

Тема 9. Методи та засоби вимірювань у галузі телекомунікацій та зв'язку

Засоби вимірювань у галузі телекомунікацій прийнято умовно поділяти на два класи: **системне обладнання та експлуатаційне обладнання.**

Засоби вимірювань, що використовуються при налагодженні телекомунікаційних мереж у цілому та їх окремих вузлів із подальшим моніторингом стану всієї мережі, відносять до **системного обладнання.** Засоби системної категорії звичайно інтегруються до складу інформаційно-вимірювальних систем та комплексів, мереж вимірювальних приладів та автоматизованих систем керування зв'язком.

Для забезпечення якісної експлуатації окремих вузлів мереж з оперативним пошуком несправностей та супроводженням монтажних робіт використовують **експлуатаційне вимірювальне обладнання.**

Принципи побудови систем зв'язку зумовлюють існування декількох рівнів вимірювань:

1. Вимірювання параметрів та характеристик системи передачі сигналу.
2. Вимірювання цифрових трактів первинної мережі передачі сигналів.
3. Вимірювання на вторинних мережах зв'язку.

Група вимірювань каналного рівня – це вимірювання інтерфейсів з первинною мережею, параметрів каналів вторинних мереж, пакетної структури інформації, що передається. Ця група вимірювань може відноситися також до вимірювань на первинній мережі.

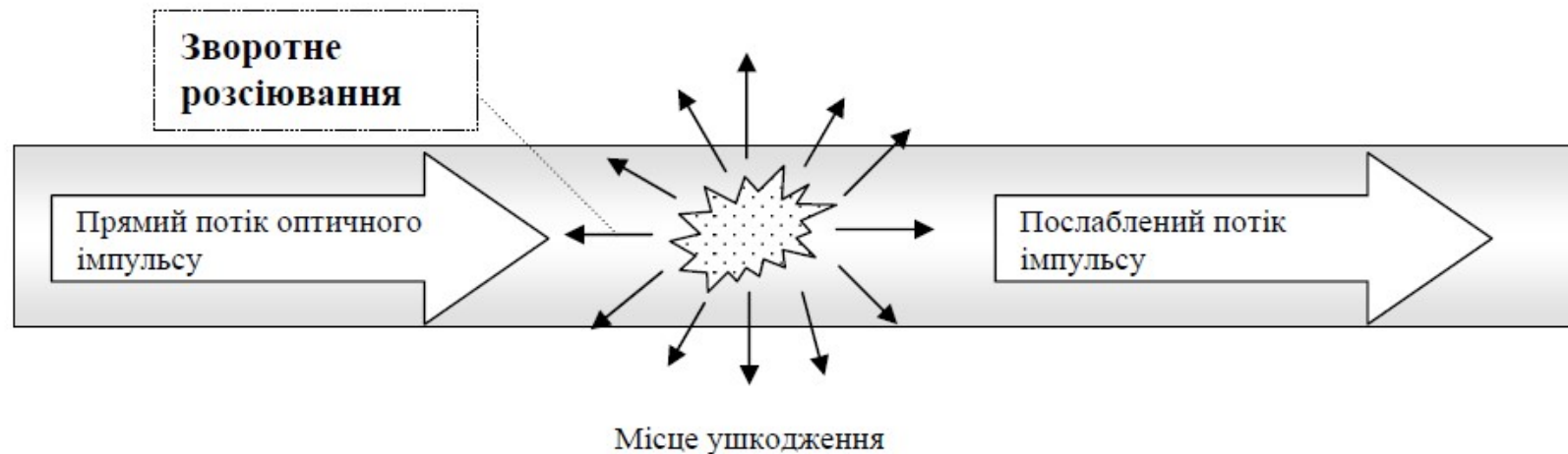
Аналіз протоколів забезпечує група вимірювань, що єдина для вторинних мереж. При цьому повинні використовуватися різні протоколи сигналізації для однозначної організації взаємодії пристроїв мережі. Також створюється спеціальний логічний протокол для аналізу вузлів роботи мережі.

