_E C_E}, \quad (2)$$

де R_E – паралельна комбінація з опорів кристала і щілини $R_{E-1} = R_{K-1} + R_{щ-1}$.

Втрата заряду через обидва кристали і щілину зумовить зниження потенціалу, нижчого за прогнозоване значення. Якщо ми використаємо наступний розв'язок рівняння (2), то отримаємо

$$U = \gamma S R_E \frac{dT}{dt} \left(1 - e^{-t/(C_E R_E)} \right). \quad (3)$$

У ідеалізованій моделі піроелектричного перетворювача, попередньо представлений на рис. 2, розглядалися тільки ємності кристалів і щілини. Різні інші ємності можуть бути присутніми в системі, такі як ємність на межі між кристалом і поверхнею, на якій він встановлений, ємність між гранями кристала і вакуумом стінок камери. Може виникати розбіжність між прогнозованими та експериментальними значеннями через існування паразитної ємності (паразитні ємності всього 0,8 пФ). При виникненні паразитної ємності близько 30 пФ спостерігається скорочення потенціалу. Хоча наявність деякої паразитної

ємності в системі не достатньо, щоб викликати невідповідність між обчисленим потенціалом в ідеалізованій моделі і тим, що досягається у фізичній системі у всіх випадках.

Потенціал для однокристальних систем може бути розрахований при врахуванні втрати заряду через обидва кристали і щілину. Варто також відзначити, що, коли ми формуємо значення потенціалу на щілині, це не повинно означати, що грань кристала є екіпотенціальною поверхнею. Відомо, що заряд може бути у формі кільця навколо краю кристала, в результаті чого потенціал на краю кристалла більш високий, ніж у центрі поверхні кристала.

Розглянемо циліндричний піроелектричний елемент LiTaO_3 ($\gamma = 176 \text{ мкКл}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ $\epsilon_K = 46$), з радіусом 1 см і товщиною 1 см, що має зміну температури $\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{К}$. Далі припустимо, що щілина – фізичний вакуум ($\epsilon_0 = 1$) і має довжину 1,5 см.

Враховуючи властивості матеріалу, маємо $R_K = 10^{10} \text{ Ом}$, $R_{Щ} = 8 \cdot 10^{10} \text{ Ом}$, $dT/dt = 0,4 \text{ К/с}$, $S = 25 \text{ мм}^2$, розраховуємо залежність еквівалентної ємності та опору, а також напруги від параметрів піроелектричного елемента (табл. 1). Залежність напруги від часу для піроелектричного елемента наведено на рис. 3.

Коли кристал зазнає впливу оптичного випромінювання, повний заряд, який розвивається на поверхні, спричинює різницю потенціалів на кристалі. Зрозуміло, що ця різниця потенціалів буде змінюватися в часі. Це ілюструє залежність на рис. 3. З якого випливає, що двокристальна система чутливіша за однокристальну.

Представлені рівняння (1 – 3) можуть бути використані для прогнозування потенціалу та поля в ідеалізованому однокристальному та двокристальному піроелектричному перетворювачі. Поєднання ідеалізованих рівнянь з врахуванням втрати заряду і прогнозованим потенціалом добре узгоджується з експериментальними значеннями. Проведено перевірку побудованих математичних моделей піроелектричного елемента LiTaO_3 шляхом розрахунку його ключових параметрів. З'ясовано, що температурні градієнти, втрата заряду через кристал, температурна залежність від властивостей матеріалу, паразитні ємності і спонтанна розрядка збільшує невідповідність між потенціалом в ідеалізованій моделі та вимірним потенціалом як в одно-, так і в двокристальних системах.

Таблиця 1 - Залежність параметрів піроелектричного елемента на LiTaO_3

№	Параметри	LiTaO_3
1	$C_{K1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{K1} S}{l_1}$	12,78 пФ
2	$C_{Щ} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{Щ} S}{l_{Щ}}$	0,088 пФ
3	$C_{K2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{K2} S}{l_2}$	12,78 пФ
4	$C_E = C_K + C_{Щ}$	12,865 пФ
5	$C_E = C_K + C_{Щ}$ двокрист	25, 645 пФ
6	$R_E = R_{K^{-1}} + R_{Щ^{-1}}$	$0,889 \cdot 10^{10} \text{ Ом}$
7	$U = \gamma S R_E \frac{dT}{dt} \left(1 - e^{-t/(C_E R_E)} \right)$	19,558 В

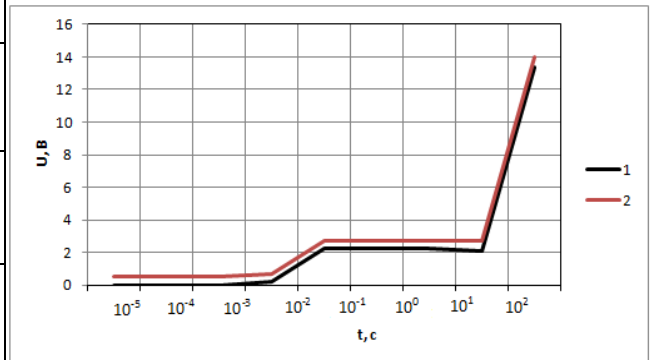


Рисунок 3 – Залежність напруги від часу для піроелектричного елемента в логарифмічному масштабі (1 – однокристальна система; 2 – двокристальна)

У третьому розділі наведено електричні принципові схеми частотних перетворювачів з чутливим піроелектричним елементом (рис. 4 – 7), проведено розрахунок математичних моделей частотних перетворювачів для різних схем включення.

