

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

ВОЛОКОННИЙ ЕРБІЄВИЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТИ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

08-34.МКР.005.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-17м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Жупанов Д. О.
Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ
Городецька О. С.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. РТ
Воловик А.Ю.

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

Актуальність дослідження. Волоконні лазери володіють такими перевагами як: високий ККД, малі габарити, і відносно низька вартість. Дані переваги дозволяють використовувати волоконні лазери з синхронізацією мод у випадках, коли потрібно мобільне джерело високостабільного лазерного випромінювання для різних областей науки і техніки (фундаментальні дослідження, навігація, дальнометрія і ін.).

Лазери з синхронізацією мод можуть бути використані для створення синтезатора оптичних частот, який є одним з основних блоків в конструкції фемтосекундних оптичних генераторів (ФОГ).

Для створення синтезатора частот на основі волоконного лазера з синхронізацією мод, такий лазер повинен забезпечувати стабільну генерацію гребінки еквідистантних оптичних частот (відповідних поздовжнім модам лазера), параметри якої можуть бути визначені з гранично високою точністю при стабілізації по оптичному стандарту частоти.

Таким чином, *мета магістерської кваліфікаційної роботи* полягає в дослідженні фізичних основ створення компактного волоконного фемтосекундного синтезатора частот, призначеного для перенесення стабільності частоти оптичного стандарту (Nd: YAG / I2) в радіодіапазон.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі завдання:

1. Визначити оптимальну конфігурацію опорного волоконного ербієвого лазера з синхронізацією мод для мобільного фемтосекундного синтезатора частот.
2. Провести дослідження по оптимізації характеристик високонелінейних волокон з метою досягнення ефективного розширення оптичного спектру задає фемтосекундного волоконного лазера до октави при порівняно низькою пікової потужності випромінювання.
3. Розробити і дослідити методи стабілізації спектральних компонент випромінювання фемтосекундного волоконного ербієвого лазера по частоті Nd: YAG / I2 оптичного стандарту.
4. Провести дослідження для оцінки нестабільності вихідних частот макета МФОГ на основі розробленого волоконного ербієвого синтезатора, стабілізуемого по частоті Nd: YAG / I2 оптичного стандарту.

Практична значимість МКР:

Наведені дослідження і розробки доводять можливість створення компактного волоконно-оптичного синтезатора частот для реалізації мобільних фемтосекундних оптичних генераторів (МФОГ). Ми виявили такі переваги як: менша чутливість до зовнішніх збурень, мають малі габарити і енергоспоживанням. Дані переваги дозволяють в перспективі використовувати МФОГ у внелабораторних умовах для прецизійних вимірювань оптичних і радіочастот, метрологічного забезпечення навігаційних, телекомунікаційних та лідарних систем.

Апробація роботи. Результати повідомлені на наступних семінарах і конференціях: тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи 2019» (м. Вінниця, 21.05.2018 – 30.05.2018) Вінниця, 2018.



МКР_Жупанов

Завантажено: 01/06/2019

Перевірено: 01/06/2019

Інтернет + Бібліотека

100% Оригінальність

0% Схожість

30 Джерела

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ФОГ

В розділі 1 розглянуто різні типи резонаторів лазерів, а також режими синхронізації мод, які в них можна реалізувати. Описано переваги і недоліки кожної з схем і режимів. Крім того, в розділі розглянуто фізичні ефекти, що відповідають за перетворення випромінювання на виході волоконного лазера. Розглянуто принципи розширення спектра і фактори, які впливають на тривалість імпульсів випромінювання волоконного лазера з синхронізацією мод. Визначено переваги використання волоконних ербієвого лазерів для реалізації МФОГ.

У розділі 2 визначені основні блоки фемтосекундного синтезатора частот (СЧ) і стисло описані характеристики Nd: YAG / I₂- оптичного стандарту частоти, використовуваного для стабілізації волоконного ербієвого синтезатора частот.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ФОГ

