

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри

" " грудень 2023 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему

" МОДУЛЬ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ СИЛОВИХ МЕРЕЖЕВИХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ "

Виконав: студент II курсу маг., групи АКІТ

Повзун О.М.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник:

ст. викл. Чичура І.І.

(вчене звання, ПІБ, посада)

(підпис)

Ужгород - 2023

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с, 35 рис, , додатків 13, джерел 21.

Об'єкт проектування – багатофункціональний мікропроцесорний реєстратор, який призначається для вимірювання інформаційного сигналу, що надходить від оптоелектронних та волоконно-оптичних давачів різного типу. Діапазон відліків в межах від 0,01 до 4,99 В. Межа допустимої абсолютної похибки при вимірюваннях - не більше 3%. Спосіб відтворення інформації – цифровий, з дискретністю відліків 0,1. Вимірювання та обробка інформації здійснюється за допомогою вбудованої мікро ЕОМ сімейства AVR (ATmega 8).

Реєстратор може бути застосований для використання як із суміщеними оптоволоконними перетворювачами, так і з просторово розділеними оптопарами. Крім того він може знайти практичне використання при вимірюванні неелектричних величин (Т;Р), які застосовуються в пожежо- і вибухонебезпечних середовищах, а також в місцях з підвищеним рівнем радіаційних та електромагнітних полів.

Мікропроцесорний реєстратор температури з волоконно-оптичним давачем може бути рекомендований для подальшого використання в автоматизованих системах моніторингу температури силових трансформаторі шляхом контролю трансформаторного мастила.

**РЕЄСТРАТОР, ОПТОЕЛЕКТРОНІКА, ВОЛОКОННООПТИЧНІ
СЕНСОРИ, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК**

ABSTRACT

Explanatory note: 70 page, 35, pic, , apps 13, sources 21.

Object design – multifunctional microprocessor-based recorder that is designed for the measurement of the information signal received from the optoelectronic and fiber-optic sensors of various types. The range of samples in the range of from 0,01 to 4,99 U. Maximum permissible absolute error of measurement should not exceed 3%. The display is digital, with a resolution of samples of 0.1. Measurement and data processing is performed using the built-in microcomputer family AVR (ATmega 8).

The Registrar can be applied for use as a combined fiber-optic converters and spatially separated by optocouplers. Additionally, it may find practical use in the measurement of non-electrical quantities (T;P), which are used in the flammable and explosive environments, as well as in areas with high levels of radiation and electromagnetic fields.

A microprocessor temperature recorder with a fiber-optic sensor can be recommended for further use in automated systems for monitoring the temperature of power transformers by monitoring the transformer oil.

**REGISTRAR, OPTOELECTRONICS, FIBER OPTIC SENSORS,
TEMPERATURE, PRESSURE**

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Короткий аналіз технічного завдання	10
2 Огляд літератури по темі об'єкта проектування	11
2.1 Призначення, будова та принцип дії силового трьохфазного масляного трансформатора	11
2.2 Експлуатація силових трансформаторів	23
2.3 Контроль стану трансформатора	27
3 Вибір та проектування датчика для контролю температури трансформаторного мастила	33
3.1 Обґрунтування вибору кристалів для чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача	33
3.2 Огляд результатів оптичних досліджень кристалів GaAs	34
3.3 Результати експериментальних досліджень кристала GaAs:Zn	37
3.4 Дослідження спектральної узгодженості оптоелектронної пари	40
3.5 Розрахунок базових характеристик для визначення вихідного сигналу первинного вимірювального перетворювача	43
3.6 Розрахунок передавальної характеристики з врахуванням втрат у волоконно-оптичному тракті	45
3.7 Розрахунок вихідного сигналу волоконно – оптичного тракту	48
4 Розробка електричної схеми для проектованого датчика температури	53
5 Обґрунтування вибору комбінованої структурної та принципової схем	63
Висновки	68
Перелік посилань	69
Додатки	70

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ			
Вим,	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Повзун О.М.				Модуль моніторингу температури силових мережевих трансформаторів Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чичура І.І.					У	6	
Н. Контр.	Гютюніков С.					УжНУ, ІТФ, курс 2м, спец. АКІТ		
Затвердив	Чичура І.І.							

ВСТУП

У наші дні широке розповсюдження різноманітних електронних пристроїв, побутової техніки та різних електронних помічників у господарстві, суттєво підвищують середнє споживання електроенергії населенням. Зараз ми не уявляємо свого життя без електронних гаджетів, зручного електротранспорту та комп'ютера. Усе це суттєво підвищує наші енергетичні «апетити» при цьому серйозно навантажуючи електричні мережі та розподільчі системи. А широке поширення сучасних електромобілів з ємкими батареями та можливостями швидкого заряджання на відповідних зарядних станціях створює локації з значним енергоспоживанням та чуттєвими стрибками енергоспоживання у часі. Цим самим ми не просто навантажуюмо електромережу а й робимо це нерівномірно у просторі та часі формуючи часові зони зі значними локальними та загальними стрибками енергоспоживання. Усе це створює значні труднощі в експлуатації, обслуговуванні та модернізації існуючих електромереж чи проектуванні сучасних.

Постійний контроль різних параметрів електромережі та її розподільчих систем є однією з ключових задач стабільності та безперебійності енергопостачання.

Сучасні умови експлуатації силових елементів електричних розподільчих систем потребують значної уваги до їх стану. Одним із важливих параметрів контролю є температурний контроль силових елементів розподільчих систем таких як силові трансформатори та елементи комутації. Даний температурний контроль ускладнюється наявністю інтенсивних електромагнітних полів, що унеможлиблює використання традиційних засобів температурного контролю, що зазвичай застосовуються у автоматизованих та віддалених пристроях контролю.

Альтернативою у таких пристроях є використання датчиків контролю температури на основі волоконно-оптичних технологій. Сучасні волоконно-оптичні датчики температури дозволяють працювати у зоні інтенсивних електромагнітних полів чи у постійному контакті з трансформаторним мастилом силових трансформаторів. А волоконно-оптична лінія зв'язку дозволяє

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

розмістити блок реєстрації такого модуля моніторингу на значному віддаленні від датчика температури.

У даній роботі запропонована перспективну систему моніторингу температури силових трансформаторів на основі волоконно-оптичного датчика температури амплітудного типу з використання напівпровідникового чутливого елемента.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

1 КОРОТКИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

У даному розділі виконано аналіз основних проблем, які необхідно врахувати при виконанні кваліфікаційної магістерської роботи.

Сучасні пристрої для віддаленого контролю та управління, як складові частини автоматизованих систем повинні відповідати певним вимогам. Короткий аналіз даних вимог та особливостей, що виникають при проектуванні такого типу пристроїв коротко проаналізовано нижче.

1. Стабільність та надійність роботи в складних умовах: інтенсивні електромагнітні поля, вплив радіації та агресивних речовин.
2. Протяжна лінія зв'язку та можливість під'єднання декількох датчиків.
3. Вихідний електричний сигнал легко узгоджується з керуючою системою автоматизації.
4. Низьке енергоспоживання та компактність
5. Не висока вартість комплектуючих пристрою

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ПО ТЕМІ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Призначення, будова та принцип дії силового трьохфазного масляного трансформатора

Трансформатор це статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більше індуктивно пов'язані між собою обмотки і призначений для перетворення однієї або декількох систем змінного струму в одну або кілька систем змінного струму за допомогою електромагнітної індукції. Розрізняють двообмоткові трансформатори з двома гальванічно не пов'язаними між собою обмотками, а також трьох-і багатообмоткові трансформатори з трьома і більше гальванічно не пов'язаними обмотками. Енергія в такому пристрої передається з первинного ланцюга трансформатора у вторинний його ланцюг за допомогою електромагнітного поля.



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд силового трансформатора

За призначенням трансформатори можна розподілити на силові, регулювальні, спеціальні, сигнальні та інші.

Трансформатор називають силовим, якщо він використовується для перетворення електричної енергії в електричних мережах або для безпосереднього живлення приймачів електричної енергії. Розрізняють силові

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

трансформатори за призначенням як пристрої загального призначення, які слугують для живлення електричних мереж або приймачів електричної енергії, які не відрізняються особливими умовами роботи, характером навантаження або режимом роботи. Також розрізняють трансформатори спеціального призначення, які використовуються для живлення електричних мереж або приймачів енергії, які відрізняються особливими умовами роботи, чи характером навантаження або їх режимом роботи.



Рис. 2.2 Зовнішній вигляд силового трансформатора розподільчої мережі

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		12

Силовий трансформатор призначений для перетворення змінного струму однієї напруги на змінний струм іншого (вищого або нижчого) напруги (постійної частоти). Передача електричної енергії на великі відстані здійснюється, як відомо, при високій напрузі (6, 10, 35 кВ та вище) за допомогою трансформаторів та ліній електропередачі. На місці споживання електроенергії її напруга знижується трансформатором до необхідного значення, що відповідає напрузі електроустановок споживачів. Передача електроенергії високої напруги обумовлена прагненням максимально мінімізувати втрати в мережах електропередачі та перетину дротів ліній електропередачі.

Силовий трансформатор – найважливіший елемент електроустановки, мережі та системи. Силові трансформатори розрізняють: за типом охолоджуючого середовища – масляні та сухі; за кількістю обмоток – двообмотувальні та триобмотувальні; за кількістю фаз – однофазні та трифазні.

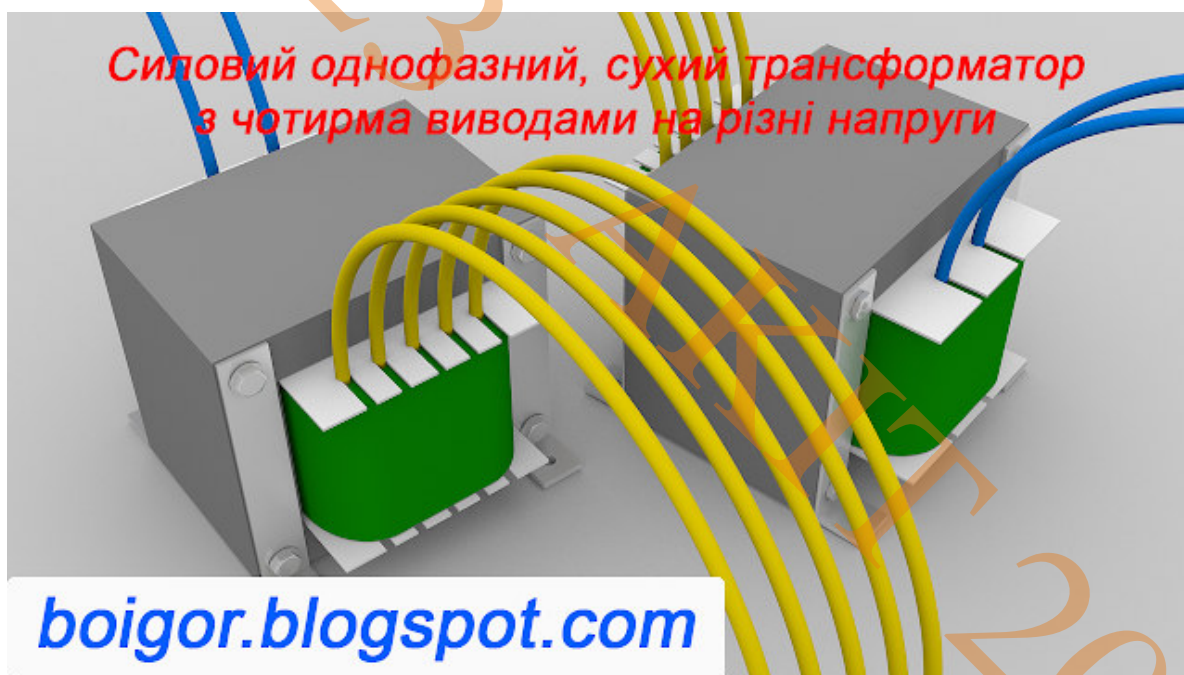
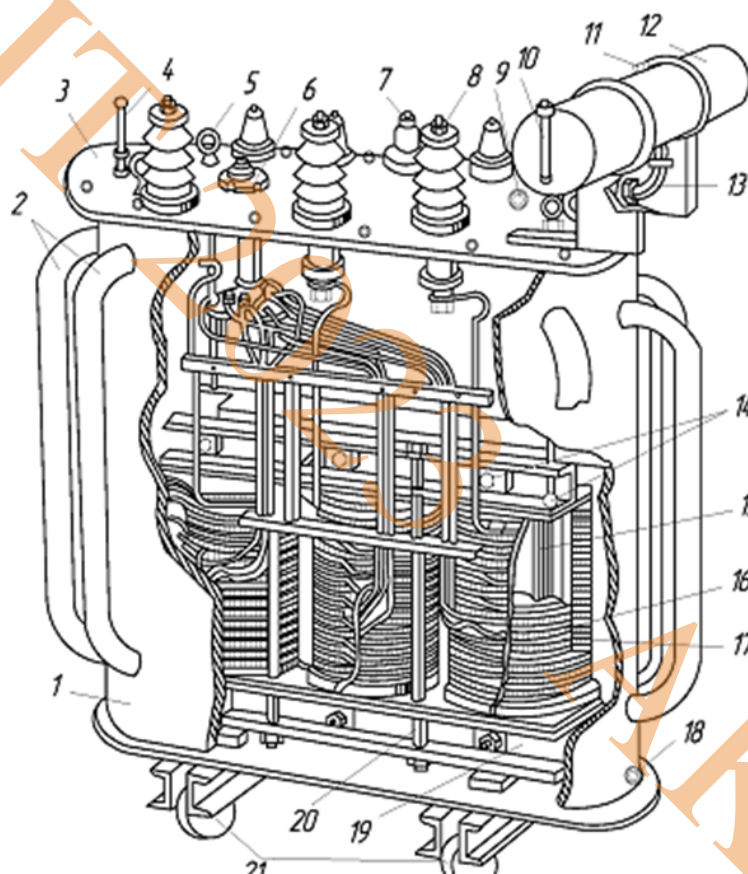


Рис. 2.3 Модель трансформатора з чотирма вихідними обмотками

Принцип дії трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Якщо первинну обмотку трансформатора підключити до мережі або джерела змінного струму, то через неї протікатиме змінний електричний струм, який

збуджуватиме змінний магнітний потік у сердечнику трансформатора. Магнітний потік, проходячи через витки вторинної обмотки трансформатора, буде наводить в ній ЕРС. Під дією цієї ЕРС через вторинну обмотку та через приймач енергії потече електричний струм. Тому електрична енергія, перетворюючись, передається з первинного ланцюга у вторинний, але з іншою напругою, на яку розрахований приймач енергії, підключений до вторинного ланцюга системи.



- 1 – бак, 2 – циркуляційні труби, 3 – кришка, 4 – термометр, 5 – піднімне кільце, 6 – регулятор напруги, 7, 8 – вводи обмоток НН і ВН, 9 – пробка отвору для заливання масла, 10 – маслоказівник, 11 – пробка розширювача, 12 – розширювач, 13 – патрубок, 14 – горизонтальні шпильки, 15 – магнітопровід, 16, 17 – обмотки НН і ВН, 18 – маслопускна пробка, 19 – ярмова балка, 20 – вертикальна стяжна шпилька, 21 – катки.

Рис. 2.4 Силовий трифазний масляний трансформатор. Складається з; НН - вводи обмоток низької напруги; ВН - вводи обмоток високої напруги.

Щоб покращити магнітний зв'язок між первинною та вторинною обмотками трансформатора, їх розміщують на сталевому магнітопроводі. Для зменшення втрат від вихрових струмів магнітопроводи трансформаторів складаються із багатьох тонких пластин (зазвичай завтовшки 0,5 і 0,35 мм) із трансформаторної сталі з нанесеною на неї ізоляцією (жаростійким лаком або плівковою ізоляцією).

Трансформаторна сталь у таких конструкціях може бути гаряче- та холоднокатаною.

Обмотки, що використовуювані в трансформаторах (рис. 2.5) розрізняються за їх конструкцією та способом намотування, наявністю паралельних проводів у витку та схемах з'єднань окремих елементів обмотки між собою. У сучасних трансформаторах зазвичай використовують одно-, дво- і багат шарові циліндричні обмотки, а також неперервні чи гвинтові обмотки, які виконані круглими чи прямокутними проводами.

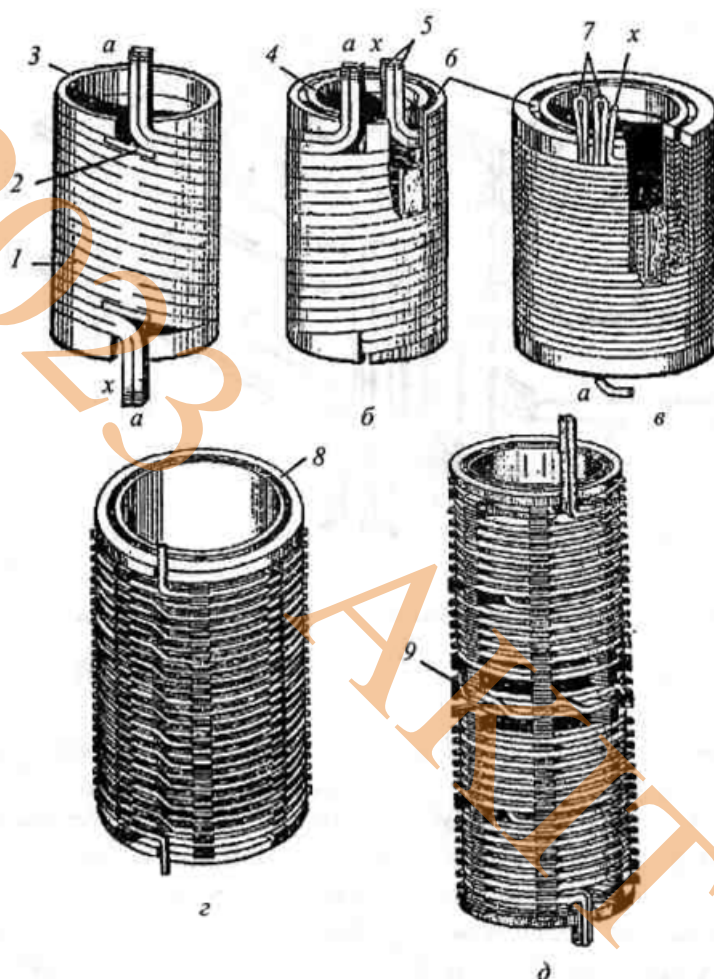


Рис. 2. 5 Циліндричні обмотки в силових трансформаторів:

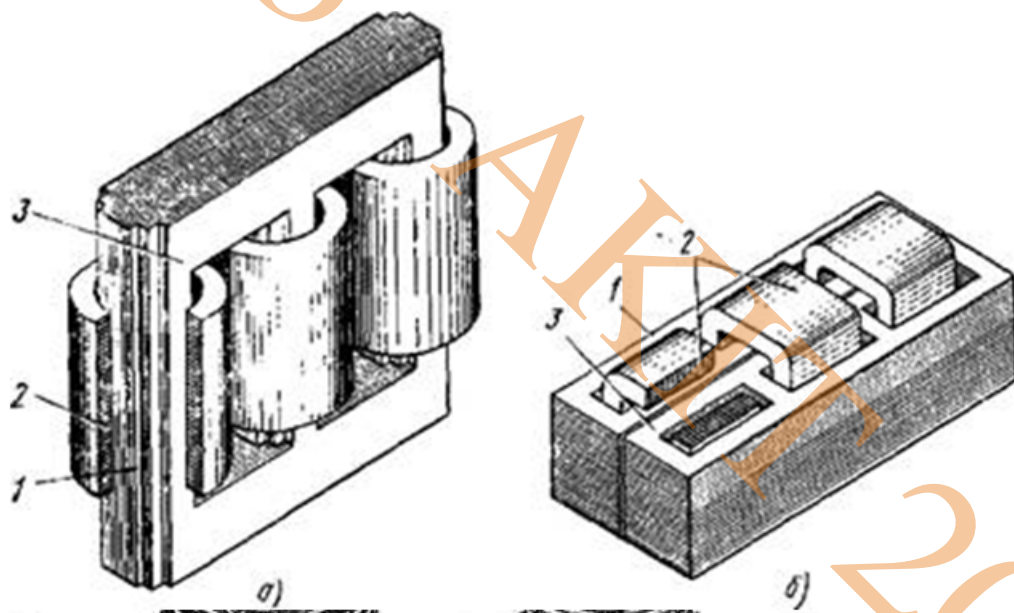
а – одношарова обмотка; б - двошарова обмотка; в - багат шарова обмотка; г - безперервна обмотка; д - гвинтова обмотка; 1 - витки з прямокутного провідника; 2 - електрокартонна коробка для підсилення ізоляції крайніх витків в обмотки; 3 - резервні вирівнюючі кільця, 4 - паперово-бакелітовий циліндр; 5 -

кінець першого шару обмотки, 6 - вертикальні рейки; 7 - внутрішні відгалуження обмотки; 8 - опорне ізоляційні кільце; 9 - транспозиція витків обмотки.