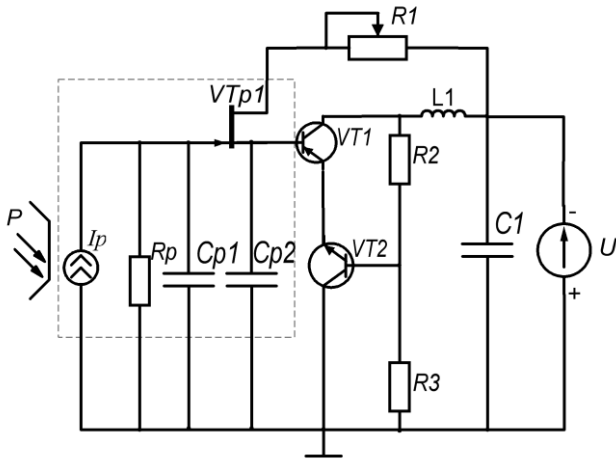


Рисунок 4 – Електрична схема частотного перетворювача на основі біполярної транзисторної пари

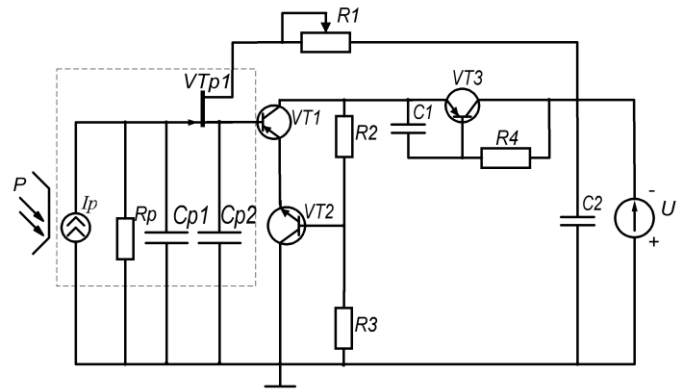


Рисунок 5 – Електрична схема частотного перетворювача на основі біполярної транзисторної пари з активним індуктивним елементом

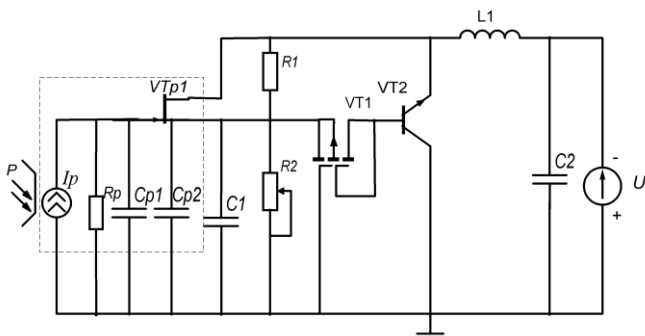


Рисунок 6 – Електрична схема частотного перетворювача на основі біполярно-польової транзисторної пари

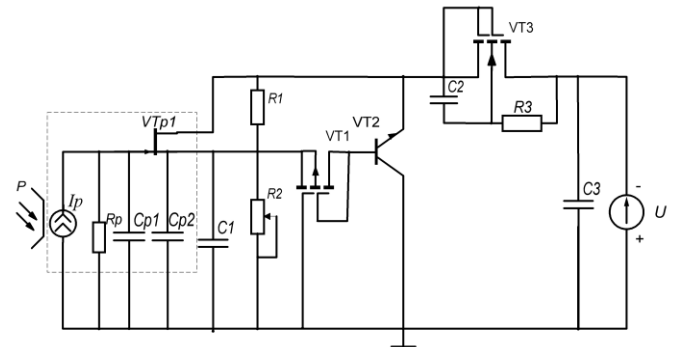


Рисунок 7 – Електрична схема частотного перетворювача на основі біполярно-польової транзисторної пари та активного індуктивного елемента

Аналітичні залежності активної і реактивної складової повного комплексного опору визначаються виразами (4 – 6) і представлені на рис. 8 – 9

$$R = - \frac{C_P R_{p2} R_S (0,5 U_E R_3 R + U_3 R_E R - U_D R_3 R_E R (R_D + R_I) - U R_3 R_E)}{C_1 R_3 R_E R (2 U_P R_S + U_D R_P R_S (R_D + R_I) + U_S R_P)} \quad (4)$$

При цьому, що

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (5)$$

Враховуючи, що частотний перетворювач є послідовним коливальним контуром, який можна представити з'єднанням еквівалентної ємності і котушки індуктивності, то реактивний опір визначиться

$$X_C = X_L - \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (6)$$

Функція перетворення в загальному вигляді описується рівнянням (7)

$$F = [2\pi(LC_{EKB}(P))^{1/2}]^{-1} \quad (7)$$

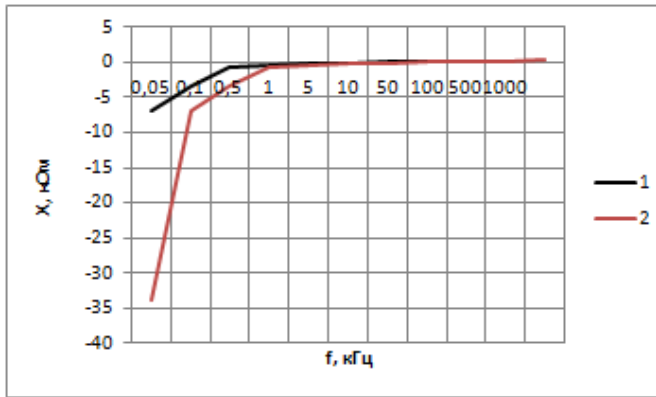


Рисунок 8 – Теоретична залежність реактивної складової повного комплексного опору від частоти (1 – біполярна структура; 2 – біполярно-польова)

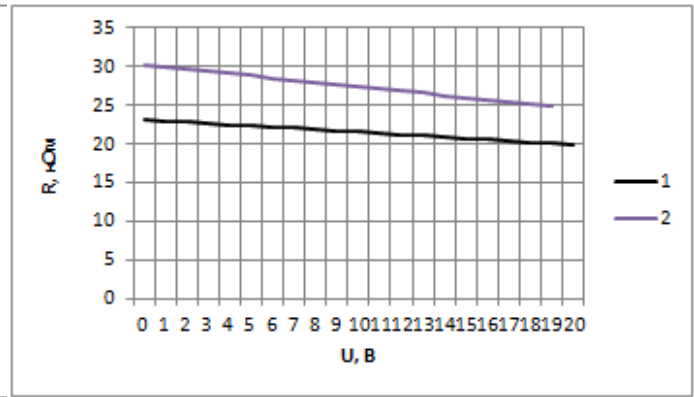


Рисунок 9 – Теоретична залежність активної складової повного комплексного опору від напруги живлення (1 – біполярна структура; 2 – біполярно-польова)

Всі досліджені схеми забезпечують високу чутливість від 8,5 до 11,2 кГц/мВт, проте найчутливішою є схема перетворювача на біполярно-польовій транзисторній парі, яка забезпечує чутливість 11,2 кГц/мВт.

