

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Р.С. Одарченко
“ _____ ” _____ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ
“БАКАЛАВР”**

Тема: “Вбудована система контролю волоконно-оптичних ліній зв’язку на основі технології R over F”

Виконавець: _____ Коваль В.І.
(підпис)

Керівник: _____ Климчук В.П.

Нормоконтролер: _____ Бахтіяров Д.І.
(підпис)

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інститут аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Одарченко Р.С.

“ ___ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання дипломної роботи

Коваль Владислав Ігорович

1. Тема дипломної роботи: “Вбудована система контролю волоконно-оптичних ліній зв’язку на основі технології R over F” затверджена наказом ректора від “ ___ ” _____ 2020р. № _____ .
2. Термін виконання роботи: з _____р. по _____р.
3. Вихідні дані до роботи:
 1. Частота вч-генератора – 450...500 МГц;
 2. Довжина хвилі оптичного сигналу 1350....1550 нм;
 3. Тип кабелю – оптоволокно;
4. Зміст пояснювальної записки:
 1. Вступ
 2. Принципи побудови систем контролю ВОЛЗ
 3. Основи технології R o F.
 4. Розрахунок елементів системи вбудованого контролю
5. Перелік обов’язкового графічного (ілюстрованого матеріалу): 7-8 слайдів за тематикою роботи

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Уточнення постановки задачі	19.05.20 – 25.05.20	Виконано
2.	Аналіз науково-технічної літератури	26.05.20 – 02.06.20	Виконано
3.	Принципи побудови систем контролю та діагностики оптоволоконних ліній	03.06.20 – 07.06.20	Виконано
4.	Основи технології R over F	08.06.20 – 09.06.20	Виконано
5.	Розробка вбудованої системи контролю оптоволоконних ліній	10.06.20 – 11.05.20	Виконано
6.	Оформлення пояснювальної записки	12.06.20 – 13.06.20	Виконано
7.	Представлення роботи на кафедрі	14.06.20	Виконано

8. Дата видачі завдання: "15 " 04 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____ Климчук В.П.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Коваль В.І.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, має 45 аркушів основного тексту, 8 рисунків, 3 таблиць, Загальний обсяг роботи 52 аркуші.

В роботі проведено аналіз існуючих методів та способів моніторингу волоконно-оптичних ліній зв'язку. Виявлені недоліки існуючих методів моніторингу. Запропоновано вбудовану систему контролю волоконно-оптичних ліній на основі технології RoF.

Ключові слова: ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ, МОНІТОРИНГ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ, РЕФЛЕКТОМЕТРИ, ТЕХНОЛОІЯ RoF. ВБУДОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ; СВІТЛОДІОД; ФОТОДІОД, ОПТИЧНИЙ ТРАНСИВЕР.

- **Об'єкт дослідження:** процес моніторингу волоконно-оптичних ліній зв'язку.
- **Предмет дослідження:** методи та способи контролю параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку.
- **Мета:** – розробка вбудованої системи контролю параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при побудові систем моніторингу ВОЛЗ та в навчальному процесі.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВОЛЗ.....	11
1.1. Волоконно-оптичні лінії зв'язку	11
1.2. Вимірювання в процесі експлуатації	15
1.3. Прилади для вимірювання втрат в оптичному волокні.....	18
1.4. Рефлектометри.....	20
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	24
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ RADIO-OVER-FIBER	25
2.1. Структурна схема системи по технології RoF.....	25
2.2. Особливості та переваги технології RoF.....	27
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ВБУДОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ	30
3.1. Структурна схема вбудованої системи контролю.....	30
3.2. Вимоги до вбудованої системи контролю	32
3.3. Розрахунок вбудованої системи контролю.....	33
3.4. Вибір елементів вбудованої системи контролю	36
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	47
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВОСП - волоконно-оптические системы передачи;

ВОЛЗ - волоконно-оптические линии связи;

ВОК – волоконно-оптичний кабель;

ОК - оптический кабель;

СД, СЦД - светоизлучающие диоды;

ФД - фотодиод;

ЛФД - лавинный фотодиод;

ВОД - волоконно-оптический датчик;

ЕКД – елементарна кабельна ділянка;

ОП – оптичний підсилювач;

ПБХ – підсилювач хвилі, що біжить;

ІС - інформаційна система;

ЛМ - локальні мережі;

СКМ - система кабельних мереж;

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing – щільне хвильове мультиплексування;

EDFA – Erbium Doped Fibre Amplifier - волоконно-оптичний підсилювач;

STM - Synchronous Transport Module – синхронний транспортний модуль;

SDH - Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія;

CDMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (множинний доступ з контролем несучої та виявленням колізій);

FTP - Foiled Twisted Pair - фольгова на вита пара;

STP - Shielded Twisted Pair - екранована вита пара;

RoF – радіо через фідер;

UTP - Unshielded Twisted Pair - неекранована вита пара.

ВСТУП

Актуальність теми. Волоконно-оптичні технології в наш час стають базовими для побудови телекомунікаційних промислових мереж, які зв'язують територіально розподілені датчики, виконавчі механізми та промислові контролери. Використання сучасних лазерних та фотонних технологій дозволяє розробити єдине ефективне інформаційне та керуюче середовище, яке об'єднує інтелектуальні технологічні при-строї і контролери промислового рівня. Волоконно-оптичні лінії є найбільш перспективним середо-вищем для організації передачі даних у протяжних мережах. Останнє десятиліття ознаменувалося в усьому світі бурхливим упровадженням на мережах зв'язку волоконно-оптичних систем передачі. Сьогодні світ телекомунікацій і передачі даних стикається з динамічно зростаючим попитом на частотні ресурси. Ця тенденція, в основному, пов'язана зі збільшенням числа користувачів Internet. Найпотужнішим телекомунікаційним оператором України є Укртелеком. Головним стратегічним напрямком розвитку первинної мережі ВАТ Укртелеком є будівництво волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). На магістральній та внутрішньозонових первинних мережах України застосовано симетричні (приблизно 84500 км), коаксіальні (приблизно 13300 км) та волоконно-оптичні кабелі (приблизно 10000 км), радіорелейні й супутникові системи зв'язку. Побудовані волоконно-оптичні лінії, що з'єднують Україну з усіма сусідніми державами. Незважаючи на очевидну крихкість скла, волоконно-оптичні кабелі міцні і надійні в експлуатації. Оптичні волокна, кварцові або пластмасові, є діелектриками. Оптична передача є сумісна з електрифікованими залізницями. Так само оптичні кабелі можуть прокладатися поблизу ліній електропередачі без небажаних для лінії зв'язку наслідків (створення завад і високих напруг). З цих причин волокна можуть

проходити через об'єкти, де генерується електрична потужність, або через потужні розподільні електричні підстанції. Значно збільшити довжину ВОСП можна шляхом введення спеціальних пристроїв, ретрансляторів(регенератори). Перші ретранслятори створювались в традиційній формі: на основі приймально-передавальних модулів, які містили лазерний діод, фотоприймач, оптичну і електричну підсистеми. У зв'язку з перетворенням оптичного сигналу в електричний, з підсиленням, а потім перетворення, за допомогою випромінювання, назад в оптичний потік, подібні пристрої мають ряд недоліків. В числі цих недоліків досить велика вартість і габарити. В 1989 році, після довготривалих випробувань, появились волоконно оптичні підсилювачі. Це розширило можливості ВОСП. Метою бакалаврської роботи є дослідження роботи оптичних підсилювачів, розрахунок і вдосконалення структурної схеми транспортної мережі на його основі.

Об'єкт дослідження: процес моніторингу волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Предмет дослідження: методи та способи контролю параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Мета: – розробка вбудованої системи контролю параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при побудові систем моніторингу ВОЛЗ та в навчальному процесі.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: - Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2021 р.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВОЛЗ

1.1 Волоконно-оптичні лінії зв'язку

Волоконно-оптичні лінії зв'язку використовуються для передачі інформації за допомогою електромагнітних коливань оптичного діапазону, тобто світла. У техніці волоконно-оптичного зв'язку використовується ближній інфрачервоний діапазон.

Волоконні світловоди мають унікальні властивості, які відрізняють їх від інших провідних ліній зв'язку:

- малі поперечні розміри;
- малий коефіцієнт загасання, який практично не залежить від діаметра світловода;
- забезпечують високу швидкість передачі інформації (або широку смугу пропускання);
- на ВС не діють зовнішні електромагнітні поля;
- відсутність взаємних впливів;
- наявність гальванічної розв'язки трактів прийому та передачі у волоконно-оптичних системах;
- відсутність коротких замикань;
- можливість використання оптичних кабелів в агресивних середовищах та середовищах з високою вологістю.

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) в даний час займають помітне місце в системах передачі інформації як загальногромадянського, так і спеціалізованого призначення.

Впровадження волоконно-оптичних ліній в системи зв'язку почалося з кінця 70-х років і інтенсивно продовжується наростаючими темпами. Вихідною точкою розвитку ВОЛЗ вважається відкриття лазерного механізму генерації світла, а потім - поява сучасної волоконної оптики на базі отриманих кварцових світловодів з малим загасанням. Останнє показало що основна перешкода при поширенні світла (його затухання), обумовлене в основному наявністю домішок, може бути знижено, а самі світлопроводи прийнятні в якості середовища розповсюдження сигналу. Оптичні волокна (ОВ) в якості середовища поширення багатоканального сигналу мають суттєві переваги перед традиційно використовуваними металевими кабелями і ефіром.

Велика смуга пропускання.

У будь-якій системі зв'язку (наприклад, цифровий) швидкість передачі інформації пов'язана з шириною займаної смуги частот, складовою певного відсотку значення несучої частоти. Неспотворені передачу і прийом сигналів здійснити тим легше, чим менший відсоток вона становить. Отже, велике значення несучої частоти, що використовується в ВОЛЗ, знижує вимоги до широкосмуговості системи і збільшує її інформаційну ємність. Висока захищеність від зовнішніх електромагнітних полів, яка пояснюється діелектричної природою поширення сигналу, фізичними умовами цього розповсюдження і використанням дуже коротких довжин хвиль. Подібного ефекту неможливо досягти у вже освоєних традиційних діапазонах через насиченість радіочастотного спектру джерелами випромінювань.

Велика довжина ділянки регенерації.

Зі зрозумілих причин це має велике значення, зокрема, для електроенергетичної галузі. Малогабаритність і легкість кабелів на основі ОВ. Висока економічність через відсутність потреби в міді, що дуже істотно,

оскільки традиційно кабельна промисловість споживає до половини обсягу загальних ресурсів міді і до чверті - свинцю.

