

УДК 546.261

Д.О.Сомов А.А. Ковальчук

Луцький національний технічний університет

## **КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ ЗА ДОПОМОГО УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ**

*В даній роботі розглянуто питання вимірювання температур в агресивних середовищах з використанням методів ультразвукового вимірювання. Одним з сучасних напрямків є ультразвукова термометрія, яка ґрунтується на використанні температурної залежності параметрів поширення акустичного сигналу. На основі цього методу розроблено систему вимірювання температури, з можливістю виводу інформації на рідкокристалічний індикатор. Проведено моделювання складових частин системи за допомогою програми Proteus.*

**Ключові слова:** моделювання, Proteus, ультразвук.

На даний час існує доволі багато різних типів вимірювачів температури в агресивних середовищах, як наприклад, термопари, термоопір, пірометри та багато інших.

На сьогодні велику увагу дослідників та потенційних користувачів привертають шляхи розвитку термометрії на принципово нових засадах [1].

Один з таких напрямків – ультразвукова термометрія, яка ґрунтується на використанні температурної залежності параметрів поширення акустичного сигналу. Перші кроки на шляху створення ультразвукових термометрів були зроблені в 60-х роках, коли вирішували проблеми вимірювання температури в активній зоні реакторів. Праці Дж. Белла, Ліннваса, Таскана та інших засвідчили, що ультразвукові термометри мають переваги перед традиційними (термоелектричними та терморезистивними, пірометрами), а саме:

- потенційно ширший вибір матеріалів для сенсорів;
- можливість використання окремих компонентів і вузлів контрольованого об'єкта як сенсора температури;
- відсутність електричних ланок у зоні високих температур і відповідно відмова від застосування високотемпературних електричних ізоляторів;
- можливість створення на базі одного сенсора багатозонального термометра для вимірювання температур у кількох зонах та визначення розподілу температур;
- можливість вимірювання температури в об'єкті без розгерметизації;
- можливість заміни матеріалу сенсора (для газового або рідинного варіанта) в процесі експлуатації;
- можливість реконструкції профілю температурного поля в об'єкті за результатами сканування певної площини або об'єму акустичними сигналами.

Отже, перспективність ультразвукової термометрії є очевидною, зокрема в таких галузях, як реакторна термометрія, нафтова промисловість, металургія, енергетика.

Принцип роботи ультразвукових сенсорів температури полягає у порівнянні амплітудних характеристик відбитих луна-сигналів і за його висновками обчислення параметрів досліджуваної речовини з умови  $Z = r \cdot n$ , де  $Z$  – імпеданс,  $r$  – питома густина,  $n$  – швидкість поширення ультразвукових хвиль [2].

Схему вимірювання температури з ультразвуковим датчиком можна розділити на три складові частини: блок формування струмового імпульсу в котушці випромінювача, вхідний підсилювач-формував імпульсів, схема вимірювання характеристик відбитих луна-сигналів. При моделюванні кожен з вказаних схем аналізують окремо, замінюючи інші частини еквівалентними сигналами. Таким чином, значно збільшується швидкість моделювання в програмі Proteus.

Блок формування імпульсів складається зі схеми керування, яка формує необхідну імпульсну послідовність у відповідь на сигнал запуску та вихідного підсилювача потужності, навантаженням якого служить передавальна котушка.

Принципова схема вихідного каскаду з ключовим елементом на тиристорі U1 та випромінювальною котушкою L1 зображена на рис.1.