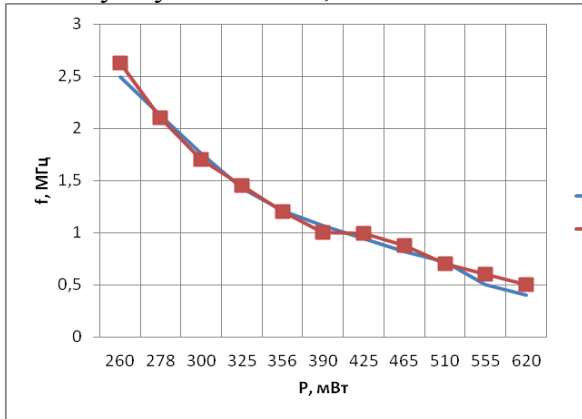


Рисунок 10 – Теоретичний (1) і експериментальний (2) графік функції перетворення для частотного перетворювача

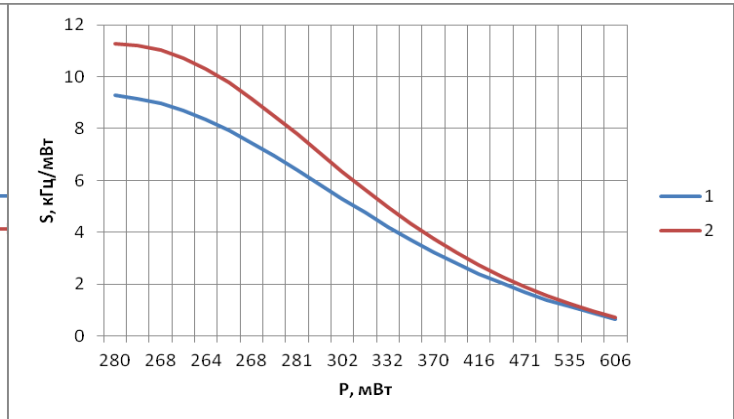


Рисунок 11 – Теоретична залежність чутливості від потужності випромінювання для частотного перетворювача (1 – біполярна структура; 2 – біполярно-польова)

Отримано графічні залежності активної і реактивної складової повного комплексного опору від частоти, частоти генерації та чутливості від потужності випромінювання для частотних перетворювачів з пари біполярних транзисторів та з пари біполярного та двозатворного польового МДН транзисторів і цих схем при включенні активної індуктивності, які дозволяють стверджувати, частота генерації спадає зі збільшенням потужності оптичного випромінювання. Визначено аналітичні вирази для функції перетворення (рис. 10) і чутливості (рис. 11).

У **четвертому розділі** здійснено експериментальне дослідження вольт-амперної характеристики частотних перетворювачів, а також доведено наявність на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів та електродах емітер-затвор біполярного і двозатворного польового МДН транзисторів від'ємного опору, що відповідає спадаючій ділянці вольт-амперної характеристики. Також обґрунтовано рекомендації щодо проектування радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання на основі частотного перетворювача.

Здійснено експериментальне дослідження залежності частоти генерації від напруги живлення частотних перетворювачів. Визначено, що підключення пасивної індуктивності до виводів колектор-колектор пари біполярних транзисторів, при від'ємних значеннях повного

комплексного опору (при компенсації втрат енергії в коливальному контурі), дозволяє створити генератор електричних коливань. При дії зміни оптичного випромінювання на сенсор здійснюється зміна активної та реактивної складової повного комплексного опору, що в свою чергу, змінює частоту генерації. Проведено експериментальне дослідження залежності частоти генерації від оптичного випромінювання частотних перетворювачів.

Крім того, здійснено аналіз стійкості модельованих схем та встановлено, що вищенаведені схеми стійкі до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Проведено розрахунок похибок радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання на основі частотного перетворювача (табл. 2). Сумарна похибка радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання становить 0,18%.

Таблиця 2 – Похибки радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання

Вид похибки	Значення похибки, %
Чутливого елементу	0,05
Нестабільність ЧПП	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Зміни амплітуди генератора між двома калібруваннями	0,06
Установки режиму живлення транзисторної структури	0,16
Температурна залежність ЧП	0,022
Девіація параметрів джерела живлення	0,0083
Температурна залежність ЧП	0,022
Похибка квантування	0,0003
Похибка розрядності	0,0015
Сумарна похибка	0,18

Розраховано похибку чутливого елементу, яка становить $\delta_{чЕ} = 0,05$ %, похибку частотного перетворювача $\delta_{чП} = 0,902$ % та похибку частотоміра $\delta_{ч} = 0,0015$ %.

Здійснено розрахунок точності радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання та визначено його клас точності 0,2, причому, клас точності відомих приладів вимірювання потужності оптичного випромінювання складає 0,5. Таким чином, вдалося досягти підвищення точності вимірювання за допомогою розробки та використання вказаного приладу.

Радіовимірювальний прилад (структурна схема – рис. 12.) потужності оптичного випромінювання на сучасному етапі реалізований на основі мікроконтролера. Процес його реалізації складається з таких етапів: апаратне забезпечення; програмування і прошивка мікроконтролера; програмне забезпечення для персонального комп'ютера.