Магнітопровід це магнітна система трансформатора, через яку замикається основний магнітний потік. У той же час магнітопровід служить основою для встановлення і кріплення обмоток, відведень, перемикачів і інших деталей активної частини силового трансформатора.

Магнітопровід зазвичай збирають з окремих тонких пластин електротехнічної сталі, ізольованих один від одного плівкою зі спеціального жаростійкого покриття чи лаку. Жаростійке покриття зазвичай наноситься безпосередньо на металургійному заводі, що виготовляє трансформаторну сталь; плівку лаку наносять - на трансформаторному заводі після різання (штампування) заготовок пластин.

Магнітопроводи зазвичай виконуються двох типів: стержньового і броньового типів.

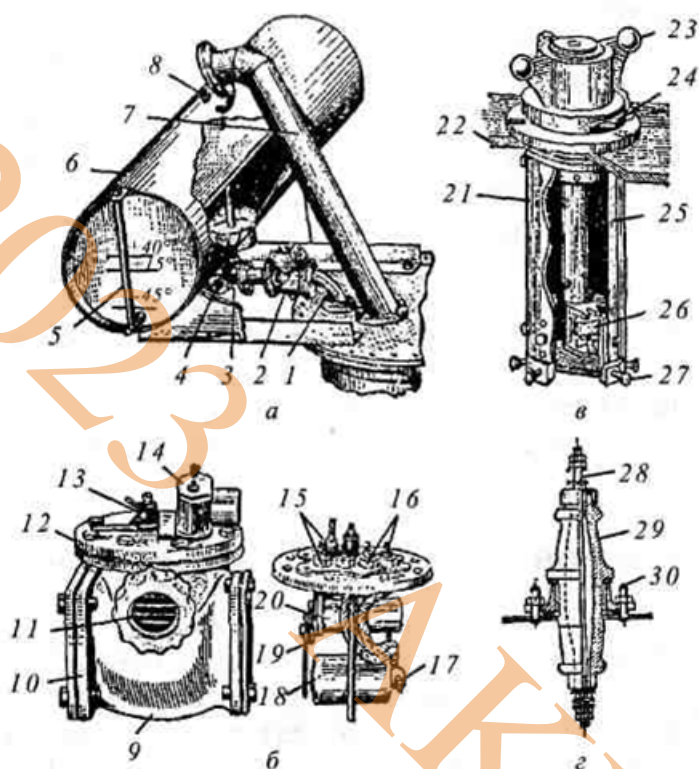


Мал. 2.6 Зовнішній вигляд основних типів конструкції магнітопроводів: а - стержньова; б - броньова; 1 - стержень; 2 - обмотки; 3 - ярмо

Бак служить для встановлення в ньому активної частини трансформатора і заливки мастилом. Верхня кришка закриває бак і одночасно є підставкою для

встановлення розширювача, введів, приводів перемикаючих пристроїв, балона термосигналізатора, підйомних кілець та інших деталей. Місце з'єднання роз'єму кришки з баком ущільнюють гумовою ущільнюючою смугою, що укладається на раму в паз між виступаючим торцем і отворами в рамі.

До деталей трансформатора належать розширювач, запобіжна труба, газові реле, перемикач, вводи, пробивний запобіжник і термосифонний фільтр. Ці деталі розміщені на кришці трансформатора.



Мал. 2.7 Основні деталі силового трансформатора:

а - пристрій розширювача і запобіжної труби; б - пристрій газового реле ПГ-22; в - перемикач ТПСУ-9-120/10; г - знімальний ввід; 1 - маслопровод; 2 - газове реле; 3 - пробковий кран; 4 - відстійник; 5 - маслопоказчик; 6 - розширювач; 7 - запобіжна труба; 8 - пробка маслоналивного отвору; 9 - корпус реле; 10 - фланець; 11 - оглядове вікно; 12 - кришка; 13 - кран для випуску накопичених в реле газів; 14 - коробка затисків; 15 - затискачі кола сигналізації; 16 - затискачі кола вимикання; 17 і 19 - ртутні контакти кола вимикання і сигналізації; 18 і 20 - нижній і верхній поплавки; 21 - паперово-бакелітовий циліндр; 22 - кришка

трансформатора; 23 - ковпак привода; 24 - показчик знаходження перемикача; 25 - паперово-бакелітова трубка; 26 - сегментний контакт; 27 - нерухомий контакт з болтом; 28 - струмопровідний стержень; 29 - фарфорова деталь вводу; 30 - шпилька кріплення вводу до кришки трансформатора.

Розширювач 6 (рис. 2.7 а) необхідний для забезпечення постійного заповнення бака трансформатора маслом, а також для зменшення поверхні масла, що контактує з повітрям, і тим самим оберігає його від вологи і окислення. Крім того, розширювач компенсує зміну об'єму олії в баку при коливаннях температури. При нагріванні олії та збільшенні його об'єму зайва олія переходить з бака в розширювач, а потім, при зниженні температури та зменшенні об'єму олії в баку, повертається в бак трансформатора. Встановлено, що зміна температури олії в діапазоні від -35 до $+70^{\circ}\text{C}$ викликає зміну його обсягу приблизно на 8%, тому обсяг розширювача розраховують на цей надлишок олії. Зміна об'єму олії особливо помітна в потужних трансформаторах, кількість олії в яких сягає кількох тонн.

Розширювач має циліндричний корпус, що кріпиться до кришки трансформатора за допомогою двох сталевих кронштейнів. Розширювач з'єднаний з бічною частиною трансформатора маслопроводом 1, кінець якого виступає в розширювач на 50-70 мм, щоб забруднене масло, що осів на днищі розширювача, не могло потрапити в бак.

У процесі роботи трансформатора через постійну зміну обсягу в баку повітря або витісняється з розширювача, або засмоктується в нього знову, тому кажуть, що трансформатор «дихає». Під час "дихання" трансформатора волога, що потрапила в розширювач разом з атмосферним повітрям, конденсується, потрапляючи в його нижню частину, а звідти в спеціальний піддон 4. Внизу піддону є спеціальна пробка для зливу води та забруднена олія. У деяких трансформаторах розширювачі не мають піддону і для зливу бруду використовується корок, вкручений у нижню частину розширювача.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		18

Рівень мастила в розширювачі контролюється за допомогою маслопоказчика 5, який складається зі скляної трубки, поміщеної в металевий корпус і закріпленої на торцевій частині розширювача за допомогою куточків та патрубків.

Він працює згідно із законом сполучених судин. На склі та корпусі масляного щупа червоною фарбою нанесені лінії, що позначають допустиму верхню та нижню межу рівня олії у розширювачі.

На торці розширювача (поряд з масляним щупом) є цифри, що показують нормальний рівень олії в розширювачі за різних температур навколишнього повітря.

Запобіжний трубопровід 7 (рис. 2.7 а) встановлюється на силових трансформаторах потужністю 1000 кВА і більше. Це сталевий циліндр, з'єднаний із баком трансформатора. Верхній кінець запобіжної трубки закритий скляним диском (діафрагмою), а нижній - фланцем, прикріпленим болтами до кришки трансформатора.

Запобіжна труба служить для запобігання вибуху бака трансформатора у разі неприпустимого підвищення тиску в ньому внаслідок внутрішніх аварійних процесів, викликаних розкладанням олії та інтенсивним утворенням газів. Якщо тиск досягає небезпечного значення, діафрагма запобіжної труби руйнується і тим самим забезпечує вихід газів та олії назовні.

Газове реле 2 встановлено в розрізі маслопроводу (рис. 4 а), що з'єднує розширювач з баком трансформатора. Він служить для сигналізації та відключення силового трансформатора у разі внутрішнього пошкодження, що викликає локальне нагрівання. В результаті масляна або провідна ізоляція руйнується та утворюються гази. До таких видів ушкоджень відносяться скручування ланцюгів, міжфазні замикання, «пожежа» сталі магнітопроводу і т.д.

Газові реле ПГ-22 найчастіше застосовуються у трансформаторах, загальний вигляд та внутрішню будову яких показано на рис. 4, б. Рухливі герметичні металеві циліндри поплавків 18 та 20 розміщені всередині металевого корпусу 9 реле. На поплавцях закріплені скляні конуси, в які вмонтовано контакти та залито

трохи ртуті. Контакти – конуси верхнього поплавця служать замикання ланцюга звукового сигналу, а нижні – замикання ланцюга відключення трансформатора.

При нормальній роботі трансформатора бак реле заповнений трансформаторним маслом, поплавці 18 і 20 піднято, контакти 17 і 19 в конусах з ртуттю не замкнуті. При слабкому газоутворенні, що характеризує незначні ушкодження всередині бака трансформатора, гази повільно піднімаються вгору і, накопичуючись у баку, витісняють масло. Рівень олії в реле падає, у результаті опускається верхній поплавець. При цьому ртуть у його конусі переливається і замикає контакти сигнального ланцюга, викликаючи ефект захисту сигналу. Якщо газоутворення значне, що вказує на серйозні пошкодження всередині трансформатора, відбувається сильний рух олії з бака в розширювач. Потік олії, проходячи через реле, перекидає нижній поплавець, ртуть у його конусі замикає ланцюг відключення та захист відключає трансформатор від мережі. Газове реле спрацьовує і тоді, коли рівень олії в баку падає, що призводить до витікання олії з реле.

Перемикачі. Для регулювання напруги трансформатори мають перемикачі.

Вимикач – це контактний пристрій, який слугує для перемикання гілок обмоток на стороні ВН та зміни таким чином коефіцієнта трансформації.

Трансформатори потужністю до 1000 кВт мають три ступені регулювання напруги (+5% і -5%).

У трансформаторах потужністю 100-1000 кВт напругою (на стороні ВН) 10 кВ використовують перемикачі ТПСУ-9-120/110.

Вимикач ТПСУ-9-120/10 (рис. 2.7, в) складається з паперово-бакелітового циліндра 21, в якому закріплені нерухомі контакти 27, і паперово-бакелітової трубки 25 з встановленими на ній рухомими сегментними контактами 26. Кінець трубки розміщений зовні 22 трансформатора і з'єднаний з ковпачком 23, що має покажчик положення перемикача 24 зі стопорним болтом, що фіксує положення перемикача. Для виконання перемикання необхідно відкрутити болт стопорний і повернути ковпачок 23 на 120°.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

У трансформаторах використовують перемикачі інших типів; проте дія всіх перемикачів заснована на тому самому принципі і розрізняються вони головним чином конструкцією окремих частин.

Введення силових трансформаторів (рис. 4, г) служать для ізоляції кінців обмоток, що виходять з бака, та підключення їх до різних елементів електроустановки. Вводи характеризуються великою різноманітністю форм, конструкцій та розмірів залежно від напруги, потужності та установки (зовнішньої чи внутрішньої) трансформатора. Ізоляційним елементом введення є порцеляновий ізолятор. Ізолятор входу трансформатора внутрішньої установки має гладку або дрібноребристу поверхню, а входу трансформатора зовнішньої установки - великі ребра парасолькової форми. Це значно збільшує дистанцію розряду, що навіть у разі сильного дощу та сильного забруднення ізолятора дозволяє уникнути розрядів на його поверхні.

Термосифонний фільтр служить для безперервної рекуперації (регенерації) трансформаторної олії, що є в баку або розширювачі трансформатора. Це сталевий циліндр, наповнений спеціальною поглинаючою речовиною (сорбентом), якою в основному є силікагель. Циркуючи через термосифонний фільтр, масло очищається, відновлюється його початковий склад, якість та властивості за рахунок поглинання продуктів старіння олії силікагелем, який особливо інтенсивно утворюється при тривалій експлуатації трансформатора в режимі часті навантаження.

Системи охолодження силових трансформаторів наведено на рисунках нижче.

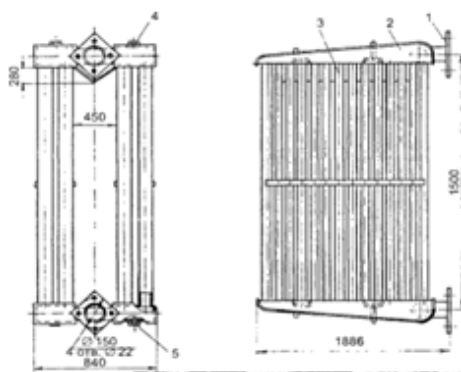


Рис.2.8 а Система типу М (ONAN)

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		21

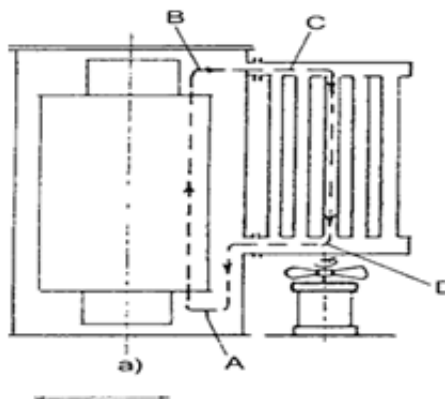


Рис.2.8 б Система типу Д

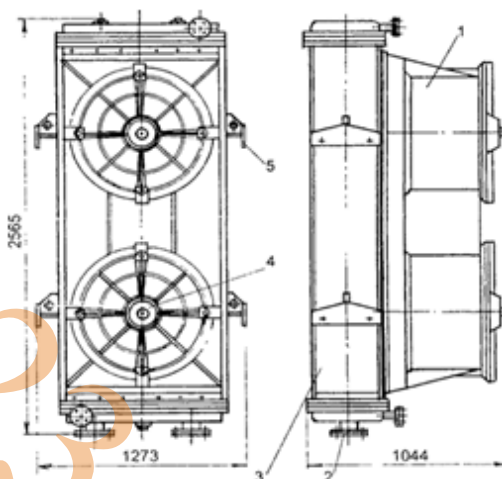


Рис.2.8 в Система типу ДЦ (OFAF)

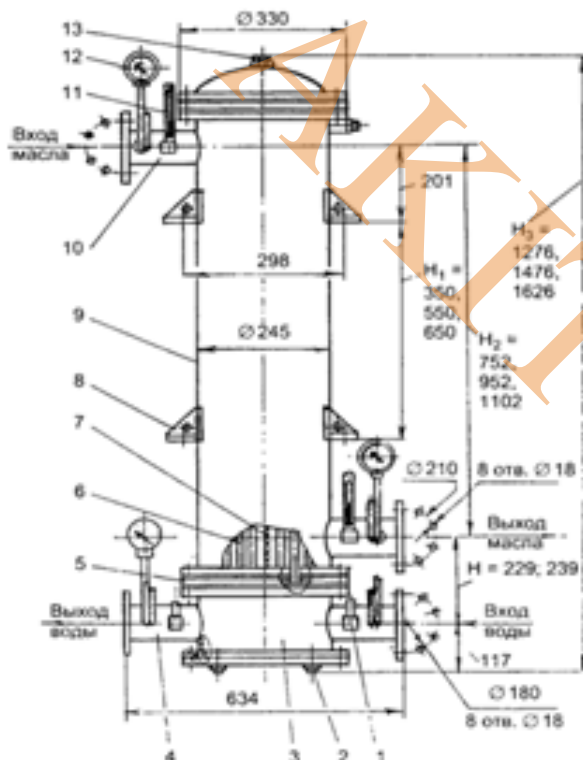


Рис.2.8 г Система типу Ц (OFWF)

М – природне масляне охолодження до 16 000 кВт

Д – масляне охолодження дуттям і природною циркуляцією масла до 80 000 кВт

ДЦ – масляне охолодження дуттям і примусовою циркуляцією масла 63 000 кВт і вище

Ц – масляно-водяне охолодження з примусовою циркуляцією масла 160 000 кВт і вище.

2.2 Експлуатація силових трансформаторів

2.2.1 Системи охолодження і обслуговування охолоджувальних пристроїв



Рис. 2.9 Загальний вид трансформатора

Тепло, що виділяється в обмотках та магнітопроводі працюючого трансформатора, розсіюється в навколишнє середовище. Передача тепла від поверхні обмоток та магнітопроводу до охолоджувального масла відбувається в результаті різниці температур між ними. Теплопередача забезпечується безперервною природною або примусовою циркуляцією олії у середині трансформатора. Природний рух нагрітих та холодних шарів нафти пояснюється їхньою різною щільністю. Відведення тепла в довкілля здійснюється конвекційними потоками повітря біля стін резервуара та випромінюванням. Передача тепла конвекцією походить від усієї поверхні резервуара, труб і

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		23

охолоджувачів і залежить від різниці температур резервуара та повітря, від конфігурації та площі поверхонь, що охолоджуються. Чим вільніший доступ повітря до охолоджуючої поверхні, тим інтенсивніший теплообмін.

Системи охолодження

Передбачені такі системи охолодження масляних трансформаторів та умовних позначень:

- ▶ охолодження олії з природною циркуляцією олії всередині бака та повітря зовні – М;
- ▶ маслоструминне охолодження з примусовою циркуляцією олії – Д;
- ▶ маслоструминне охолодження з примусовою циркуляцією олії та води - Ц.

