

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні

Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного
забезпечення

Практичне заняття 14

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

Дослідження оптоелектронного сенсора абсолютних
кутових положень

Студента (ки) 2 курсу, групи _____

(прізвище та ініціали)

Викладач _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

м. Запоріжжя – 202_ рік

Метою вивчення теми є засвоєння принципів побудови оптоелектронних енкодерів.

Ключові терміни та поняття: переміщення, енкодер, оптичний сигнал, інтерферометр, сенсор, код.

План самостійного опрацювання теми.

1. Методи вимірювання кутових координат.
2. Аналіз методів вимірювання кутового положення.
3. Абсолютні оптичні енкодери.
4. Конструкція оптичного абсолютного енкодера.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Лазерні вимірники переміщень, розроблені на основі лазерних інтерферометрів Майкельсона або лазерних доплерівських інтерференційних перетворювачів, не мають механічного контакту з об'єктом і забезпечують можливість дистанційних вимірів швидкості і довжини з високою точністю.

Відомі інтерференційні вимірники лінійних переміщень, які містять лазерне джерело випромінювання, оптичний інтерферометр Майкельсона з фотоелектричною системою перетворення модульованого світлового потоку в послідовності прямокутних імпульсів і процесор для фіксації результатів виміру. Частота дотримання прямокутних імпульсів відповідає швидкості об'єкту, а період дотримання цих імпульсів відповідає половині довжини хвилі стабілізованого по частоті лазера. Переміщення об'єкту фіксується уздовж лазерного пучка вимірювального плеча інтерферометра. Такі вимірники призначені для прецизійних абсолютних вимірів довжини. Вони дозволяють вимірювати довжину з високою роздільною здатністю (долі нанометра) і точністю. Максимальна вимірювана довжина залежить від потужності випромінювання лазера і не перевищує декілька десятків метрів. Такі вимірники вимагають при їх створенні дорогих оптичних вузлів і не дозволяють використовувати їх в тих випадках, коли поверхня об'єкту виміру є розсіюючою, а не дзеркальною.

Відомі лазерні вимірники довжини, побудовані на основі лазерних доплерівських інтерференційних перетворювачів швидкості рухомих об'єктів. Лазерний інтерференційний перетворювач виконує пасивні функції і призначений для формування уявних або дійсних ґраток інтенсивності, що проєктуються за допомогою оптичної системи на об'єкт переміщення. Інтерференційні ґратки задають необхідну метрику простору. Інтерференційний сигнал виходить за рахунок дифракції світла на частках, що пересікають світлові ґратки. На практиці широко використовується схема, де два пучки двопробного інтерферометра фокусуються об'єктивом в досліджувану область. При пересіченні пучків під певним кутом утворюються інтерференційні ґратки. Розсіювальна частка об'єкту переміщення, яка проходить крізь такі ґратки, дає імпульс сигналу на фотодетекторі, що модулюється з частотою, зворотною періоду ґратки і пропорційної швидкості переміщення об'єкту. Вимірюючи частоту сигналу при відомій довжині хвилі лазера і геометрії інтерферометра, можна визначити швидкість руху об'єкту, а підсумовуючи значення

швидкості, помноженої на час між відліками швидкості, - величину переміщення об'єкту за повний час його руху. Такі вимірники дозволяють вимірювати чималі переміщення (десятки і більше метрів) об'єктів з дифузно відзеркалювальною поверхнею. Погрішність таких вимірників досить висока і складає десятки мікрон.

Відомі лазерні інтерферометри лінійних переміщень, засновані на явищах оптичного зворотнього зв'язку в напівпровідникових лазерах [16]. Такі вимірники переміщень містять напівпровідниковий лазер із вбудованим в нього фотодіодом. Випромінювання лазера через коліматор прямує на об'єкт переміщення. До складу інтерферометра входять також трансїмпедансний підсилювач, низькочастотний фільтр, два формувачі рахункових імпульсів, реверсивний лічильник імпульсів і дисплей результату виміру. Вказані вимірники не вимагають дорогих оптичних вузлів і дозволяють вимірювати переміщення об'єктів з дифузно відзеркалювальною поверхнею в діапазоні від декількох десятків сантиметрів до 2-2,5 метрів. При цьому роздільна здатність вимірників дорівнює половині довжини хвилі випромінювання напівпровідникового лазера. Такий вимірник переміщень не дозволяє проводити вимірювання переміщень з манометричною роздільністю.

Відомі також вимірники дальності, засновані на використанні як на явищі оптичного зворотнього зв'язку, так і частотної модуляції випромінювання в напівпровідникових лазерах. Датчиком інтерференційного сигналу є напівпровідниковий лазер із вбудованим фотодіодом і використання таких датчиків у вказаних вимірниках дозволяє практично виключити вживання елементів традиційної оптики. В основі таких вимірників покладена властивість напівпровідникових лазерів змінювати частоту випромінювання під впливом змін інжекційного струму.