Вимірювання трафіка здійснюється для дослідження можливостей мереж передавати та виконувати комутацію для певного його навантаження.

Метод зворотного розсіювання

Метод зворотного розсіювання застосовується для дослідження різноманітних параметрів оптичних каналів передачі інформації.

Фізичною основою методу є явище зворотного релеївського розсіювання. Якщо у структурі оптичного волокна маєтся деяке пошкодження, то оптичний імпульс, що проходить через неоднорідність волокна, утворює джерело потоку зворотного розсіювання.



Метод зворотного розсіювання дозволяє здійснювати контроль стану оптичних волокон у мережах передачі сигналів, визначати характер та виконувати пошук дефектів у мережах.

Окрім того, цей метод застосовується для метрологічної оцінки таких параметрів, як:

- коефіцієнта згасання в оптичних волокнах;
- відстані від місць з'єднання;
- якості стиків.

Фізично потік зворотного релеївського розсіювання обумовлений флуктуацією показника заломлення серцевини вздовж волокон та відбиттям від розсіяних та локальних неоднорідностей.

Потужність зворотного потоку, що розсіюється:

$$P_s(t) = \frac{P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot a_d}{2} e^{-\alpha \cdot v_g \cdot t}$$

P_0 – максимальне значення амплітуди імпульсу зондування в точці його вводу;

Δt – тривалість зондуючого імпульсу;

α – коефіцієнт згасання оптичного волокна, дБ/км;

v_g – групова швидкість розповсюдження оптичного імпульсу

Потужність зворотно розсіяного потоку $P_s(t)$, що вимірюється в точці надходження оптичних імпульсів в оптичне волокно, визначається потужністю зворотного розсіювання у точці волокна, яка розташована на відстані x від місця вимірювань.

На практиці для спрощення розрахунків використовується поняття коефіцієнта зворотного розсіювання, який враховує параметри S та a_d

$$k = \frac{1}{2} S a_d$$

Коефіцієнт зворотного розсіювання змінюється вздовж оптичного волокна і є випадковою величиною, зміни якої обумовлені флуктуацією показника заломлювання та флуктуацією геометричних параметрів оптичного волокна.

Згідно з цим реальна залежність $p_s(t)$ також піддається флуктуаціям.

Таким чином, метрологічні оцінки параметрів оптично-волоконної лінії можна отримати шляхом аналізу даних вимірювання потужності зворотного потоку оптичного випромінювання, що надходить на ближній кінець оптичного волокна.

З метрологічної точки зору **вимірювання характеристик оптичного волокна методом зворотного розсіювання є непрямими**, оскільки шуканий параметр визначається за допомогою математичної обробки результатів вимірювань потужності зворотного потоку оптичного випромінювання.

Оскільки припускається, що параметри оптичного волокна у прямому та зворотному напрямках ідентичні з певною похибкою, то характеристики розповсюдження оптичного сигналу у прямому напрямку визначають за зміненням потужності випромінювання, що розповсюджується у зворотному напрямку.

При дослідженні параметрів оптичного волокна методом зворотного розсіювання необхідно враховувати наявність шуму. Звичайно шум характеризується його потужністю, що є випадковою функцією, обумовленою сукупністю факторів.

Ряд складових шуму не залежить від рівня потужності оптичного сигналу, що передається у мережу. До таких складових відносяться: **теплові шуми фотоприймача; власні шуми лазера.**

Інші складові шуму визначаються потужністю інформаційного сигналу: дробовий шум фотоприймача; модовий шум; шуми, зумовлені взаємодією лазера з нерегулярним волокном.