Трансформатори з охолодженням дуття допускають роботу з вимкненим продуванням, якщо навантаження менше номінальної і температура верхніх шарів масла не перевищує 55 °С.

При аварійному відключенні всіх вентиляторів допускається робота трансформатора з номінальним навантаженням, залежно від температури навколишнього середовища, протягом обмеженого часу.

Робота трансформаторів з навантаженням вище за номінальну можлива тільки при включеному продуванні незалежно від температури масла і навколишнього повітря.

Управління обдуванням, тобто включення та вимкнення електродвигунів вентиляторів, здійснюється вручну та автоматично. Автоматичне увімкнення обдування здійснюється за допомогою контактів термометричної сигналізації.

У потужних трансформаторах та автотрансформаторах повітряне охолодження не забезпечує повного видалення теплових втрат. У цих випадках застосовують повітряно-олійну систему охолодження з примусовою циркуляцією олії за допомогою насосів та інтенсивним обдуванням охолоджувачів вентиляторами, встановленими на охолоджувачах.

З метою підвищення тепловіддачі на великих трансформаторах вітчизняного виробництва рух олії всередині трансформатора регулюється: охолоджена олія спеціальними трубками подається до певних ділянок обмоток, внаслідок чого

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		24

створюється організована циркуляція олії. через канали охолодження. Така система спрямованої циркуляції олії в обмотках ефективніша.

Трансформатори зі штучним охолодженням можуть експлуатуватися тільки при роботі вентиляторів обдування, включенні насосів циркуляції олії, спрацьовуванні сигналізації припинення подачі олії та зупинці вентиляторів обдування.

Управління двигунами системи охолодження передбачається автоматичним та ручним. Схема автоматичного керування забезпечує:

- ▶ включення основної групи охолоджувачів при включенні трансформатора до мережі;
- ▶ збільшення інтенсивності охолодження шляхом включення додаткового охолодження після досягнення номінального навантаження або певної температури олії в трансформаторі;
- ▶ увімкнення резервного охолоджувача при аварійному відключенні будь-якого з робітників;
- ▶ увімкнення резервного живлення двигунів насосів та вентиляторів при відключенні електроенергії, а також перемикання живлення від резервного джерела після відновлення напруги в основній мережі.

Ручне керування двигунами всієї системи охолодження та кожним охолоджувачем здійснюється керуючими ключами, положення яких перевіряється зовнішнім оглядом перед включенням трансформатора в мережу.

Система водомасляного охолодження з примусовою циркуляцією олії та охолоджувальної води є найбільш ефективною, але менш зручною в експлуатації, ніж розглянута вище система з примусовою циркуляцією олії. Для його використання необхідне потужне джерело водопостачання та слід вжити заходів щодо запобігання замерзанню водопроводів, насосів та іншого обладнання у зимовий період.

Включають маслководяне охолодження після включення трансформатора в мережу: спочатку включають масляний насос і перевіряють циркуляцію в

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

маслоохолоджувачах, потім подають воду, що охолоджує, і перевіряють співвідношення тиску води і масла. При необхідності тиск коригується.

Маслоохолоджувачі в системі водяно-олійного охолодження знижують температуру олії на 10-15 °С і здатні підтримувати температуру верхніх шарів олії на рівні 50-55 °С при нормальному навантаженні. Тому подача охолодної води в маслоохолоджувач здійснюється при температурі олії не нижче 15 °С. Відключення водомасляного охолодження здійснюється після відключення трансформатора від мережі: спочатку припиняється доступ води до охолоджувача, а потім відключається масляний насос..

Технічне обслуговування систем охолодження полягає у спостереженні за роботою та обслуговування установок, що використовуються в системах охолодження. Система охолодження перевіряється оперативним персоналом одночасно з перевіркою трансформаторів.

У ході перевірок перевіряються:

- ▶ відсутність течі олії із систем охолодження;
- ▶ робота кулерів на основі їх нагрівання (температура визначається на дотик).
- ▶ відсутність нагріву, шуму та вібрації маслонасосів;
- ▶ робота адсорбційних фільтрів;
- ▶ стан кріплень маслопроводів, насосів та вентиляторів;
- ▶ робота вентиляторів – за відсутності вібрації, скрегота та зачеплення крильчаток за корпус.

Технічне обслуговування обладнання системи охолодження включає усунення несправностей, виявлених під час огляду, заміну зношених деталей (лопатей, робочих коліс, підшипників), чищення радіаторів та вентиляторів, мастило підшипників, контроль опору ізоляції електродвигунів.

Працездатність систем охолодження зазвичай перевіряють за температурою верхніх шарів олії у трансформаторі.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		26

2.3 Контроль стану трансформатора

Будь-який силовий трансформатор експлуатується роками (відомі випадки роботи трансформатора по 40 і більше років) у різних режимах та за різних зовнішніх впливів. Цю різноманітність неможливо уявити аналітично. Потрібна організація системи оцінки стану трансформаторів для підприємства.

Зовнішні дослідження силових трансформаторів проводяться в межах, передбачених нормативно-технічною та конструкторською документацією.

Однак досвід експлуатації визначає необхідність оцінки зношеного обладнання у таких випадках:

коли кінець експлуатації близький або настав згідно з «Системою технічного обслуговування та ремонту»;

якщо фізичне зношування виникло внаслідок інтенсивної роботи;

коли відбувається амортизація чи моральний знос.

У цих випадках виникає необхідність попередньої оцінки стану зношеного електроустаткування для розробки плану досить ефективних методів подальших випробувань або заходів щодо підтримки функціонування електроустаткування. Ось кілька методик, що дозволяють оцінити зношене обладнання.

До зовнішніх досліджень належать: контроль показань вимірювальних приладів; перевірка рівня олії, тиску, температури та кольору; відбір проб олії; перевірка справності сигналізації, захисту, автоматики та газових реле; візуальний контроль поверхонь вводів та ізоляторів, шин, кабелів та контактних з'єднань.

Дослідження проводять оглядом, найпростішими та спеціальними приладами. Найбільш ефективний тепловізійний контроль, до якого відноситься термографія. Досвід експлуатації показує, що виявлення початку розвитку одного з основних дефектів високовольтних вводів - відкладення металоутримуючих колоїдних частинок на фарфорі - дозволяє виявити зону підвищених (на 1 ... 2 ° C) нагрів, який відбувається при появі навіть незначних смуг осаду.

Термографія проводиться в процесі експлуатації, коли виявляється та чи інша аномалія і робляться припущення про можливі несправності, наприклад:

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

локальне нагрівання стінок бака силового трансформатора може виникнути через руйнування ізоляції висновків або поломки шин, що заземлюють;

підвищення температури, яке відсутнє на сусідніх фазах або аналогічних силових трансформаторах, вважається ненормальним;

нерівномірний розподіл теплових втрат за висотою обмотки та локальне нагрівання стінок бака свідчать про можливість прискореного старіння ізоляції окремих котушок або витків;

перегрів крайніх обмоток високовольтних вводів свідчить про здуття додаткової паперової ізоляції або утворення осаду;

підвищення температури корпусу масляного насоса можливе через тертя робочих коліс, дефект підшипників, короткого замикання обмотки електродвигуна;

порушення плавного підвищення температури по висоті термосифонного фільтра свідчить про можливе утворення осаду, випадково закритий клапан або роботу силового трансформатора в режимі холостого ходу;

при низькій температурі патрубків радіатора можлива несправність плоского радіаторного клапана або його помилкове закриття, корозія патрубків та утворення шламу;

різке зниження температури в маслопроводі після газового реле або запірного крана вказує на можливість несправності крана, розташованого біля газового реле;

нагрівання розширювача герметичного маслonaповненого високовольтного введення можливе при утворенні короткого замикання всередині розширювача;

можливе поздовжнє нагрівання поверхні фарфорової шини, починаючи з верхнього фланця, при виникненні часткових розрядів внаслідок змочування верхньої частини каркаса високовольтного введення;

порушення герметичності прокладок масляного розширювача та попадання вологи;

Нерівномірність температури на поверхні високовольтного введення може виникнути через розбухання або зміщення його паперової основи, а також

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

утворення осаду на виступах його сердечника або порушення циркуляції масла в ньому.

Контроль за станом маслоочисних та маслозбірних пристроїв (фільтр маслоочищення, паперова ізоляція обмоток) в процесі експлуатації здійснюється шляхом експрес-аналізу вологості масла по зміні кольору індикаторного силікагелю, який рожевіє та набуває яскравого кольору при вбиранні вологи.

Якщо планується провести аналіз олії для визначення кількості фуранових сполук, які використовуються для оцінки ступеня полімеризації паперової ізоляції обмоток, відбір проб олії з силового трансформатора необхідно провести до заміни термосифона. фільтри. (За наявності термосифонного фільтра в силовому трансформаторі фуранові продукти, що утворюються, адсорбуються і розкладаються через кисле середовище на силікагелі, а інформацію про старіння ізоляції можна отримати тільки при встановленні динамічної рівноваги між продуктами поглинання і виділення сорбенту.)

Необхідно періодично та ретельно перевіряти роботу систем охолодження, пристрою РПН, масляних насосів та приводних двигунів, оскільки за статистикою несправності пристроїв РПН та пристроїв ПБВ становлять 14...24. %, а елементи системи охолодження – 8,6%.

Основними вузлами, де з'являються дефекти силового трансформатора є пристрої регулювання напруги. Досвід експлуатації пристрою РПН показує, що при нормальному газовиділенні через поганий стан контактів пристрою РПН можливий розвиток аварії на силових трансформаторах. З цим парадоксом необхідно зважати.

Якщо силовий трансформатор має систему примусової циркуляції олії, то відбір проб олії слід проводити як за включенні системи циркуляції, і при виключенні системи циркуляції (ступінь забруднення олії механічними домішками визначається за температурна залежність $\text{tg}\delta$). Якщо старий силовий трансформатор має сильне забруднення активної частини, при включенні примусової циркуляції масла напруга його пробою зменшиться.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Виявлення та локалізацію часткових розрядів електричними та акустичними методами необхідно проводити в силових трансформаторах напругою 330 кВ і вище, проте відомі випадки їх виявлення і за більш низьких напруг. Часткові розряди є небезпечним видом розвитку внутрішніх дефектів силових трансформаторів, тобто поява часткових розрядів між обмоткою та бар'єрною ізоляцією, це свідчить про зниження ефективної циркуляції олії у каналі. При цьому необхідно перевірити роботу системи охолодження та проаналізувати олію. Якщо рівень стійких часткових розрядів перевищує рівень перешкод у п'ять і більше разів, то трансформаторі, що розробляється, є небезпечний дефект.

У трансформаторах різних типів є характерні зони підвищеної вібрації і необхідно оцінити рівень і характер шуму в цих зонах.

При вібрації всього бака силового трансформатора можливе порушення жорсткості установки на роликах чи фундаменті. У цьому випадку необхідно перевірити положення пильовика або встановити додаткові колодки. Якщо в режимі навантаження збільшується вібрація силового трансформатора або змінюється частота вібрації, або з'являється модульований шум, це свідчить про погіршення притиску обмоток і магнітопроводу.

Якщо присутні резонансні коливання (шум) на частотах до 100 Гц, це означає, що вібрації викликані вентиляторами і масляними насосами, але можливо також, що вони пов'язані з електродинамічних процесів (магнітострикція в магнітопроводі та електродинамічних процесів в обмотка). Резонансні коливання на частотах 300 і 500 Гц можуть бути спричинені стисненням або дефектом складання магнітопроводу.

Якщо вібрація бака силового трансформатора знижується при переході з режиму холостого ходу режим навантаження, то вібраційні дефекти відсутні. Якщо частота та амплітуда вібрації перевищать контрольну величину, пропорційну квадрату струму, можливе ослаблення вузлів кріплення або втрата радіальної стійкості обмоток. Якщо це перевищення відбувається поступово (від виміру до виміру), відбувається зменшення обтискання обмотки.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

При відключенні електродвигунів силового трансформатора із системою охолодження Д згідно з ГОСТ 11677-85 допускається його навантаження до 50 % номінальної потужності (при вимкненні електродвигунів вентиляторів локалізація джерела шуму можлива).

Результати зовнішнього огляду заносяться до карти огляду, що включає відповідні показники стану окремих частин та деталей та дефекти, виявлені при зовнішньому огляді. Виявлені дефекти фіксуються у журналі чергового персоналу.

Обов'язково проводиться ресурсна діагностика силових трансформаторів. Мінімальна оцінка їх стану включає зовнішній огляд та відбір проб олії, а також діагностику в рамках міжремонтних випробувань. Другий рівень досліджень – контроль внутрішнього стану трансформатора може здійснюватися із залученням спеціалізованих підрозділів. На цьому рівні діагностування технічного стану трансформатора ставиться мета: точніше, ніж на першому рівні, оцінити його фізичне та моральне зношування та обґрунтувати можливість продовження експлуатації, а також виявити внутрішні та аварійні дефекти.

Ресурсна діагностика включає три етапи дослідження:

лабораторія - фізико-хімічний аналіз нафти та хроматографічний аналіз розчинених газів;

тест – тестування та контроль параметрів без включення та з відключенням напруги;

аналітичний – діагностика стану на основі результатів досліджень та експертних запитів.

Лабораторний етап складається з аналізу проб нафти, взятих при зовнішньому дослідженні, та заповнення відповідних форм для подальшого зберігання результатів. Аналіз проб проводиться з метою визначення властивостей масла як елемента ізоляції та охолоджуючого середовища трансформатора, пристрою РПН, високовольних вводів та дугогасного середовища в пристроях РПН. пристроїв, а також як джерело інформації про внутрішній стан обладнання.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		31

Результати лабораторних випробувань трансформаторної оливи дозволяють виділити дві області її експлуатації: зону нормального стану та зону підвищеного ризику.

Нормальний стан трансформаторної оливи відповідає інтервалу від граничних значень його характеристики після заливання до значень, що обмежують область нормального стану трансформаторної оливи в експлуатації. Стан трансформаторної оливи, що гарантує надійну роботу трансформатора мінімально, визначається контролем трьох основних показників - пробивної напруги, кислотного числа та температури спалаху в закритому тиглі.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

3 ВИБІР ТА ПРОЕКТУВАННЯ ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСТИЛА

3.1 Обґрунтування вибору кристалів для чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача

У відповідності до технічного завдання в якості чутливого елемента ПВП, яких підлягає розробці має використовуватись кристалічний чутливий елемент. Попередній аналіз можливих варіантів вибору кристала вказав на можливість застосування базових матеріалів групи A_3B_5 (GaAs, GaP), які на сьогоднішній день являються основними напівпровідниковими кристалами для сучасної мікроелектроніки.

З прикладної точки зору інтерес до цих матеріалів викликаний широким їх застосуванням в елементах ІЧ оптики, телевізійної техніки та оптоволоконних засобах зв'язку. Ці матеріали є стійкими до опромінення високоенергетичними частинками, що робить можливим їх практичне застосування в умовах дії радіоактивного опромінення, можливість відпалу радіоактивних дефектів відкриває можливість їх багатократного застосування в екстремальних радіаційних умовах [6]. Крім того, на оптичні властивості цих кристалів практично не впливають потужні високочастотні електромагнітні поля [7].

Все викладене вище вказує на можливість ефективного застосування кристалів групи A_3B_5 в якості чутливих елементів амплітудного типу для волоконо-оптичних давачів температури, тиску та інших фізичних величин.

Для розрахунків ПВП в даній роботі було обрано кристали GaAs:Zn, промислового виробництва (Завод напівпровідникових матеріалів «Кристал», м. Світловодськ), які використовувались для побудови світлодіодів різного типу.

Для проведення експериментальних досліджень краєвого оптичного пропускання вирізались пластинки кристала, які послідовно шліфувались на абразивних порошках, полірувались на алмазних пастах різної консистенції та електро-полірували до високого класу шорсткості. В результаті для

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		33

досліджень використовувались пластинки товщиною 500 мкм з високою якістю поверхні з двох боків (12-14 клас).

На рис. 3.1.1 представлено фотографію одного із кристалів GaAs:Zn, пластинка якого використовувалась при оптичних дослідженнях.



Рис 3.1.1 Фотографія кристалу GaAs:Zn, який використовувався при оптичних дослідженнях

3.2 Огляд результатів оптичних досліджень кристалів GaAs

Кристалічні решітки бінарних напівпровідників типу $A^{III}B^V$ мають структуру цинкової обманки. Це кубічні кристали з двома атомами в елементарній комірці. В кристалічній ґратці цинкової обманки кожний атом розміщується в центрі тетраедра, створеного чотирма найближчими сусідами. Сусідами завжди являються атоми різних елементів. В просторовій групі ґратки цинкової обманки (T_d^2 або $F43m$) не включені неелементарні трансляції. Постійна ґратки кристалів GaAs при 298K дорівнює 0,569315 нм [7].

Енергія краю власного поглинання чистого GaAs при кімнатній температурі дорівнює 1,425 еВ [8]. Оскільки цей напівпровідник, є прямозонним, то поблизу краю власного поглинання спостерігається різкий ріст поглинання і при енергії фотонів $h\nu=1,5$ еВ значення α досягає значень 10^4 см^{-1} . На рис 3.2.1 представлено спектр поглинання GaAs в області краєвого поглинання, отриманий Моссом [9] на базі вивчення спектрів пропускання. Видно, що край поглинання являється в межах всієї зміни α на декілька порядків з

помітним збільшенням поблизу $5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$. На графіку пунктиром також показані абсолютні значення α , обчислених за методом $\vec{K}-\vec{P}$ теорії.

Папіш і Кейзі [9] показали, що зміщення краю поглинання з температурою добре описується формулою (3.1) в інтервалі 20-973 K.

$$E_g(T) = E_g(0) - \gamma T^2 / T + \theta, \quad (3.1)$$

де γ — емпірична константа, яка має зміст швидкості зміни E_g з температурою. $E_g(0)$ та θ — відповідно ширина забороненої зони та дебаєвська температура при 0 K.

Для чистого GaAs були визначені наступні значення для введених в (3.1) параметрів [9]: $E_g(0) = 1,522 \text{ eV}$; $\gamma = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$; $\theta = 300 \text{ K}$.

Наведені дані [9], а також ґрунтовні теоретичні розрахунки на основі теорії груп [10] показали, що E_g , як при низьких, так і при високих температурах практично лінійно зменшується при збільшенні температури.