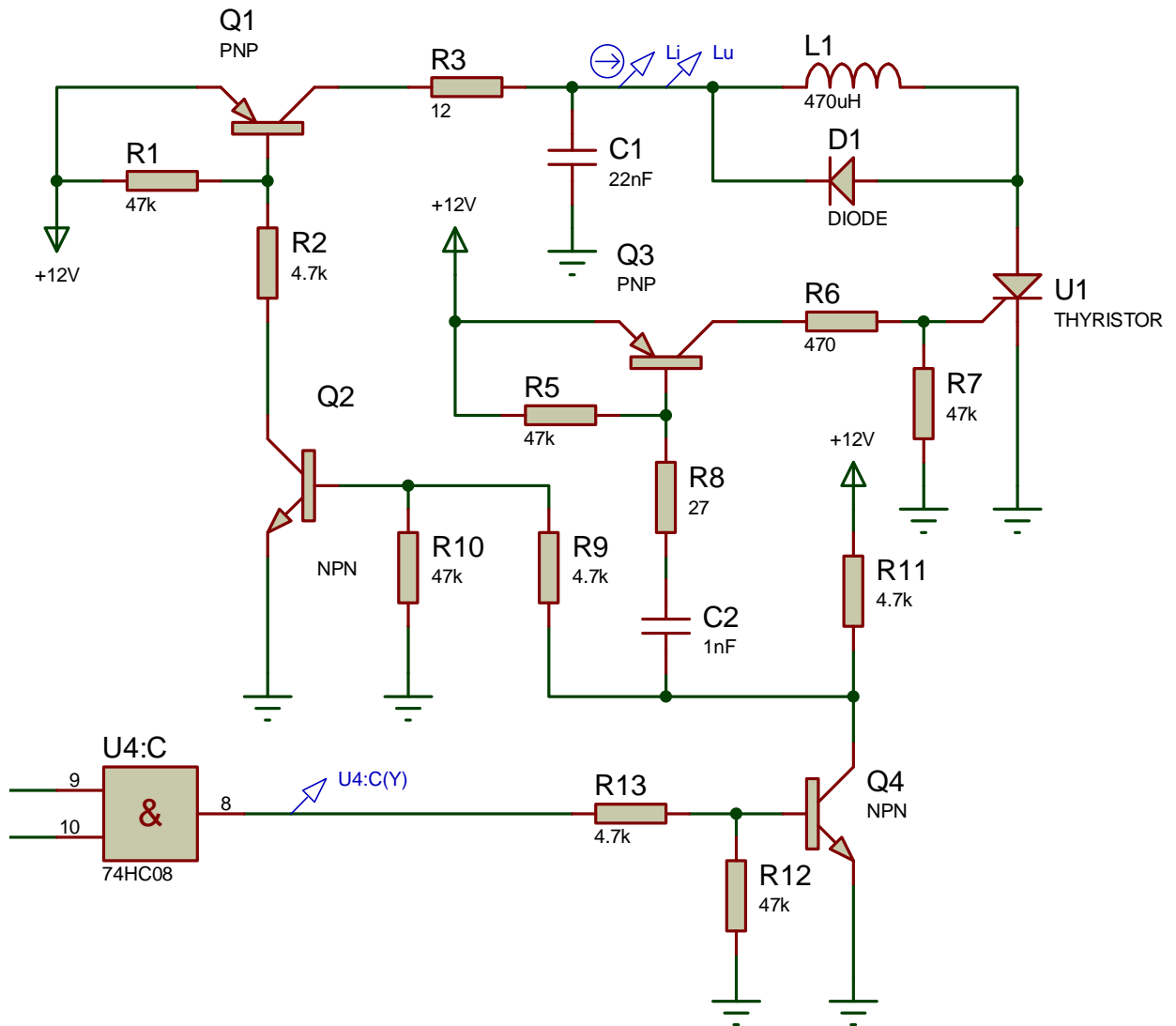


Рис.1. Принципова схема вихідного тиристорного підсилювача.

Розглянемо роботу вихідного силового тиристорного каскаду. Каскад керується прямокутними імпульсами, що надходять з виходу логічного елемента «І» U4:C. При рівні логічного нуля транзистор Q4 закритий, напруга високого рівня з його колектора відкриває транзистор Q2, який у свою чергу відкриває ключовий транзистор Q1, створюючи на базі Q1 низький потенціал відносно емітера. У цей момент відбувається заряджання конденсатора C1 практично до напруги живлення по колу +12В-Q1-R3-C1. Резистор R3 обмежує струм заряду конденсатора до номінальної для транзистора Q1 величини. Тиристор U1 у цей час закритий, оскільки на його керуючому електроді низький потенціал (транзистор Q3 закритий високим потенціалом бази).