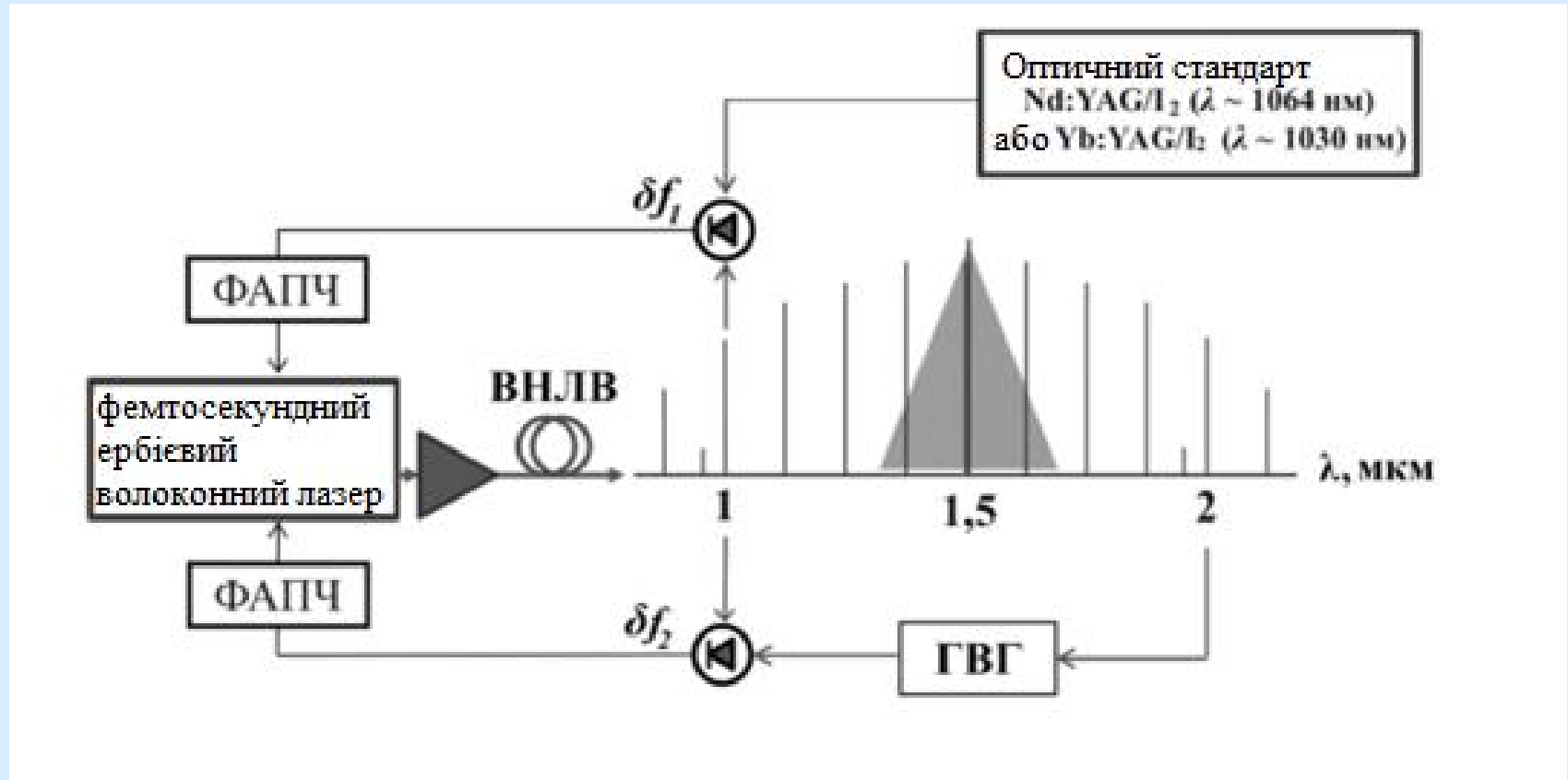


Рисунок 1 – Структура і принцип стабілізації фемтосекундного синтезатора частот для МФОГ