В роботі [10] наведено дані про спектральну залежність показника заломлення для $\lambda = 0,9 \text{ мкм}$. Ці результати представлені на рис 3.2.2 і добре описуються формулою:

$$n^2 = (A + B) / (1 - cx^2) \quad (3.2)$$

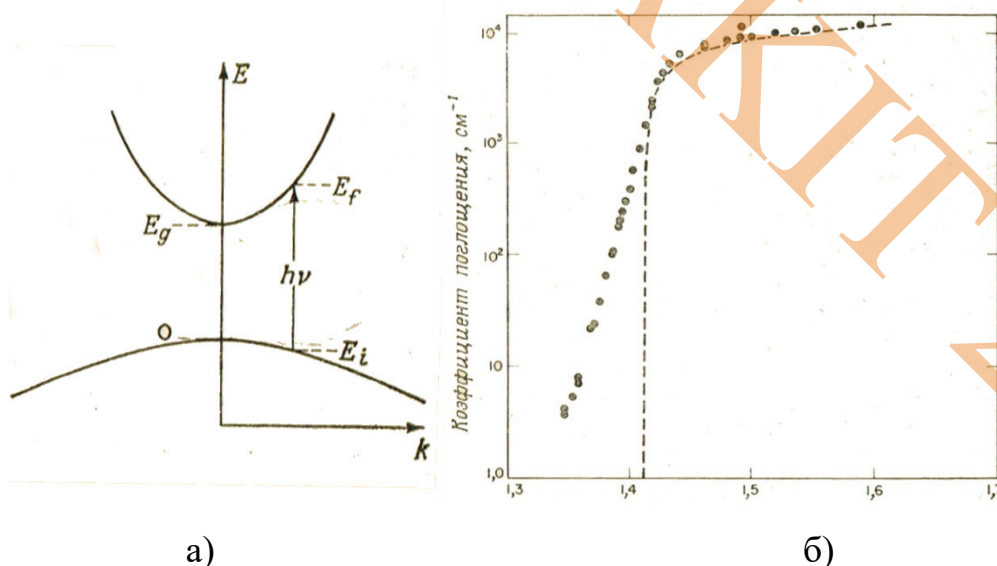


Рис 3.2.1 Енергетична картина для прямих оптичних переходів в GaAs (а) та спектр поглинання GaAs при кімнатній температурі (б) [9].

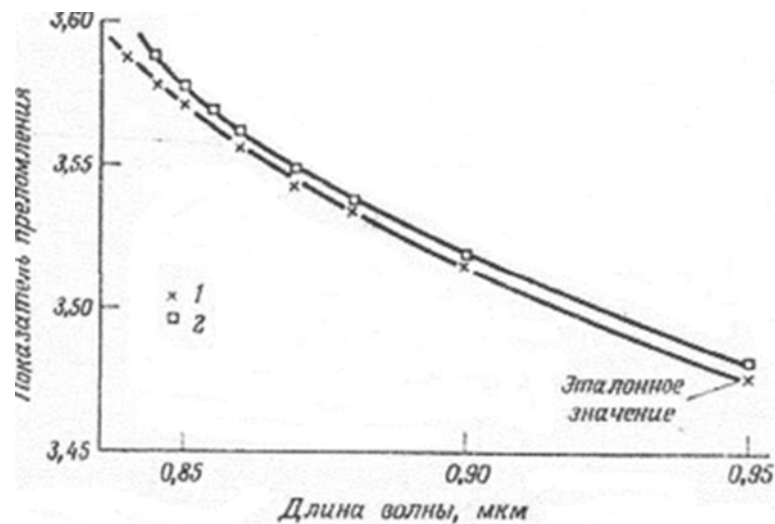


Рис 3.2.2 Залежність показника заломлення пдля GaAs при T=4,2K(1) та T=273K(2)[10]

Як відомо, принцип роботи температурних сенсорів з використанням волоконно- оптичних давачів полягає в температурній модуляції пропускання чутливого елемента,що обумовлено зміною ширини забороненої зони E_g [9]. Для GaAs початкове положення $E_g(T)$ при 25°C складає 867 нм. При підвищенні температури $E_g(T)$ зменшується, що приводить до зміни пропускання чутливого елемента на довжині хвилі контрольного випромінювання λ_{CD} .

Пропускання пластинки напівпровідника товщиною d змінюється за законом Ламберта-Бугера:

$$I(d,T)=I_0(1-R)\exp[-\alpha(T).d], \quad (3.3)$$

де I_0 - інтенсивність випромінювання на вході

d - товщина зразка;

R - коефіцієнт відбивання від поверхні;

$\alpha(T)$ - коефіцієнт поглинання при температурі T .

Для кристалів GaAs залежність $\alpha(T)$ описується виразом [2]:

$$\alpha(T)=A[hv - E_g (T)]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.4)$$

де: A - оптична константа для GaAs;

$E_g(T)$ - ширина забороненої зони при температурі T ;

$h\nu$ - енергія фотонів.

Враховуючи вираз (3.4) для температур 20-973 К, E_g буде змінюватись за законом

$$E_g(T) = 1,522 \frac{5,8 \cdot 10^{-4} T^2}{300K+T} \quad (3.5)$$

Відповідно, можливо визначити температурну залежність довжини хвилі краєвого поглинання $\lambda_g(T)$ за наступним виразом:

$$\lambda_g = \frac{hc}{E_g(T)} = \frac{hc}{E_g(0) + \frac{\gamma T^2}{T} + \theta} = \frac{1,238[\text{нм}]}{E_g(T)} \quad (3.6)$$

З наведеної формули (3.6) видно, що підвищення температури приводить до зменшення E_g та зсуву λ_p в бік більших довжин хвиль, що і спостерігалось експериментально в роботі [2].

З врахуванням наведених вище формул (3.1 – 3.6), які описують поглинання випромінювання напівпровідниковим GaAs, можна записати, що інтенсивність пропускання випромінювання буде описуватись формулою [2,10]:

$$I(d,T) = I_0(1-R) \exp(A[h\nu - E_g(0) + (\gamma T^2)/T + \theta]^{1/2} \cdot d), \quad (3.7)$$

$$\text{де } A = 2,462 \cdot 10^4 [\text{см} \cdot \text{еВ}]^{-1}$$

З цього виразу випливає, що зміна температури приводить до відповідних змін пропускання чутливого елемента на контрольованій довжині хвилі, що можливо зв'язати градуальною характеристикою чутливого елемента.

3.3 Результати експериментальних досліджень кристала GaAs:Zn

Оптичні дослідження кристалів GaAs:Zn проводились на установці для вимірювання спектрів оптичного пропускання кристалічних і плівкових матеріалів на базі спектрофотометра СФ - 47 та спеціальної температурно стабілізованої комірки, в якій поміщались кристали при дослідженнях в області температур від 300 К до 510К.

Підготовлені для оптичних досліджень GaAs:Zn поміщались на оптичну діафрагму і при заданих температурах записувались спектри оптичного пропускання діапазонів 920 – 1120 нм. Результати виконаних досліджень наведені на рисунку 3.3.1.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		37

Отримані дані свідчать про те, що легування цинком приводить до суттєвого зсуву положення края оптичного поглинання в область більш довгих довжин хвиль, зокрема в нашому випадку при кімнатній температурі край оптичного поглинання легованих цинком кристалів GaAs зсувається в область 940 – 950 нм, що говорить про зменшення ширини забороненої зони в порівнянні з чистими GaAs.

Відповідно до літературних даних [9] для чистого GaAs початкове положення E_g при 25 °C складає 1,43 eV ($\lambda_g=0,867$ мкм), а для нашого випадку положення края поглинання легованих цинком кристалів складає 1,31 eV ($\lambda_g=0,945$ мкм). При підвищенні температури ширина забороненої зони так само зменшується, що приводить до суттєвого зміщення положення края поглинання в бік більших довжин хвиль. Зокрема при 240°C положення края зміщається до $E_g=1,215$ eV ($\lambda_g=1,020$ мкм) залежність (10) на рис.3.3.1:

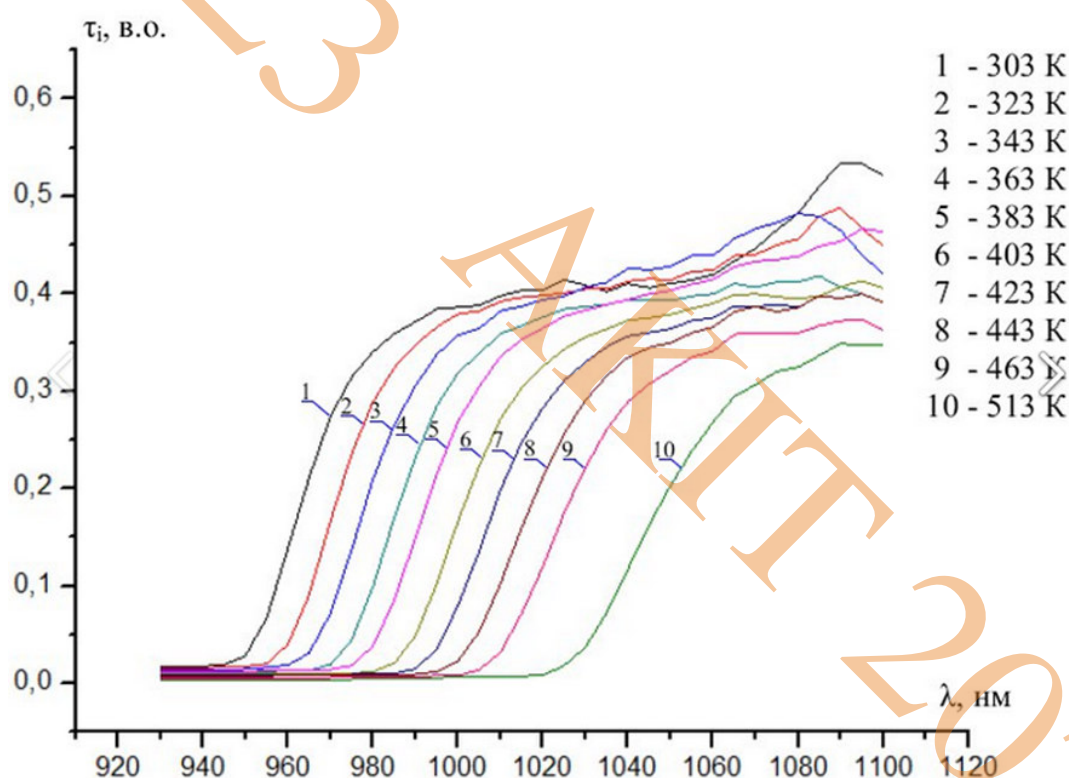


Рис 3.3.1 Спектри оптичного пропускання $\tau(\lambda)$ кристала GaAs:Zn при різних температурах

Отримані дані дозволяють оцінити температурний коефіцієнт зсуву положення края поглинання кристала GaAs:Zn в досліджуваному

діапазоні температур:

$$\Delta E_g(T) = E_g(303K) - E_g(513K) = 1,31 - 1,215 = 0,095 \text{ eV};$$

$$\Delta T = 513 - 303 = 210 \text{ K};$$

$$\frac{\Delta E_g}{\Delta T} = \frac{0,095}{210} = 0,00045 \text{ eV/K} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}.$$

Відповідно до цього за формулою (3.6) можливо визначити залежність довжини хвилі краєвого поглинання, яка представлена на рисунку 3.3.2:

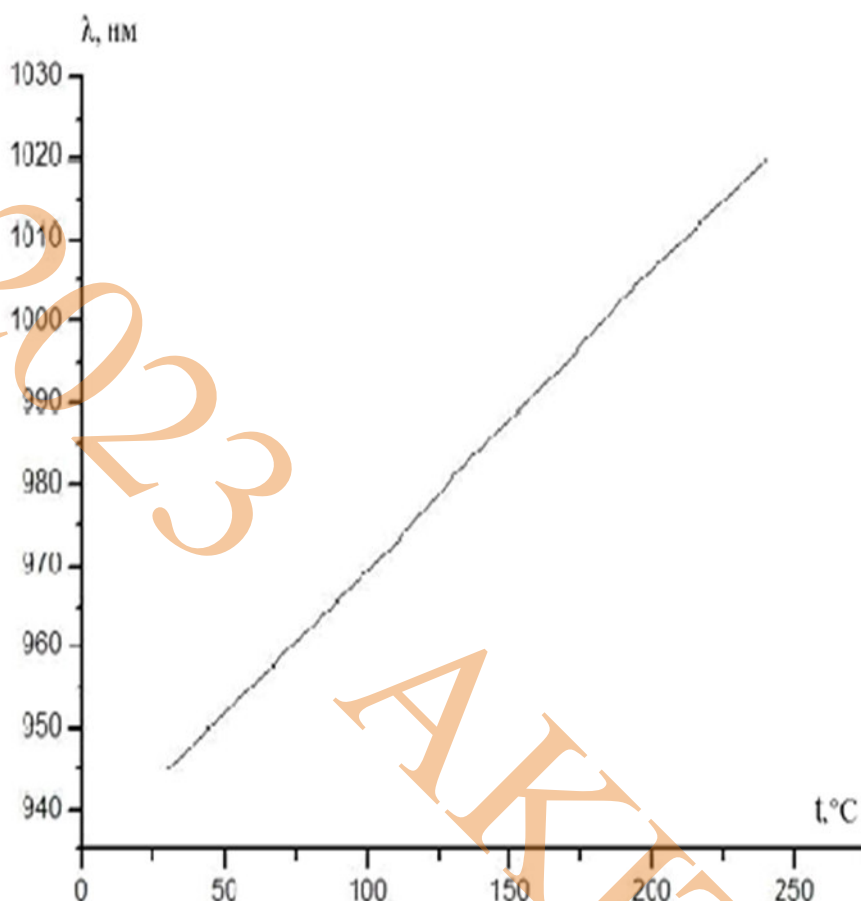


Рис.3.3.2 Розрахункова залежність довжини хвилі краєвого поглинання λ_g від температури для GaAs:Zn

Отримані експериментальні дані з досліджень температурної поведінки краєвого поглинання кристалів GaAs:Zn показали, що з підвищенням температури в діапазоні 300K – 500K (+30°C - +240°C) положення краю поглинання зсувається практично лінійно в область більш довгих довжин хвиль, що можливо використати для застосування цих кристалів в якості ЧЕ елемента волоконно – оптичного давача температури амплітудного типу.

3.4 Дослідження спектральної узгодженості оптоелектронної пари

Для виконання розрахунків волоконно-оптичного ПВП необхідно розглянути вплив всіх складових волоконно-оптичного тракту з урахуванням всіх оптичних характеристик цих складових. В якості модельної системи можна взяти модифіковану волоконно-оптичну систему запропоновану фірмою HP®[2].

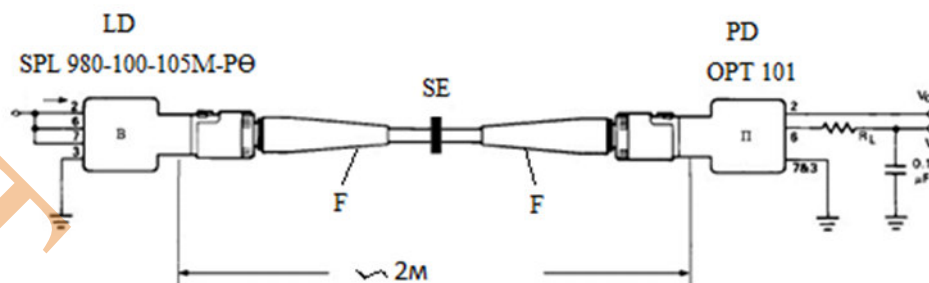


Рис. 3.4.1 Модельна волоконно-оптична термочутлива система [2]

Для розрахунку сигналу який буде на виході фотоприймача при заданих електричних режимах випромінювачів необхідно для кожної конкретної системи «світлодіод - волокно - ЧЕ - волокно - фотоприймач» виконати розрахунок, який буде враховувати індивідуальні оптичні і енергетичні характеристики складових системи, їх спектральних суміщень, поглинання ЧЕ при заданій температурі.

З наведеної на рис 3.4.1 моделі волоконно-оптичного тракту випливає, що до його складу мають входити наступні складові елементи:

- 1) “випромінювач (інфрачервоний випромінювальний діод)” – LD ;
- 2) “оптичне волокно” – F, яке складається з двох частин ;
- 3) “чутливий елемент – пластинка кристалічного GaAs:Zn” - SE;
- 4) “фотоприймач” – фотодіод PD

Із аналізу отриманих даних оптичних досліджень стало відомо, що краєве поглинання кристалів GaAs:Zn при кімнатній температурі знаходиться в діапазоні 940-950 нм і при підвищенні температури зсувається в область більш довгих довжин хвиль. Це говорить про те, що застосування кристалів GaAs: Zn в якості чутливого елемента волоконно-оптичного тракту найбільш оптимально побудувати при використанні контрольної довжини хвилі $\lambda_c=980$ нм., оскільки на цій довжині хвилі знаходяться краї поглинання в діапазоні від 303K до 403 K. Це

означає, що в розробляємому волоконно-оптичному тракті доцільно використовувати спектрально узгоджену оптоелектронну пару($L_D - P_D$) на контрольній довжині хвилі 980 нм.

Із аналізу літературних даних відомо, що край поглинання чистого GaAs, при кімнатній температурі знаходиться на довжині хвилі $\lambda_g=867$ нм[2]. Наші попередні дослідження можливостей застосування ЧЕ на базі кристалічного GaAs:Zn показали, що найбільш оптимально для використання в ВОД являється контрольна довжина хвилі $\lambda_{CD}=980$ нм. Це означає, що в розробляємому волоконно - оптичному тракті доцільно використовувати спектрально узгоджену оптопару (LD-PD) узгоджену на довжині $\lambda=980$ нм.

Виходячи з наведеного було зроблено пошук необхідних компонентів, технічні характеристики яких, потрібно знати для розрахунків передавальної характеристики ПВП з чутливим елементом на основі GaAs:Zn. В результаті пошуку було призначено наступні компоненти волоконно-оптичного тракту ПВП, який підлягає розробці:

1) Інфрачервоний випромінювальний лазерний діод – LD

В якості випромінювача призначено інфрачервоний GaAlAs лазерний випромінювальний діод підвищеної потужності з $\lambda_{max}=980$ нм типу SPL980-100-105 M-PD фірми RoithnerLaserTechnik (технічні характеристики наведені у додатку 2).

2) Фотоприймач PD

В якості фотоприймача інтегрований фотоприймач OPT 101 фірми Burr-Brown(технічні характеристики – додаток 3).

3) Оптичне волокно

В якості оптичного волокна призначено опто-волоконний кабель типу SOFCA – 02 фірми L-Com (див. Додаток 4).