У момент надходження логічної одиниці з виходу елемента «І» U4:C транзистор Q4 відкривається високим потенціалом на базі, замикаючи конденсатор C2 на «-» джерела живлення. Конденсатор C2 починає швидко заряджатися, створюючи тим самим короткочасно низький потенціал на базі транзистора Q3, що призводить до його відкриття. Імпульс струму з колектора Q3 через обмежувальний резистор R6, поданий на керуючий електрод ключового тиристора U1, відкриває його. Через відкритий тиристор замикається коло розряду накопичувального конденсатора C1 через котушку L1, створюючи у ній імпульс струму (рис.2).

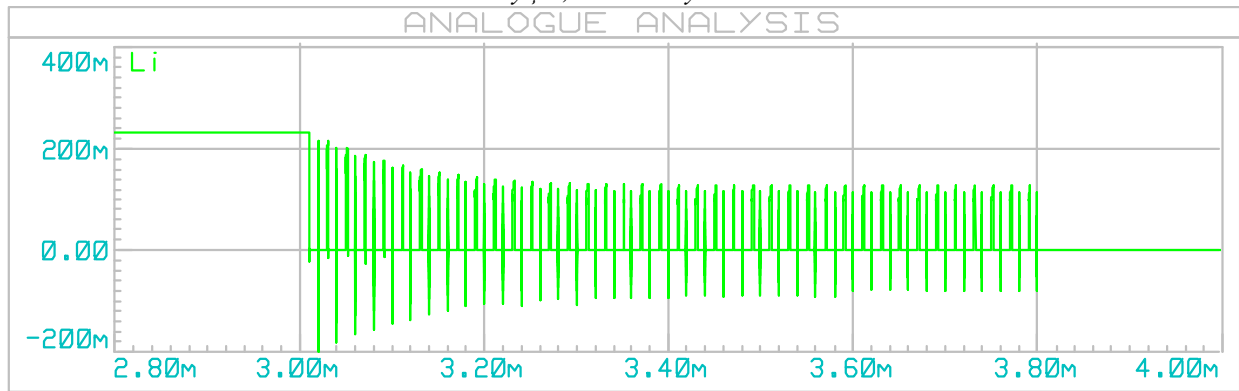


Рис.2. Імпульси струму у котушці.

У цей же час транзистор Q1 перебуває у закритому стані, оскільки на його базі наявний високий потенціал з колектора закритого транзистора Q2, який закривається низьким потенціалом колектора транзистора Q4. Ключовий тиристор автоматично закривається у цьому ж циклі роботи внаслідок спаду струму після розряду накопичувального конденсатора C1. У цей момент на котушці L1 відбувається викид напруги зворотної полярності, яку замикає через себе діод D1, попереджуючи пошкодження компонентів.

Керування вихідним підсилювачем здійснюється автоматичною цифровою схемою на логічних компонентах, що забезпечує гарантовану тривалість та точність передачі імпульсу. Схema забезпечує автоматичне формування пакету керуючих імпульсів (модуляцію), що складається з 40-ка коливань тактової частоти.

Графік рівнів основних сигналів під час роботи модулятора зображено на рис.3.

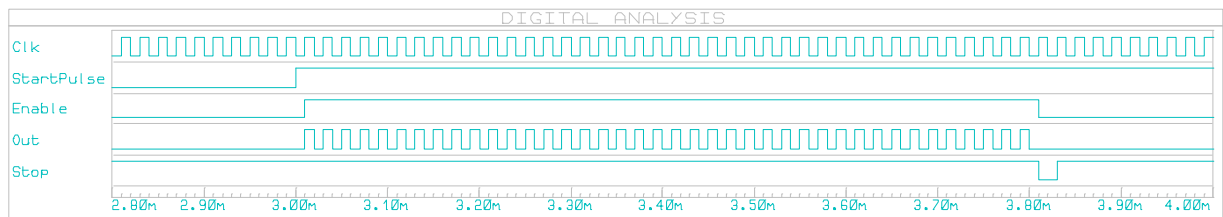


Рис.3. Діаграма роботи схеми формування

На вхід схеми постійно поступає фіксована тактова частота Clk (50 кГц), якою модулюється вихідний сигнал та позитивний імпульс запуску StartPulse, який запускає автоматичне формування синхронного з тактовою частотою позитивного сигналу дозволу Enable, протягом дії якого на вихід схеми передаються імпульси тактового сигналу Out.