Близьким за технічним рішенням до зазначених вище вимірників, є лазерний вимірник відстані до об'єкту. Вимірник відстані містить напівпровідниковий лазер з фотоприймальним пристроєм, оптично зв'язаним через коліматор з об'єктом, відстань до якого потрібно виміряти, модулятор струму лазера, блок термостабілізації лазера і електронний блок обробки вихідного сигналу фотоприймача, що забезпечує набуття значення дальності до об'єкту з погрішністю 1-1.5 мм. У цьому пристрої також використовується властивість оптичного зворотнього зв'язку і частотна модуляція випромінювання лазера. Проте цей вимірник не дозволяє вимірювати переміщення об'єкту. У роботах [17] для пристроїв з датчиками інтерференційного сигналу, приведені залежності між характеристиками інтерференційного сигналу (частота, фаза) і величинами деяких вимірюваних параметрів, наприклад відстані до об'єкту, його швидкості і переміщення. Показано, що при використанні даних датчиків (лазер плюс фотодіод) дальність (відстань до розсіюючого об'єкту) визначається частотою інтерференційного сигналу. Якщо об'єкт нерухомий, то частота інтерференційного сигналу строго відповідає відстані до об'єкту. Величину переміщення розсіюючого об'єкту можна визначити шляхом обчислення зсуву фази інтерференційного сигналу, що виникає при переміщенні об'єкту. Ці положення і використані в пропонованому технічному рішенні.

Схема прототипу оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень

У розглянутому лазерному вимірнику дальності і лінійних переміщень вказаний недолік прототипу (неможливість виміру переміщень) усувається за рахунок того, що в електронний блок обробки сигналу фотодіода введені нові електронні вузли. Ці вузли забезпечують формування не лише сигналів, що забезпечують вимір дальності до об'єкту, але і сигналів, що дозволяють виконувати вимір і підрахунок цілого числа періодів інтерференційних смуг і величини його дробової частини, що і забезпечує вимір величини переміщення.

Вимір цих параметрів досягається за рахунок того, що в лазерному вимірнику дальності, що містить напівпровідниковий лазер з фотоприймальним пристроєм, введений операційний пристрій, до неінвертуючого входу якого підключений вихід фотодіода, а інвертуючий вхід сполучений з першим додатковим виходом модулятора. Це дозволяє у вихідному сигналі фотодіода усунути принципово присутню перешкоду, обумовлену модуляцією струму лазера. До другого додаткового виходу модулятора послідовно приєднані формувачі синхроімпульса і стробімпульса, що забороняють роботу пристрою на час перехідного процесу, викликаного стрибкоподібною зміною модуляційного струму. До виходу операційного пристрою послідовно підключені компаратор і перший вхід блоку формування трьох імпульсних сигналів. Вихідним сигналом компаратора є послідовність прямокутних імпульсів з частотою інтерференційного сигналу. Другий вхід блоку формування трьох імпульсних сигналів сполучений з виходом формувача стробімпульса. Перший і другий виходи згаданого блоку формування сполучені відповідно з вимірниками тривалості початкової фази і періоду інтерференційного сигналу, а виходи вказаних вимірників і третій вихід формувача трьох імпульсних сигналів сполучені з шиною комп'ютера. Вимірники тривалості перетворюють свої вхідні сигнали в цифровий код. Прийом даних від вимірників і формувача трьох імпульсів і управління їх роботою здійснюється по шині комп'ютера.

Новизною, вибраного прототипу, є введення елементів пристрою зв'язку між ними. До них відносяться: операційний пристрій, один з входів якого підключений до першого додаткового виходу модулятора струму напівпровідникового лазера з метою компенсації модуляційної перешкоди у вихідному сигналі фотодіода; формувач синхроімпульсів і формувач імпульсів фіксованої тривалості (стробімпульс), що забороняють роботу пристрою на час перехідних процесів; компаратор, що формує імпульси з частотою інтерференційного сигналу; блок формування трьох імпульсних сигналів і вимірники (у цифровому вигляді) його вихідних сигналів; комп'ютер, управління роботою пристрою.

На рисунку 14.1 представлена схема лазерного вимірника дальності і лінійних переміщень.