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ФОГ

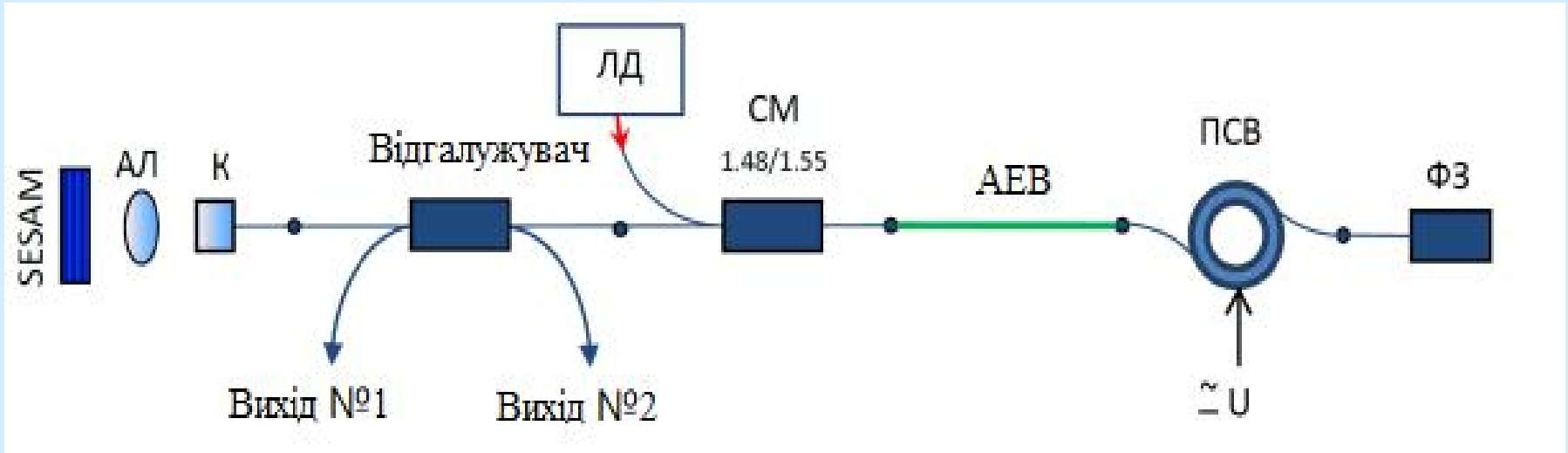


Рисунок 2 – Схема фемтосекундного волоконного ербієвого лазера

Для досягнення високої енергетичної ефективності і мінімізації проявів оптичної нелінійності в лазері застосовується активне волокно зі збільшеною ефективною площею поля моди і високою концентрацією ербію ($\sim 4,7 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$) виробництва фірми nLIGHT (Liekki Er80-8 / 125).

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ФОГ

Для усунення недоліків лінійного резонатора схема волоконного лазера була вдосконалена (рис. 2). Лазер має гібридну лінійно-кільцеву конфігурацію резонатора, подібну запропонованої раніше в роботі. Відмінністю даної схеми є комбінований спосіб синхронізації мод, який раніше досліджувався в іттербієвому волоконному лазері.