Загалом потужність зворотного потоку, що вимірюється на ближньому кінці оптичного волокна, можна представити у вигляді суми потужностей зворотно розсіяваного потоку, відбитого потоку та потужності шуму

$$P(t) = P_s(t) + P_F(t) + P_N(t)$$

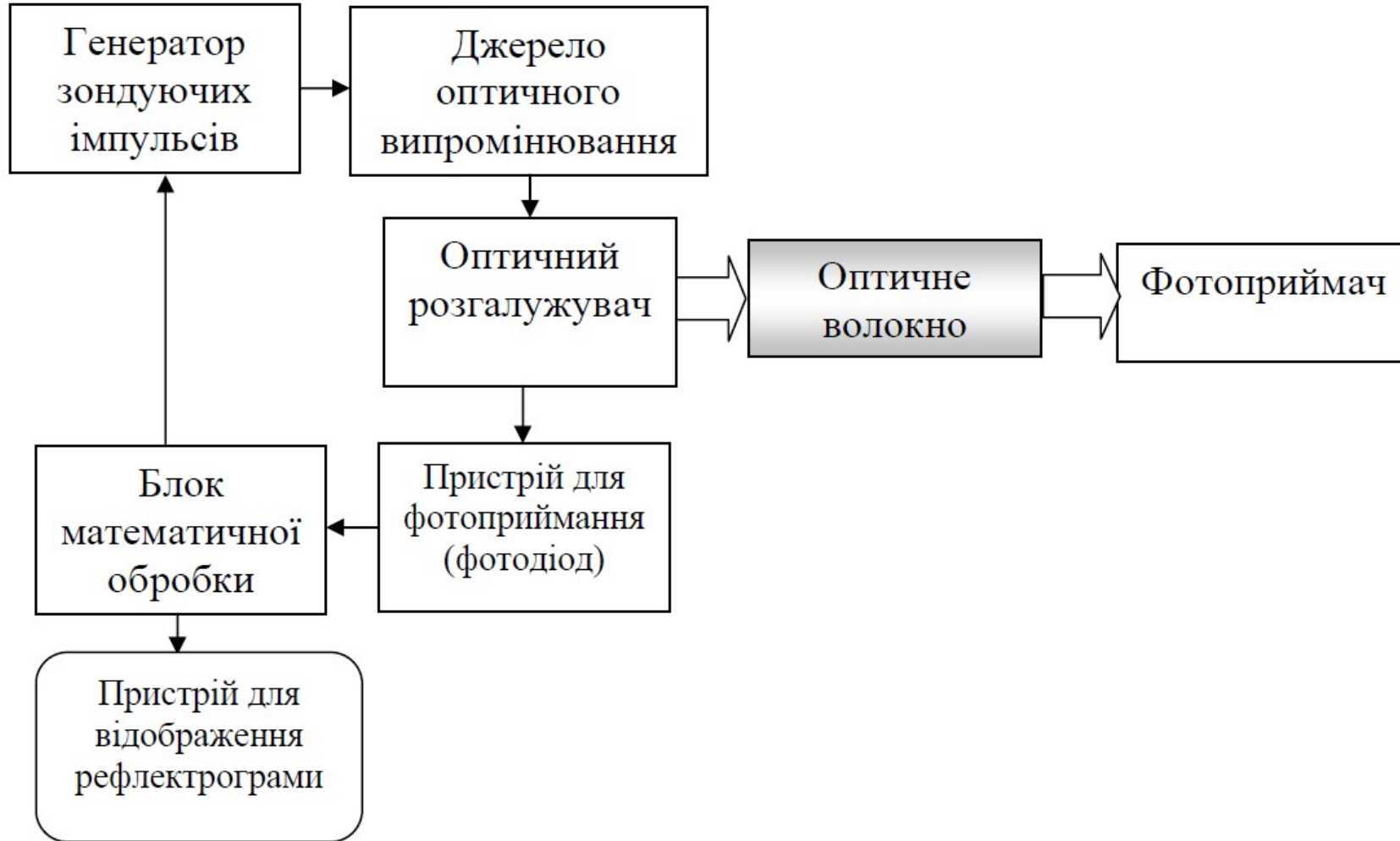
Результуюча потужність шуму суміжна з потужністю зворотно розсіяного потоку, що значно ускладнює фізичну реалізацію методу зворотного розсіювання.