Отже, основними частинами приладу для вимірювання потужності оптичного випромінювання буде частотний перетворювач, що складається з піроелектричного чутливого елементу та частотного перетворювача, частотоміру на основі мікроконтролера, перетворювача рівня для інтерфейсу RS-232 та перетворювача інтерфейсу USB-RS232.

Мікроконтролер виконує підрахунок імпульсів з частотного перетворювача за командою персонального комп'ютера (ПК) і передає їх по інтерфейсу RS232. Робоча частота мікроконтролера задається кварцовим резонатором 8 МГц.

Для підключення мікроконтролера до ПК по послідовному інтерфейсу використовується спеціалізована схема на двох транзисторах замість поширеного в такому випадку застосування мікросхеми MAX232. Для передачі даних використовується вбудований в мікроконтролер апаратний USART (універсальний синхронно-асинхронний приймач-передавач).

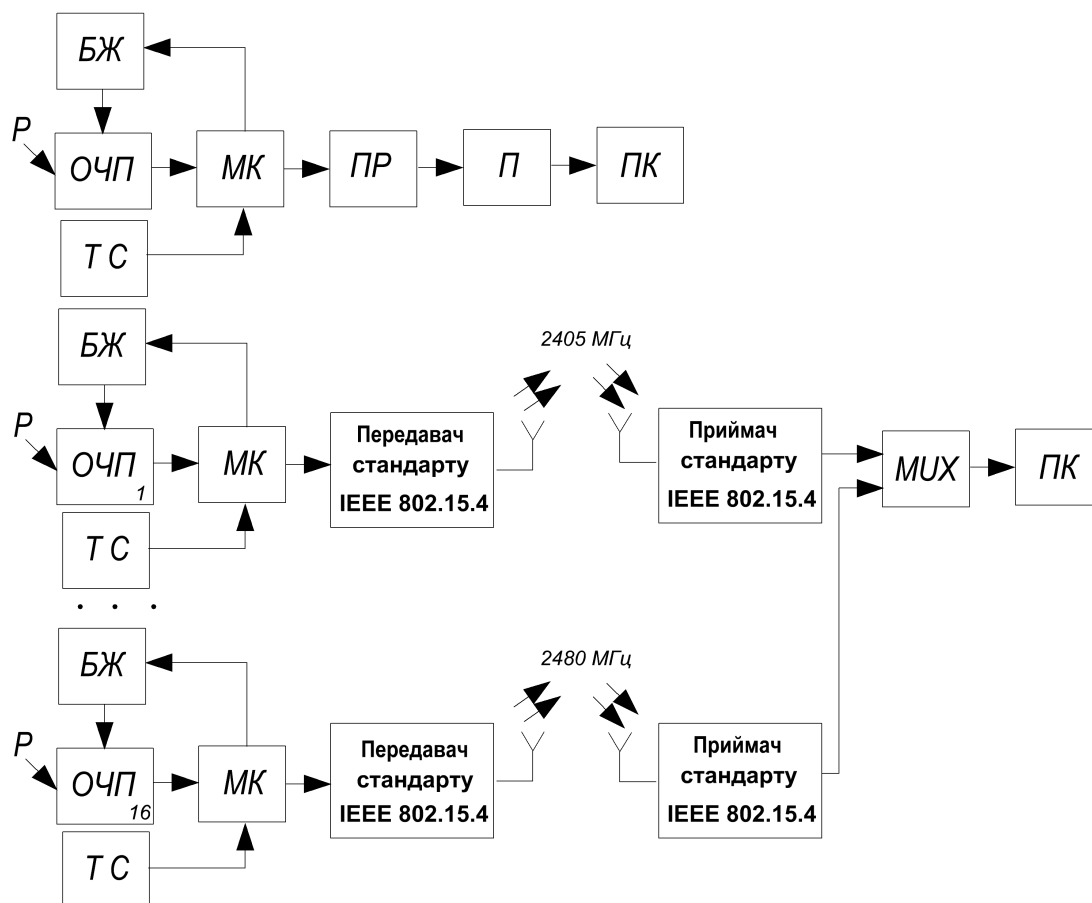


Рисунок 12 – Структурна схема радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання

На схемі використано такі позначення: P – потужність оптичного випромінювання; ОЧП – оптико-частотний перетворювач; МК – мікроконтролер; ПР – перетворювач рівня для інтерфейсу RS-232; П – перетворювач інтерфейсу USB-RS232; MUX – мультиплексор; ПК – персональний комп’ютер. Також в багатоканальному приладі для вимірювання потужності оптичного випромінювання використано передавач і приймач стандарту IEEE 802.15.4 на частоті 2,4 ГГц, за допомогою яких сигнал передається по радіоканалу і приймається в іншій частині простору, що дозволяє вимірювати потужність оптичного випромінювання в декількох віддалених місцях одночасно і спостерігати її на дисплеї персонального комп’ютера та зберігати виміряну інформацію

Програмна частина має такі переваги: можливість налаштування інтервалів читання даних; перегляд в реальному часі графіків; запис, збереження і відкриття даних; режим статичного читання, можливість друку результатів і графіків; можливість ручного управління послідовною передачею даних.

В основному циклі програми здійснюється прийом даних від комп’ютера по послідовному порту. Параметри послідовного порту: швидкість передачі даних 19200, 8 байт даних, без перевірки парності, 1 стоп-біт.

Основні особливості радіовимірювального приладу для вимірювання потужності оптичного випромінювання: покращена його точність і чутливість вимірювання потужності оптичного випромінювання за рахунок використання частотного перетворювача; інтеграція з USB інтерфейсом персонального комп’ютера; живлення від ПК; зберігання вимірних даних у спеціальний файл баз даних; передача інформативного сигналу на відстань, що дозволяє повністю виключити похибку оператора при вимірюваннях.