Але існують також деякі недоліки волоконно-оптичних технологій:

- При створенні лінії зв'язку потрібні високонадійні активні елементи, які перетворюють електричні сигнали в світло, і світло в електричні сигнали. Для з'єднання ОВ з приймально-передавальним устаткуванням використовуються оптичні конектори (з'єднувачі), з малими оптичними втратами і великим ресурсом на підключення-відключення. Похибки при виготовленні таких елементів лінії зв'язку повинні бути порядку частки мікрона, тобто відповідати довжині хвилі випромінювання. Тому виробництво цих компонентів оптичних ліній зв'язку дуже дороге;

- Інший недолік полягає в тому, що для монтажу оптичних волокон потрібно прецизійне, а тому дороге, технологічне обладнання. Як наслідок, при аварії (обриві) оптичного кабелю витрати на відновлення вище, ніж при роботі з мідними кабелями. Переваги від застосування волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) настільки значні, що, незважаючи, на перелічені недоліки оптичного волокна, ці лінії зв'язку все ширше використовуються для передачі інформації.

Притаманні ВОЛЗ недоліки (дорожнеча апаратури та кабелю через складну технології, необхідність роботи при підвищеному співвідношенні сигнал - шум через труднощі практичної реалізації когерентної обробки сигналу і гетеродинних методів прийому, слабка радіаційна стійкість та інші) не знижують зазначених переваг. Це, а також той факт, що багато завдань передачі сигналів можуть бути економічно вирішені тільки з використанням ОВ, зумовило широке поширення ВОЛЗ не тільки в глобальних мережах зв'язку, а й у локальних мережах.

Широке поширення сучасних цифрових мереж на основі ВОЛЗ викликає необхідність перегляду принципів їх обслуговування та експлуатації. Велика протяжність ВОЛЗ, постійне зростання обсягів переданої інформації в мережі, висока ціна втрати трафіку через пошкодження оптичних кабелів вимагають постійної діагностики стану оптичних волокон і оперативного кваліфікованого обслуговування ВОЛЗ.

Коли говорять про діагностику та вимірювання ВОЛЗ, насамперед мають на увазі вимірювання оптичних втрат в волокні. Дійсно, в першу чергу саме втрати потужності випромінювання (а не дисперсія) стають визначальним критерієм, що обмежує довжину ретрансляційної ділянки лінії зв'язку. Інформація, отримана в результаті вимірювання рівня потужності сигналу в лінії, розуміння того, як змінюється потужність цього сигналу, дає можливість судити про якість побудованої ВОЛЗ. І правильно отримувати цю інформацію, вміти її інтерпретувати і обробляти - дуже важливий момент в роботі фахівців, що мають справу з волоконно-оптичною технікою.

Можна розрізнити кілька напрямків діяльності, пов'язаних з ВОЛЗ, де виникає завдання проведення вимірювань:

- вимірювання під час будівництва ВОЛЗ;
- вимірювання при експлуатації ВОЛЗ;
- вимірювання при обслуговуванні ВОЛЗ.

Комплекс вимірювань, які необхідно проводити при будівництві ліній зв'язку - самий великий. На етапі будівництва параметри лінії вимірюються найбільш ретельно. Результати заносяться в протоколи і оформляються у вигляді виконавчої документації на збудовану ВОЛЗ, яка, в свою чергу, служить найважливішим документом, на підставі якого ведеться подальша експлуатація цієї ВОЛЗ. Саме якість виконавчої документації, точність зазначених в ній даних та визначає зручність і правильність роботи з лінією зв'язку. Ще більш важливим є процес діагностики ВОЛЗ в процесі

експлуатації, тому що контроль якості ВОЛЗ забезпечує неперевне функціонування ВОЛЗ, своєчасне усунення відмов та втрат інформації, що передається.

1.2 Вимірювання в процесі експлуатації

Вимірювання в процесі експлуатації зазвичай мають на увазі періодичний контроль стану лінії зв'язку. Проводяться вони згідно з регламентом, прийнятим в тій організації, яка цю лінію експлуатує. Вони можуть проводитися в автоматичному режимі, коли за станом лінії стежить спеціальний програмно-апаратний комплекс, який одержує інформацію з оптичних датчиків. У деяких випадках достатньо вимірювань в «ручному» режимі, коли інженер сам перевіряє лінію за допомогою вимірювального обладнання. Але і в тому, і в іншому випадку, вкрай важливою є кваліфікація персоналу, відповідального за стан лінії, його вміння розібратися в тому, що з нею відбувається.

Під обслуговуванням ВОЛЗ зазвичай розуміється діяльність, спрямована на підтримку лінії зв'язку в робочому стані. Обслуговування проводиться на підставі договору між власником лінії і якоїсь обслуговуючою організацією. Як правило, в рамках договору така організація зобов'язана не тільки стежити за працездатністю лінії, а й усувати аварійні ситуації, які на ній можуть виникнути. У таких випадках вимірювання проводяться з метою локалізації пошкодження, з'ясування його характеру, дозволяють оперативно це пошкодження усунути.

Причини втрат в волоконно – оптичних кабелях .

Як вже було сказано, ми вимірюємо оптичні втрати. На жаль, втрати в лінії зв'язку будуть завжди. Позбутися від них неможливо, але завжди можна вжити заходів, щоб їх мінімізувати. Причин виникнення цих втрат багато і необхідно точно розуміти їх характер. Причини втрат наступні:

- загасання сигналу в волокні за рахунок розсіювання і поглинання випромінювання;

- втрати на вигинах волокна;
- втрати на зварних з'єднаннях;
- втрати на роз'ємних з'єднаннях;
- втрати на пасивних компонентах лінії (сплітери, фільтри, мультиплексори, атенюатори і т. п.).

Оптичне волокно служить чудовим середовищем для поширення оптичного сигналу. Але навіть у цьому чудовому середовищі, а саме в кварцовому склі, з якого виготовлена серцевина волокна, завжди містяться домішки, включення, через які волокно втрачає частину світла, що передається по ньому. Точкові області, в яких сконцентровані ці домішки, служать джерелом розсіювання корисного сигналу і, відповідно, викликають часткову його втрату. Оскільки розподіл домішок по довжині ОВ можна вважати рівномірним, то і світло буде рівномірно слабшати в міру проходження по ОВ. При цьому, зі зростанням довжини хвилі випромінювання здатність розсіювати у волокна зменшується. Чому б тоді не використовувати найбільшу довжину хвилі, щоб звернути в нуль розсіювання світла? На жаль, починаючи з деякого значення довжин хвиль в волокні з'являється ще одна складова загасання, а саме - інфрачервоне поглинання світла, тобто, перетворення оптичної енергії в теплову. Знову втрати! Результатом дії двох цих причин буде сума втрат від кожної з них. Мінімуму втрати в ОВ досягають при передачі сигналу на довжині хвилі 1550 нм. Наступною причиною втрат служать вигини ОВ. Прийнято розділяти їх на два типи - мікро- і макровигини. У першому випадку мова йде про незначні, але неминучі вигини волокон при розміщенні їх в кабелі. Цей вигин присутній по всій довжині кабелю і проконтролювати його ми не в змозі, але, на щастя, його внесок в втрати нікчемний. Другий випадок набагато серйозніше. Втрати при макровигинах з'являються вже з вини

людини, який працює з волоконно-оптичним кабелем. Основна причина вигнутого волокна в побудованій ВОЛЗ - неправильно прокладений кабель. У деяких випадках - порушення при монтажі кросу або муфти. Чим більше вигин, тим більше втрати. Причиною появи втрат на місці вигину служить просте фізичне явище - кут падіння світла на кордон розділу серцевини і оболонки перевищує критичний і частина випромінювання виходить з серцевини. При цьому, чим більше довжина хвилі, тим більше буде величина втрат.

Втрати на зварних з'єднаннях з'являються, в основному, через розбіжність серцевин волокон, яка може бути викликана порушенням геометрії перетину ОВ. В цьому випадку відповідальність за якість зварних робіт несе, якщо можна так висловитися, зварювальний апарат. Саме технологія юстирування волокон перед зварюванням, розпізнавання комп'ютером зварювального апарату розташування серцевин ОВ і визначає якість зварювання в плані втрат. Різні марки волокон можуть мати різні діаметри серцевини, різні допуски на ексцентриситет і апарат повинен вміти з ними працювати. При цьому, зрозуміло, необхідно дотримання всіх супутніх вимог до підготовки ОВ до зварювання, щоб з'єднання не мало додаткових дефектів. Будь дефект відразу ж переводить зварене з'єднання в розряд неякісного, навіть без вимірювань. Якісним же зварене з'єднання зазвичай вважається, якщо втрати не перевищують 0,05 дБ (на довжині хвилі 1550 нм). Необхідно також пам'ятати, що втрати на стику оцінюються тільки при вимірі з двох сторін.

Втрати на роз'ємних з'єднаннях, простіше кажучи - на роз'ємах, вносять втрати набагато більші, ніж на сварках ОВ. За рахунок того, що між поверхнями конекторів завжди присутній невеликий повітряний зазор, на з'єднаннях втрачається набагато більше корисного сигналу. Величину втрат, допустимих на такому з'єднанні, прийнято вважати рівною 0,5 дБ. При цьому треба розуміти, що складається ця величина з втрат на поверхнях двох

конекторів, і який внесок кожного з них, точно визначити неможливо. Величину втрат на конекторі контролюють на виробництві, але, як показує практика, і тут не завжди досягається хороший результат, оскільки серійне виробництво оптичних шнурів на увазі вибіркового контролю. Тому для підключення вимірювальних приладів до тестованої лінії рекомендується використовувати прецизійні шнури, які проходять поштучний контроль і відповідають більш високим вимогам.

1.3. Прилади для вимірювання втрат в оптичному волокні

Для контролю якості волоконно-оптичних ліній зв'язку шляхом вимірювання в них втрат використовується великий перелік типів вимірювальної апаратури. Це оптичні тестери, що дозволяють вимірювати повні втрати в лінії, оптичні рефлектометри, за допомогою яких можна виміряти розподіл втрат уздовж лінії та багато інших приладів.

Вимірювачі оптичної потужності

Вимірювач оптичної потужності є стандартним інструментом будь-якого волоконно-оптичного устаткування. Він незамінний при будівництві, експлуатації та ремонті ВОЛЗ. Основна його функція полягає у вимірюванні оптичної потужності, одержуваної від передавального обладнання або джерела оптичного випромінювання. При будівництві і експлуатації ліній зв'язку дозволяє визначити наявність сигналу і оптичну потужність, дозволяє оцінити параметри вузлів оптичного зв'язку (ділянок кабелю, інтерфейсів, якість зварювальних вузлів і т.д.).