Однією із основних проблем реалізації методу зворотного розсіювання є виділення корисного сигналу на фоні високого рівня завад

На сьогодні відомі такі способи реалізації методу зворотного розсіювання:

1. **Метод зворотного розсіювання у часовій області** – Optical Time Domain Reflectometry (OTDR).
2. **Метод зворотного розсіювання на базі безперервного випромінювання** – Optical Continuous Wave Reflectometry (OCWR).
3. Метод зворотного розсіювання у частотній області – Optical Frequency Domain Reflectometry (OFDR).
4. **Інтерферометричний метод зворотного розсіювання** – Optical Coherence Domain Reflectometry (OCDR).
5. **Кореляційна рефлектометрія** – Correlation Optical Time Domain Reflectometry (COTDR).

Найбільш розповсюдженим є метод зворотного розсіювання у часовій області



Структурна схема апаратури типу OTDR

Генератор зондуючих імпульсів створює на виході оптичні імпульси.

Джерело оптичного випромінювання виконує функцію модуляції вхідних оптичних імпульсів по оптичній несучій за інтенсивністю. Таким чином створюються зондуючі імпульси.

Зондуючі імпульси потрапляють на **оптичний розгалужувач**, а потім розповсюджуються у прямому напрямку в **оптичне досліджуване волокно** через пристрій вводу.

У зворотному напрямку через оптичний розгалужувач на вхід **пристрою для фотоприймання** потрапляє сигнал зворотного розсіювання. Пристрій для фотоприймання являє собою фотодіод з високою чутливістю, що перетворює оптичний сигнал у електричний.

Пристрій відображення служить для графічного зображення сигналу зворотного розсіювання. Відхилення вимірюваного сигналу по горизонтальній осі відбувається під дією пилкоподібної напруги розгортки. Вертикальна вісь пристрою відображення призначена для спостереження за змінами характеристики сигналів зворотного розсіювання.

Сигнали зворотного розсіювання попередньо перетворюються у **блоці математичної обробки**, а потім поступають у канал вертикального відхилення пристрою відображення.

Абсциса характеристики прямо пропорційна часу затримки зворотного сигналу відносно моменту відправлення зондуєчого імпульсу

Отримана залежність рівня потоку зворотного розсіювання від відстані (часу) називається **характеристикою зворотного розсіювання** або **рефлектограмою**.