4) Чутливий елемент - SE

Чутливий елемент – SE на основі пластинки кристала GaAs:Zn товщиною 500 мкм.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Для оцінки спектральної сумісності оптоелектронних пар «світлодіод – фотоприймач» на основі їх технічних характеристик. В кожному випадку було визначено коефіцієнт спектральної суміщеності, який визначався за наступною формулою:

$$K_c = \frac{\int \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}{\int \Phi(\lambda) d\lambda} \quad (3.8)$$

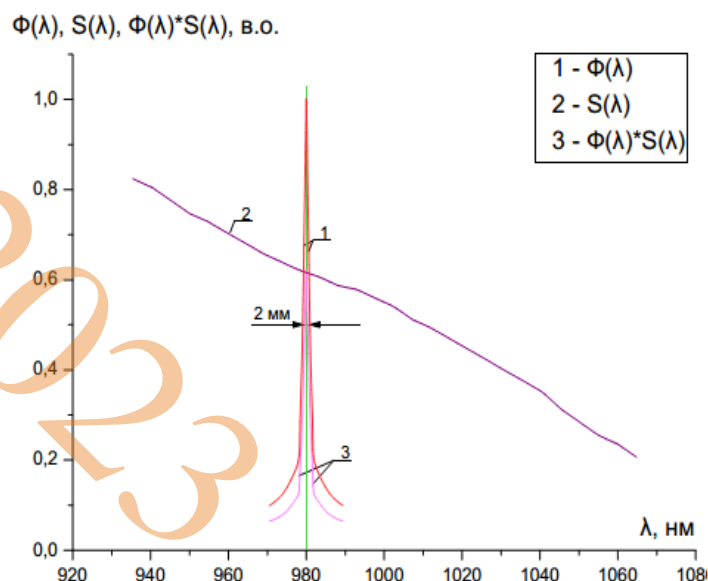


Рис. 3.4.2 До визначення спектральної сумісності лазерного ІЧ – діода $\Phi_{\text{вп}}$ та фотоприймача $S_{\text{фп}}$.

З цього рисунка видно, що площа під кривою добре узгоджена із спектральною залежністю випромінювача, причому найкраще узгодження з $K_c = 0,618$, спостерігається для оптопари: інфрачервоний випромінювальний діод типу SPL980-100-105 M-PD (на основі GaAlAs) [11] та фотоприймач типу OPT 101. Для визначення спектральної залежності в однаковому масштабі були побудовані залежності $S_{\text{фп}}(\lambda)$ і $\Phi_{\text{вп}}(\lambda)$, з врахуванням яких за формулою (3.8) було визначено коефіцієнт K_c .

Отримані дані по величині $K_c = 0,618$ говорять про те, що підібрана оптоелектронна пара достатньо добре узгоджена.

3.5 Розрахунок базових характеристик для визначення вихідного сигналу первинного вимірювального перетворювача

Для визначення корисного інформаційного сигналу, який буде реєструватися на виході волоконно-оптичного тракту з врахуванням того, що в якості фотоприймача використаний інтегральний фотоприймач ОРТ 101 необхідно виконати базовий розрахунок для оцінки вихідного вольтового сигналу в діапазоні робочих температур від 303 до 403К.

Корисний вихідний інформаційний сигнал на виході фотоперетворювача можна визначити врахувавши наступні залежності:

- спектральний розподіл інтенсивності випромінювального світлодіода $\Phi(\lambda)$, в.о.;
- спектральний розподіл чутливості фотоприймача, $S(\lambda)$, в.о.;
- спектральне пропускання кристала ЧЕ, $\tau_i(\lambda)$, в.о.;
- коефіцієнт затухання оптичного волокна на одиницю довжини, $\tau_{зат}(\lambda)$ в.о.;
- пропускання волоконно-оптичного тракту з врахуванням френелівського відбивання $\tau_{фр}(\lambda)$;
- коефіцієнт спектральної сумісності K_c
- максимальне значення інтенсивності випромінювача при заданому прямому струмі в енергетичних одиницях, $\Phi_{max}[мВт]$;
- значення чутливості фотоприймача на робочій довжині хвилі у S_{nmax} , [В/мкВт].

В цьому випадку для запропонованого модельного волоконно – оптичного тракту вихідний сигнал можна обрахувати графічним методом після побудованих спектральних залежностях, які вказані у вище наведеному переліку

$$U_{вих} = \Phi_{max} \cdot S_{max} \cdot \int_{970}^{990} \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \tau_i(\lambda) \cdot \tau_{зат} \cdot \tau_{фр} \cdot K_c d\lambda \quad (3.9)$$

Оцінка коефіцієнта затухання $K_{зат}$ за даними по затуханню більшості скляних і кварцових оптичних волокон показали, що ці волокна у ближньому ІЧ – діапазоні складає приблизно 0,1 дБ/км, що приводить до незначних енергетичних втрат випромінювання та враховуючи невелику довжину запропонованих у

моделі волокон (приблизно 2м) коефіцієнт $\tau_{\text{зат}}$ можна взяти майже рівним 1. Таким чином для базових розрахунків можна використати наступну спрощену формулу

$$U_{\text{вих}} = \Phi_{\text{max}} \cdot S_{\text{max}} \cdot 0,618 \cdot \tau_{\text{фпр}} \int_{970}^{990} \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda \quad (3.10)$$

На рис. 3.5.1 в єдиному зведеному масштабі наведені залежності $\Phi_{\text{вп}}(\lambda), S_{\text{фп}}(\lambda), \tau_{\text{кр}}(\lambda)$, за якими по формулі 3.10 методом графічного інтегрування були виконані розрахунки, які визначають оціночну величину характеристичного інтеграла, який входить в формулу (3.10) в кожному конкретному випадку.

Величина коефіцієнта пропускання при френелівському розсіюванні на стику різних елементів волоконно – оптичного тракту буде оцінена в наступному підрозділі даної кваліфікаційної роботи.

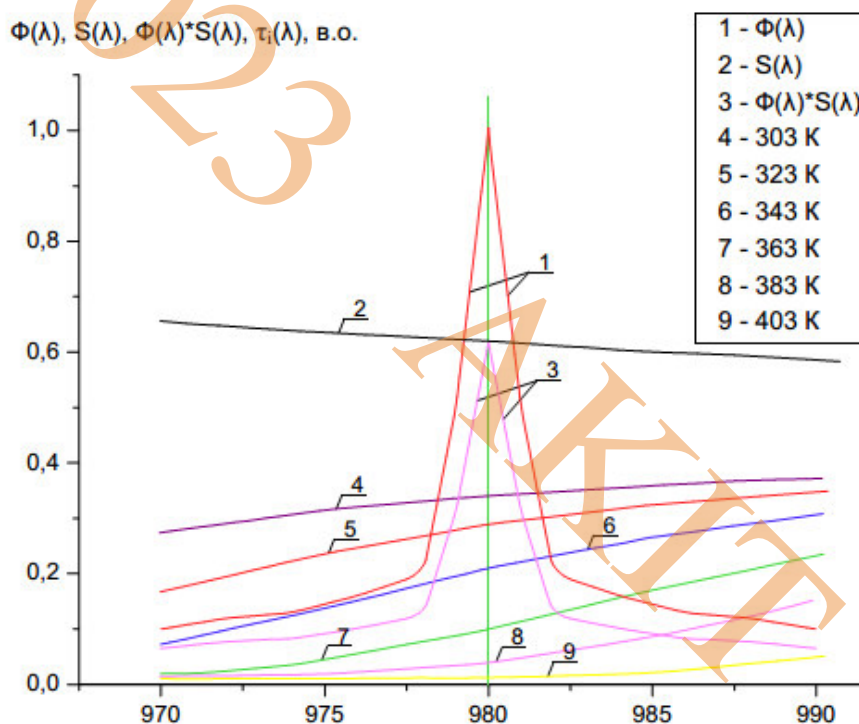


Рис. 3.5.1 До визначення контрольної довжини хвилі $\lambda_{\text{CD}} = 980$ нм волоконно – оптичного тракту з ЧЕ на основі кристала GaAs:Zn.

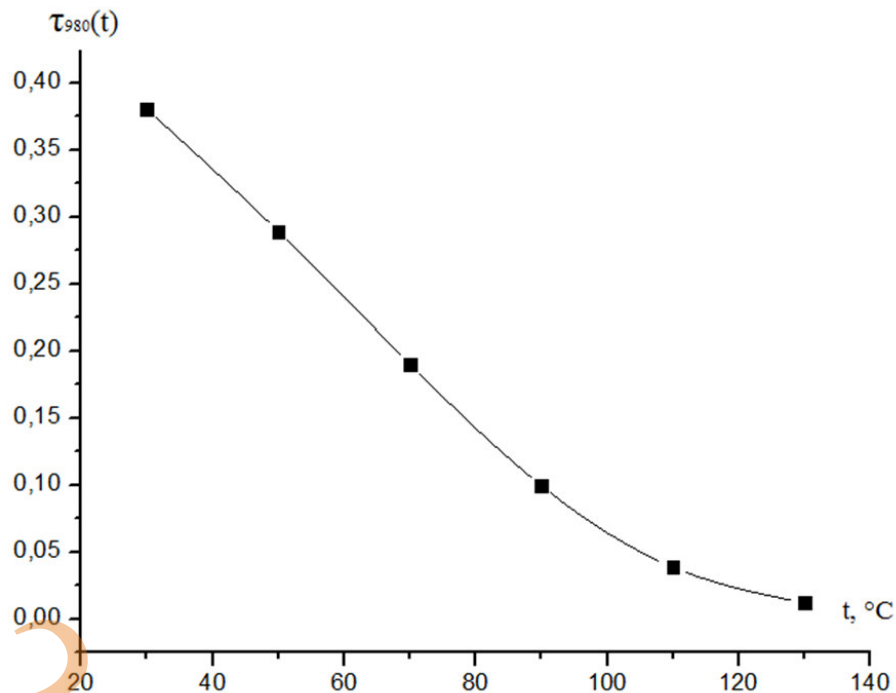


Рис 3.5.2. Температурна залежність пропускання ЧЕ на контрольній довжині хвилі $\lambda = 980$ нм.

Для наглядності було проаналізовано температурну поведінку оптичного пропускання τ чутливого елемента на контрольній довжині хвилі $\lambda_{\text{CD}} = 980$ нм. Результати такого аналізу наведені на рисунку 3.5.2. Видно, що амплітуда пропускання на контрольованій довжині хвилі спадає при підвищенні температури. Цей спад має квазілінійний характер.

3.6 Розрахунок передавальної характеристики з врахуванням втрат у волоконно-оптичному тракті

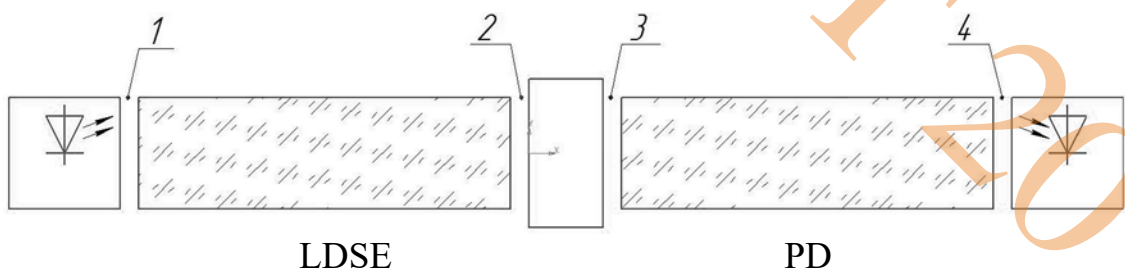


Рис. 3.6.1 Шлях, який проходить оптичний промінь у волоконно-оптичному тракті.

Для визначення світлової енергії (потіку), що попадає на площадку фотодіода ФД необхідно оцінити втрати світлового потоку у волоконно-оптичному тракті, який схематично представлений на рис.3.6.1.

При нормальному падінні променя на межу розділення двох ізотропних середовищ її пропускання буде визначатися за формулою Френеля:

$$\tau = 1 - \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (3.11)$$

де τ - коефіцієнт пропускання, n_1 , n_2 - показники заломлення суміжних середовищ.

В наведеному на рис.4.3.1 волоконно-оптичному тракті між собою контактують наступні суміжні середовища: повітря, пластинка кристалічного GaAs і кварцева серцевина оптоволокна.

Наведемо значення показників заломлення для цих матеріалів:

- повітря $n_{\text{п}}=1$
- кварц $n_{\text{к}}=1,553$
- GaAs:Znn_a=3,584[7]

Враховуючи ці значення показників заломлення за формулою (4.4) оцінемо можливі втрати на відбивання при русі променя від LD до PD.

Даний розрахунок було проведено двома варіантами, а саме:

Варіант 1: між кристалом GaAs:Zn і кварцевою серцевиною оптоволокна немає повітря.

Від випромінювача (LD) оптичний промінь попадає на вхід оптичного волокна, тобто суміжними середовищами будуть «повітря-кварц» (ділянка 1):

$$\tau_1 = 1 - \left(\frac{1 - 1,553}{1 + 1,553} \right)^2 = 0,953 \quad (3.12)$$

Наступний оптичний перехід «кварц-GaAs» (ділянка 2):

$$\tau_2 = 1 - \left(\frac{1,553 - 3,584}{1,553 + 3,584} \right)^2 = 0,844 \quad (3.13)$$

Наступний оптичний перехід має місце на ділянці 3, при виході променя із ЧЕ у кварц:

$$\tau_3 = 1 - \left(\frac{3,584 - 1,553}{3,584 + 1,553} \right)^2 = 0,844 \quad (3.14)$$

На останній ділянці 4 має місце оптичний перехід «кварц-повітря»:

$$\tau_4 = 1 - \left(\frac{1,553-1}{1,553+1} \right)^2 = 0,953 \quad (3.15)$$

Загальний коефіцієнт пропускання $\tau_{\text{фпр}}$ для розглянутого першого варіанту волоконно-оптичного тракту буде визначений, як добуток всіх τ_i , обчислених вище для всіх варіантів комбінацій контактуючих середовищ:

$$\tau_{\text{фпр}} = 0.647 \quad (3.16)$$

Варіант 2: між кристалом GaAs і кварцевою серцевиною оптоволокна є повітря.

Від випромінювача (LD) оптичний промінь попадає на вхід оптичного волокна, тобто суміжними середовищами будуть «повітря-кварц» (ділянка 1):

$$\tau_1 = 1 - \left(\frac{1-1,553}{1+1,553} \right)^2 = 0,953 \quad (3.17)$$

На виході променя із волокна знову маємо суміжні середовища «кварц-повітря» (ділянка 2):

$$\tau_2 = 1 - \left(\frac{1,553-1}{1,553+1} \right)^2 = 0,953 \quad (3.18)$$

Наступний оптичний перехід «повітря-GaAs» (ділянка 2 при переході до чутливого елемента - ЧЕ):

$$\tau_3 = 1 - \left(\frac{1-3,584}{1+3,584} \right)^2 = 0,682 \quad (3.19)$$

Наступний оптичний перехід має місце на ділянці 3, при виході променя із ЧЕ у повітря:

$$\tau_4 = 1 - \left(\frac{3,584-1}{3,584+1} \right)^2 = 0,682 \quad (3.20)$$

Далі промінь попадаючи у волокно, долає суміжне середовище «повітря-кварц»:

$$\tau_5 = 1 - \left(\frac{1-1,553}{1+1,553} \right)^2 = 0,953 \quad (3.21)$$

На останній ділянці 4 має місце оптичний перехід «кварц-повітря»:

$$\tau_6 = 1 - \left(\frac{1,553-1}{1,553+1} \right)^2 = 0,953 \quad (3.22)$$

Загальний коефіцієнт пропускання $\tau_{\text{фпр}}$ для розглянутого другого варіанту волоконно-оптичного тракту буде визначений, як добуток всіх τ_i , обчислених вище для всіх варіантів комбінацій контактуючих середовищ:

$$\tau_{\text{фпр}} = \prod \tau_i = 0,384 \quad (3.23)$$

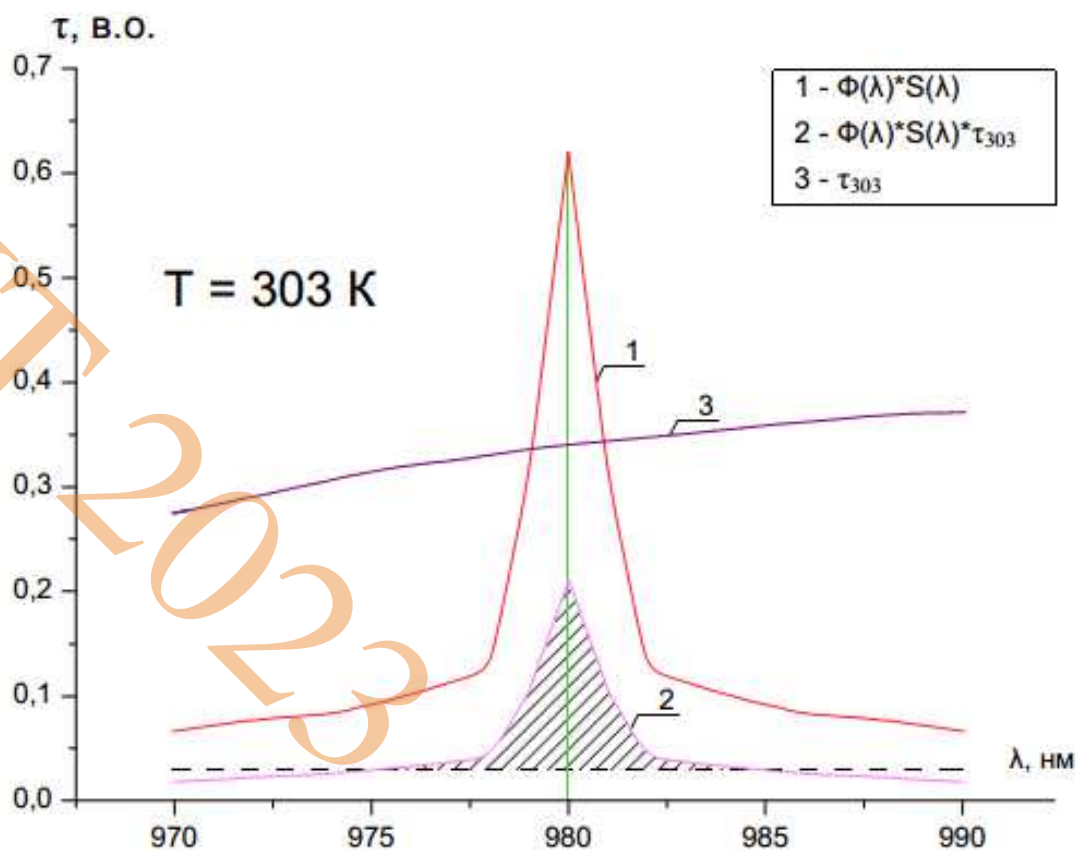
3.7 Розрахунок вихідного сигналу волоконно – оптичного тракту