Рис. 1.1 Вимірювач оптичної потужності

Вимірювачі прямих втрат

Одне з основних вимірів для волоконно-оптичних ліній - визначення загасання.

Цю величину можна виміряти кількома методами, що відрізняються технологією калібрування і точністю вимірювання. Вимірювання втрат проводяться для оцінки якості ВОЛС. В більшості випадків втрати випромінювання є основним чинником, що обмежує довжину ретрансляційного ділянки лінії зв'язку. У даний час розроблена і широко використовується вимірювальна апаратура, що дозволяє оцінити втрати, що складаються з втрат в будівельних довжинах оптичного кабелю, втрат зварних з'єднаннях волокон і втрат в роз'ємних з'єднаннях на кінцях лінії.



Рис.1.2 Вимірювач прямих втрат

1.4. Рефлектометри

Оптичний рефлектометр - прилад для вимірювання параметрів волоконно-оптичних ліній, принцип роботи якого заснований на аналізі відбитих оптичних імпульсів, випромінюваних рефлектометром в оптичне волокно. Оптичні рефлектометри забезпечують автоматичне виконання вимірювань, надають можливість двостороннього рефлектометричного аналізу лінії зв'язку, визначають довжину оптичної лінії, знаходять відстань до неоднорідностей в оптичному волокні, розраховують загасання в лінії, величини зворотних втрат і багато іншого.

Широкий вибір модулів задовольнить потреби будь-якого професіонала. Поєднання оптичних характеристик оптичних рефлектометрів з повним набором додаткових інструментів дозволяє правильно виконати будь-яке тестування з першого разу.



Рис.1.3 Рефлектометр

Відмінність в їх застосуванні полягає в тому, що при використанні тестера необхідно використовувати два пристрої і підключатися до обох кінців лінії, в той час як рефлектометр для вимірювання потрібно підключати до лінії тільки на одному кінці. Різниця обумовлена різними принципами вимірювання втрат. Оптичний тестер, який в загальному випадку представляє з себе комплект з двох пристроїв - джерела оптичної потужності і вимірювача оптичної потужності, - проводить прямі вимірювання, тобто для визначення втрат порівнюється рівень потужності на вході в лінію і на виході з неї. Різниця в дБ і буде шуканим результатом. Рефлектометр ж, будучи підключеним тільки з одного кінця ВОЛЗ, зондує волокно тестовими імпульсами і отримує відгук у зворотному напрямку, викликаний зворотним розсіюванням в волокні. Аналізуючи цей відгук, процесор рефлектометра розраховує, скільки оптичної потужності втрачає сигнал в кожній точці ОВ. Такий вид визначення втрат можна назвати непрямим. Саме з цим, з похибкою непрямого методу, пов'язані деякі наближення в підрахунку повних втрат в лінії. Цим же пояснюється і перевага по точності оптичних тестерів. Крім цього, тестером можна вимірювати втрати в лініях будь-якої протяжності (від 0 м), в той час як рефлектометр не дозволяє оцінити втрати в коротких, порядку декількох метрів волокнах (оптичні шнури).

Беручи до уваги перераховані відмінності, можна описати завдання, які вирішуються двома цими типами приладів:

Тестер дозволяє виконати:

- вимір повних втрат в лінії зв'язку;
- тестування оптичних шнурів.



Рис.1.4 Тестер оптичних ліній

Моніторинг ВОЛЗ здійснюється декількома способами:

Ручний спосіб здійснення моніторингу стану оптичного волокна може виконуватися за допомогою стандартного оптичного рефлектометра, включеного в online режимі вимірювань.

Найкомфортніше це організувати на базі професійного оптичного рефлектометра, що підтримує можливість установки опорної рефлектограм. Опорна рефлектограм є рефлектограм оптичного волокна, зняту в початковому стані (коли лінія свідомо справна). На екрані оптичного рефлектометра буде відображатися ця рефлектограм і рефлектограм вимірюваної лінії. Оператору залишається тільки час від часу дивитися на розбіжності в цих рефлектограм.

Однак такий спосіб може використовуватися тільки в разі, якщо контролювати необхідно тільки одне волокно. Якщо ж необхідно здійснювати моніторинг декількох волокон одночасно, то між оптичним рефлектометром і лінією зв'язку необхідно підключити комутатор, який через

певні користувачем проміжки часу буде переключатися на наступне волокно. Процес спостереження за вимірами в цьому випадку істотно ускладнюється, тому що далеко не всі рефлектометри можуть використовувати окремі опорні рефлекторам для кожного тестованого волокна. Разом з тим, оператор повинен постійно стежити за відповідністю опорних і вимірюваних рефлектограмм, що вельми непросто. В результаті цього, суттєво ускладнюється своєчасне виявлення аварії, (не кажучи вже про швидке виявлення місця підвищення затуханий і відображень в окремих точках ВОЛЗ).

Найкращим вирішенням завдань одночасного моніторингу декількох волокон є можуть бути вбудовані системи моніторингу оптичного волокна. Вони дозволяють працювати з великою кількістю волокон, причому існує можливість контролювати як темні (на довжині хвилі 1550 нм) так і активні (на довжині хвилі 1 625 нм або 1650 нм) оптичні волокна. Системи моніторингу ВОЛЗ знімають і зберігають в пам'яті опорні сигнали для всіх тестованих волокон і фіксують відхилення по загасання і відображенню у всіх точках лінії. У разі навіть невеликих відхилень (величина відхилення від опорної рефлекторам задається користувачем) система моніторингу інформує відповідальних інженерів за допомогою електронної пошти, SMS повідомлень і повідомлення на екран ПК черговому інженеру.

Сьогодні в Україні прокладено десятки тисяч кілометрів волоконно-оптичних кабелів (ВОК).

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) розгорнуті практично у всіх регіонах країни. Щорічна потреба в ВОК для підтримки старих ВОЛЗ і будівництва нових становить приблизно 10 тис. кілометрів на рік, В експлуатації перебувають найрізноманітніші типи ВОК: ВОК, який закладається в ґрунт, підвісний, самонесучий кабель, кабель, який закладається в трубку. Тенденція до збільшення числа ОВ в ВОК зберігається і в даний час. Для виробництва якісного ВОК необхідний контроль

параметрів ОВ на всіх етапах виробництва. Аналогічний контроль необхідний також при прокладці ВОЛЗ. в цих умовах кількість контрольних вимірів, проведених при виробництві та прокладання ВОК величезна. Більшість вимірювань проводяться методом рефлектометрії з допомогою приладів, які називаються оптичними рефлектометра (ОР). При вимірі з допомогою отримують так звану рефлектограму - виміряний по довжині волокна рівень сигналу зворотного розсіювання, виражений в децибелах. Сьогодні паспортизація результатів вимірювань параметрів ОВ проводиться вручну, шляхом переписування результатів з екрану ОР в документацію. При цьому не виключена можливість суб'єктивних помилок. Рефлектограми не зберігаються в електронному вигляді, не ведеться архів рефлектограмм, необхідний для аналізу можливих претензій за якістю виготовленого ВОК або проведених робіт.

У такій ситуації особливої актуальності набуває створення єдиної системи запису рефлектограмм на всіх етапах виробництва ВОК, будівництва та експлуатації ВОЛЗ.

Крім того, необхідна система автоматичної паспортизації результатів вимірювань, а так як можливості ЗР в цьому сенсі вкрай обмежені, постає проблема зв'язку ОР з персональним комп'ютером (ПК), який повинен виробляти основну роботу з обробки даних. Треба також зазначити, що передача даних між ПК і ОР повинна відбуватися якщо не в реальному масштабі часу, то, в крайньому випадку, близько до нього, так як зараз, маючи високопродуктивні комп'ютери і системи передачі даних, користувачі не хочуть витратити свій час на очікування отримання результатів.

Висновки до розділу 1

При експлуатації ВОЛЗ дуже важливим є процес діагностики ВОЛЗ параметрів та характеристик ВОЛЗ, тому що контроль якості ВОЛЗ

забезпечує неперевне функціонування ВОЛЗ, своєчасне усунення відмов та втрат інформації, що передається.

Існуючі методи та обладнання моніторингу ВОЛЗ вимагають трудоемких робіт кількох працівників. Обладнання контролю досить вартісне.

Виникає потреба у розробці вбудованої системи контролю, яка буде постійно відслідковувати у автоматичному режимі основні параметри ВОЛЗ

РОЗДІЛ 2

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ RADIO-OVER-FIBER

2.1 Структурна схема системи по технології RoF

В основі рішень Radio-over-Fiber (RoF) технології є перетворення радіочастотного сигналу в оптичний тракт і після передавання зворотне перетворення. Перше перетворення виконується з використанням світлодіодів або лазерних джерел. Перетворений сигнал передається через оптичне волокно кабелю на необхідну відстань. Зворотне перетворення здійснюється за допомогою фотодіода. Простий тракт R-o-F складається з одного джерела високочастотного радіосигналу, перетворювача з високочастотного сигналу в оптику шляхом виконання модуляції оптичного сигналу радіочастотним сигналом(передавача), волоконно-оптичного кабелю, зворотного перетворювача з оптики в радіосигнал шляхом демодуляції (приймача) і приймача вже власне високочастотного сигналу (рис. 2.1). Максимальна відстань передачі, яке підтримує тракт R-over-Fiber, з-ставляють близько 100 км.