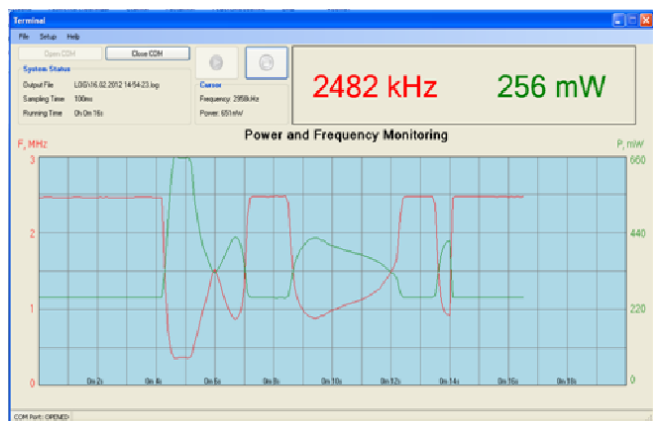


Рисунок 13 – Табло радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання

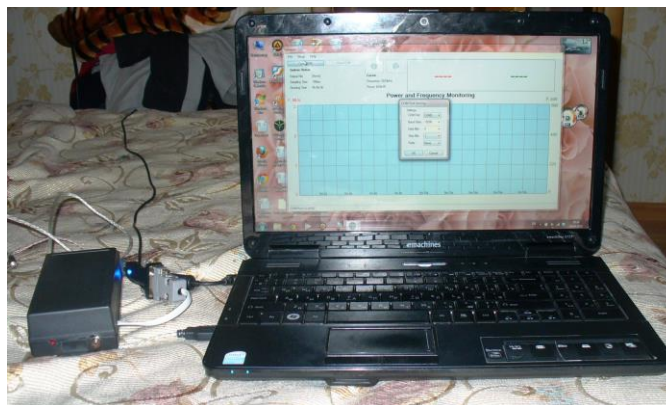


Рисунок 14 – Загальний вид радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання

Таблиця 3 – Розраховані значення економічних показників

Назва економічного показника	Розраховане значення економічного показника	Нормативне значення економічного показника
Додаткові капітальні вкладення (ΔK), грн.	0,63	зменшено додаткові капітальні вкладення на одиницю продукції
Умовна річна економія (UPE), грн.	6,25	зменшено експлуатаційні витрати на одиницю продукції
Термін окупності (T_O), роки	1,2	2-5
Коефіцієнт ефективності (K_E), в.о.	9,85	0,33-0,2

Для встановлення економічної ефективності нової техніки необхідно зіставляти терміни окупності або коефіцієнти ефективності з нормативним, тобто з максимальним для даної галузі терміном окупності або коефіцієнтом ефективності (табл. 3).

Максимальний термін окупності визначається періодом часу, який буде потрібно, щоб у результаті впровадження більш досконалої техніки рівень середньогалузевих витрат на одиницю продукції або одиницю роботи, запропонованим приладом, знизився до рівня витрат, що були в момент впровадження приладу.

В області виробництва приладів для вимірювання оптичних величин нормативний термін окупності додаткових капітальних вкладень дорівнює трьом, а по окремих галузях – до п'яти років. Коефіцієнти ефективності відповідно становитимуть 0,33 і 0,2. У нашому випадку впровадження нового приладу супроводжується зниженням витрат по капітальним вкладенням, при економії на експлуатаційних витратах, тобто $K_1 < K_2$ і $C_2 < C_1$.

Порівняння з існуючими приладами представлено в таблиці 4. Проаналізувавши наведені в ній дані можна визначити, що радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання має кращу чутливість, ширший діапазон вимірюваних потужностей, меншу граничну похибку, більшу точність вимірювання, а також ширший робочий діапазон частот. Широкий діапазон вимірюваних потужностей дозволяє вимірювати різні значення інформативного параметру, що є додатковою перевагою приладу.

Таблиця 4 – Метрологічні характеристики радіовимірювальних оптичних приладів

Метрологічні характеристики радіовимірювальних оптичних приладів	Вимірювач оптичної потужності Yokogawa (ANDO) AQ2160-01	Вимірювач потужно-сті Haktronics Photom 591	Мультиметр оптичний Haktronics Photom 230/235	Тестер оптичний «Рубин-021»	Радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання (запропонований, розроблений)
Чутливість	-33 дБм	- 26 дБм; -33 дБм	-33 дБм	-33 дБм	11,2 кГц/мВт
Відносна чутливість	0,5	2,5 – 0,5	0,5	0,5	11,2
Діапазон вимірюваних потужностей, мВт	$10^{-7} - 3,2$	$10^{-8} - 10$	$10^{-7} - 3$ при $\lambda=1310,$ 1550 нм -10^{-6} – 3 при $\lambda=820,$ 850 нм	$10^{-7} - 2$	$10^{-7} - 10^3$
Діапазон робочих довжин хвиль	750-1700 нм	900-1650 нм	820-1550 нм	1250-1700 нм	1-15 мкм
Похибка, %	5	5	5	10	0,18
Клас точності	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2
Споживана потужність, мВт	120	150	150	120	10
Робочий діапазон частот, Гц	$270, 2 \cdot 10^3$	$270, 10^3,$ $2 \cdot 10^3$	$270, 2 \cdot 10^3$	$270, 10^3,$ $2 \cdot 10^3$	$10^5 - 10^9$

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове розв'язання актуальної наукової задачі, що виявляється в створенні та дослідженні радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання на основі піроелектричних частотних перетворювачів, дія яких ґрунтується на піроелектричному ефекті та функціональній залежності імпедансу напівпровідникових приладів від дії оптичного випромінювання, що дозволяє підвищити точність вимірювання і чутливість розробленого приладу.

В науковому плані в кандидатській дисертаційній роботі вперше запропоновано метод вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі піроелектричного елемента та реактивних властивостей транзисторних структур, розроблено і досліджено математичні моделі піроелектричного кристалу та транзисторних структур, розроблено аналітичні вирази для розрахунку параметрів піроелектричного частотного перетворювача.