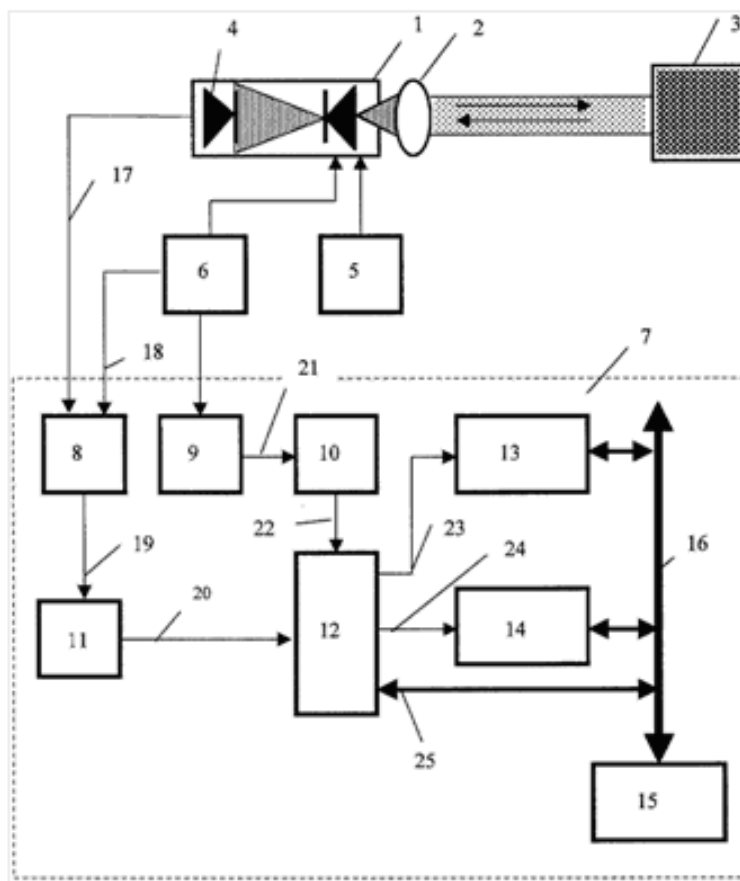


Рисунок 14.1 – Лазерний вимірювач переміщень

Лазерний вимірник містить напівпровідниковий лазер 1, оптично зв'язаний через коліматор 2 з об'єктом та його зображенням 3, відстань до якого потрібно виміряти, вбудований в напівпровідниковий лазер фотоприймач 4, блок термостабілізації 5, модулятор 6 струму лазера, підключений до напівпровідникового лазера, і електронний блок 7 обробки вихідного сигналу фотоприймача. Напівпровідниковий лазер і фотоприймач утворюють датчик інтерференційного сигналу. Електронний блок обробки 7 містить операційний пристрій 8, формувач 9 синхроімпульсів, формувач 10 стробоскопічних імпульсів фіксованої тривалості. У електронний блок обробки 7 також входять компаратор 11, блок формування 12 трьох імпульсних сигналів, блоки 13 і 14 вимірів відповідно тривалості поточної фази і періоду інтерференційного сигналу, комп'ютер 15 для обчислення результату виміру і шина 16 даних і управління для зв'язку комп'ютера з блоками 12-14. Неінвертуючий і інвертуючий входи операційного пристрою 8 позначені відповідно цифрами 17 і 18. Фотоприймач 4 напівпровідникового лазера 1 сполучений з неінвертуючим входом 17 операційного пристрою 8, що інвертує вхід 18, який сполучений з першим додатковим виходом модулятора струму лазера. Вихідні сигнали блоків 8, 11, 9 і 10 позначені відповідно цифрами 19, 20, 21 і 22, а вихідні сигнали формувача 12 позначені цифрами 23, 24 і 25. На виході 19 операційного пристрою 8 формується інтерференційний сигнал.

Працює пристрій таким чином. Струм напівпровідникового лазера 1 змінюється модулятором 5 по лінійному закону. В даному випадку модуля-

ційний струм змінюється по пилкоподібному закону. Модульований таким чином пучок через коліматор 2 прямує на досліджуваний об'єкт. Розсіяне ним випромінювання потрапляє назад в активне середовище лазера, де посилюється і інтерферує з вихідним випромінюванням, оскільки із-за кінцевого значення швидкості світла розсіяне випромінювання приходить в напівпровідниковий лазер з деякою затримкою. Унаслідок цієї затримки частота цього випромінювання не збігається з частотою, що генерується напівпровідниковим лазером в даний момент. В результаті на виході вбудованого в напівпровідниковий лазер 1 фотодіода 4 виникає електричний сигнал, параметри якого несуть інформацію про відзеркалювальну поверхню об'єкту, його віддаленість і характеристики руху. При модуляції лазера пилкоподібним струмом змінюється не лише частота випромінювання, але і потужність лазера. Тому сигнал на виході фотодіода 4, окрім корисної інтерференційної частини, містить пилкоподібну перешкоду. Ця перешкода фільтрується завдяки тому, що на інвертуючий вхід операційного пристрою 8 подається сигнал пилкоподібної модуляції з першого додаткового виходу модулятора 6. Вихідний сигнал 19 операційного пристрою 8 поступає на вхід компаратора 11 і перетворюється на його виході 20 в послідовність прямокутних імпульсів. Ці імпульси поступають на перший вхід формувача 12 трьох імпульсних сигналів, на другий вхід якого поступає стробімпульс з формувача 10. Синхроімпульс формувача 9, що запускається сигналом з другого додаткового виходу модулятора, з'являється на початку кожного циклу модуляції на виході 21 і запускає формувач 10, вихідний імпульс якого використовується у формувачі 12 трьох імпульсних сигналів для заборони проходження інтерференційного сигналу з виходу 20 компаратора 11 на якийсь час, що відповідає перехідному процесу під час стрибкоподібної зміни пилкоподібного модулюючого струму.