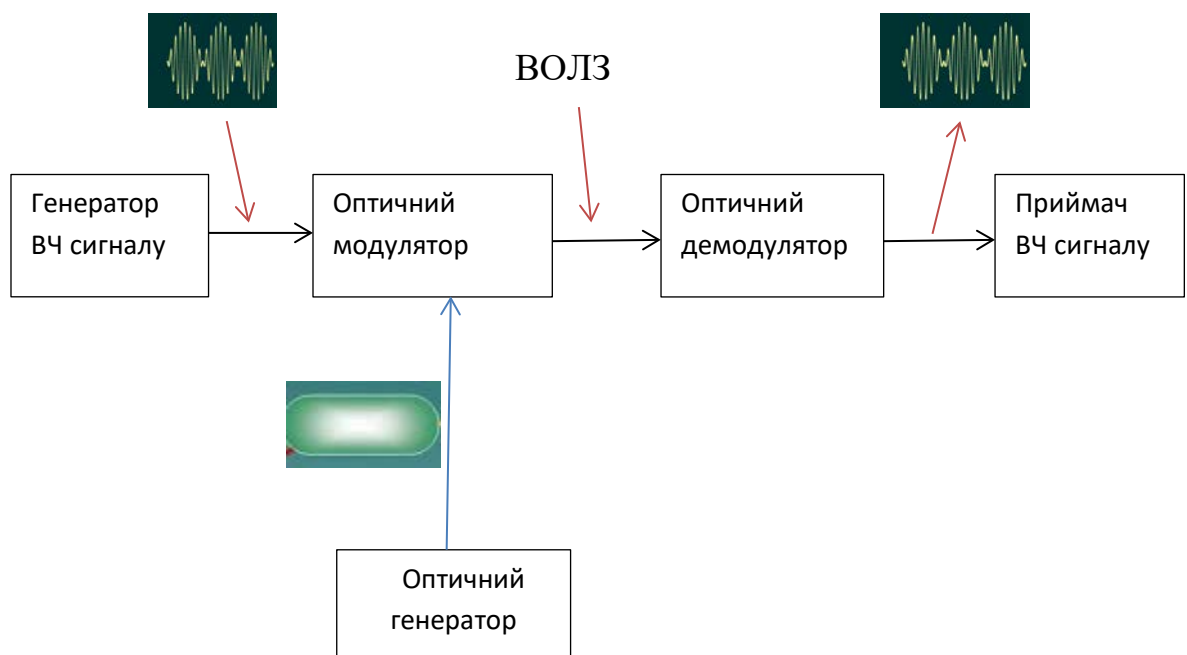


Рис. 2.1 Структурна схема системи по технології RoF

Тракти R-over-Fiber дозволяють передавати сигнали на великі відстані, ніж традиційні коаксіальні радіо- частотні тракти. Це забезпечується волоконно-оптичним кабелем з властивими йому мінімальними втратами.

Loss v Frequency Comparison for Fiber & Coaxial Cable

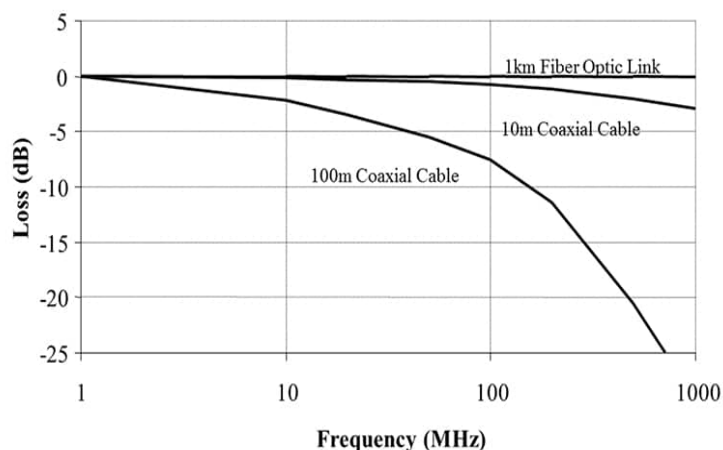


Рис. 2.1. Характеристики затухання високочастотного сигналу в коаксіальних та оптичному кабелях

Крім того, використання волоконно оптичного тракту гарантує стійкість системи до різних електромагнітних впливів, що позитивно позначається на характеристиках системи в цілому. Максимальна відстань для широкопasmової передачі по коаксіальному радіочастотного кабелю зазвичай близько 100 м.

В останні два десятиліття викорис тання трактів з оптичним перетворенням значно розширилося. Спочатку технологія застосовувалась для передачі сигналів кабельного телебачення, тракти з оптичним перетворенням широко поширені на комерційному та військовому ринку. Ключові переваги R-over-Fiber в порівнянні з традиційним радіочастотним трактом наступні:

- великі відстані між передавачем і приймачем ВЧ-сигналу;
- стійкість до електромагнітних і радіочастотним перешкод;

- менша маса і габарити кабельного з'єднання.

Ці переваги забезпечуються за рахунок перетворення радіочастотних сигналів в оптичні.

Низькі втрати в оптичному волокні, дозволяють передавати сигнали на далекі відстані, визначаються способом поширення сигналів. У волоконно-оптичних трактах передбачено два види волокон: багатомодові і одномодові.

Багатомодові волокна мають набагато більший діаметр сердцевини волокна, що дозволяє світлу поширюватися в декількох модах одночасно. Таким чином забезпечується передача більшого обсягу даних, але за рахунок дисперсії сигналу джерела (зазвичай світлодіод) призводить до чималих втрат. Багатомодові волокна зазвичай застосовуються на невеликих відстанях передачі.

Діаметр сердцевини одномодових волокон дуже малий, що обмежує поширення світла тільки однією модою. Для формування сигналу в таких волокнах зазвичай використовуються лазери. Менша дисперсія і втрати сигналу дозволяють передавати сигнали в одномодових волокнах на великі відстані.

Радіо через волокно (RoF) - це метод перетворення радіохвилі (RF) у світло шляхом модуляції інтенсивності джерела світла (як правило, лазера) за допомогою РЧ-сигнал. Це аналоговий процес, і оцифровка не використовується. Потім світловий сигнал передається по волоконно-оптичному кабелю, який замінює і перевершує можливості традиційного мідного коаксіального кабелю. RoF не обмежується відстанню, як коаксіальний, який сягає лише 300 футів (приблизно).

2.2 Особливості та переваги технології RoF

Переваги технології RoF такі:

1. Дуже низькі втрати сигналу (менше 0,5 дБ / км), що дозволяє здійснювати з'єднання на кілька кілометрів без необхідності посилення.
2. Плоска частотна характеристика по всьому діапазону частот, тобто немає необхідності в компенсації нахилу
3. Імунітет до ЕМІ та RFI через те, що волокно є непровідним середовищем
4. Захист від перехоплення сигналу
5. Гнучкий та легкий для зручності розгортання
6. Низький рівень обслуговування - встановіть і забудьте технологію
7. Просте встановлення
8. Економічно вигідний у порівнянні з підсилювачами коаксіального кабелю з низьким рівнем втрат та компенсацією нахилу.

Типова система RoF буде складатися з трьох основних елементів:

- Оптичний передавач
- Волоконно-оптичний кабель
- Оптичний приймач

Сьогодні застосування систем Radio-over-Fiber (RoF) дозволяє забезпечити всім без винятку абонентам послуги широкопasmового доступу. Даний напрямок особливо актуально в віддалених від міста населених пунктах, де потрібна прокладка додаткової кабельної лінії для підключення абонентів до центру комутації операторів. Системи Radio-over-Fiber є простий і недорогий спосіб організації доступу. При цьому вартість підключення таких абонентів до інформаційно - комунікаційної мережі Інтернет значно зменшується. Також системи RoF дозволяють вирішувати радіотехнічні завдання, що

робить їх привабливими для використання спільно з системами бездротової передачі даних.

Ступінь розробленості теми.

Технологія Radio-over-Fiber почала активно досліджуватися з кінця 1980-х років. Застосування технології RoF для інтеграції волоконно-оптичних кабельних і бездротових систем було вперше запропоновано у середині 90 років.

Висновки до розділу 2

1. Для побудови системи вбудованого контролю пропонується використати технологію «Радіо через Волокно»(RoF).
2. Радіо через волокно (RoF) - це метод перетворення радіохвилі (RF) у світло шляхом модуляції інтенсивності джерела світла (як правило, лазера) за допомогою РЧ-сигнал.
3. Технологія дає ряд переваг перед існуючими системами моніторингу ВОЛЗ і дає можливість побудувати таку систему.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ВБУДОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Структурна схема вбудованої системи контролю

Моніторинг ВОЛЗ, або цілодобовий контроль параметрів оптичного волокна необхідний для полегшення процесу експлуатації оптичних ліній та забезпечення високої якості послуг. Професійна система моніторингу дозволяє:

- своєчасно виявити несанкціонований доступ до ВОЛЗ
- своєчасно визначити проблемні місця ВОЛЗ і усунути пошкодження ще до того, як вони проявлять себе
- максимально швидко відреагувати у разі виникнення аварій
- уникнути тривалих періодів не працездатності лінії зв'язку і пов'язаних з цим штрафних санкцій
- створити базу даних характерних відмов ВОЛЗ

Конструктивно, система моніторингу складається з:

- Тестового блоку
- Блоку управління і обробки результатів
- Системи реєстрації результатів (у вигляді окремого сервера , або вбудованого вінчестера великий ємності)
- Блоку інформування відповідальних фахівців (GSM модуль)

У свою чергу блок тестування (віддалений блок) може складатися з:

- генератора тестових високочастотних сигналів;
- генератора оптичних сигналів;

- модулятора;
- Приймача тестових сигналів
- Демодулятора
- Аналізатора параметрів та характеристик оптоволоконних кабелів

Один тестовий блок може виконувати моніторинг до 96-ти оптичних волокон. Крім того, система моніторингу може мати цілий каскад віддалених блоків.

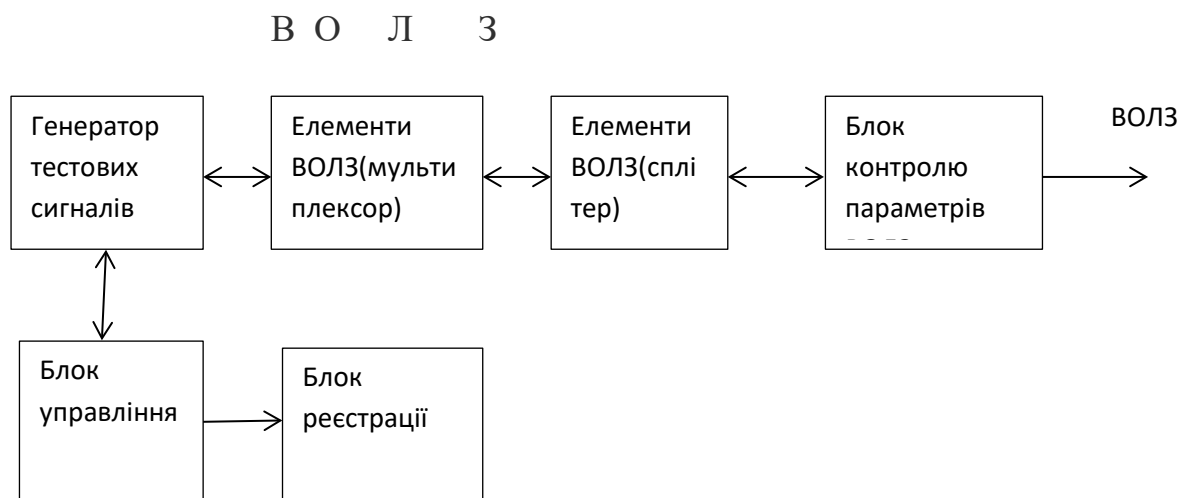


Рис. 3.1 Структурна схема вбудованого контролю ділянки ВОЛЗ

В приведеній схемі показана структура вбудованої системи контролю деякої ділянки ВОЛЗ, наприклад, ділянки між двома регенераційними пунктами лінії зв'язку. В складі ділянки функціонують ряд елементів лінії зв'язку- мультиплексори, сплітери, фільтри тощо. В процесі функціонування ВОЛЗ генератор тестових сигналів формує набір тестових сигналів, які передаються в лінію. При цьому блок контролю виконує аналіз сигналів, що пройшли лінію зв'язку з метою визначення рівнів згасання сигналів, наявності обривів лінії, виявлення дефектних точок лінії(перегиби, порушення, наявності неоднородностей тощо. Отримані результати

передаються у зворотньому напрямку в блок управління для формування сигналів оповіщення про стан ВОЛЗ. Блок реєстрації фіксує отримані результати.