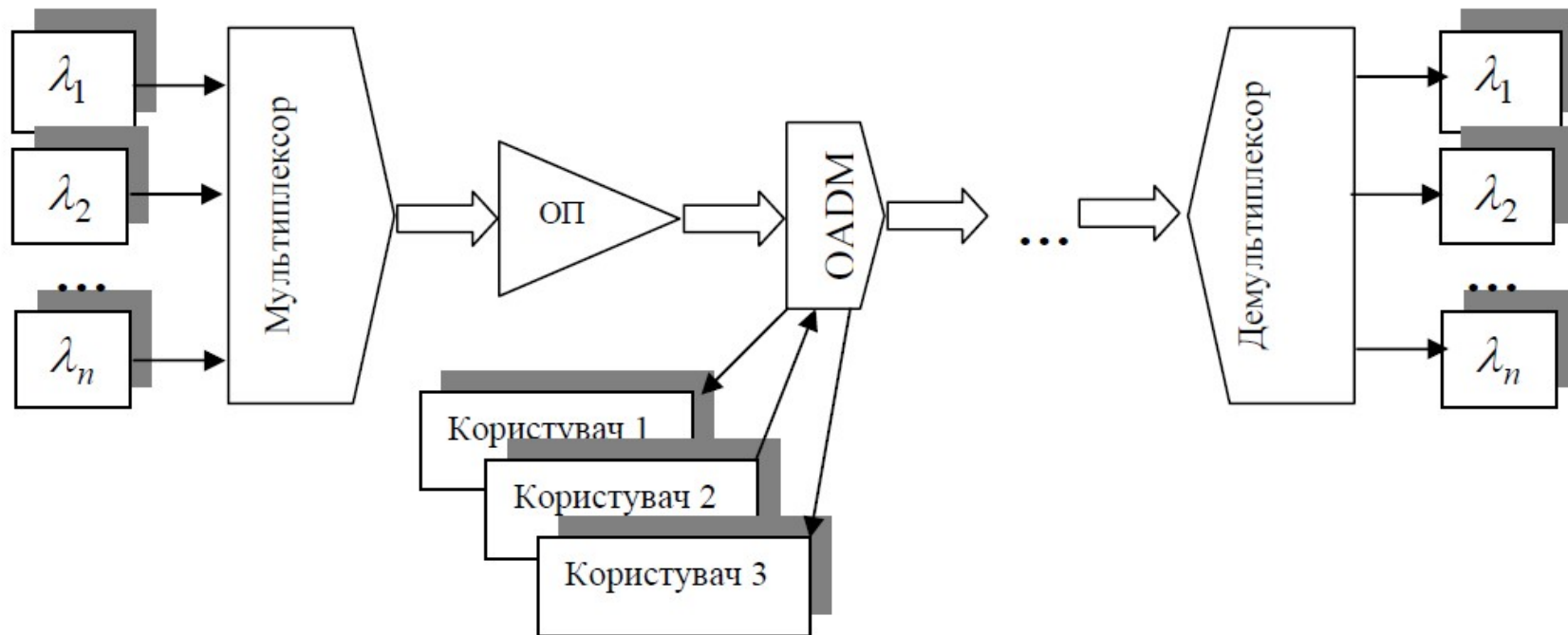
Основними параметрами оптичних рефлектомерів OTDR є **відокремлювальна здатність, динамічний діапазон, “мертва” зона**

Методи та засоби вимірювань параметрів передачі систем WDM

Системи WDM (Wavelength Division Multiplexing) – це системи спектрального ущільнення. Принцип дії оснований на спроможності оптичного волокна передавати випромінювання хвиль з різноманітною довжиною без взаємної інтерференції. При цьому кожна довжина хвилі являє собою окремий оптичний канал у волокні.

Для з'єднання сигналів оптичних хвиль різної довжини використовується спеціальний **оптичний мультиплексор**. Він перетворює окремі хвилі різної довжини, що утворюються одним чи декількома оптичними передавачами, у багатоканальний складний оптичний сигнал.

При значних відстанях передачі сигналів застосовують оптичні підсилювачі. На кінці такої оптичної лінії використовується **оптичний демультиплексор**, що виконує функції приймання групового сигналу та виділення з нього вихідних каналів хвиль різної довжини.



Структурна схема системи WDM

При необхідності вводу/виводу окремих складових багатоканального сигналу в будь-якому проміжному вузлі встановлюється **мультиплексор вводу/виводу** (OADM – Optical Add/Drop Multiplexer) або пристрій крос-комутації.

Основними параметрами систем WDM, які підлягають дослідженню з використанням засобів вимірювальної техніки, є:

- 1.** Довжина хвилі спектрального максимуму – це довжина, на якій може бути досягнутий максимальний рівень потужності сигналу в спектральному діапазоні досліджуваного каналу.
- 2.** Центральна довжина хвилі окремого каналу – це середнє арифметичне значення між верхньою та нижньою межами довжини хвилі відсічки певного каналу.
- 3.** Відхилення центральної довжини хвилі каналу визначається як різниця між номінальною довжиною хвилі каналу частотного плану та дійсною.
- 4.** Інтервал між каналами визначається як різниця між центральною довжиною хвиль сусідніх каналів.
- 5.** Смуга пропускання по рівнях – це та частина спектра оптичного передавального сигналу в межах якої всі спектральні складові перевищують деякій апріорно визначений пороговий рівень. Ця величина визначає спектральний діапазон, у межах якого пристрій може бути ефективно використаним.