Для виміру дальності комп'ютер обчислює частоту інтерференційного сигналу як величину, зворотню виміряному періоду. Для фіксації результату виміру дальності в метричній системі одиниць значення частоти перемножається на відповідний коефіцієнт пропорційності.

Для виміру величини переміщення комп'ютер використовує інший алгоритм: значення відрізків часу, відповідних поточній фазі і періоду інтерференційного сигналу, використовуються комп'ютером для обчислення поточної фази, вираженої в частинах періоду інтерференційного сигналу. Частота зчитування цих інтервалів часу повинна, щонайменше, перевищувати частоту модуляції струму лазера в чотири рази. При переміщенні об'єкту комп'ютер порівнює значення поточної і попередньої фаз. Якщо він виявляє стрибок фази, абсолютне значення якого перевищує 0.5 періоду, то залежно від знаку цього стрибка до поточного значення фази додає один період. Якщо знак стрибка негативний, то одиниця підсумовується із знаком плюс, а якщо знак стрибка позитивний, то одиниця підсумовується із знаком мінус. Знак стрибка фази визначає напрям руху об'єкту, а підсумовувана одиниця свідчить про те, що об'єкт переміщення змістився на величину, рівну одному періоду інтерференційного сигналу. Результат виміру переміщення фіксується в елементі пам'яті комп'ютера як сума цілого значення періодів інтерференційних смуг і

дробової частини інтерференційної смуги. Результат виміру переміщення з початкового положення в кінцеве положення обчислюється як різниця значень кінцевої і початкової фаз інтерференційного сигналу. Для здобуття результату переміщення, представленого в метричній системі одиниць, комп'ютер перемножає різницю значень фаз інтерференційного сигналу на значення половини довжини хвилі випромінювання напівпровідникового лазера.

Система реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутів положень

У якості реєструючої частини пропонується використати дифракційну решітку, яка розташовується безпосередньо на об'єкті дослідження.

Основним елементом датчика, схема якого наведена на рисунку 14.2, є блок-сенсор, який є прозорою пластинкою товщиною кілька міліметрів.

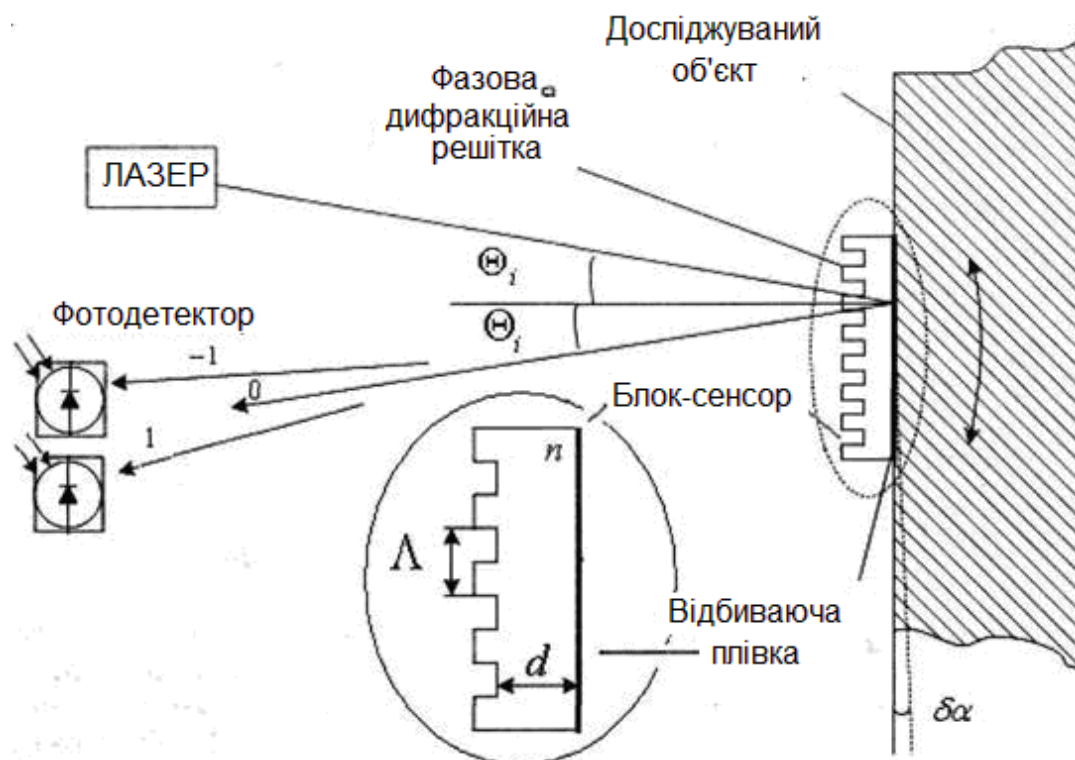


Рисунок 14.2 – Система реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутів положень

На одній стороні пластини знаходиться фазова дифракційна решітка з профілем у вигляді меандру, а на іншій стороні - дзеркальна плівка, яка відбиває.