3.2. Вимоги до вбудованої системи контролю

При цьому блок контролю може постійно контролювати параметри елементів лінії.

Система вбудованого контролю має забезпечувати

- Оперативна і точна локалізація пошкодження ВОЛЗ і відображення його на географічній карті.
- Зменшення часу відновлення зв'язку при проведенні аварійно-відновлювальних робіт за рахунок швидкої і точної локалізації місця аварії.
- Надання оперативної інформації про фізичний стан ВОЛЗ
- Два режими моніторингу: швидкий для якнайшвидшого виявлення обриву і точний для докладного аналізу зміни параметрів ОВ
- ведення статистики змін параметрів оптичних волокон
- підвищення надійності функціонування ВОЛЗ за рахунок виявлення предаварійного стану ОВ, прогнозування розвитку дефектів і деградації ОВ
- проведення випробувань одним кваліфікованим користувачем
- зменшення витрат на експлуатацію оптичних ліній за рахунок скорочення обслуговуючого персоналу і парку обладнання , автоматизації процесів контролю і діагностики ВОЛЗ
- посилення безпеки передачі даних за рахунок можливості виявлення несанкціонованого доступу до ВОЛЗ
- модулі віддаленого тестування

3.3. Розрахунок вбудованої системи контролю

Розрахунок генераторів тестових сигналів

Генератор імпульсних сигналів.

Генератор пропонується виконати на логічних елементах.

Вхідні дані для розрахунку

1. Частота-1 кГц;
2. Вихідна напруга – 1 В;
3. Тривалість імпульса T_i – 20 мкс.

Для визначення R_1 та R_2 приймаємо $C_1+C_2= 20\text{пФ}$. Тоді
 $T_i=1/C * R$ звідки $R =T_i/C$ $R=1 \text{ кОм}$.

Генератор виконуємо на мікросхемі КР1533ЛА3.

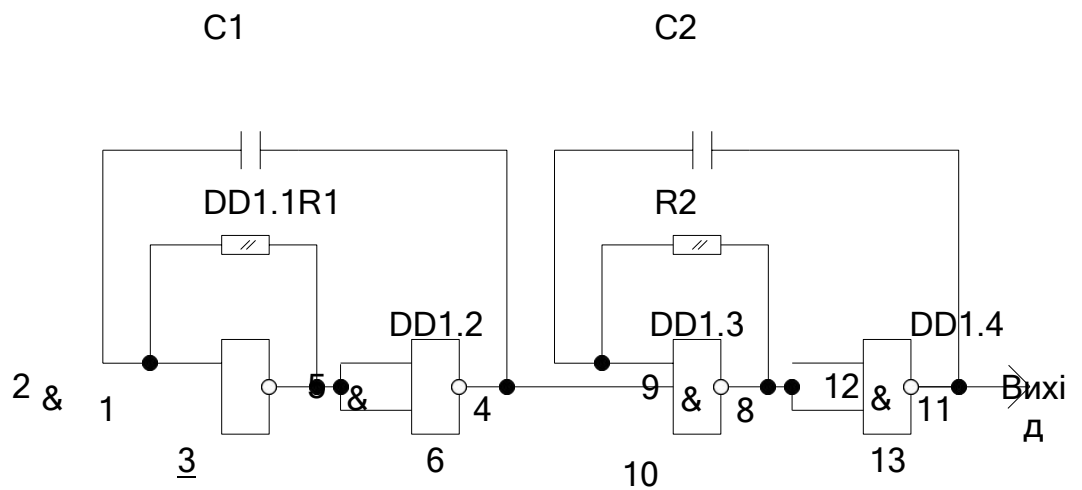


Рис.3.1 Схема генератора імпульсних сигналів

Розрахунок генератора високої частоти.

Вихідні параметри

Робоча частота: $f = 500 \text{ МГц}$;

$P_{\text{вих}} = 0,2 \text{ Вт}$;

$U_{\text{ж}} = 12 \text{ В}$;

$Z_{\text{вих}} = 50 \text{ Ом}$.

В якості опорного генератора вибираєм кварцовий генератор SG-531PHC на 48 МГц.

Основні параметри опорного генератора:

Вихідна частота, $f_{\text{ZQ}} - 48 \text{ МГц}$;

Струм живлення, $I_{\text{ж}} - 35 \text{ мА}$;

Напруга живлення, $U_{\text{п}} - 5 \pm 0,5 \text{ В}$;

Нестабільність частоти, $f_{\text{нест}} - \pm 10^{-6}$;

Вихідні імпульси: прямокутні;

Вихідна напруга, $U_{\text{вих}} - 3,5 \text{ В}$.

Вихідний сигнал сформуємо за схемою помножувача частоти $f_{\text{рез}} = n \cdot f_{\text{ZQ}}$

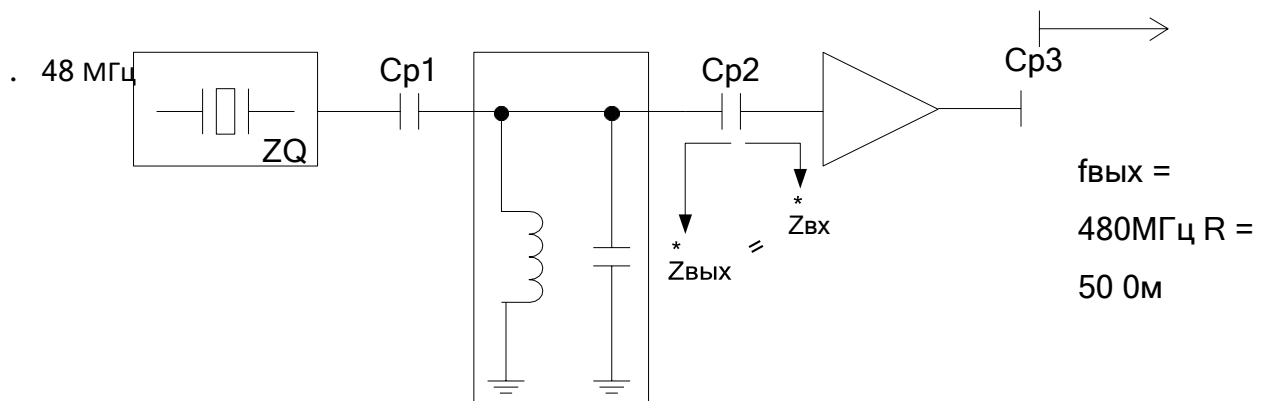


Рис. 3.2 . Генератор вч-сигналу

Якщо $f_{вих}=500$ МГц, то резонансний контур потрібно налаштувати на виділення 10 гармоніки сигналу опорного генератора. Визначимо значення індуктивності контура.

$$f_{рез} = 1/2\pi(L*C)^{-2}.$$

Приймем $C = 120$ пФ. Тоді $L = 45$ нГн. Така індуктивність виконується у вигляді мікросмужкової лінії.

Таким чином, на виході генератора формується тестовий сигнал у формі синусоїдального сигналу частотою 480 МГц.

В якості генератора оптичного сигналу рекомендується використовувати передавальні модулі – оптичні трансивери.

3.4. Вибір елементів вбудованої системи контролю

Оптичні трансивери призначені для передачі сигналів по оптичних волокнах на швидкостях від 100 Mbit /с до 400Gbit /с, на відстані від 150 метрів до 120 км. Сучасні оптичні трансивери - це компактні передавальні модулі, розраховані на різні параметри ліній передачі. Вони встановлюються в стандартні електричні порти обладнання - наприклад, трансивер можна встановити в SFP або SFP + порти, вбудовані в коммутатор. Важно відзначити, що інтерфейси сумісні від більш старшої версії до більш молодшої. Це означає, що як правило ви зможете використовувати SFP трансивер в SFP + порту обладнання. Але в будь-якому випадку не завадить попередньо вивчити таблицю сумісності.

Трансивери дозволяють працювати в дуплексному режимі як з одним волокном, так і з парою, вони відрізняються кількістю роз'ємів: Simplex LC для роботи з одним волокном і Duplex LC для роботи з парою волокон.

Существует два типи трансиверів: одномодові і багатомодові. Вони призначені для роботи з однойменними типами волокон і відрізняються довжиною хвилі, на якій передається максимальна потужність випромінювання: 1310 нм або 1550 нм - для одномодових волокон, 850 нм або 1310 нм - для багатомодових. Самі ж волокна відрізняються діаметром "световодного" каналу (сердечника). Діаметр сердечника одномодового волокна 9 мікрон, а у багатомодового 50 або 62,5. Діаметри зовнішніх оболонок рівні і складають 125 мікрон. Одномодові мережі більш критичні до якості волокон, з'єднань і устаткування, але дозволяють організовувати передачу даних на відстані понад 80км. Багатомодові мережі через зниження вимог дешевше в побудові і експлуатації, але довжина лінії не перевищує 2 км. Так само допускається використання багатомодового оптоволокна з одномодовими трансиверами.

Найбільш перспективними є SFP (SFP+) модулі.