- 6.** Потужність оптичного випромінювання у каналі, яка зазвичай вимірюється на основі спектральної характеристики.
- 7.** Сумарна потужність оптичного випромінювання багатоканального сигналу визначається як потужність оптичного випромінювання при передачі групового потоку спектрального ущільнення.
- 8.** Максимум розбігу потужності в оптичних каналах визначається як різниця між найбільшим та найменшим значеннями потужності оптичних сигналів у каналах.
- 9.** Параметр “відношення сигнал/шум” у каналі повинен відображувати перевищення потужності корисного оптичного сигналу над шумовим фоном для кожного каналу.
- 10.** Ізоляція визначає рівень послаблення сигналу даного каналу в інших каналах, де цей сигнал не є основним.
- 11.** Характеристики перешкод. Основні види перешкод, що підлягають вимірюванню такі: перехрестна перешкода на дальньому кінці, перехідна перешкода.

Для кількісної оцінки вказаних параметрів використовуються **аналізатори оптичного спектра** (Optical Spectrum Analyzers - OSA), в яких застосовані такі методи виділення довжини хвиль:

- інтерферометричний метод;
- метод на основі дифракційних ґраток;
- метод Фабрі-Перо.

В основу **інтерферометричного методу** закладено інтерференцію двох пучків вхідного оптичного випромінювання. Ці пучки проходять по різних оптичних плечах інтерферометра. Потім світло перетворюється в електричний сигнал. Електрична величина аналізується за допомогою швидкого перетворення Фур'є, що дозволяє отримати спектральну характеристику досліджуваного сигналу.

Перевагою даного методу є широкосмужність, стабільність, точність, високий динамічний діапазон.

До **недоліків** можна віднести дороговизну, складність конструкції через наявність рухомого дзеркала.

Основа **методу дифракційних штахетів** полягає у віддзеркалюванні променів світла під різним кутом залежно від довжини хвилі. При русі штахетів відбувається “сканування” усіх хвиль різної довжини у спектрі вхідного оптичного сигналу. Спектральні складові вхідного сигналу розподіляються по лінійці окремих фотодетекторів або попадають на одиночний рухомий фотодетектор.

Переваги методу – широкосмужність, високий динамічний діапазон.

Недоліки – низька абсолютна точність вимірювань, оскільки калібрування абсолютної довжини хвилі залежить від положення механічних компонентів.

Метод Фабрі-Перо оснований на застосуванні поверхневого резонатора. Резонатор утворюється за допомогою двох паралельних віддзеркалювальних пластин, установлених на заданій відстані за допомогою п'єзоелементів. Утворюється фільтр Фабрі-Перо, принцип дії якого: довжина хвилі, на яку налагоджений резонатор, подається на детектор, інші спектральні складові приглушуються.

Переваги: висока точність та відсутність рухомих частин, що дозволяє використовувати апаратуру у польових умовах.

Недоліки: обмеженість за динамічним діапазоном.

Застосування око-діаграм для оцінки параметрів цифрових сигналів

Око-діаграми використовуються для оцінки параметрів цифрових сигналів при проведенні лабораторних вимірювань, системних досліджень інформаційно-вимірювальних систем, при пуско-налагоджувальних та експлуатаційних випробуваннях.

Принцип дії методу вимірювань, що оснований на використанні око-діаграм, базується на періодичній структурі цифрового сигналу та є **різновидом осцилограм**. Для побудови графіка дворівневої око-діаграми необхідно подати код на вхід осцилографа із синхронізацією зовнішньої розгортки від бітового потоку з частотою f_b .