Блок-сенсор закріплюється на досліджуваній конструкції та просвічується оптичним лазерним випромінюванням. Промінь лазера, спрямований на блок, дифрагує на фазових дифракційних ґратах, поширюється в прозорому

матеріалі пластини, відбивається від дзеркальної плівки і повторно дифрагує на фазових ґратах.

Таким чином, в основі роботи пристрою, як і в попередньому випадку, лежить подвійна дифракція оптичного пучка на фазових дифракційних ґратах, що має профіль у вигляді меандра.

При нахилі ділянки конструкції на невеликий кут відбувається нахил блоку-сенсора. Це викликає усунення слідів падаючого та відбитого пучків по поверхні решітки. Якщо замінити відбитий промінь дзеркально симетричним, то можна замінити аналіз взаємодії оптичного пучка з блоком-сенсором аналізом еквівалентної схеми з двох решіток, що знаходяться на відстані, що дорівнює подвоєній товщині блока-сенсора.

Звідси у припущенні малого кута падіння θ для блока-сенсора з решіткою, що має оптимальне значення амплітудної фазової модуляції $\Phi_m=45^\circ$, можна отримати вираз, що описує залежності потужностей випромінювання в перших порядках дифракційних від кута нахилу α :

$$P_{\pm 1}(\alpha) = P_0 R \left[\frac{2}{\pi^2} + \frac{2}{\pi^2} \cos \left(\frac{4\pi d}{n\Lambda} \alpha \mp L' \right) \right] \quad (2.1)$$

Тут P_0 - падаюча потужність оптичного випромінювання; R - коефіцієнт відбиття дзеркальної плівки; d - товщина скляної пластини блока-сенсора; $L' = 2d\pi\lambda/n\Lambda^2$ - параметр відстані.

Для реєстрації та вимірювання малих кутових коливань використовується одна з безлічі лінійних ділянок гармонійної залежності потужності випромінювання одного з перших порядків дифракції від кута нахилу блока-сенсора – $P_{-1}(\alpha)$ або $P_{+1}(\alpha)$. Для роботи пристрою потрібно забезпечити розташування робочої точки на середині лінійної ділянки. Це досягається вибором початкового кута падіння оптичного пучка.

Електрична схема блоку формування імпульсів системи реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень представлена на рисунку 14.3

Вихідні сигнали від фотодіодів надходять на однойменні контакти вилки ХР1. Через провідники печатної плати сигнали надходять на входи мікросхеми DD1, є АЦП, що представляє інформацію в послідовному дванадцятирозрядному коді. Мікросхема DD2 є генератором змінної напруги.

Мікросхеми DD1 і DD2, працюючи в парі, дозволяють врахувати та компенсувати фазові зрушення у вихідних сигналах, що необхідно для отримання точних даних. Для цього сигнали надходять на відповідні входи генератора DD2. Сигнал компенсації фазового зсуву надходить із виходу SRF мікросхеми DD2 через ланцюг С12, R1 на вхід REF мікросхеми DD1. Входи FS1... FS3 мікросхеми DD2 дискретно задають частоту генератора. При підключенні, вказаному на схемі, частота генератора дорівнює 2 кГц. За інших поєднань частоту можна підвищити до 20 кГц.