Розглянемо детально роботу принципової схеми, наведеної на рис. 4.

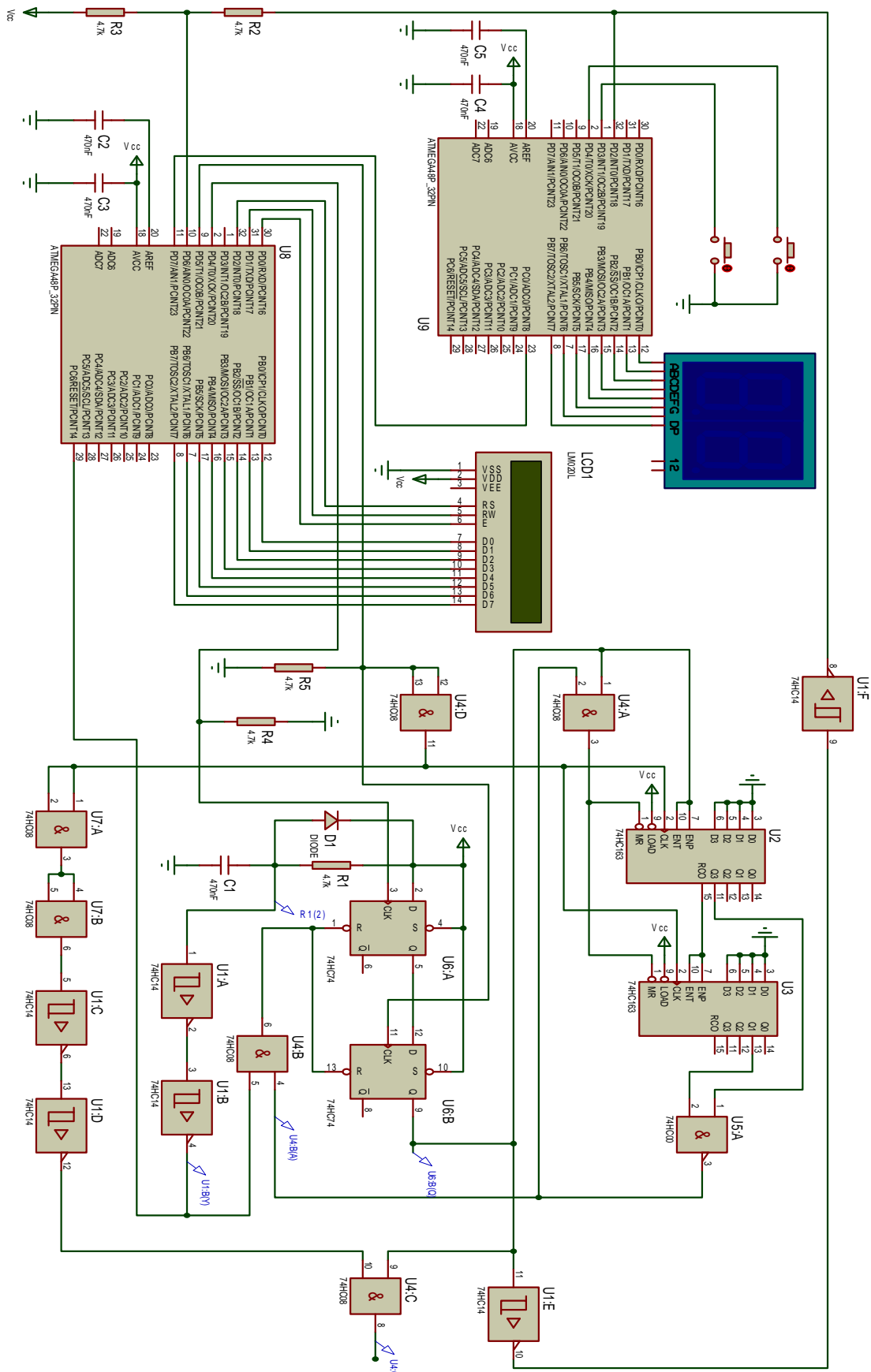


Рис.4. Схема формування та вимірювання параметрів відбитих сигналів.