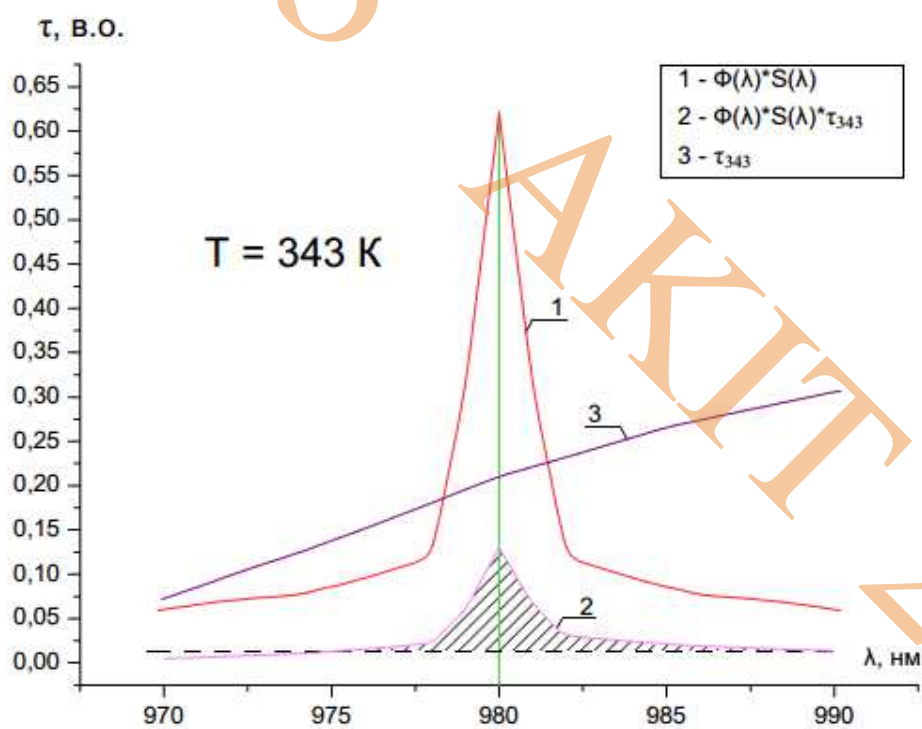
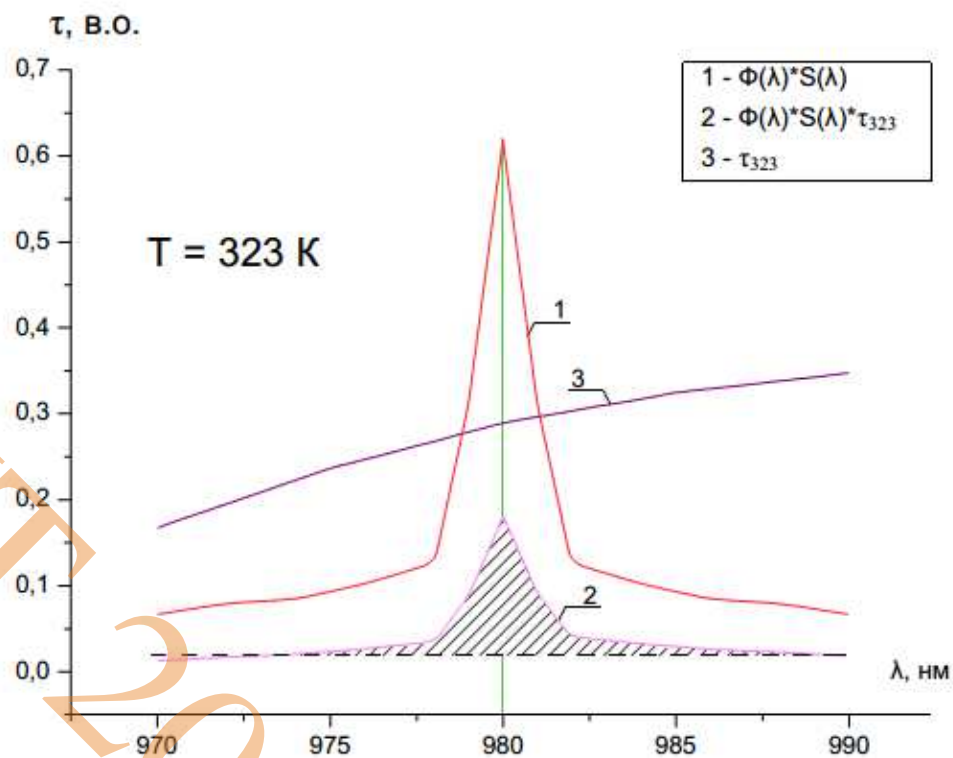
Для визначення величини вольтового вихідного сигналу за спрощеною формулою (4.3) необхідно було визначити характеристичні інтеграли, які входять до цієї формули. Для цього будувались залежності $S(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \tau_i(\lambda)$ при різних температурах, а значення характеристичного інтегралу обчислювалось графічним методом (методом трапецій) як площа під вказаною нижче графічною залежністю. Результати такої графічної обробки представлені на рисунку 3.7.1(а) – г)). Розраховані табличні значення на підставі яких будувались залежності для визначення характеристичних інтегралів (криві 2 на рис. 3.7.1 приведені в додатках). На підставі цих даних було вираховано значення характеристичних інтегралів $I_{\text{хар}}$ для кожної із температур в діапазоні від 303 до 363К. Результати обчислень наведені на рис 3.7.2.

З врахуванням визначених характеристичних інтегралів за формулою (3.3) при оптимальному коефіцієнті Френелівського пропускання, який дорівнює 0,647 (3.9) та з врахуванням технічних значень $\Phi_{\text{max}}(\lambda)$ і $S_{\text{max}}(\lambda)$, взятих із технічних даних [11,12] було розраховано величину вольтового вихідного сигналу при кожній із температур в досліджуваному діапазоні. Ця залежність представлена на рис. 3.7.3. Отримані результати, які описують вихідний вольтовий сигнал свідчать про те, що для вибраної оптоелектронної пари «випромінювач – фотоприймач» забезпечено оптимальні умови для передачі оптичної інформації через волоконно – оптичний тракт.

Застосування інтегрованого фотоприймача ОРТ101 з внутрішнім підсилювачем сигналу фотодіода при застосованій потужності лазерного випромінювача 100 мВт дозволяє отримати достатньо великий вихідний вольтовий сигнал. Для подальшої обробки цього сигналу за допомогою

мікропроцесорної системи необхідно буде застосувати один каскад підсилення на основі операційного підсилювача.





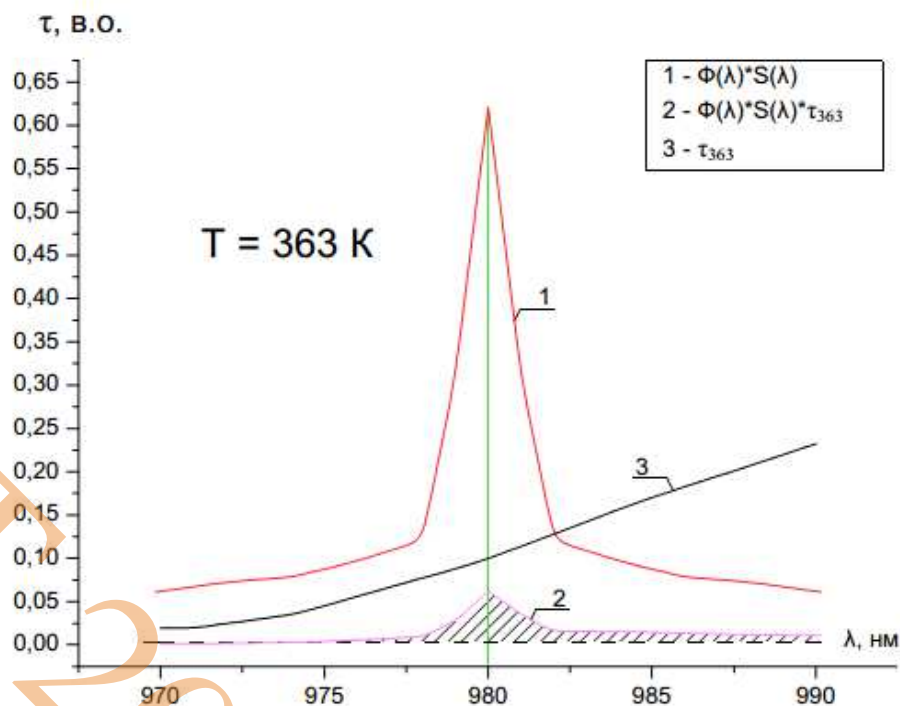


Рис 3.7.1 До визначення характеристикних інтегралів при різних температурах

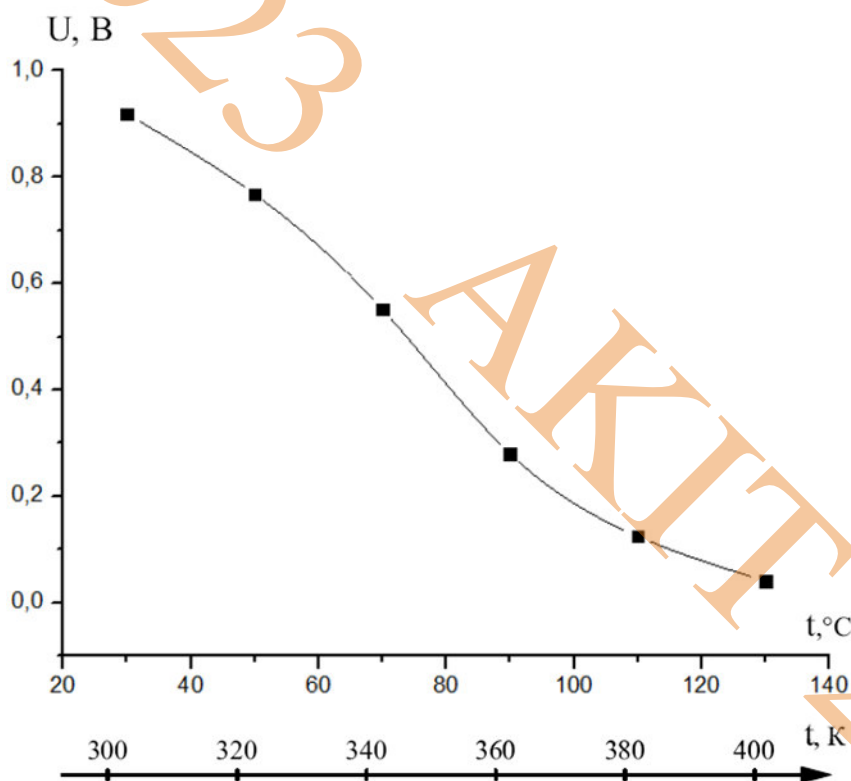


Рис.3.7.2 Розрахункові значення характеристикних інтегралів при різних температурах

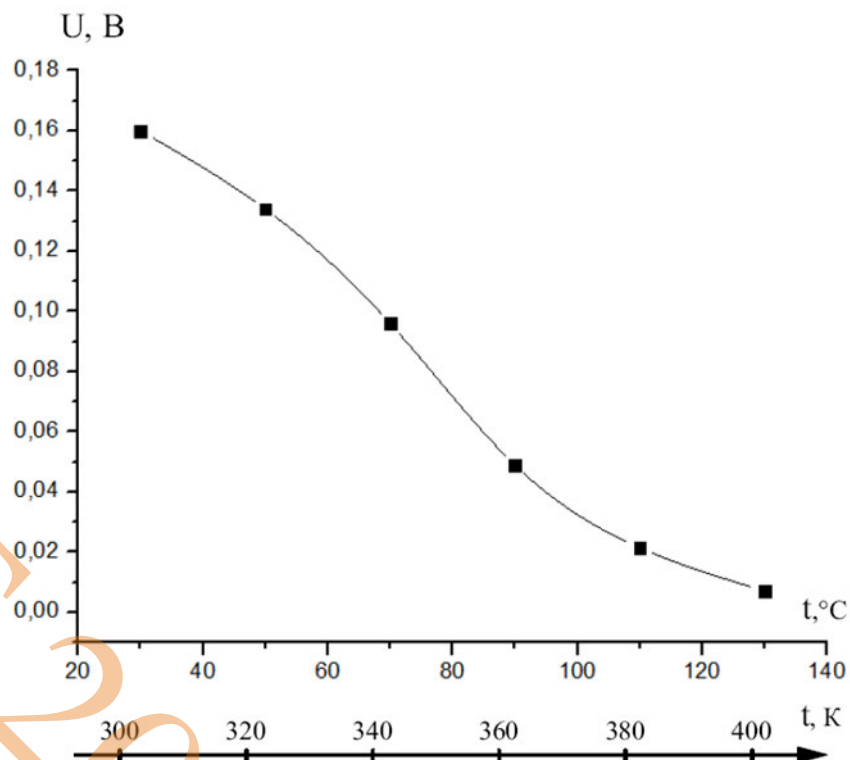


Рис.3.7.3 Передавальна характеристика ВОД з чутливим елементом на основі GaAs:Zn

Отримані результати свідчать про те, що розроблений ПВП можливо буде застосуватись для вимірювання температури трансформаторного мастила, яке використовується в потужному високовольтному обладнанні. На можливість такого застосування вказують дослідження [13] в яких чутливим елементом була пластинка кристалічного «чистого» GaAs на контрольній довжині хвилі 880 нм. При цьому отримані нами результати достатньо добре корелюють з літературними даними[2 – 13].

4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ДЛЯ ПРОЕКТОВАНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРИ

Особливе місце серед значної кількості волоконно-оптичних давачів (ВОД) займають давачі температури (ВОДТ) з амплітудною модуляцією оптичного сигналу на фіксованій характеристичній довжині хвилі. Такі давачі завдяки простоті їх конструкції, надійності, відтворюваності результатів та задовільним технічним характеристикам, а також можливості застосування в зонах підвищеної пожежної та вибухової небезпеки, все частіше застосовуються в техніці і промисловості. Принцип роботи таких давачів базується на реєстрації зміни пропускання напівпровідникового чутливого елемента на фіксованій довжині хвилі при варіації температури. В цьому плані велика увага приділяється спеціалізованому приладу, який призначений для реєстрації і першочергової аналогової обробки інформаційного сигналу, який отримується ВОДТ та оцінки похибок вимірювання таким способом. Оскільки вартість спектральних комплексів для дослідження оптичних волокон є досить великою, то для визначення технічних характеристик, тестування та градування ВОДТ з чутливими елементами на основі напівпровідників (кристалічні, склоподібні та аморфні матеріали) не являється технічно доцільним. Тому постає задача розробки спеціалізованих регістраторів інформаційних сигналів, отриманих на ВОДТ в експресному режимі. Це означає, що такий прилад має забезпечувати контрольовані світлові потоки, які генеруються та фіксуються безінерційними оптоелектронними приладами (світлодіод, фотодіод) та прогресивною схемою обробки оптичного сигналу, отриманого за допомогою ВОДТ з чутливим елементом.

Перші спроби побудови такого регістратора було здійснено в роботі [14]. В якості елементної бази використовувалися дискретні елементи, які формували схему спеціалізованого підсилювача типу «модулятор/демодулятор».

Електронний блок розробленого ВОДТ (рис.5.1) функціонує наступним чином. При освітленні фотодіода VD1 в його колі протікає струм, змінна складова якого співпадає за формою з випромінюванням світло діода VD2. Напруга з

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		53

навантаження фотодіода VD1 (резистори R1 і R2) через розділювальний конденсатор C1 і резистор R3 подається на інвертуючий вхід підсилювача змінного струму, який виконаний на ОП (мікросхема DA1). З виходу підсилювача сигнал через коло R9, C5 надходить на вхід фазочутливого випрямляча, зібраного на МДН – транзисторах VT2, VT3. Затвори цих транзисторів управляють парафазною напругою, яку виробляє симметричний мультивібратор, зібраний на мікросхемі DA4. Випрямлена напруга подається на інтегратор з диференціальним входом (мікросхема DA3). Постійна часу інтегратора визначається номіналами опорів R14, R15, R16, R24, конденсаторами C6, C7 і опором резистора додатнього зворотнього зв'язку R26. Вихідна напруга інтегратора пропорційна інтенсивності ІЧ - випромінювання, яке попадає на фотодіод VD1, подається на вхід неінвертуючого підсилювача виконаного на ОП (мікросхема DA5 з $k_u \approx 2$). Для захисту цієї мікросхеми від перевантаження служить стабілітрон VD5. Балансування ОП (DA5) і компенсація зміщення нуля інтегратора здійснюється шляхом подачі +U або -U з подільника на резисторах R28, R29 на інвертуючий вхід даного ОП.

Для стабілізації струму, який протікає через світлодіод VD2, служить джерело постійного струму, зібране на ОП (мікросхема DA2) і біполярному транзисторі VT1. Вихідна напруга, напруга ОП устанавлюється таким чином, що напруга на резисторах R5, R6 дорівнює напрузі на резисторі R11. При цьому струм, який протікає через світлодіод VD2 дорівнює:

$$I_{VD2} = \frac{U}{R5 + R6} \left(1 - \frac{1}{\beta}\right), \quad (4.1)$$

де β – коефіцієнт підсилення за струмом транзистора VT1.

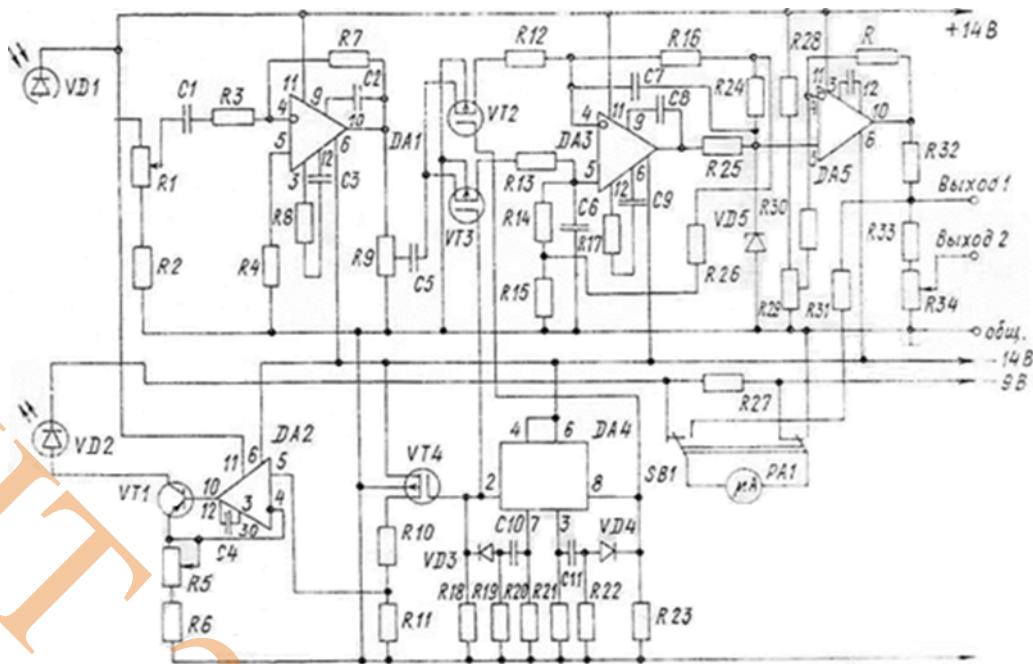


Рис. 4.1 Принципова електрична схема електронного блоку ВОДТ [14]

Особливістю роботи описаного електронного блоку являється те, що ІЧ – випромінювання світлодіода VD2 синхронізовано по часу з роботою ключів на польових транзисторах VT2, VT3 фазочутливого випрямляча. Це, на думку розробників [14], дозволяє значно зменшити вплив зовнішніх джерел випромінювання (засвітка) на результати виконуваних вимірювань.