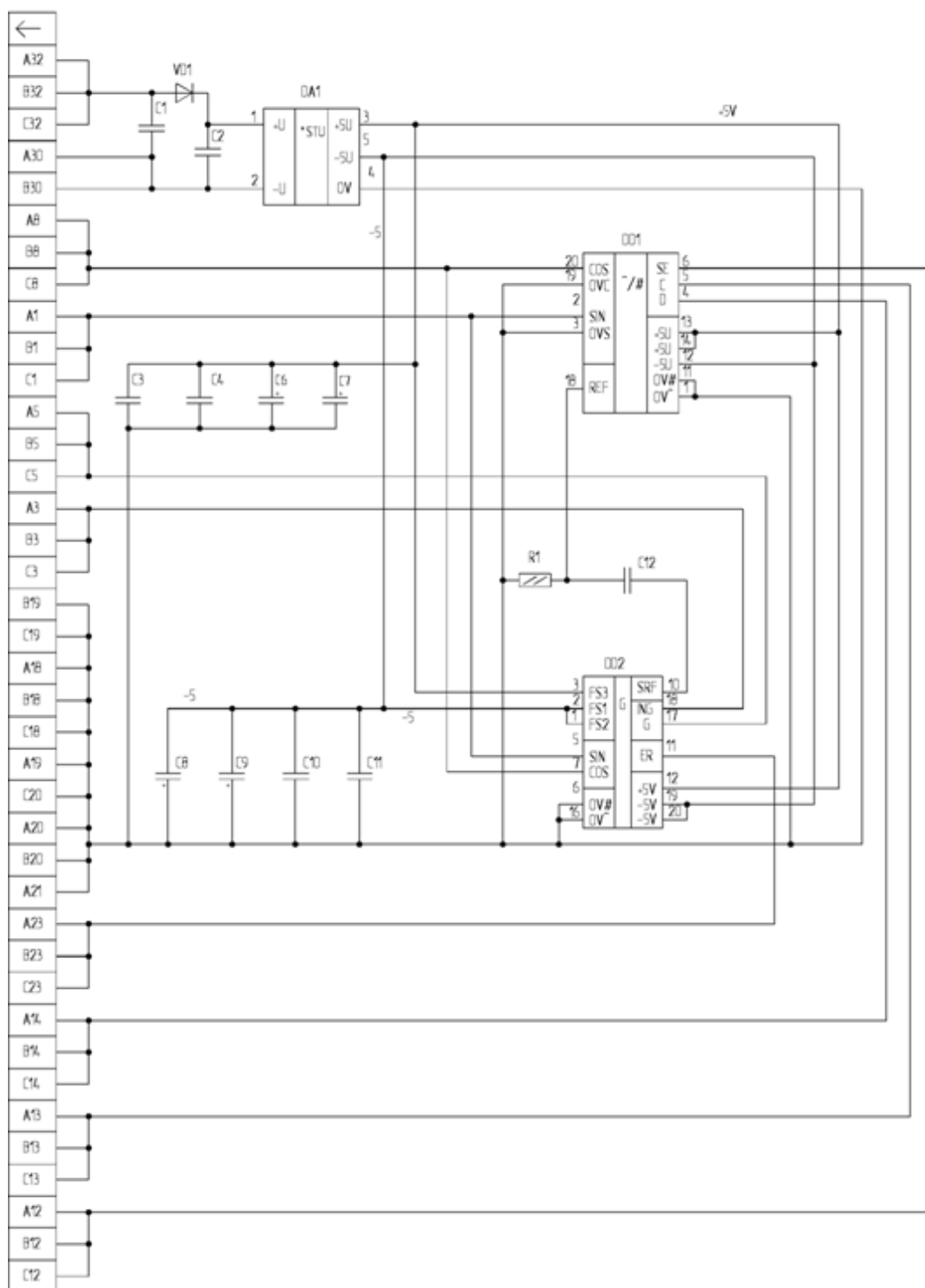


Рисунок 14.3 – Електрична схема блоку формування імпульсів системи реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень

Живлення мікросхем DD1 і DD2 здійснюється двополярною напругою +5 і -5 В. Ці напруги створює імпульсний перетворювач напруги DA1. Діод VD1 захищає модуль від виходу з ладу при неправильному підключенні полюсів живлення. Конденсатори C1 та C2 зменшують перешкоди модуля в лінію живлення. Конденсатори C3 ... C11 знижують рівень перешкод, що над-

ходять по лініях живлення +5 -5 В і зменшують вплив мікросхем один на одного.

Інформація про кут повороту передається мікросхемою DD1 через контакти вилки XP1 по трипровідному кабелю.

Кут повороту перетворюється на послідовний двійковий код, який передається через послідовний інтерфейс: ДАНІ контакти A14, B14, C14 вилки XP1, ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ контакти A12, B12, C12 вилки XP1 і ТАКТ контакти з номерами 13 вилки. Вихід ДАНІ утримується у високоімпедансному стані, коли вхід ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ встановлено в логічну одиницю.

Коли зовнішній пристрій встановлює логічний 0 на вході ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ, вихід ДАНІ активовано, і інформація про поточний кут передається через послідовний інтерфейс. Дані передаються, використовуючи часові параметри сигналу, що надходить вхід ТАКТ. Максимальна частота сигналу ТАКТ становить 2 МГц. Гарантується надійна передача даних через часовий інтервал 600 нс (0.6 мкс) після встановлення зовнішнім пристроєм логічного нуля на вході ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ. Якщо потрібна точність вимірювання кута менше 12 біт, то сигнал ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ переходить у високий рівень після читання необхідної кількості біт. Сигнал ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ можна перевести у високий рівень, тим самим заборонивши читання, мінімум через 100 нс (0.1 мкс) після останнього негативного фронту імпульсу. Для повторення читання даних сигнал ДОЗВІЛ ЧИТАННЯ повинен бути відновлений мінімум через 250 нс. Час читання інформації про кут повороту можна розрахувати, враховуючи найбільшу довжину інформаційного кадру 12 біт і тактову частоту інформації - 2 МГц. Час читання складе $[600+(12 \times 500)+600+100] = 7.3$ мкс, що відповідає частоті трохи більше 135 кГц.