В практичному плані виконано експериментальну перевірку математичних моделей піроелектричного кристалу та транзисторних структур і створено на їхній основі радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання, що дозволяє підвищити чутливість та точність вимірювання. Проведено аналіз похибок приладу та розрахунок економічного ефекту від його впровадження.

Розроблено програми для мікроконтролера та персонального комп'ютера по обробці результатів вимірювання потужності оптичного випромінювання.

Отже, отримано такі наукові і практичні результати:

1. Проведено аналіз сучасних радіовимірювальних приладів з обґрунтуванням їхніх переваг і недоліків, встановлено, що для вимірювання потужності оптичного випромінювання перспективно використовувати піроелектричний кристал та біполярну і біполярно-польову транзисторні структури.

2. Досліджено властивості піроелектричного кристалу і транзисторних структур та розроблено їхні математичні моделі, які дозволяють враховувати зміну активної та реактивної складових повного опору від дії потужності оптичного випромінювання, а також дозволяють дослідити її вплив на активну і реактивну складові повного опору.

3. В результаті експериментальної перевірки математичних моделей піроелектричного кристалу та транзисторних структур було створено на їхній основі радіовимірювальний прилад для визначення ПОВ.

4. Отримано аналітичні вирази для розрахунку повного опору піроелектричних частотних перетворювачів.

5. Спроековано радіовимірювальний прилад для визначення потужності оптичного випромінювання, дія якого базується на використанні залежності імпедансу транзисторних структур від дії потужності оптичного випромінювання, що дозволяє підвищити його чутливість і точність вимірювання.

6. Математичні моделі імпедансу оптико-частотних перетворювачів були використані для отримання функцій перетворення розроблених оптико-частотних перетворювачів і можуть бути використані для інженерного розрахунку повного імпедансу транзисторних структур, функцій перетворення, чутливості приладів.

6. Створено програмне забезпечення, яке може бути використано при проектуванні споріднених радіовимірювальних приладів.

7. Проведено аналіз похибок та експериментальне дослідження основних метрологічних характеристик перетворювачів та радіовимірювального приладу, а також розрахунок економічного ефекту від його впровадження.

8. Розроблені частотні перетворювачі та радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання мають оптимальні метрологічні характеристики (чутливість 11,2 кГц/мВт, сумарна похибка 0,18 %), сумісні з цифровими системами обробки інформації. Всі промодельовані схеми забезпечують високу чутливість від 8,5 до 11,2 кГц/мВт. При цьому встановлено, що найчутливішою є схема перетворювача на біполярно-польовій транзисторній парі, яка забезпечує чутливість 11,2 кГц/мВт. Отже, в нашому випадку чутливість складає 11,2 кГц/мВт (або 11,2 у відносних одиницях), а у відомих приладів для вимірювання потужності оптичного випромінювання 4 мВ (або 0,5 у відносних одиницях), проте часто раціональніше вимірювати чутливість в кГц/мВт, оскільки еталонну одиницю вимірювання в 1 Гц іноді легше отримати, ніж 1 мВ.

9. Розробка радіовимірювального приладу для визначення потужності оптичного випромінювання на основі частотного принципу роботи дозволяє значно знизити вартість систем контролю ПОВ, повною мірою реалізувати переваги радіовимірювальних приладів (висока надійність за рахунок скорочення числа міжз'єднань, малі габарити та маса, взаємозамінність і стабільність характеристик).

10. Радіовимірювальний прилад має кращу чутливість, ширший діапазон вимірюваних потужностей, меншу граничну похибку, більшу точність вимірювання, а також ширший робочий діапазон частот, який дозволяє здійснювати вимірювання одночасно в різних точках простору і отримувати дані на дисплеї персонального комп'ютера та зберігати вимірювану інформацію у окремий файл, що дає змогу вважати його ефективним для вимірювання потужності оптичного випромінювання.

11. Після впровадження радіовимірювального приладу для визначення потужності оптичного випромінювання відбувається зниження витрат по капітальних вкладеннях, при економії на експлуатаційних витратах. Він має суттєву умовно-річну економію, річний економічний ефект в 50 761,25 грн., термін окупності 1,2 роки (при середньогалузевому показникові 2-5) та коефіцієнт ефективності 9,85. Це дозволяє вважати його впровадження доцільним з точки зору економії ресурсів та максимізації прибутку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті надруковані у фахових виданнях

1. Maryna Deundyak. Error Analysis Of A Radiomeasuring Device Of Optical Power / Maryna Deundyak // *Electrical and Electronic Engineering*. – 2013. № 3(2). – С. 77 - 80. ISSN: 2162-8459
2. М.В. Деундяк. Радіовимірювальний приладу потужності оптичного випромінювання на основі оптико-частотного перетворювача і технології ZigBee / М.В. Деундяк, О.В. Осадчук, В.П. Деундяк // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – 2012. № 12. – С. 239 - 244. ISSN 1995-0519.
3. М.В. Деундяк. Техніко-економічне обґрунтування радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання / М.В. Деундяк // *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. – 2012. № 3. Т. 14. – С. 239 - 244. ISSN 1727-7108.
4. М.В. Деундяк. Аналіз похибок радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання / М.В. Деундяк, О.В. Осадчук, О.В. Деундяк // *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління*. – 2012. – № 2 (36). – С. 239 - 244. – ISSN 1810-3049.
5. Оптико-частотний температурний сенсор / [В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк.] // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2009. – № 2. – С. 168-174. – ISSN 2307-5732.
6. О.В. Осадчук. Експериментальне дослідження оптико-частотних сенсорів температури / О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2011. – № 6. – С. 239 - 244. – ISSN 1997-9266.
7. О.В. Осадчук. Математична модель радіовимірювального приладу з оптико-частотним перетворювачем на основі біполярної транзисторної структури / О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2012. – №2. – С. 196 - 201. – ISSN 1997-9266.
8. М. В. Деундяк. Верифікація вимірювачів фазових зсувів інтегровального типу / М. В. Деундяк, В. Д. Рудик // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2007. – №2. – С. 93-98. – ISSN 2219-9365.
9. В.С. Осадчук. Оптико-частотний температурний сенсор / [В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк] // *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. – 2009. – № 3. Режим доступу [<http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-3/2009-3.htm>]. – ISSN 2307-5376.
10. В.С. Осадчук. Побудова математичних моделей оптико-частотних сенсорів температури на основі структури, що складається з пари біполярних транзисторів та активної індуктивності / [В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк] // *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. – 2010. – № 3. Режим доступу [<http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-3/2010-3.htm>]. – ISSN 2307-5376.
11. О.В. Осадчук. Побудова математичної моделі оптико-частотного температурного сенсора на основі структури, що складається з пари біполярного і двозатворного польового МДН транзисторів та активної індуктивності / О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2009. – № 2. – С. 48-52. – ISSN 2219-9365.
12. О.В. Осадчук. Математична модель чутливого елемента у вигляді піроелектрика для радіовимірювального приладу на основі оптико-частотного температурного перетворювача / О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2011. – № 2. – С. 193-198. – ISBN 2307-5732.
13. Пат. 33239 Україна, МПК⁷ G01K 5/00 Оптичний сенсор температури з частотним виходом / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200802333; заявл. 22.02.08; опубл. 10.06.08, Бюл № 11. – 4 с.
14. Пат. 34077 Україна, МПК⁷ МПК⁷ G01N 21/45 (2006.01) Мікроелектронний оптичний сенсор температури з частотним виходом / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк

М.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200802335; заявл. 22.02.08; опубл. 10.06.08, Бюл № 11. – 4 с.

15. Пат. 34893 Україна, МПК⁷ G01K 11/00 Оптико-частотний сенсор температури / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200804109; заявл. 01.04.08; опубл. 26.08.08, Бюл № 16. – 6 с.

16. Пат. 35498 Україна, МПК⁷ G01K 11/00 Оптико-частотний температурний сенсор / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200804009; заявл. 01.04.08; опубл. 25.09.08, Бюл № 18. – 4 с.

17. Пат. 59006 Україна, МПК⁷ G01K 11/12 (2006.01) Світловодний оптико-частотний сенсор температури / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201015587; заявл. 23.12.10; опубл. 26.04.11, Бюл № 8. – 4 с.

18. Пат. 61615 Україна, МПК⁷ G01K 11/12 (2006.01) Волоконно-оптичний сенсор температури з частотним виходом / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Деундяк В.П., Деундяк М.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u201015645; заявл. 24.12.10; опубл. 25.04.11, Бюл № 14. – 4 с.

Наукові видання та тези доповідей

19. М. В. Деундяк. Аналіз радіовимірювальних приладів потужності оптичного випромінювання / [М. В. Деундяк, О. В. Осадчук, О. В. Деундяк]: MATERIÁLY VIII MEZINÁRODNÍ VĚDECKO-PRAKTICKÁ KONFERENCE «VĚDECKÉ POKROK NA PŘELOMU TYSYACHALETY - 2012» (Praha, 27.05.2012 – 05.06.2012). – Praha: Publishing House «Education and Science», 2012. – С . 17-24.

20. О.В. Осадчук. Оптико-частотний температурний сенсор для екологічного контролю / [О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк, Р.В. Петрук.] // Збірник наукових статей за матеріалами II-ого Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю 2009. – С . 321-325.

21. О.В. Осадчук. Метод змінних станів для створення математичних моделей радіовимірювальних приладів / [О.В. Осадчук, М.В. Деундяк.] // Збірник наукових статей за матеріалами III-ого Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю 2011. – С . 387 - 390.

22. О.В. Осадчук. Дослідження чутливості радіовимірювальних приладів на основі частотних перетворювачів / [О.В. Осадчук, М.В. Деундяк.] // IV-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2013), 25–27 вересня, 2013. Збірник наукових статей. – Вінниця: ДІЛО, 2013. – С . 515 - 519.

23. О.В. Осадчук. Математична модель радіовимірювального приладу на основі оптико-частотного температурного перетворювача з біполярною транзисторною структурою / [О.В. Осадчук, В.П. Деундяк, М.В. Деундяк.] // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП - 2011), (Вінниця, 19 - 21 травня 2011). – 2009 – С. 130 – 131.

24. М. В. Деундяк. Верифікація вимірювачів інтегрувального типу/ М. В. Деундяк, В. Д. Рудик. Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ – 2008»: Матеріали IV міжнародної молодіжної науково-технічної конференції РТ-2008 (Севастополь, 21 - 25 .04.2008). – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2008. – С . 217.

25. М.В. Деундяк. Радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання на основі оптико-частотного перетворювача з транзисторних структур / М.В. Деундяк / Тези XI міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах» (Вінниця, 9 - 11 жовтня 2012). – 2012 – С. 77.

АНОТАЦІЯ

Деундяк М.В. Радіовимірювальний прилад для визначення потужності оптичного

випромінювання на основі піроелектричних первинних перетворювачів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.08 – Радіовимірювальні прилади. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013.

У дисертаційній роботі покращено метрологічні параметри чутливості та точності вимірювання потужності оптичного випромінювання при використанні піроелектричного первинного перетворювача та радіовимірювального приладу. У ній досліджено процес перетворення оптичного випромінювання в частотний сигнал у піроелектричних і транзисторних структурах. Обґрунтовано метод вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі піроелектричного елемента та реактивних властивостей транзисторних структур, що дозволяє значно підвищити його чутливість.

Також досліджено природу процесів, що перебігають в радіовимірювальному приладі під дією потужності оптичного випромінювання, яка дає можливість врахувати вплив на активну і реактивну складові повного опору, що дозволяє оцінити дію зовнішніх інформаційних параметрів на елементи нелінійних еквівалентних схем.