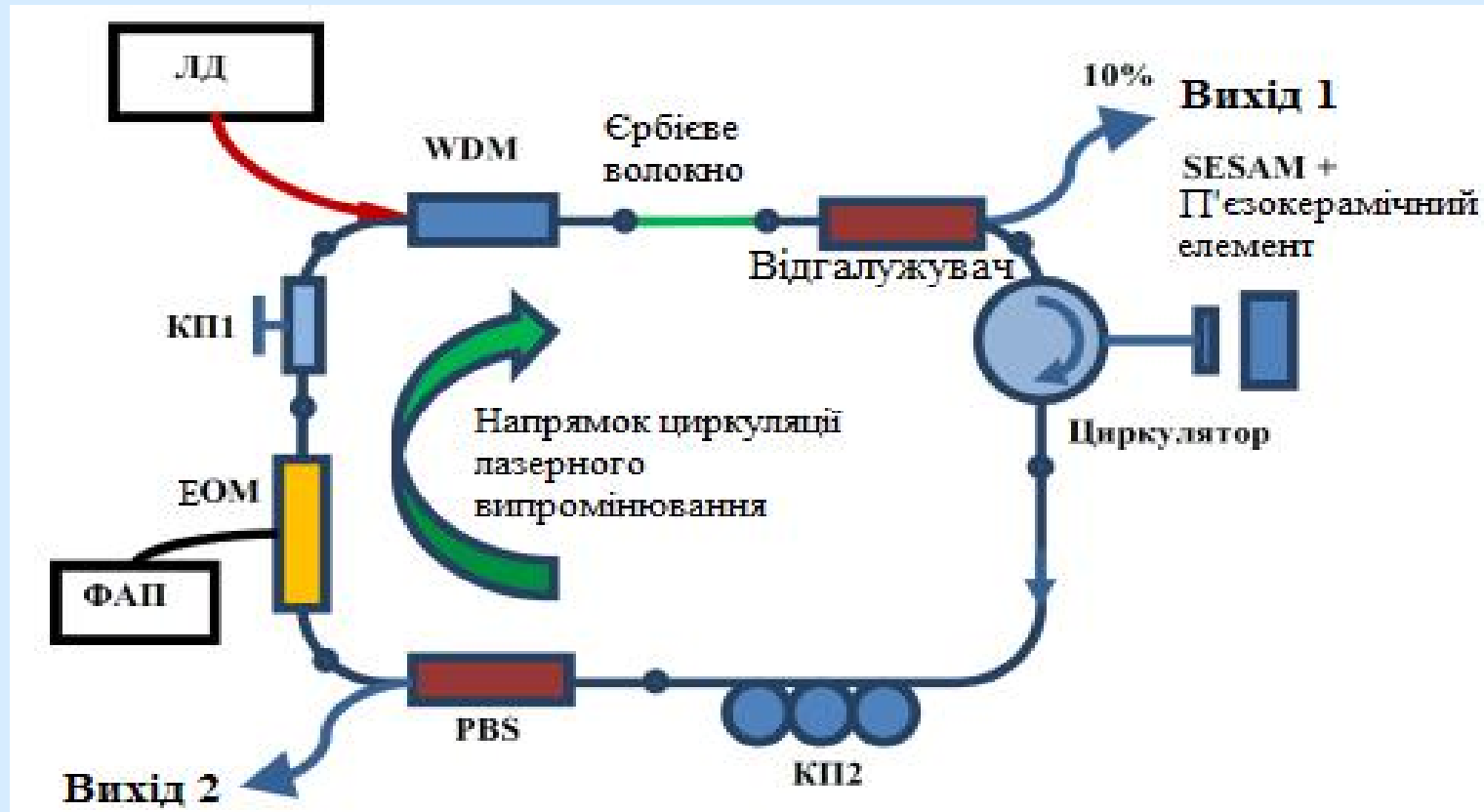


Рисунок 3 – Схема волоконного фемтосекундного Er лазера

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ФОГ

Синхронізація мод в модернізованій схемі досягається за рахунок ефекту нелінійної еволюції стану поляризації в волокні. Переваги такого підходу - мінімальна тривалість імпульсів і низький рівень фазових шумів.

На рис. 2.15 приведена схема модернізованого фемтосекундного ербієвого волоконного лазера.

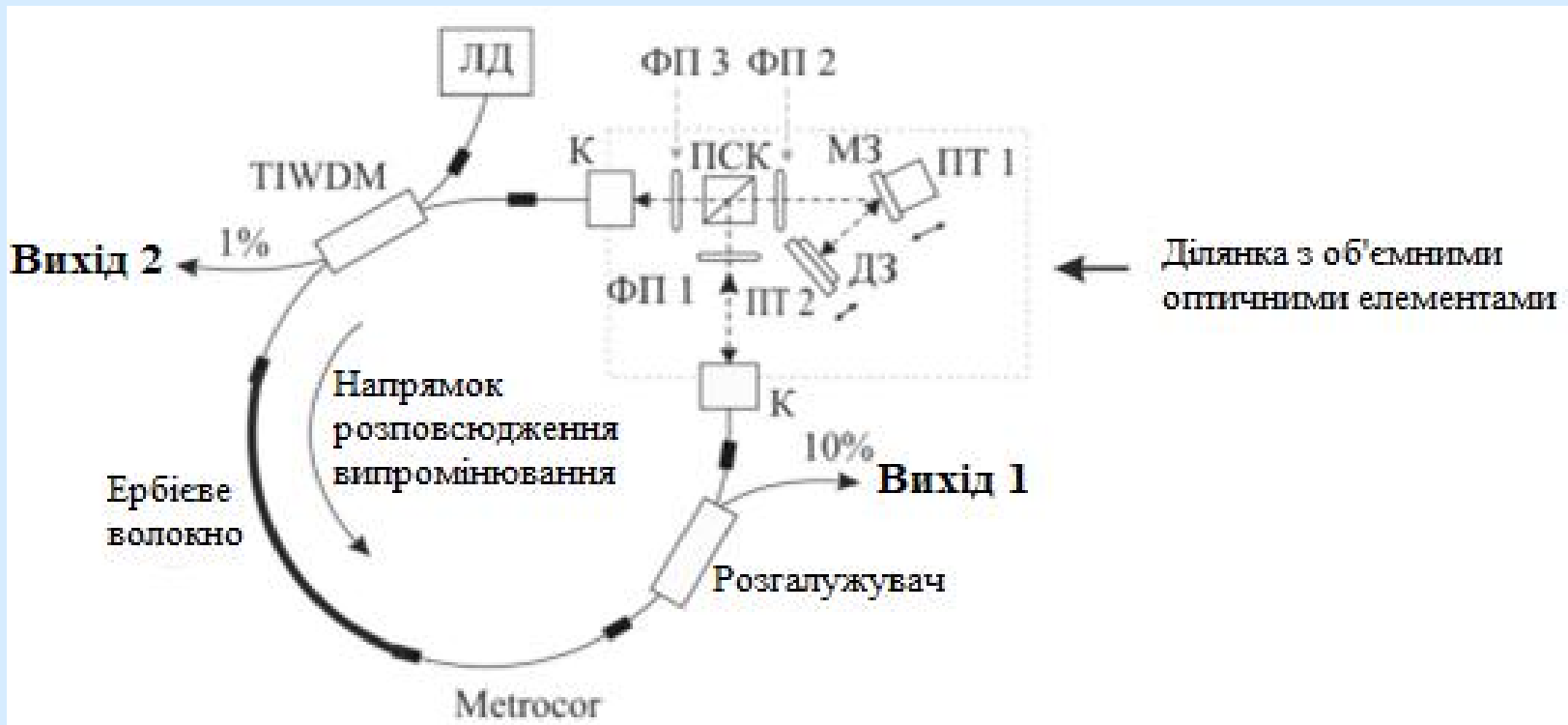


Рисунок 4 – Схема волоконного фемтосекундного Ер лазера

СТАБІЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ПО ЧАСТОТІ ОПТИЧНОГО СТАНДАРТУ

У розділі 3 наведені дослідження, що підтверджують можливість реалізувати мобільний фемтосекундний оптичний генератор на основі ербієвого волоконного синтезатора частот. Визначено нестабільність, яку вносить розроблений волоконний синтезатор в вихідні оптичні та радіочастоти МФОГ. Також представлені результати попередніх вимірювань вихідний радіочастоти МФОГ.