На рисунку 14.4 представлено часові діаграми функціонування пристрою.

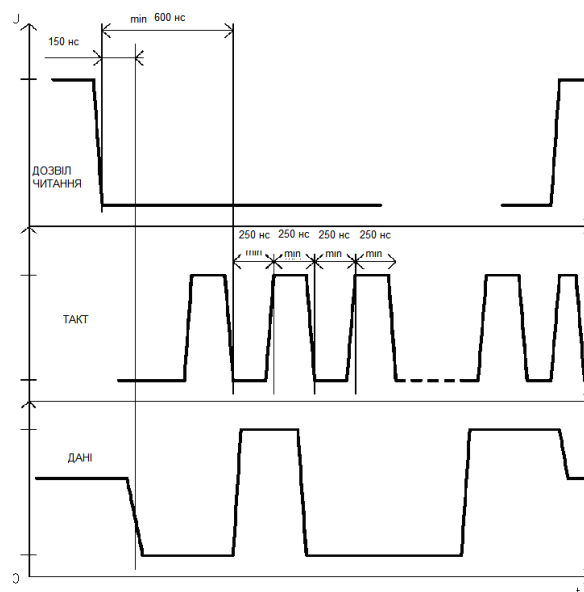


Рисунок 14.4 – Діаграми функціонування блоку формування імпульсів системи реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Магнітні енкодери.
2. Оптичні енкодери.
3. Інкрементні оптичні енкодери.

Практичне завдання.

Виконати моделювання блоку формування імпульсів системи реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень в програмному середовищі Electronics Workbench 5.12

Для проведення аналізу функціонування схеми у якості об'єкта моделювання було обрано частину пристрою, яка відповідає за систему автоматизованого управління – блок формування імпульсів.

Моделювання проводилось у програмному середовищі Electronics Workbench 5.12.

Результати моделювання представлено на рисунках 14.14 та 14.15.