В момент подачі живлення на схему в лічильниках можуть зберігатися довільні числа, а виходи тригерів приймати випадкові значення. Тому перед початком роботи необхідно

обов'язково провести ініціалізацію всієї схеми. Це відбувається за допомогою сигналу Reset, що формує RC ланка R1, C1 та буферні елементи з тригером Шмідта (рис.5).

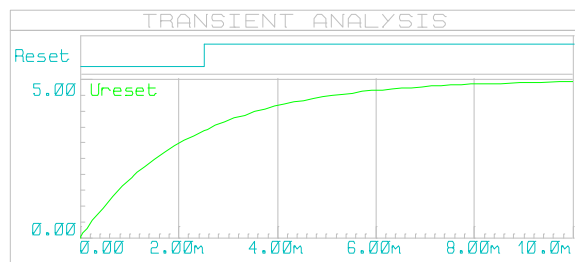


Рис.5. Формування сигналу Reset RC ланкою та буферним елементом з тригером Шмідта

При включенні живлення напруга на конденсаторі рівна нулю. Вона через два послідовно з'єднані буферні елементи та логічний елемент «І» U4:В діє на вхід скидання D-тригерів, виходи Q яких примусово встановлюються в рівень логічного нуля.

Вихідний сигнал з тригера U6:В поступає на входи дозволу (активний високий рівень) 7,10 лічильника U2, блокуючи його роботу та через логічний елемент «І» U4:A на входи очищення обох лічильників U2, U3, встановлюючи їхні значення рівними нулю. Також низький сигнал з виходу тригера U6:В подається на логічний елемент «І» U4:C, який виконує роль ключа, не пропускаючи на вихід імпульси тактової частоти. Приблизно через 2.5 мс (рис. 5) рівень напруги на конденсаторі C3 досягає рівня логічної одиниці і схема переходить у робочий режим зі збереженням станів, в які вона перейшла під час дії низького рівня сигналу Reset. Діод D8 призначений для швидкого розряду конденсатора C3 при виключенні живлення.

При надходженні позитивного імпульсу запуску StartPulse (його тривалість повинна бути не меншою 2 періодів тактової частоти) на вхід синхронізації тригера U6:A, на виході тригера встановлюється лог. «1» (оскільки на його інформаційний вхід постійно подано лог. «1»). Цей сигнал поступає на вхід тригера U6:В. Переключення виходу цього тригера в стан логічної одиниці і початок відліку відбудеться лише при першому фронті тактового сигналу. Таким чином забезпечується узгодження асинхронного імпульсу запуску з синхронною роботою схеми. При появі на виході тригера U6:В логічної одиниці, цей сигнал дозволяє початок відліку лічильників та передачу на вихід через логічний елемент «І» U4:C тактового сигналу (формування пачки імпульсів). За припинення відліку відповідає логічний елемент «І-НЕ» U5:A, на інверсному виході якого формується сигнал скидання тригерів та лічильників у початковий стан при досягненні ними значення відліку 40, яке у двійковій формі має наступний вигляд - 0010 1000. Сигнал Stop формується у момент, коли 3 та 5 біти стають рівними одиниці (рис.3).

Схема вимірювання параметрів відбитих сигналів складається з вхідного підсилювача та формувача сигналів (рис.6), схеми порівняння та відображення на контролері ATMEGA48P.