SFP (SFP+) модуль являє собою мініатюрний вузол в металевому корпусі, з одного боку має контакти для під'єднання до головного пристрою (маршрутизатора, комутатора), а з іншого - роз'єми для під'єднання оптичного кабелю (рідше - кручений пари), які до використання закриті пластиковою заглушкою. SFP і SFP+ модулі були розроблені як відповідь на різноманітність видів оптичних кабелю. Замість того, щоб створювати лінійки комутаторів, маршрутизаторів і т. Д., Оснащених різними роз'ємами для різних видів оптичного кабелю / конекторів / відстаней, виробники додають в пристрої порти, а вірніше сказати - порожні слоти, "шахти" під SFP-модулі. Адміністратору мережі залишається тільки підібрати правильний тип оптичного трансивера і вставити його в слот, створивши таким чином оптичний (або мідний) порт потрібного стандарту. Більшість видів SFP і SFP+ мають практично однаковий форм-фактор: ідентичні розміри, схожу конструкцію, матеріал корпусу в обох типів - метал. Це дозволяє зробити слоти для них універсальними. Більшість усталених виробників мережевого устаткування на сьогоднішній день в своїх пристроях

розміщують порти формату SFP +, і передбачають зворотну сумісність, так що в ці слоти найчастіше можна вставляти модулі формату SFP. При цьому, звичайно, SFP трансивер буде працювати відповідно до своїх параметрах, а не характеристиками SFP +. Але потрібно уточнювати, чи є така можливість, наприклад, в пристроях MikroTik часто підтримується тільки SFP +. Зворотній маніпуляція - вставити модуль SFP + в роз'єм для SFP - неможлива. Наявність порту для SFP-модулів в кінцевих маршрутизаторах або комутаторах дозволяє: підключити сегмент локальної мережі, віддалений на відстань понад 100 м, максимальні для мідного кабелю, оптичним кабелем без застосування проміжних підсилювачів; підключитися до провайдера оптичного інтернету без використання абонентського PON-модему; при необхідності здійснювати «гарячу» заміну збійних модулів - вони все її підтримують; при необхідності збільшувати пропускну здатність каналу або його дальність шляхом використання більш «швидкісного» кабелю і відповідних модулів. Розмір роз'єму стандартного SFP-модуля за габаритами відповідає роз'єму RJ45, що дозволяє в пристрої розміром в один юніт (1U) розмістити до 48 SFP-роз'ємів. Більшість виробників в професійних пристроях розміщують один, два або чотири SFP-роз'єму, іноді суміщених попарно з роз'ємами RJ45 (комбо-порти) для більшої універсальності. В останньому випадку, одночасна робота обох портів не допускається, працює той, який був задіяний першим. Оптичні модулі є активним оптоволоконним обладнанням - вони споживають електроенергію і виділяють тепло. Це потрібно враховувати, якщо ви збираєтеся використовувати під SFP модулі в комутаторі / маршрутизаторі велику кількість слотів. Більшість сучасних модулів підтримують функцію цифрового контролю якості зв'язку - DDM, Digital Diagnostics Monitoring, або DOM, Digital Optics Monitoring, що дозволяють діагностувати пошкодження кабелю і збої модулів. Визначити, чи є така підтримка часто можна вже за маркуванням трансивера - в ній присутня буква d. ВИДИ SFP I SFP + МОДУЛІВ Оптичні SFP і SFP + модулі розрізняються по багатьом параметрам, основними з яких є: власне, тип

форм-фактора - SFP або SFP +; для якого типу оптоволоконного кабелю вони призначені - одномодового або багатомодового; максимальна довжина сегмента кабелю; кількість волокон - одне або два; використовувана довжина хвилі; роз'єми під оптику або під RJ-45; використовувана технологія спектрального ущільнення; підтримувані стандарти 1000BASE-X і 1000BASE-T; тип оптичного коннектора. Знати основні параметри модуля необхідно для того, щоб коректно підібрати його під існуючу (або будується) мережу. На більш тонких характеристиках, таких, як тип лазера, потужність випромінювача, ширина спектральної лінії і тому подібних, ми поки зупинятися не будемо, хоча при побудові мережі і підборі сумісних пар модулів вони також можуть мати значення. Пропускна здатність оптичних модулів залежно від підтримуваної технології - Ethernet, STM-1, STM-4, STM-16 або Fibre Channel - модулі можуть підтримувати швидкість: формату SFP - до 4,25 Гбіт / сек; формату SFP + - до 16 Гбіт / сек. Однак, так як у нас найчастіше використовуються оптичні Ethernet модулі, прийнято говорити про швидкість 1 Гбіт / сек для SFP і стандарту. Більшість видів SFP і SFP + мають практично однаковий форм-фактор: ідентичні розміри, схожу конструкцію, матеріал корпусу в обох типів - метал. Це дозволяє зробити слоти для них універсальними. Більшість усталених виробників мережевого устаткування на сьогоднішній день в своїх пристроях розміщують порти формату SFP +, і передбачають зворотну сумісність, так що в ці слоти найчастіше можна вставляти модулі формату SFP. При цьому, звичайно, SFP трансивер буде працювати відповідно до своїх параметрах, а не характеристиками SFP +. Але потрібно уточнювати, чи є така можливість, наприклад, в пристроях MikroTik часто підтримується тільки SFP +. Зворотній маніпуляція - вставити модуль SFP + в роз'єм для SFP - неможлива. Наявність порту для SFP-модулів в кінцевих маршрутизаторах або комутаторах дозволяє: підключити сегмент локальної мережі, віддалений на відстань понад 100 м, максимальні для мідного кабелю, оптичним кабелем без застосування проміжних підсилювачів; підключитися до провайдера

оптичного інтернету без використання абонентського PON-модему; при необхідності здійснювати «гарячу» заміну збійних модулів - вони все її підтримують; при необхідності збільшувати пропускну здатність каналу або його дальність шляхом використання більш «швидкісного» кабелю і відповідних модулів. Розмір роз'єму стандартного SFP-модуля за габаритами відповідає роз'єму RJ45, що дозволяє в пристрої розміром в один юніт (1U) розмістити до 48 SFP-роз'ємів. Більшість виробників в професійних пристроях розміщують один, два або чотири SFP-роз'єму, іноді суміщених попарно з роз'ємами RJ45 (комбо-порти) для більшої універсальності. В останньому випадку, одночасна робота обох портів не допускається, працює той, який був задіяний першим. Оптичні модулі є активним оптоволоконним обладнанням - вони споживають електроенергію і виділяють тепло. Це потрібно враховувати, якщо ви збираєтеся використовувати під SFP модулі в комутаторі / маршрутизаторі велику кількість слотів. Більшість сучасних модулів підтримують функцію цифрового контролю якості зв'язку - DDM, Digital Diagnostics Monitoring, або DOM, Digital Optics Monitoring, що дозволяють діагностувати пошкодження кабелю і збої модулів. Визначити, чи є така підтримка часто можна вже за маркуванням трансивера - в ній присутня буква d. ВИДИ SFP I SFP + МОДУЛІВ Оптичні SFP і SFP + модулі розрізняються по багатьом параметрам, основними з яких є: власне, тип форм-фактора - SFP або SFP +; для якого типу оптоволоконного кабелю вони призначені - одномодового або багатомодового; максимальна довжина сегмента кабелю; кількість волокон - одне або два; використовувана довжина хвилі; роз'єми під оптику або під RJ-45; використовувана технологія спектрального ущільнення; підтримувані стандарти 1000BASE-X і 1000BASE-T; тип оптичного коннектора. Знати основні параметри модуля необхідно для того, щоб коректно підібрати його під існуючу (або будується) мережу. На більш тонких характеристиках, таких, як тип лазера, потужність випромінювача, ширина спектральної лінії і тому подібних, ми поки зупинятися не будемо, хоча при побудові мережі і підборі сумісних пар

модулів вони також можуть мати значення. Пропускна здатність оптичних модулів залежно від підтримуваної технології - Ethernet, STM-1, STM-4, STM-16 або Fibre Channel - модулі можуть підтримувати швидкість: формату SFP - до 4,25 Гбіт / сек; формату SFP + - до 16 Гбіт / сек. Однак, так як у нас найчастіше використовуються оптичні Ethernet модулі, прийнято говорити про швидкість 1 Гбіт / сек для SFP і 10 Гбіт / сек для SFP +. На ринку також представлено кілька 100-мегабітних SFP трансівєров, але їх затребуваність останнім часом все менше. Максимальна пропускна здатність Ethernet SFP-модуля - 1,25 Гбіт / сек. Максимальна пропускна здатність Ethernet SFP + модуля - 10 Гбіт / сек.

Багатомодові і одномодові.

Центральне відмінність між SFP модулями полягає в тому, якого типу оптоволоконний кабель використовується - багатомодовий (MM, MMF) або одномодовий (SM, SMF). У практичному плані це має значення при підборі модулів з урахуванням типу кабелю у вашій мережі, дальності її прольотів, а також сум, які виділяються на її проведення. Багатомодовий кабель має більш товсту серцевину і краще збирає світло від випромінювача. За рахунок цього багатомодові з'єднання значно терпиміше до якості матеріалу, компонентів, випромінювачів і обладнання. Однак, їх серйозним недоліком є обмежена максимальна довжина сегмента кабелю - близько 550 метрів. Тому багатомодові SFP і SFP + модулі використовуються порівняно рідко, хоча зазвичай дешевше одномодових. Дальність передачі для одномодового кабелю без додаткових хитрувань може досягати 80 кілометрів, а при високоякісному кабелі і модулях, і використанні довгої хвилі як на передачу, так і на прийом (1510/1570) - навіть 120 км. Багатомодові і одномодові SFP і SFP + модулі несумісні. Дальність передачі Багатомодові оптичні модулі, як ми вже сказали, підтримують передачу тільки на відстань до 550 метрів. У маркуванні SFP трансівєров це звичайний позначається цифрою 0,5 (наприклад, 0,5LC), є багатомодові модулі з підтримкою ще меншої