Розроблені частотні перетворювачі та радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання мають метрологічні характеристики (чутливість 11,2 кГц/мВт, сумарна похибка 0,18 %), сумісні з цифровими системами обробки інформації. Прилад має підвищену чутливість, ширший діапазон вимірюваних потужностей, меншу граничну похибку, більшу точність вимірювання, а також ширший робочий діапазон частот, який дозволяє вимірювати одночасно в різних точках простору і отримувати дані на дисплеї персонального комп'ютера та зберігати виміряну інформацію у окремий файл, що, в свою чергу, дає змогу вважати його ефективним для вимірювання потужності оптичного випромінювання.

Ключові слова: радіовимірювальний прилад, частотний перетворювач, чутливість вимірювання, функція перетворення, похибка, піроелектричний елемент, транзисторні структури, потужність оптичного випромінювання.

АННОТАЦИЯ

Деундяк М.В. Радиоизмерительный прибор для определения мощности оптического излучения на основе пироэлектрических первичных преобразователей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.08 – Радиоизмерительные приборы. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2013.

Работа состоит из анализа современных достижений в области разработки радиоизмерительных приборов мощности оптического излучения, разработки математической модели пироэлектрического кристалла и схемы приемников на его основе и разработки математических моделей радиоизмерительных приборов на основе пироэлектрических первичных преобразователей. А также рекомендаций к проектированию радиоизмерительного прибора для определения мощности оптического излучения на основе частотного преобразователя.

В диссертационной работе улучшено метрологические параметры чувствительности и точности измерения мощности оптического излучения при использовании пироэлектрического первичного преобразователя и радиоизмерительного прибора. В ней исследован процесс преобразования оптического излучения в частотный сигнал в пироэлектрических и транзисторных структурах. Обоснован метод измерения мощности оптического излучения с использованием пироэлектрического элемента и реактивных свойств транзисторных структур, что позволяет значительно повысить чувствительность его измерения.

Были исследованы процессы, которые протекают в радиоизмерительных приборах под действием мощности оптического излучения, что позволяет учесть влияние на активную и

реактивную составляющие полного сопротивления и оценить воздействие внешних информационных параметров на элементы нелинейных эквивалентных схем.

Разработаны частотные преобразователи и радиоизмерительный прибор мощности оптического излучения имеют метрологические характеристики (чувствительность 11,2 кГц / мВт, суммарная погрешность 0,18%), совместимы с цифровыми системами обработки информации.

Разработка радиоизмерительного прибора мощности оптического излучения на основе частотного принципа работы позволяет значительно снизить стоимость систем контроля и управления, в полной мере реализовать преимущества радиоизмерительных приборов (высокая надежность, малые габариты и масса, взаимозаменяемость и стабильность характеристик).

Разработанный прибор имеет повышенную чувствительность, широкий диапазон измеряемых мощностей, меньшую предельную погрешность, большую точность измерения, а также более широкий рабочий диапазон частот, который позволяет измерять одновременно в разных точках пространства и получать данные на дисплее персонального компьютера и сохранять измеренную информацию в отдельный файл, что, в свою очередь, позволяет считать его эффективным для измерения мощности оптического излучения.

Также установлено, что внедрение нового прибора сопровождается снижением расходов по капитальным вложениям, при экономии на эксплуатационных расходах. Он имеет существенную условно-годовую экономию, предполагаемый годовой экономический эффект в 50761,25 грн., Срок окупаемости 1,2 (среднеотраслевой показатель 2-5 лет) и коэффициент эффективности 9,85. Именно это позволяет считать его внедрение целесообразным с точки зрения экономии ресурсов и максимизации прибыли.

В диссертации приведено теоретическое обобщение и новое решение актуальной научной задачи, которая проявляется в создании и исследовании радиоизмерительного прибора мощности оптического излучения на основе пироэлектрических частотных преобразователей, действие которых основано на пироэлектрическом эффекте и функциональной зависимости импеданса полупроводниковых приборов от оптического излучения, что позволяет повысить точность и чувствительность измерения.

В работе в научном плане впервые предложено осуществлять измерения мощности оптического излучения на основе пироэлектрического чувствительного элемента и реактивных свойств транзисторных структур, разработаны и исследованы математические модели пироэлектрического кристалла и транзисторных структур, разработаны аналитические выражения для расчета параметров пироэлектрического частотного преобразователя.

Ключевые слова: радиоизмерительный прибор, частотный преобразователь, чувствительность измерения, функция преобразования, погрешность, пироэлектрический элемент, транзисторные структуры, мощность оптического излучения.

SUMMARY

Deundiak M.V. Radiomeasuring device for determination optical power from the primary pyroelectric transducers. - Manuscript.

The thesis for a Candidate's degree of technical science by specialization 05.11.08 - Radiomeasuring devices. – Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, 2013.

The thesis involved developing improved metrological parameters such as sensitivity and accuracy of measurement of optical power using a pyroelectric primary converter and radiomeasuring devices. It examines the process of conversion of optical radiation in the frequency signal in pyroelectric and transistor structures. This method of measuring optical power from the pyroelectric element and reactive properties of transistor structures that can significantly increase the sensitivity of its measurement.

Also, the nature of the processes occurring in the radiomeasuring devices under optical power, which enables to take into account the effect of the active and reactive components of the impedance, which allows us to estimate the effect of external information parameters for each nonlinear equivalent circuits.

Developed frequency converters and radiomeasuring devices optical power with metrological characteristics (sensitivity 11.2 kHz / mW, the total error of 0.18%), compatible with digital information processing system. The device has a high sensitivity, a wider range of measured capacity smaller margin of error, greater accuracy and a wider operating frequency range, which allows to measure simultaneously at different points in space and receive data on the PC display and store the measured information in a separate file that, in turn, allows us to consider it effective for measuring optical power.

Keywords: Radiomeasuring devices, frequency converter, sensitivity, conversion function, error, pyroelectric element, transistor structure, power of optical radiation.

Підписано до друку 29.07.2013 р. Формат 29,7x42¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2013-137

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59