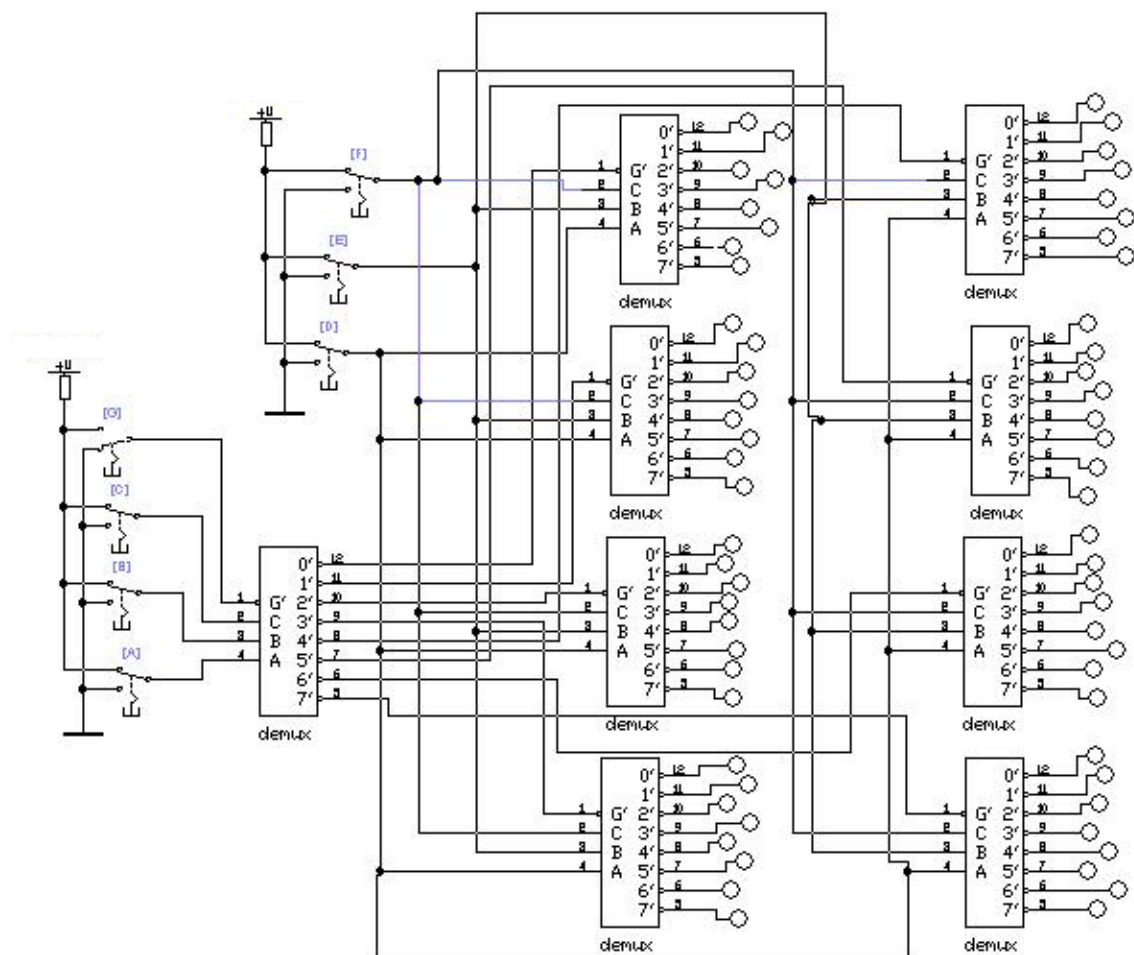


Рисунок 2.14 – Схема блоку формування імпульсів системи реєстрації оптоелектронного сенсора абсолютних кутових положень в програмному середовищі Electronics Workbench 5.12

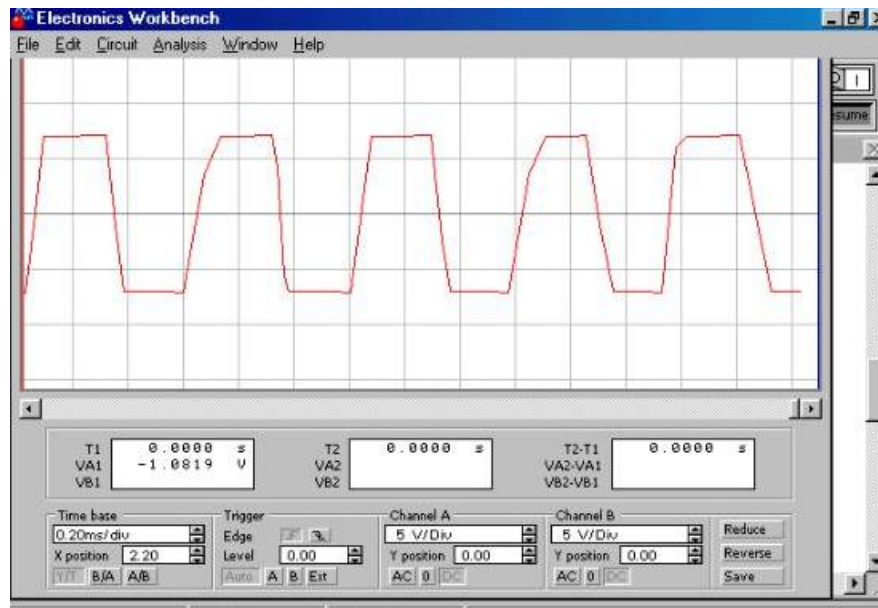


Рисунок 2.15 – Діаграма функціонування блоку формування імпульсів системи реєстрації оптичного сенсора абсолютних кутових положень в програмному середовищі Electronics Workbench 5.12

Як видно із побудованих діаграм результати моделювання добре узгоджуються із раніше отриманими теоретичними розрахунками.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) на підставі проведеного дослідження для розробки пристрою обрано лазерну схему вимірювання кутових положень. Новизною, вибраного прототипу є введення таких елементів, як операційного пристрою, один з входів якого підключений до першого додаткового виходу модулятора струму напівпровідникового лазера з метою компенсації модуляційної перешкоди у вихідному сигналі фотодіода; формувача синхроімпульсів і формувача імпульсів фіксованої тривалості (стробімпульс), що забороняють роботу пристрою на час перехідних процесів; компаратора, що формує імпульси з частотою інтерференційного сигналу; блок формування трьох імпульсних сигналів і вимірники (у цифровому вигляді) його вихідних сигналів; комп'ютер, управління роботою пристрою;

2) у якості безпосередньої сенсорної частини пропонується використати дифракційну решітку, яка розташовується безпосередньо на об'єкті дослідження;

3) операційну частину пристрою пропонується реалізувати на мікросхемі AD2S99BP, яка є високоефективним перетворювачем постійної напруги, що забезпечує роботу модуля в широкому діапазоні напруги живлення з рівнем шумів у вихідній напрузі 50 мВ;

4) проведено розробку друкованої плати блоку формування імпульсів системи реєстрації у редакторі Layout 4.0;

5) результати моделювання блоку формування імпульсів системи у програмному середовищі Electronics Workbench 5.12 показали відповідність із теоретичними розрахунками.

Контрольні питання

1. Принцип побудови оптоелектронних енкодерів.
2. Методи вимірювання кутового положення
3. Використання оптоелектронних енкодерів.

Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6
2. Медяний Л. П. Аналогова схемотехніка. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 177 с.
2. Бойко В.І., Жуйков В.Я., Співак В.М. та ін. Основи технічної електроніки: Підручник. Київ : Вища школа., 2007. 510 с.