Однак, як показав досвід застосування такої схеми досягти необхідної завадостійкості та дрейфу нуля не вдалося за рахунок розкиду параметрів польових транзисторів, на яких було реалізовано ключові елементи модулятора і демодулятора. Застосування другого підходу привело до включення в схему замість світло діода потужного інжекційного твердотільного лазера, що привело до суттєвого нагрівання як чутливого елемента так і чутливої площадки реєструючого фотодіода хоча при цьому суттєво покращилося співвідношення сигнал/шум.

У зв'язку з розширенням галузей науки і техніки, в яких знайшли своє застосування різноманітні ВОДТ, задача розробки простих і надійних електронних систем для забезпечення давачів вказаного типу ставала надзвичайно актуальною. В зв'язку з цим необхідно відмітити розробку, яка була зроблена в УжНУ на кафедрі приладобудування на протязі останніх років.

Так в попередній роботі [15] було запропоновано інноваційний блок аналогової обробки вимірювальної інформації для ВОДТ з амплітудною модуляцією оптичного сигналу. В основу схеми покладено принцип нетрадиційного використання інтегральної мікросхеми К140УД13 [16], яка являється елементом «модулятора/демодулятора» і забезпечує захист вихідного сигналу від впливу інтермодуляційних завад, несанкціонованих засвіток та впливу мультиплікативних завад. Комбінована структурна схема оптоелектронного реєстратора наведена на рис. 4.2. Умовно вона поділена на дві частини: вузол випромінювача, який забезпечує модульований стабілізований потік світла та вузол фотоприймача на основі підсилювача та демодулятора, який підключається через оптоволоконний роз'єднувач до ВОДТ.

Схема модуляції випромінювання світлодіода складається із модулятора (3), вбудованого в мікросхему генератора (4) та стабілізатора вхідної напруги (2). Модулятор побудований на парі узгоджених польових транзисторів КМДН і модулює (за амплітудою) вхідну стабілізовану напругу частотою $f_m = 1 \text{ кГц}$ ($Q = 2$). Імпульси модульованої напруги заданої амплітуди подаються на перетворювач «напруга/струм» та імпульсний транзисторний стабілізатор струму (6). Імпульси напруги з такими ж технічними характеристиками створюють на виході стабілізатора струму імпульси, амплітуда яких може модулюватися від 10 до 100 мА, які забезпечують живлення обраного світлодіода (7), що обслуговує ВОДТ. Імпульсне випромінювання світлодіода проходить волоконно-оптичний тракт та залежно від температури змінює свою амплітуду, на виході ВОДТ (8). Фотодіод (9) фіксує зміну оптичного сигналу. Підсилювач (10) підсилює амплітуду до необхідної для послідувочої обробки величини і подає цей сигнал на демодулятор. Демодулятор перетворює цей імпульсний сигнал на частоті 1 кГц синхронно і синфазно з ключовими елементами модулятора (3). Практично ключовим елементом демодулятора являються ідентичні польові транзистори які застосовані в модуляторі, що забезпечує синхронність і синфазність роботи модулятора і демодулятора. В результаті на виході демодулятора отримується постійна складова вихідного інформаційного сигналу, яка відповідає зміні пропускання

На рис 4.3 наведена принципова електрична схема розробленого реєстратора для ВОДТ. В схемі застосовано 4 інтегральні операційні підсилювачі: DA1 - K140УД13, DA2 - K140УДТ, DA3 - KP544УД1Б та в схемі операційного повторювача напруги - KP140УД8, яка має зовнішнє встановлення нуля за допомогою резистора R16. Імпульсний стабілізатор струму світлодіода побудований за класичною схемою на базі мікросхеми DA2 та транзистора VT2 типу КТ973

The diagram illustrates the power supply architecture for the system. It begins with a 'Блок живлення' (Power supply block) providing $\pm 15 \text{ В}$ to a 'Стабілізатор напруги' (Voltage stabilizer). The stabilizer's output is connected to a 'Модулятор' (Modulator). A 'Генератор' (Generator) provides a signal $f = 1 \text{ кГц}$, $Q = 2$ to the modulator. The modulator's output drives a 'Світлодіод ВОВ' (VOD LED). The LED is connected to a 'Конвертор напруги / струм' (Voltage/current converter) and an 'Імпульсний стабілізатор струму' (Pulse current stabilizer). The converter is powered by U_6 from the generator and provides $U_7 = 100 \text{ мА}$ to the LED. The pulse stabilizer is powered by the generator and provides $I = 1 \text{ мА}$, $Q = 2$ to the LED. The LED's output is received by a 'Фотодіод ВОВ' (VOD photodiode), which is connected to a 'Підсилювач' (Amplifier). The amplifier's output is fed into a 'Демодулятор' (Demodulator). The demodulator is also powered by a 'Повторювач напруги' (Voltage repeater) which provides $U_{\text{ВХІД}} = 15-35 \text{ В}$ to the demodulator. The demodulator's output is the final 'ВИХІД' (Output).

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасна промисловість висуває все більш жорсткі умови до експлуатаційних характеристик, завадостійкості, точності і безпеки вимірювань за допомогою волоконно-оптичних датчиків []. Саме тому розробка інноваційних систем і окремих вузлів для обробки вимірювальної інформації таких датчиків залишається достатньо актуальною задачею сьогодення.

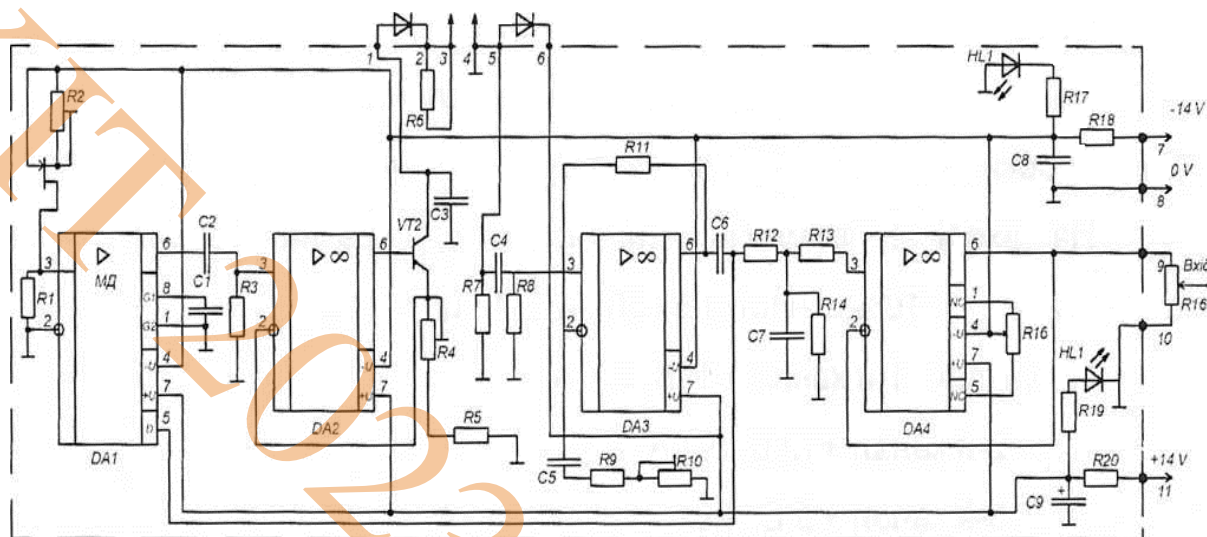


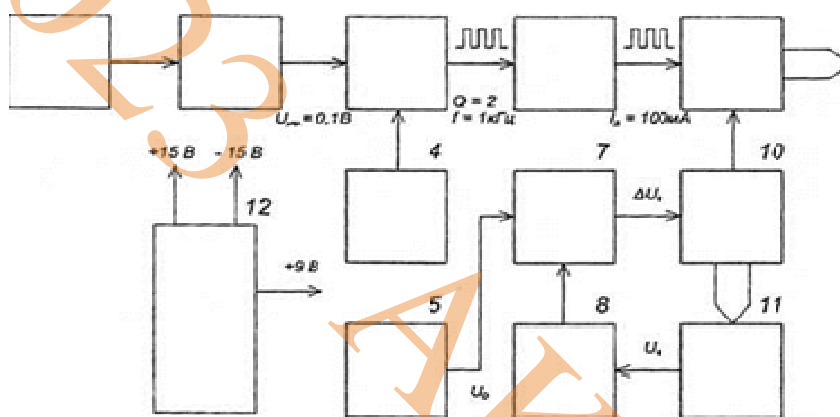
Рис. 4.3 Принципова електрична схема оптоелектронного реєстратора ВОДТ [15]

В цьому контексті представляється цікавим розглянути можливі варіанти побудови прецизійних модуляторів оптичного сигналу для застосування у ВОДТ. Такий модулятор подавляє вплив змін напруги живлення та суттєво зменшує температурний дрейф робочих струмів типових випромінювачів ВОДТ, що забезпечує стабільний вихідний сигнал для випромінювачів.

На рис. 4.4 наведена комбінована структурна схема модулятора оптичного сигналу для волоконно-оптичного термометра [17].

В схемі застосовано генератор прямокутних імпульсів (3) з частотою генерації 1кГц амплітудою 1В. Частота генерації задається частотнозадаючим колом (4), амплітуда - термостабільним ДСС (1) та конвертором струм - напруга (2). Через витоковий повторювач (6) модулююча напруга прикладається до випромінювача ВОДТ (9). Для стабілізації робочого струму випромінювача

Принципова електрична схема прецезійного модулятора для випромінювача ВОДТ наведена на рис.5.5. Вузол задаючого генератора виконано на частині мікросхеми DA2 (K140УД13).



1 - термостабільне ДСС, 2 - конвертор струм - напруга, 3 - генератор,
4 - частотнозадаюче коло, 5 - джерело зразкової напруги, 6 - витоковий
повторювач напруги, 7 - компаратор сигналу похибки, 8 - підсилювач сигналу
похибки, 9 - випромінювач ВОДТ, 10 - діод зворотного зв'язку, 11 - фотоприймач,
12 - Б.Ж[17].

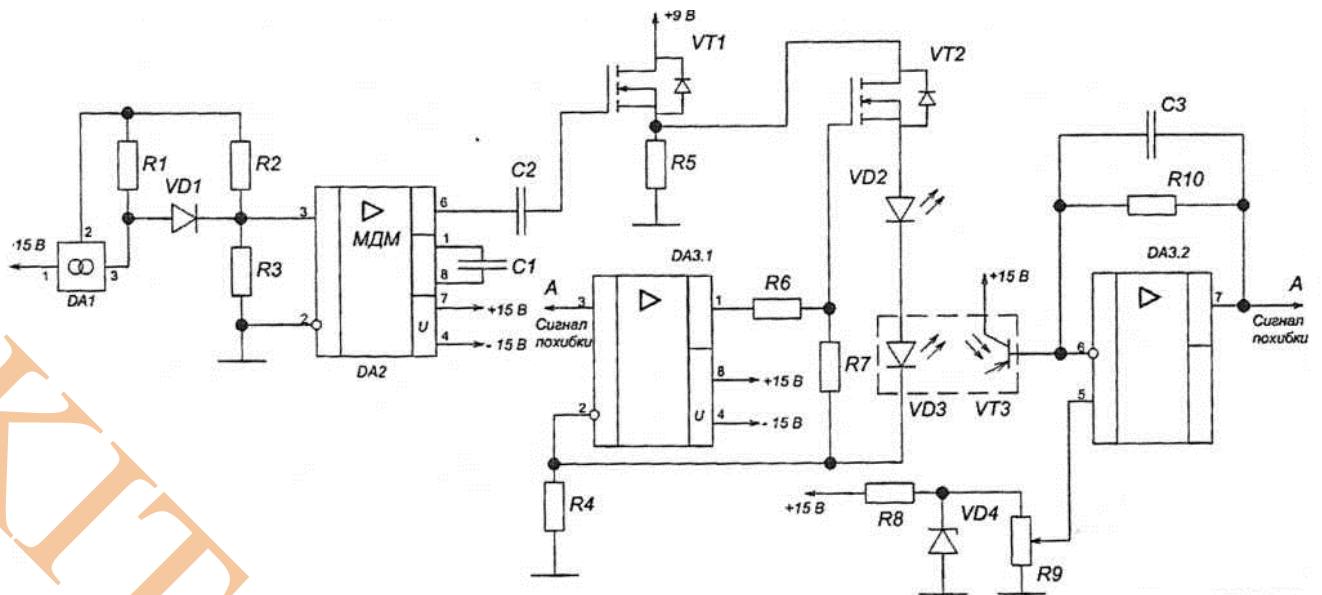


Рис.4.5 Принципова електрична схема модулятора [17]

Частота генерації задається конденсатором $C1$, а амплітуда струмозадаючим вузлом з термостабільним ДСС на елементах $DA1$ (LM134), діод $VD2$ (IN457A), резистори $R1, R2$. Два потужні MOSFET польові транзистори $VT1, VT2$ (IRF3205) служать в цьому джерелі одночасно модулятором і стабілізатором робочого струму випромінювача. Фототранзистор $VT3$ (OP800) сприймає оптичний сигнал діода $VD3$ і генерує напругу похибки для управління джерелом струму. Підсилювачі сигналу похибки і управління виконані на двох половинках мікросхеми $DA3$ (CA3240E). Ручне регулювання робочого струму випромінювача здійснюється регулятором $R9$.

Наведена схема може також застосовуватися для модуляції оптичного випромінювання малопотужних діодних лазерів, які застосовуються у волоконно – оптичних лініях зв'язку ВОЛЗ [18].

При розробці волоконно-оптичних трактів ВОДТ завжди стає задача побудови схемотехнічного рішення ефективного приймача інформаційного сигналу. Складність вирішуваної задачі обумовлена низьким рівнем сигналу, який надходить на приймач випромінювання (фотодіод) з оптичного волокна, який несе інформацію про об'єкт вимірювання. Одним із основних елементів схеми ВОДТ завжди являється вузол формування вихідного сигналу (ВФВС).

В більшості випадків на виході волоконно-оптичного тракту застосовується схема перетворювач «струм - напруга», варіант якої наведено на рис.4.6 [19].

В даній схемі світлодіод BL1 живиться від стабілізованого джерела 5 В через струмообмежуючий резистор $R1 = 43 \text{ Ом}$. При такому номіналі $R1$ струм через світлодіод приблизно дорівнює 80 мА. Випромінювання по волоконно-оптичній лінії довжиною ~2 м надходить на фотодіод BL2, який включений у фотогальванічному режимі. При цьому весь світловий потік Φ перетворюється у фотострум [19]:

$$I_{\Phi} = S * \Phi,$$

S – струмова чутливість ФД;

Φ – світловий потік, який надходить на ФД.

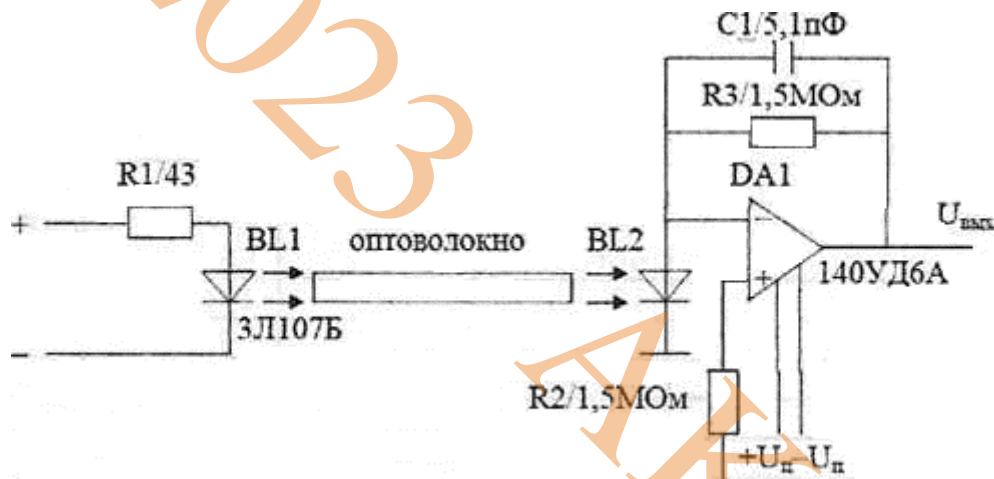


Рис.4.6 Схема електрична принципова для реєстрації вихідного сигналу ВОДТ[19]

На ОП (DA1) і резисторі $R3$ зібрано перетворювач «струм – напруга». Конденсатор $C1$ забезпечує стійкість перетворювача (відсутність самозбудження), а симетриючий резистор $R2$ компенсує вплив вхідних струмів ОП з малими вхідними струмами (не більше 50 мА).

Вихідна напруга такого перетворювача визначається виразом [19]

$$U_{\text{вих}} = I_{\Phi} * R1 \quad (4.3)$$

Розробка систем аналогової обробки інформаційного сигналу ВОДТ залишається одним із трендів в цьому напрямку, в якості останніх варіантів

подібних розробок необхідно відмітити роботу [20], в якій наведено інноваційну систему ВОДТ на основі GaAs для контролю температурного режиму високовольтної апаратури [20].