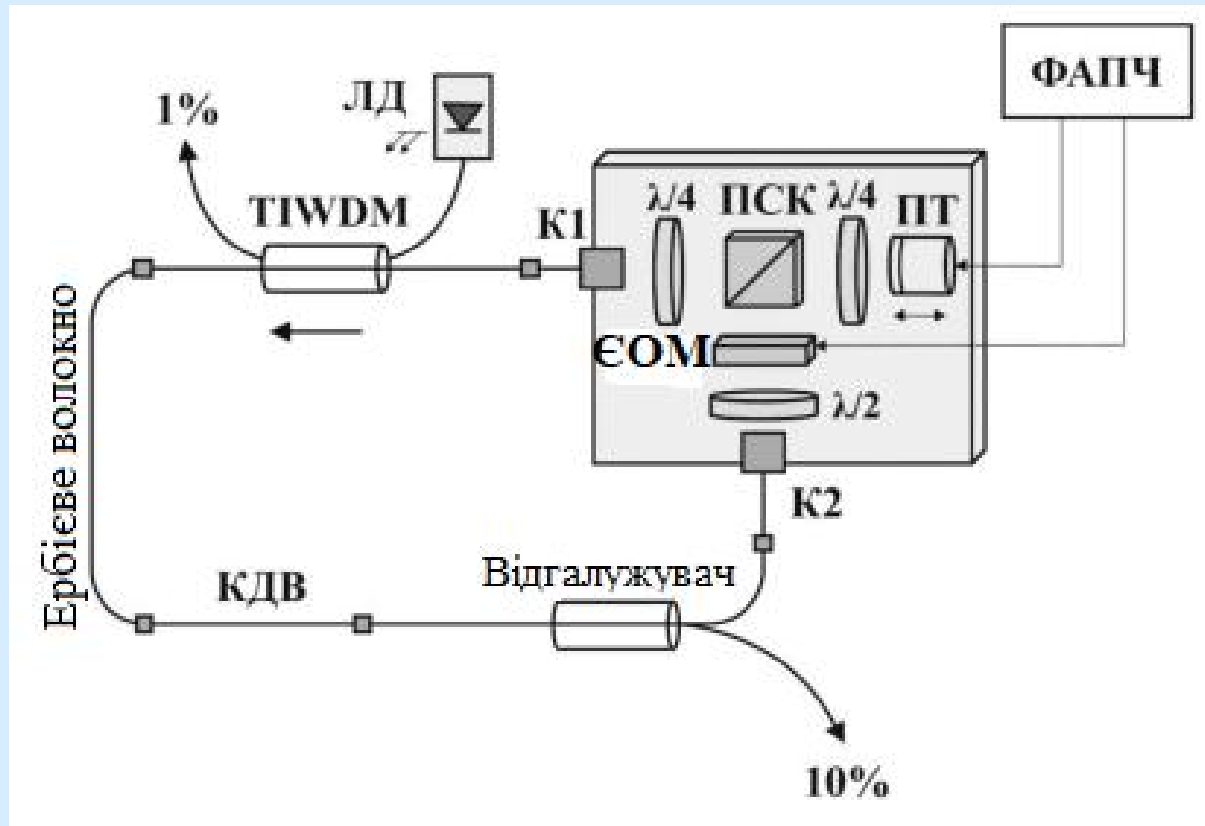


Рисунок 5 – Схема опорного фемтосекундного волоконного лазера з вбудованим резонаторними ЕОМ на основі кристала КТР

СТАБІЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ПО ЧАСТОТІ ОПТИЧНОГО СТАНДАРТУ