дальності. Максимальна дальність одномодових оптичних трансиверів залежить від форм-фактора: SFP-модулі, в основному, випускаються для відстаней 3 км, 10 км, 20 км, 40 км, 80 км (але можуть бути також деякі додаткові варіації), максимально - 120 км. SFP + модулі також випускаються для різних відстаней, але максимум - це 80 км (через високу швидкість з'єднання). Максимальна дальність для SFP - 120 км, для SFP + - 80 км. При цьому використання технологій спектрального ущільнення на швидкостях до 10 Гбіт/сек додатково знижує дальність передачі. Для модулів SFP + WDM, CWDM і т. Д. Максимальна дальність вже не перевищує 60 км. Двоволоконні і Одноволоконні SFP і SFP + модулі випускаються. Двоволоконні (або "двооки" в просторіччі) і одноволоконні ("однооки"). В силу специфіки оптичного кабелю, для організації дуплексу використовується пара волокон. Відповідно, всі SFP-модулі для даних сполук мають по парі кабельних роз'ємів. Один роз'єм призначений для передачі даних, другий - для прийому. До Двоволоконні (двухроз'ємні) відносяться як звичайні модулі, так і CWDM, DWDM. Але підняти мережу з використанням спектрального ущільнення CWDM, DWDM може бути набагато більш вигідним, ніж на звичайних двомодових модулях. Оптичні модулі з технологією ущільнення сигналу WDM - одномодові. Технологія дозволяє використовувати і для передачі, і для прийому сигналу одне волокно (один роз'єм). Такі модулі ще називають Bi-Di ("двонаправлені"). Їх максимальна пропускна здатність, при інших рівних умовах, дорівнює пропускній здатності двомодового трансивера без спектрального ущільнення. Тому використання при побудові мережі BiDi SFP модулів вигідніше звичайних двомодових (без спектрального ущільнення). Двомодові (з двома оптичними роз'ємами) - все SFP і SFP + модулі, крім WDM. Зазвичай ефективність використання в мережі CWDM, DWDM модулів вище, ніж стандартних Двоволоконні. Одноволоконні (з одним роз'ємом) - в основному, тільки WDM модулі. Їх можливості забезпечення загальної пропускної здатності мережі вище, ніж звичайних Двоволоконні, але в у багатьох

випадках поступаються CWDM, DWDM. Існують і Bi-Di (двонаправлені, Одноволоконні) SFP CWDM модулі, однак у продажі на українському ринку їх знайти проблематично. Для оптики і для RJ-45 Слід також згадати, що крім оптичних, більшість постачальників SFP-модулів випускають також варіанти модулів SFP і SFP + з гігабітними портами 1000Base-T (під мідний кабель) для збільшення можливостей розширення мережевих пристроїв з подібними роз'ємами. Такий модуль дозволяє використовувати слот під SFP для створення роз'єму RJ-45 під виту пару, а не під оптику. Довжина хвилі SFP-модулі здійснюють прийом і передачу сигналу на різних довжинах хвилі. Тому при підборі пар приймально-передавачів потрібно враховувати цей фактор, не всі вони будуть сумісні між собою. У звичайних і WDM модулях SFP і SFP +: У багатомодових - 850 / 1550нм. В одномодових - це найчастіше 1310 / 1550нм, для далеких відстаней - 1490 / 1550нм, 1510 / 1570нм. Існують і інші варіації. У модулях CWDM / DWDM: Тут використовуваних довжин хвиль набагато більше, як раз за рахунок цього і реалізується спектральний ущільнення і досягається висока ємність передачі даних по одному волокну. Але про це докладніше в наступній статті. На підтримуваних стандартах Ethernet, типах конекторів і технологіях спектрального ущільнення ми докладно зупинимося в наступній публікації. Колірні маркіровки модулів.

Для того, щоб візуально відрізнити різні типи модулів, була придумана кольорове маркування корпусів. Їх пластикові оболонки роблять червоного, зеленого, жовтого, блакитного та інших кольорів. Але проблема в тому, що кодування типу модуля за кольором засувки не є однозначно затвердженим і загальноприйнятим і часто відрізняється від виробника до виробника. Однак якщо ви працюєте з модулями одного виробника - кольорове кодування може істотно полегшити роботу. Єдиний спосіб однозначно визначити форм-фактор модуля, враховуючи зовнішню схожість SFP і SFP + - маркування. Модулі SFP + стандартів 10GBase-ER і ZR також нерідко довші звичайного і забезпечені радіаторами охолодження, оскільки в процесі роботи можуть

помітно нагріватися. також маркування часто містить інформацію про інші характеристики трансиверів. Кольорове маркування засувок різне у різних виробників. Приклад маркування Наприклад, типова маркування модуля виглядає так: Тут: SFP - тип форм-фактора модуля; 1SM - одне одномодове волокно (одноволоконного модуль); 1550nm - довжина хвилі передавача (трохи нижче аналогічне позначення 1550TX); 3SC - 3 км максимальна довжина сегмента кабелю, SC - тип законцовки кабелю; 1000Base-LX - підтримуваний стандарт Ethernet. Виробник випускає SFP і SFP + трансивери зазвичай в парах, які сумісні між собою. Тому оптимальний варіант - ставити такі парні модулі на обох кінцях кабелю. Стабільна спільна робота непарних модулів не гарантована, навіть якщо вони збігаються з реалізуемому стандарту, довжині хвилі і кількості конекторів. Можливі проблеми навіть з суміщенням двох модулів від одного виробника з різних лінійок або випущених в різні роки. Не виключено пошкодження модулів, помилки прийому / передачі, помилки узгодження дуплексу і навіть пошкодження кабелю.

Модулі SFP (mini-gbic) призначені для передачі даних по двом оптичним волокнам на швидкостях від 125 Мбіт/с до 4,25 Гбіт/на відстані від 150 метрів до 120 км. Дані модулі використовуються для створення дуплексних з'єднань передачі даних Ethernet, SDH, Fiber Channel і вставляються в відповідні комутатори, маршрутизатори, які мають порт SFP. Всі модулі підтримують (опціонально) технологію цифрової діагностики параметрів DDM.

Вибираємо оптичний трансивер SFP28.



Рис.3.3 Оптичний трансивер SFP28.

Характеристики трансивера:

- Промисловий стандарт – SFP, XFP, GBIC и т.п.;
- Оптичний інтерфейс –LC або SC;
- Дальність роботи (відстань) –до 120 км;
- Довжина хвилі – 850-1610 нм;
- Швидкість передачі сигналу– до 20 Гбит/сек.

Вибір приймального модуля.

Приймальний модуль призначений для приймання та обробки тестових та інформаційних сигналів.

PROM-155 - прийомні оптичний модулі для спектрального діапазону 1300/1550 нм, виготовлені на основі InGaAs / InP PIN фотодіода, зістикований з одномодовим (PROM-155s), або багатомодовим (PROM-155m), оптичним волокном. Випускаються в стандартних "DIL- 14pin" корпусах з вбудованими малошумливим трансімпедансним підсилювачем, системою АРУ і підсилювачем-обмежником з диференціальним PECL виходом і PECL-виходом відсутності сигналу в лінії. Модулі мають широкий діапазон робочих температур, високу чутливість і великий динамічний діапазон.

PROM-155 - призначені для роботи в цифрових волоконно-оптичних лініях зв'язку зі швидкістю передачі інформації 155 Мбіт / сек.

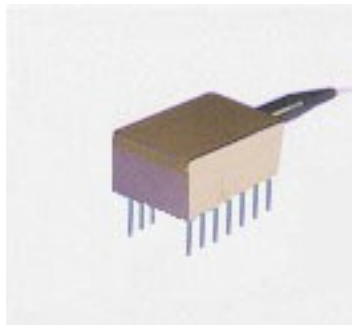


Рис. 3.5 Приймальний модуль PROM-155

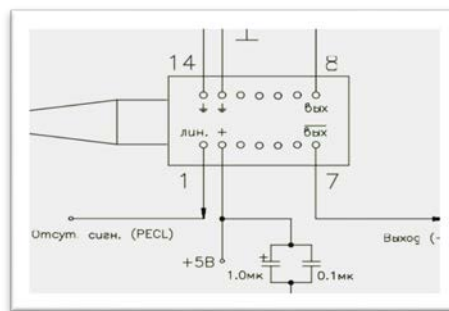


Рис.3.6 Схема підключення приймального модуля PROM-155

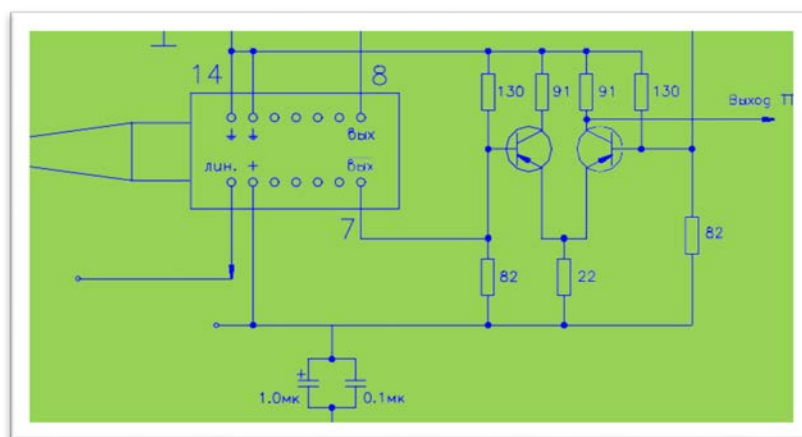


Рис. 3.7 Схема підключення модуля PROM-155 з підсилювачем

На виході приймального модуля формується сигнал невисокого рівня, тому необхідно використовувати високочастотний підсилювач сигналу. На виході фотодіода формується вихідний сигнал частотою 480 МГц, тому робоча частота підсилювача буде 480 МГц.

Вибираємо вч-підсилювач на мікросхемі TSH691 як підсилювач в смузі частот 300- 7000 МГц.

Коефіцієнт передачі мікросхеми TSH691 при напрузі зсуву $V_{be} = 2,7$ В і опорі навантаження 50 Ом в смузі частот до 450 МГц становить 23 дБ, до 900 МГц - 17 дБ.

Практична схема включення мікросхем TSH691 приведена на рис. 3.8. Рекомендовані номінали елементів: $C1 = C5 = 100\ 1000$ пФ; $C2 = C4 = 1000$ пФ; $C3 = 0,01$ мкФ; $L1$ 150 нГн; $L2$ 56 нГн для частот не більше 450 МГц і 10 нГн для частот до 900 МГц. Резистором R1 можна регулювати рівень вихідної потужності (можна використовувати для системи автоматичного регулювання вихідної потужності).