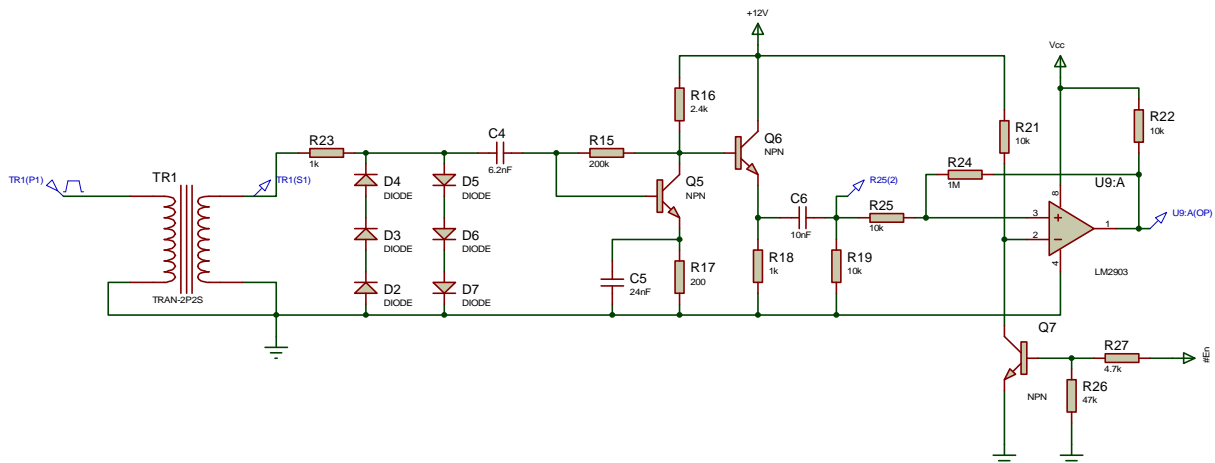




Рис.6. Схема вхідного підсилювача-формувача прийнятого сигналу та графік роботи

Чутливим вхідним елементом виступає котушка, яка при моделюванні замінена трансформатором TR1. Наведені у ній імпульси (перший графік на рис.6) через резистор R23 та конденсатор C4 поступають на базу підсилювача на транзисторі Q5. Обмежувач амплітуди на діодах D2-D7 призначений для шунтування сигналу у момент передачі імпульсів. Підсилений сигнал поступає на емітерний повторювач на транзисторі Q6, з виходу якого через конденсатор C6, який усуває постійну складову, подається на прямий вхід компаратора. Амплітуда та форма імпульсів на вході компаратора зображена на рис.6, 2-й графік. Ланка R24, R25 задає гістерезис переключення компаратора. Транзистор Q7 призначений для керування компаратором: сигнал на вихід (рис. 6, 3-й графік) передається у випадку, коли сигнал #En високого рівня (транзистор Q7 відкритий, на інверсному вході компаратора напруга близько 0.2 В).

Вимірювання часу затримки проходження відбитого сигналу здійснюється контролером U8, відображення виміряного значення відбувається на рідкокристалічному індикаторі LCD1. Сигнал частотою 50 кГц генерується на виводі PD5 (за допомогою апаратного виходу порівняння OC0B), імпульс запуску формує вивід PD4. Вимірювання затримки здійснюється за допомогою вбудованого компаратора. На вхід AIN0 подається сигнал дозволу прийому низького рівня (при передачі пакету прийом заборонений, оскільки на вході постійно високий рівень і на виході компаратора стабільний високий рівень). На вхід AIN1 поступає досліджуваний сигнал, який формує контролер U9. При його перепаді формується переривання таймера, накопичене ним значення і буде шуканою затримкою, яка переводиться у температуру[3].

Висновки. У ході проведення роботи було проведено моделювання аналогових та цифрових вузлів розробленої схеми у програмі Proteus. Завдяки отриманим результатам можна значно спростити виготовлення дослідних зразків пристрою, значно знизити затрати часу на проведення налагоджувальних робіт, вибір робочих параметрів.

1. Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. Енциклопедія термометрії. – Львів, 2003.– С121–123.
2. Луцик Я.Т., Дорожовець М.М., Лихновський І.С. Погрешности импульсных ультразвуковых термометров // Измерительная техника. – 1992. – №6. – С.37–38.
3. <http://www.labcenter.com/index.cfm>