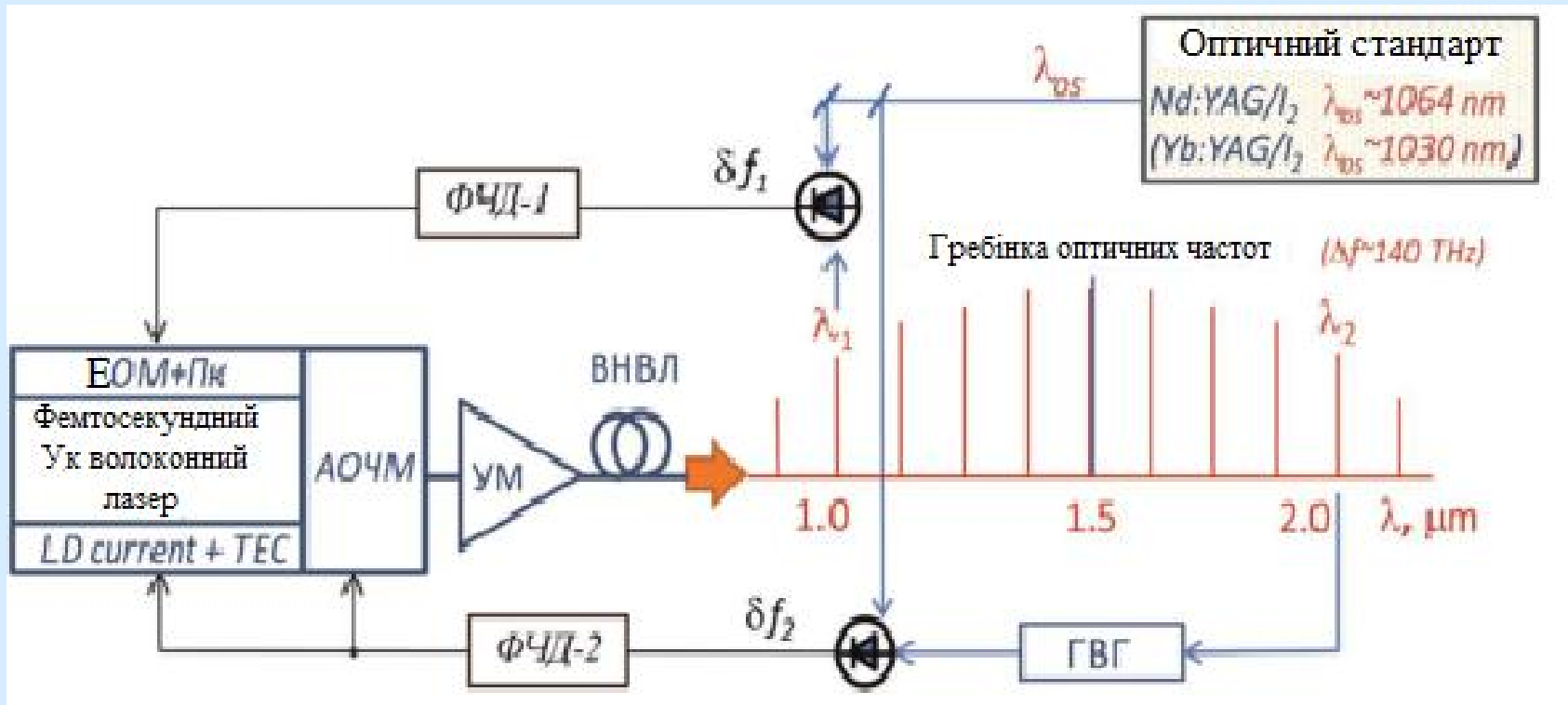


Рисунок 6 – Принцип стабілізації фемтосекундної гребінки оптичних частот синтезатора

Для одночасної стабілізації короткохвильового і довгохвильового краю гребінки оптичних частот був використаний унікальний метод фазового автопідстроювання частот (ФАПЧ) за допомогою мініатюрного вбудованого електрооптичних фазового модулятора і акустооптичного частотного модулятора (АОЧМ) в волоконному виконанні (фірми Grimrose) розташованого на виході ербієвого волоконного лазера. Обраний підхід дозволив реалізувати смуги відпрацювання ФАПЧ шириною ~ 200 кГц і ~ 100 кГц у відповідних петлях зворотного зв'язку (ЗЗ).

СТАБІЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ПО ЧАСТОТІ ОПТИЧНОГО СТАНДАРТУ