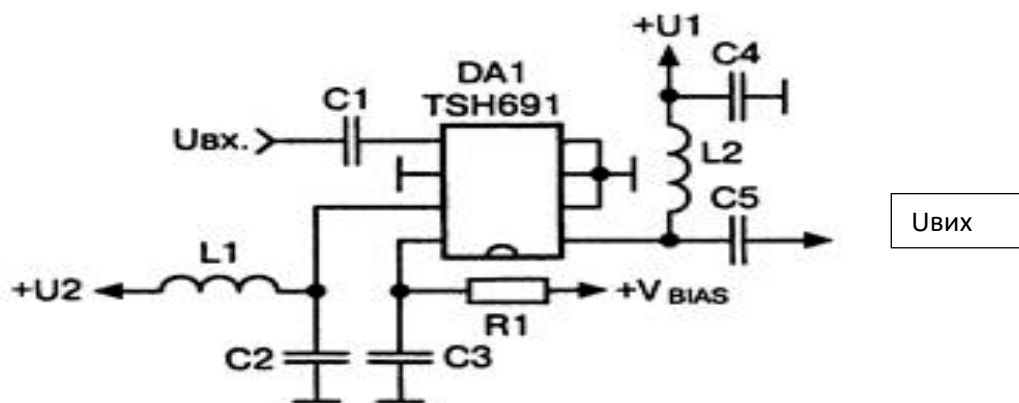


Рис.3.8 Схема високочастотного підсилювача

Таким чином, для системи вбудованого контролю підібрані основні елементи, які забезпечать формування та приймання тестових сигналів.

Блок аналізу сигналів та контролю параметрів ВОК та ВОЛЗ дозволяє аналізувати параметри ВОК та ВОЛЗ.

В основному реалізуються наступні способи контролю параметрів.

1. Вимірювання присутності та потужності сигналу у контрольних точках або на вході телекомунікаційних пристроїв(мультиплексорів, конекторів, тощо). При цьому на виході приймального модуля формується напруга сигналу $U_{пад}$, яка пропорційна потужності сигналу, що передається. При зменшенні рівня $U_{пад}$ формується сигнал відмови передавального трансивера або обриву ВОЛЗ на відповідній ділянці. При цьому при обриві ВОК від точки обриву буде відбиватись сигнал $U_{відб}$, який буде реєструватись приймальним модулем, що дає змогу визначити місце пошкодження ВОЛЗ.



Рис.3.9 Відображення кривих затухання сигналу

2. Рівень затухань сигналу можна визначити по коефіцієнту стоячої хвилі по напрузі КСХН, який визначається

$$КСХН = (U_{пад} + U_{відб}) / (U_{пад} - U_{відб}).$$

КСХН буде змінюватись при виникненні різних відмов та відбитті сигналу від неоднорідностей в межах $0 \dots \infty$, по його значенню можна визначити рівень затухань та пошкодження лінії зв'язку.

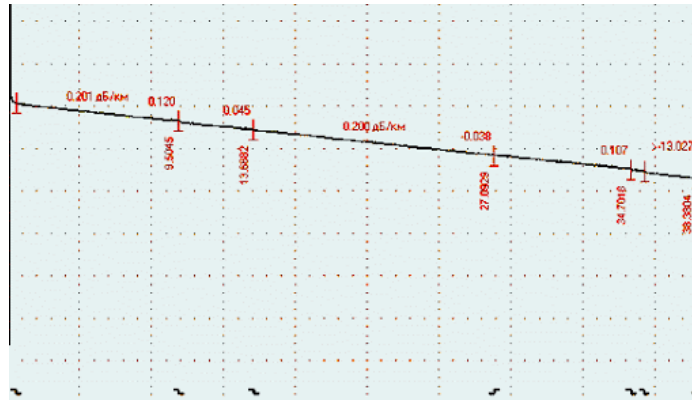


Рис.3.10 Характерні точки відбиття сигналу

3. Вимірювання параметрів ВОК методом зворотного розсіювання

При методі зворотного розсіювання сигнал вводиться і виводиться на одному кінці волоконного світловода. Додатково можна отримати інформацію про процес загасання уздовж світловода. В основу методу покладено релєєвське розсіювання.

Основна частина світлової потужності поширюється в напрямку «вперед», а невелика її частина розсіюється назад до передавача. Ця потужність зворотного розсіювання в міру проходження по волоконному світловоду також зазнає загасання. Частина потужності виводиться і вимірюється.

З цієї світлової потужності зворотного розсіювання і часу проходження по світловоду можна побудувати криву, на якій наочно видно загасання по всій довжині світловода.

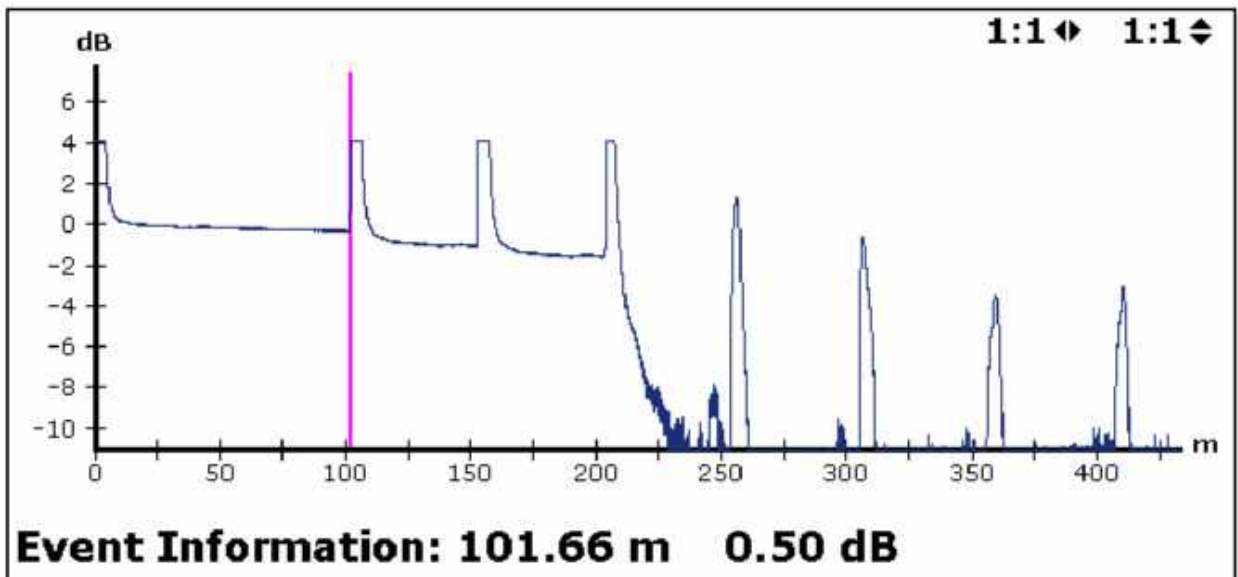


Рис.3.11 Відображення сигналу в режимі зворотнього контролю

Висновки до розділу 3

1. В розділі розроблена структурна схема вбудованої системи контролю ВОЛЗ
2. Проведені розрахунки генератора тестових сигналів високої частоти та генератора імпульсних сигналів
3. Запропоновані комплектуючі елементи системи вбудованого контролю:
 - передавальний трансивер;
 - приймальний трансивер;
 - підсилювач високої частоти.
4. Запропоновано ряд методів контролю параметрів ВОЛЗ у неперервному режимі.

ВИСНОВКИ

1. При експлуатації ВОЛЗ дуже важливим є процес діагностики ВОЛЗ параметрів та характеристик ВОЛЗ, тому що контроль якості ВОЛЗ забезпечує неперервне функціонування ВОЛЗ, своєчасне усунення відмов та втрат інформації, що передається.
2. Існуючі методи та обладнання моніторингу ВОЛЗ вимагають трудоміких робіт кількох працівників і тривалого часу. Обладнання контролю досить вартісне.
3. Виникає потреба у розробці вбудованої системи контролю, яка буде постійно відслідковувати у автоматичному режимі основні параметри ВОЛЗ.
4. Для побудови системи вбудованого контролю пропонується використати технологію «Радіо через Волокно»(RoF).
5. Радіо через волокно (RoF) - це метод перетворення радіосигналу(RF) у світло шляхом модуляції інтенсивності джерела світла (як правило, лазера) за допомогою РЧ-сигнал.
6. Технологія дає ряд переваг перед існуючими системами моніторингу ВОЛЗ і дає можливість побудувати таку систему.
7. Вбудована система контролю забезпечує:
 - автоматичний збір і статистичний аналіз результатів тестування оптичних волокон мережі. Статистичний аналіз дає можливість виявляти і прогнозувати неполадки волокна задовго до того, як вони приведуть до серйозних проблем в мережі;
 - можливість проводити плановий і профілактичний ремонт оптичного кабелю в мережі, не чекаючи появи серйозних пошкоджень та аварій в кабельній системі;
 - підвищену безпеку мережі, оскільки будь-яке несанкціоноване раніше підключення до волокна неминуче призводить до додаткових

втрат в оптичному каналі, а значить, буде виявлено та зафіксовано системою в реальному масштабі часу;

- графічне представлення інформації про стан мережі. На центральному сервері системи встановлена геоінформаційна система, яка містить точну електронну карту цифрової мережі на місцевості. Вся інформація про стан мережі і документація по ОК зберігається в базі даних і може бути графічно представлена на карті. Також на карту виводиться повна інформація про неполадки волокон в ОК, включаючи їх точне фізичне розташування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каток В. Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. Київ, Наука и Техніка, 2013. — 286 с.
2. Родоміров Л., Скопин Ю.Г., Іванов А.Б. Методи і обладнання віддаленого тестування ВОЛЗ // Вісник зв'язку. - 1998. - № 5. - С. 64-71.
3. Чед Тревичик. Решения RF-over-Fiber в радиоэлектронных системах специального назначения. Компоненты и технологии. 2017.- № 7.- С. 14-21.
4. Gowar, John, Optical Communication Systems, 2 ed., Prentice-Hall, Hemstead UK, 2017.
5. Магдій М.С. Система моніторингу оптичної мережі в реальному часі. // Вісник зв'язку. - 2015. - № 4. - С. 24-26.
6. Буров, Євген Вікторович. Комп'ютерні мережі / Є. Буров; — 2-е вид, оновлене і доп. — Львів: БаК, 2003. — 584 с.
7. Шустов М. А., Схемотехника. 500 устройств на аналоговых микросхемах. — СПб.: Наука и Техника, 2013. — 352 с.
8. Красюк Б.А., Корнеев Г.И. Оптические системы связи и световодные датчики. Вопросы технологии. М.: Радио и связь, 1985. - 190 с.
9. Савин Е.З., Колодезная Г.В. Волоконно-оптический модулятор. // Бюллетень научных сообщений/ Под. Ред.В.И.Строганова. Хабаровск. ДВГУПС, 1999 - №4. - С.85-89.
10. Рекомендации по применению восп в системах автоматизации технологических процес сов. РМ 4-234-91
11. <https://lantorg.com/article/kak-vybrat-sfp-sfp-modul>
12. <http://www.at-ez.nl/nfr/>.
13. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>
14. <http://wireless.industrial-networking.com>
15. <https://doi.org/10.1002/9780470744857.ch7>