Комбінована структурна схема цієї системи наведена на рис.4.7

В розглядаємій системі [20] було застосовано лазерний ІЧ – випромінювальний діод LD (ADL – 85100TL), який складається із лазерного випромінювача ($\lambda_{\max} = 850 \text{ нм}$, $P = 100 \text{ мВт}$) та вбудованого моніторинг – фотодіода PD, на який було направлено частину випромінювання LD. Цей фотодіод PD перетворював випромінювання у моніторинг – струм I_{PD} , який контролювався автоматичною системою стабілізації струму лазерного діода (ОП А1). Точність стабілізації струму випромінювального ІЧ – діода складала 5 % в робочому діапазоні температур. Сигнал на виході волоконно – оптичного тракту фіксувався фотодіодом PD, вихідний сигнал з якого подавався на АЦП АД574 з послідуною обробкою мікроконтролером вбудованого застосування P89C52[20]

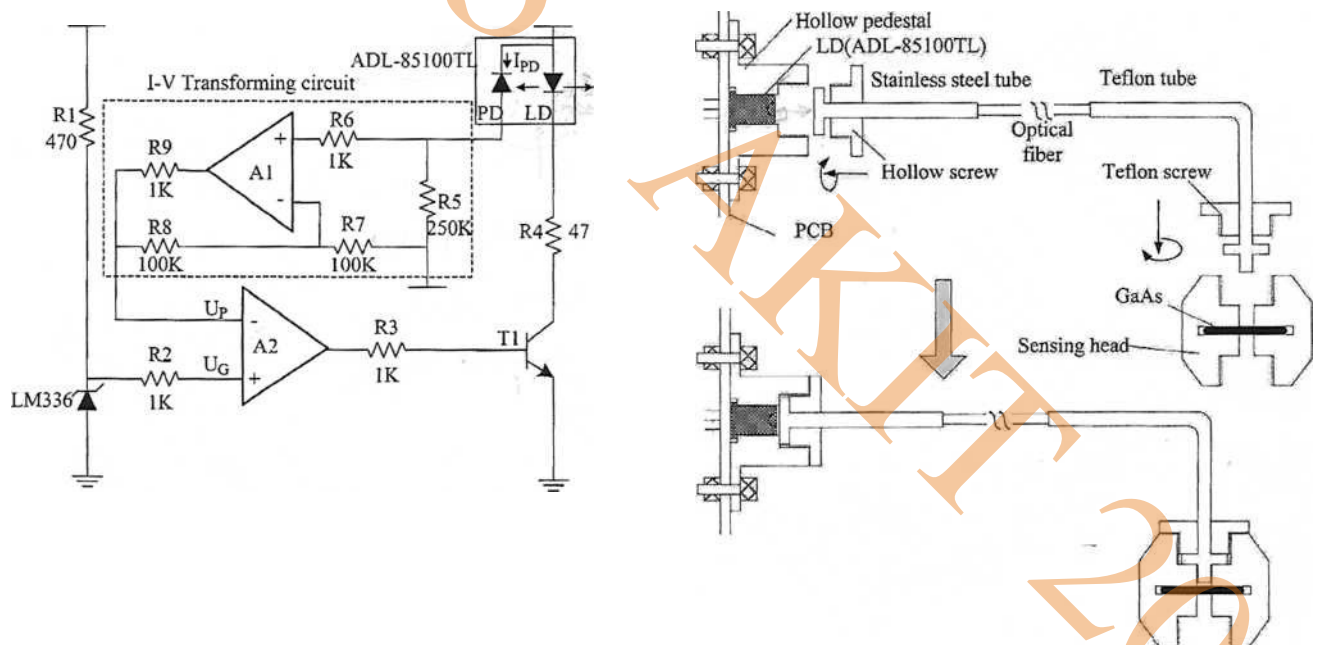


Рис.4.7 Схемотехнічне рішення ВОДТ із застосуванням чутливого елемента на основі GaAs [20]

5 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМБІНОВАНОЇ СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ

Наведений аналіз стану розробки електронних засобів для формування, реєстрації та обробки інформаційного сигналу, який використовується у волоконно – оптичному тракті давача, дозволяє визначити наступні тренди побудови апаратури для цієї галузі оптоелектроніки:

- для покращення завадостійкості та надійності електроніки необхідно застосовувати спеціальні підсилювальні схеми (підсилювачі МДМ, синхронне підсилення), які знижують вплив зовнішньої засвітки та інших мультиплікативних завад;
- для забезпечення необхідного рівня вузла випромінювача ВОД необхідно використовувати сучасні лазерні діоди (ЛД) з вбудованою системою внутрішнього моніторингу робочого струму ЛД (спектрально і конструктивно суміщений з випромінювачем фотодіод ФД);
- при виборі контрольної довжини хвилі випромінювача ВОД з кристалічними чутливими елементами (ЧЕ) на основі кристалів A^3B^5 бажано призначати ЛД в діапазоні ІЧ від 0,9 до 1,1мкм;
- при виборі фотоприймача ВОД найбільш перспективними являються сучасні інтегровані приймачі, які включають високочутливі р і п фотодіоди та оптимально узгоджені з ними підсилювальні каскади на ОП (інноваційні перетворювачі «світло – напруга», які випускаються фірмами Burr – Brown та TAOS).

З врахуванням зроблених вище висновків, відповідно до ТЗ було розроблено наступну комбіновану структурну схему аналогового блоку ВОДТ, яка наведена на рис.5.1.1 (робоче креслення КМР.АКІТ.000000.01.000 С1) Схема включає також структурне позначення волоконно – оптичного тракту.

З нведеної на рис. 5.1.1 схеми видно, що в якості випромінювача в ній задано лазерний діод (ЛД) типу SPL – 980 – 100 – 105М – PD (виробник – Roithner Laser Technik®). Робоча довжина хвилі – 980 нм, максимальна потужність – 100

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		63

мВт. Конструктивно в корпусі ЛД вбудовано моніторинговий фотодіод ФД, на який сфокусовано частину випромінювання ЛД. Фотострум фотодіода ФД в подальшому використовується в схемі атоматичного підтримання робочого струму ЛД, що в цілому забезпечує стабільність потужності випромінювання, яке спрямоване у волоконно – оптичний тракт. Схема автоматичної стабілізації струму ЛД складається із підсилювача розбалансу (2),керованого перетворювача «напруга – струм» (5), який підтримує стабільний рівень струму ЛД, джерело зразкової напруги (3).

Приймальна частина схеми починається із інтегрованого фотоприймача типу «світло – напруга», який реалізований на базі мікросхемного виробу типу OPT – 101 (виробник Burr – Brown®) [17]. Підсилений і відкоректований вольтовий вихідний інформаційний сигнал подається на вхід масштабного підсилювача на ОП [19]. Вихідний сигнал аналогового блоку реєстрації після підсилення до заданого рівня в подальшому може бути використаний для подачі на АЦП мікроконтролера, який буде здійснювати подальшу обробку інформаційного сигналу. Розроблена комбінована структурна схема була покладена в основу схемотехнічного рішення для побудови аналогового блоку реєстрації БОВТ. Результатом схемотехнічної проробки стала комбінована принципова схема, яка наведена на рис. 5.1.2. (робоче креслення: КМР.АКІТ 130663.01.000С3). Розглянемо окремі вузли розробленої схеми.

Вузол стабілізації струму випромінювального лазерного діода (ЛД)

Фотострум моніторингового фотодіода PD проходить через резистор R1, який підключений до входу підсилювача розбалансу DA1.1(ОП 1/2 ОРА2337). Цей підсилювач налаштований на контроль напруги на вході і чітко реагує на варіацію напруги на резисторі R1.3 виходу DA1.1 напругу розбалансу U_p подано на інвертуючий вхід DA1.2 (1/2 ОРА 2337). На прямий вхід цієї мікросхеми подається зразкова напруга $U_0 = 2,5 \text{ В}$, яка знімається з опорного діода VD1 (LM 336). Відносно стабільного в часі рівня напруги U_0 ОП DA1.2 створює управляючий сигнал, який подається на затвор польового транзистора VT1 (IRF 510), що здійснює регулювання робочого струму лазерного діода. Всі ці

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		64

елементи створюють закінчену систему автоматичного підтримання рівня робочого струму лазерного діода ЛД з точністю $\pm 5\%$ при зміні температури в межах до $+ 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вузол реєстрації вихідного вольтового сигналу.

Інформаційний сигнал з виходу волоконно – оптичного тракту приймається кремнієвим р і п фотодіодом високої чутливості, який входить до складу перетворювача BS1 «світло – напруга» типу OPT 101 (виробник: Burr – Brown®). До складу мікросхеми цього перетворювача входить прецезійний ОП, який включений за схемою перетворювача «струм напруга», що здійснює перетворення за законом:

$$U_{\Phi} = I_{\Phi} * R_{3,3} \quad (5.1)$$

з врахуванням, що в схему включено резистор $R_{3,3}=10^6\text{Ом}$, то перетворення буде здійснюватись за законом:

$$U_{\Phi} = I_{\Phi} * 10^6 \quad (5.2)$$

За виконаними розрахунками величина вихідного сигналу на виході OPT – 101 змінювалась в межах від 0,16 В (при $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) до 0,028 (при $+120^{\circ}\text{C}$). Такий рівень вихідного сигналу є недостатнім для подальшого перетворення за допомогою АЦП, тому його потрібно підсилити до рівня 3,5 – 4,7 В, таку операцію підсилення здійснює масштабний підсилювач на DA2 на ОП ОРА 627.

Живлення всієї мікросхеми стабілізованою напругою $+ 5\text{ В} (\pm 0,1\text{ В})$ здійснюється з виходу інтегрального стабілізатора напруги DA3, реалізованого на мікросхемі $\mu\text{A7805 UC}$. Вхідною напругою для стабілізації може бути напруга 9 – 12 В від окремого джерела або від акумуляторів.

					КМР.АКІТ.10550294.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		65

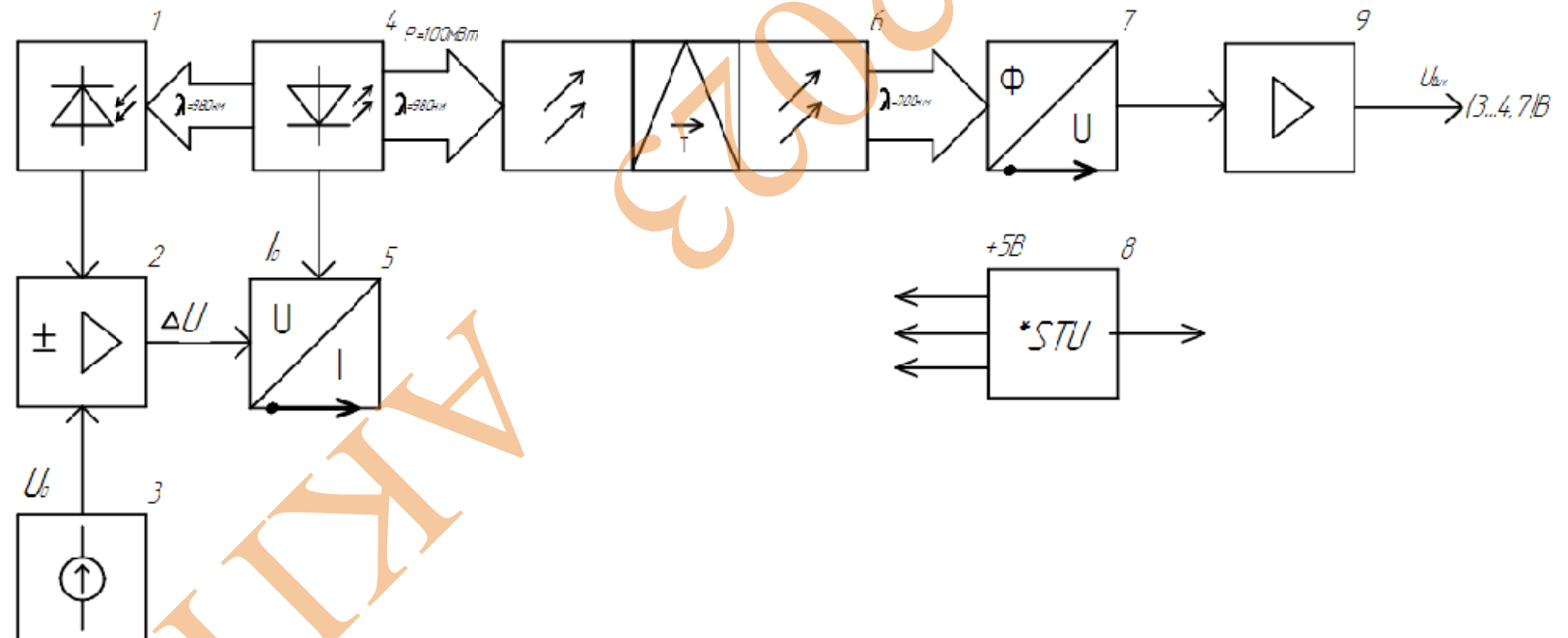


Рис. 5.1.1 Комбінована структурна схема аналогового блоку ВОДТ

- 1-Фотодіод монітора струму; 2-підсилювач сигналу фотодіод; 3-джерело зразкової напруги;
 4-лазерний діод; 5-перетворювач «Напруга–Струм»; 6-волоконно-оптичний тракт;
 7-інтегральний фотоперетворювач «Світло–Напруга»; 8-стабілізатор напруги +5В;
 9-вихідний масштабний підсилювач.

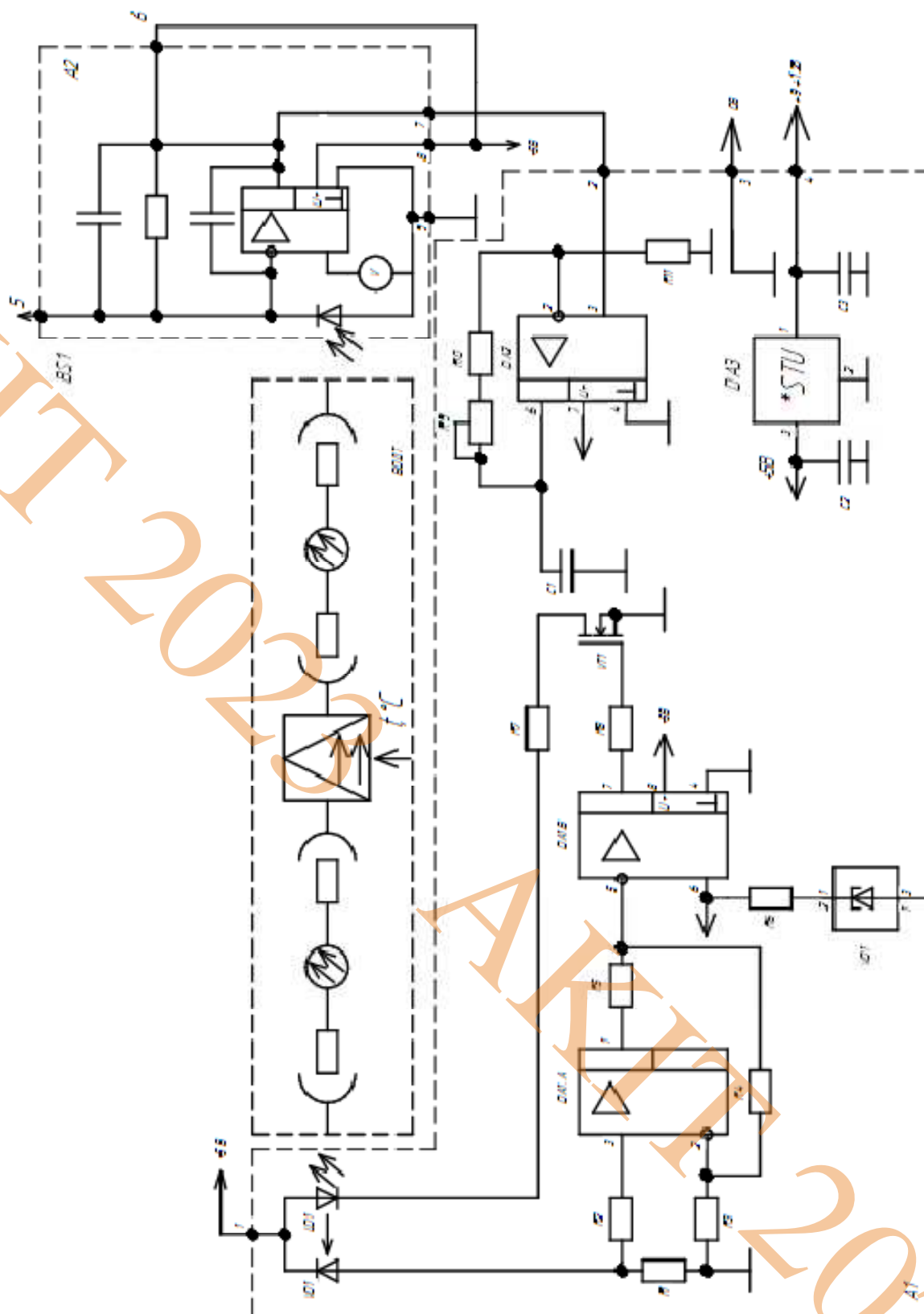


Рис. 5.1.2 Принципова електрична схема аналогового блоку ВОДТ

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі на рівні ескізного проектування та виконання експериментальних оптичних досліджень краєвого поглинання і температурних змін для кристалів групи A_3B_5 (GaAs, GaP), які можуть бути використані в якості термочутливих елементів волоконно-оптичних трактів наводиться проектне рішення мікропроцесорного оптоелектронного реєстратора для багатофункціонального застосування при виконанні вимірювань неелектричних фізичних величин. В якості конкретного прикладу розглянуто варіант використання реєстратора в якості вимірювача температури з різним типом кристалічних елементів у вимірювальних каналах волоконно-оптичних датчиків.

У відповідності до технічного завдання виконано наступні заплановані етапи експериментальних досліджень, проектування і конструювання:

- зроблено огляд стану розробки волоконно-оптичних давачів для завадозахищених ВІС;
- обґрунтовано вибір структурних та принципових схем;
- виконано експериментальні дослідження крайового поглинання кристалів та оцінена температурна поведінка країв поглинання в різних температурних інтервалах;
- виконана концепція побудови електронних блоків;

Розроблений пристрій може бути використаним як складова частина автоматизованої системи моніторингу температури силових трансформаторів, шляхом контролю температури трансформаторного мастила.

					КМР.АКІТР.10550294.01.000	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М. Г75 Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 219 с..
2. Вавилов В.С., Кекелидзе Н.П., Смирнов Л.С. Действие излучений на полупроводники: Учеб. руководство.-М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988.- 192 с.
3. Арсенид галлия в микроэлектронике: Пер. с англ. с сокращ. и доп./Под ред. Н. Айнспрука, У. Уиссмана.-М.: Мир, 1988.-555 с.
4. Оптические свойства полупроводников/ В.И. Гавриленко, А.М. Грехов, Д.В. Корбутяк и др./ под. ред. М.П. Лисиццы.-К.:Наукова думка, 1987.- 607 с.
5. <http://www.hp.com/go/fiber/>
6. Kigbright/Optoelectronic Components-Catalog 2001-2002, page 135.
7. Збірник наукових праць 4-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми технічного регулювання та якості», Одеса. – 2014. С. 85 – 87.
8. <http://www.elfa.se>
9. Дяконов В.П., Максимчук А.А., Ремнев А.М. и др. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах / Под ред. Дяконова В.П. – м.: СОЛОН-Р. – 2002, с.283-290.
10. Дяконов В.П., Калинин А.Г., Ватутын В.М., и др. Модуляторы полупроводниковых излучающих диодов с запуском от логических микросхем / ПТЭ, 1983, №6, с.113-115.
11. Вареник А.П., Журин А.А. Стабильный экономичный модулятор тока светодиодов / ПТЭ, 1988, №3, с. 153-154.
12. Каталог по использованию полевых транзисторов / Под. ред. Н.М. Тугова, С.Д. Федорова – Донецк, Синапс, 1992. – 150с.

					КМР.АКІТР.10550294.01.000	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Козусенок О.В., Туряниця І.І., Кутчак С.В., Пшенична О.О. Розрахунок передавальної характеристики та мінімальної граничної температури термосенсора на основі стекол системи As-Se//ІУ. Міжн. Конф. «научно пространство на Європа».- Софія 15 – 30 апрель, 2008. – Т.28. Физика. Математика. – с. 24-27.

14. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с.

					КМР.АКІТР.10550294.01.000	Арк. 70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АКТ 2023

ДОДАТКИ

					КМР.АКТР.10550294.01.000	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		