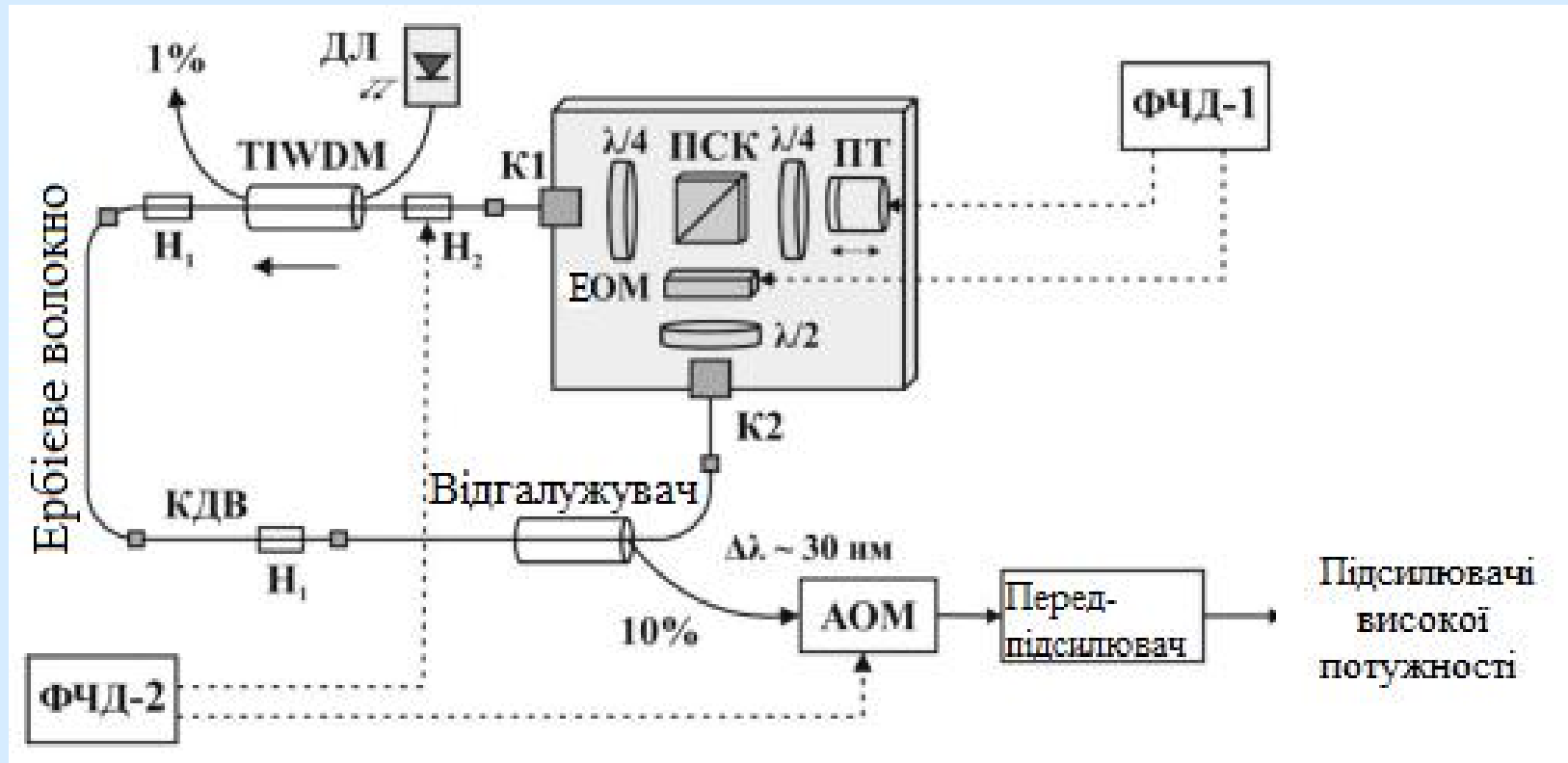


Рисунок 7 – Схема опорного фемтосекундного волоконного лазера з вбудованим ЕОМ на основі кристала КТР

Для швидкого широкосмугового відпрацювання фазочастотних відхилень за допомогою АОЧМ в петлю зворотного зв'язку ФЧД-2 для повільних відпрацювань були додані температурний контроль декількох сантиметрів волокна всередині резонатора (за допомогою нагрівача на основі елемента Пельтьє) і контроль потужності накачування лазера.

СТАБІЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ПО ЧАСТОТІ ОПТИЧНОГО СТАНДАРТУ