По осі абсцис око-діаграми відкладено час, а осі ординат – амплітуду досліджувальних сигналів. Для калібрування око-діаграми сигнал поступає безпосередньо на вхід осцилографа, при цьому зображення на екрані має вигляд прямокутника. Реальна осцилограма сигналу поділяється посимвольно відповідно до синхронізуючих імпульсів генератора.

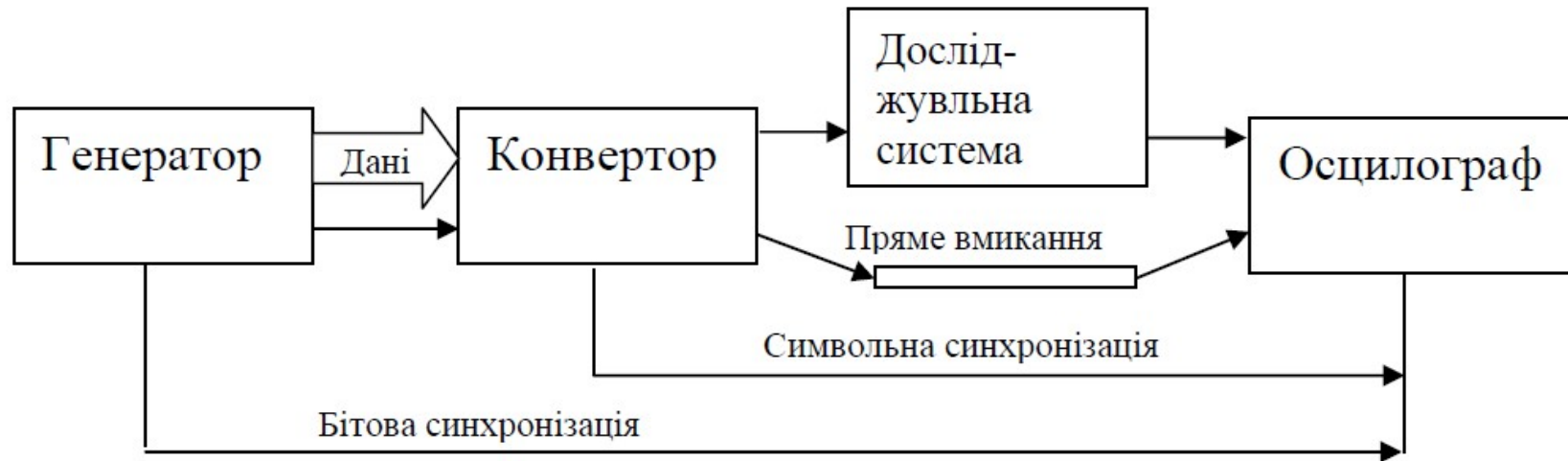


Схема побудови око-діаграми

Метрологічне дослідження око-діаграм дозволяє виконувати детальний аналіз цифрового сигналу за такими параметрами: межсимвольна інтерференція; *джитер* передачі даних; *джитер* синхронізації та ін.

Параметри, що вимірюються за допомогою око-діаграм

1. **Глибина модуляції** визначається як логарифм відношення середньої потужності сигналу при передачі логічної одиниці до середньої потужності сигналу при передачі логічного нуля.

Цей показник – одна із складових, щовизначають довжину лінійного тракту з належною передачею та приймання цифрових сигналів.

2. **Q-фактор**. Показником якості цифрових систем передачі інформації є **коефіцієнт похибок**, що позначається як k_{nox} або **BER–Bit Error Ratio**. Q-фактор – це параметр, який безпосередньо відображує якість сигналу цифрової системи передачі даних. Існує певна функціональна залежність Q-фактора цифрового сигналу та коефіцієнта похибок *BER*.

Q-фактор оцінюється за допомогою око-діаграми цифрових імпульсів шляхом статистичної обробки результатів вимірювання амплітуди та фази сигналу на електричному рівні.