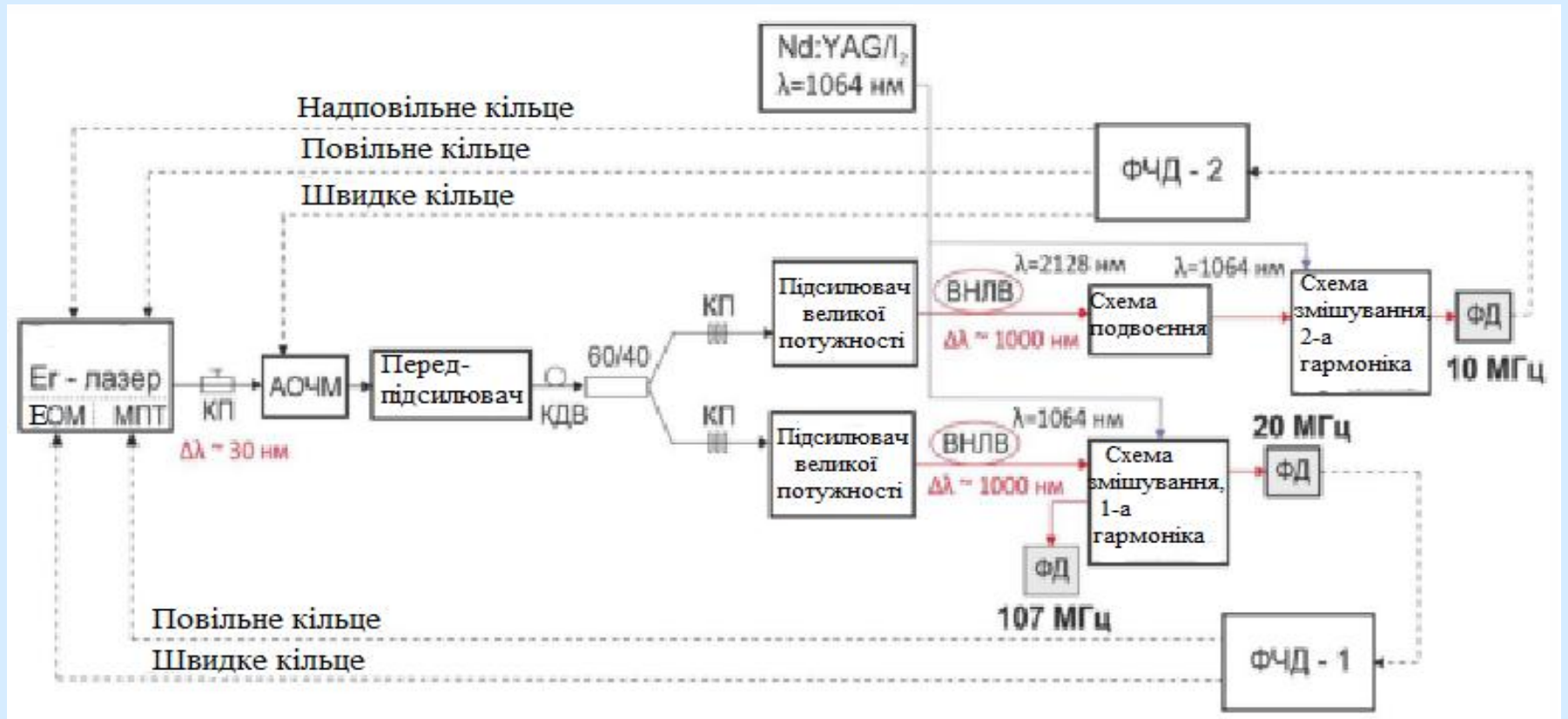


Рисунок 8 – Блок-схема волоконного синтезатора гребінки оптичних частот

СТАБІЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО ВОЛОКОННОГО ЕРБІЄВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ПО ЧАСТОТІ ОПТИЧНОГО СТАНДАРТУ

Таким чином, отримані результати підтверджують можливість використання розробленого волоконного синтезатора для створення на його основі мобільних фемтосекундних оптичних генераторів. За допомогою синтезатора відбувається перенос стабільності оптичного стандарту частоти на інші оптичні частоти (в діапазоні довжин хвиль від 1 мкм до 2 мкм), а також в радіочастотний діапазон.

Експериментально продемонстровано, що на основі кристала КТР (КТіОРО₄) з низькою електропровідністю може бути розроблений і виготовлений надійний мініатюрний фазовий електрооптичний модулятор.

Вимірювання показали, що нестабільність вихідної радіочастоти МФОГ на даному етапі роботи обмежена нестабільністю вимірювальної системи і збігається з параметрами використаного водневого стандарту пасивного типу Ч1-1006.

ВИСНОВКИ

Отримані результати підтверджують можливість використання волоконного синтезатора для створення на його основі мобільних фемтосекундних оптичних генераторів.

1. В якості опорного сигналу для систем ФАПЧ в даній роботі використовується міжмодова частота розглянутого синтезатора. Таким чином, стабілізація волоконного синтезатора відбувається тільки по частоті оптичного стандарту без використання додаткових стабільних РЧ генераторів, що зменшує габарити МФОГ і спрощує його транспортування.

2. Експериментально виміряна величина внесеної синтезатором відносної частотної нестабільності (адитивної до власної нестабільності опорного оптичного стандарту) становить $\sim 10^{-18}$ (за період усереднення 1000 с).

Проведена за результатами вимірювань оцінка показала, що відносна нестабільність вихідної радіочастоти МФОГ відповідає значенням нестабільності використовуваного опорного оптичного стандарту, які знаходяться в діапазоні від $\sim 2 \cdot 10^{-13}$ за 1 сек до $\sim 4 \cdot 10^{-15}$ за 104 сек.

В економічній частині було оцінено економічний потенціал, який виявився на вище середньому рівні. Порівняння нової розробки з аналогом показало, що новий виріб буде набагато краще за аналог по технічним показникам та ціною.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат складе 42534,2 грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 52511 грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 0,91 роки.

було опрацьовано такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, розрахунок кута розсіювання лазерного променя за заданою безпечною відстанню, технічні рішення з безпеки під час проведення дослідження волоконного ербієвого синтезатора частот навігаційних супутникових систем, безпека у надзвичайних ситуаціях.